

## تطوير نظام قيادة لمضخات المياه الكهروضوئية باستخدام عاكس تسلسلي ذو سبع مستويات

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

### ملخص

تم في هذا البحث تطوير نظام قيادة لمضخات المياه الكهروضوئية يعتمد على العواكس متعددة المستويات، حيث تمت دراسة العاكس التسلسلي متعدد المستويات-Cascaded H-Bridge-MLI لتحسين كفاءة التحويل، وذلك من خلال اختبار ثلاث استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات القدر للعناصر الإلكترونية لتحديد الاستراتيجية الأفضل بينها، ومن ثم مقارنتها مع دائرة العاكس التقليدي 2-LEVEL.

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 نمذجة دائرة إنفرتير تسلسلي 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.

نظام القيادة المقترح يعمل وفق نظام  $v/f$  control للتحكم بسرعة المضخة بما يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي مع الحفاظ على العزم ثابت كما يعمل على ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى MPPT وفق خوارزمية P&O، تمت محاكاة النظام وفق برنامج MATLAB/SIMULINK، حيث أظهرت النتائج فعالية النظام المقترح وموثوقيته.

**الكلمات الرئيسية** - العاكس متعدد المستويات، العاكس الجسري التسلسلي، ملاحقة نقطة الإستطاعة العظمى MPPT، معدل التشوه التوافقي THD.

\*ماجستير هندسة الأتمتة الصناعية. كلية الهندسة التقنية. جامعة طرطوس. سوريا [danyvbrahim2@gmail.com](mailto:danyvbrahim2@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.

# Development of a driving system for PV water pumps using a seven-level Cascaded H-Bridge inverter

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

## Abstract

In this research, we have developed a system for driving PV water pumps based on multi-level inverters, where cascaded H-Bridge-MLI was studied to improve conversion efficiency, by testing three different strategies to generate pulses for electronic elements and determining the best strategy between them, then compare it with the traditional 2-LEVEL inverter circuit.

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.

The proposed driving system operates according to the  $v / f$  control system to control the pump speed in proportion to the intensity of the solar radiation while maintaining a constant torque, and also works to track the maximum power point MPPT according to P&O algorithm, and when the system was simulated by MATLAB / SIMULINK the results showed the effectiveness and reliability of the proposed system.

**Keywords** — Multilevel inverters, Cascaded H-Bridge, Maximum Power Point Tracking, Total harmonic distortion.

\**Master 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:

تعتبر الطاقة والمياه العصبان الأساسيان لأي تقدم وتطور مجتمعي. في حين أن العالم يتجه نحو أزمة حادة في الطاقة والمياه، كان اتباع طرق مستدامة لضمان الأمن المائي والطاقي أحد أسباب تطور أنظمة ضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية التي تعد بديلاً واعداً عن أنظمة الضخ التقليدية، وتطبيقاً فعالاً من حيث التكلفة وخاصة في المناطق النائية البعيدة عن الشبكة العامة وفي البلدان النامية التي تواجه مشاكل تتعلق بتأمين الطاقة الكهربائية المستدامة.

ولأن العطل المفاجئ بمحطات التوليد لأسباب مختلفة سيهدد الأمن المائي بشكل مباشر، كانت الحاجة للاتجاه نحو محطات ضخ تعتمد على الطاقة المتجددة أمراً ضرورياً.

الجدير بالذكر أن المحركات التحريضية ثلاثية الطور هي أكثر أنواع المحركات الكهربائية استخداماً في محطات ضخ المياه لأنها الأبسط والأكثر اقتصادية بالمقارنة مع بقية أنواع المحركات الأخرى، لذلك تركزت الأبحاث على تطوير أنظمة قيادة هذه المحركات بالاعتماد على أنواع مختلفة من المبدلات الإلكترونية، ومنه تبرز الحاجة الملحة لتطوير أنظمة قيادة انطلاقاً من مصادر طاقات متجددة مجانية وصديقة للبيئة [7].

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 [2].

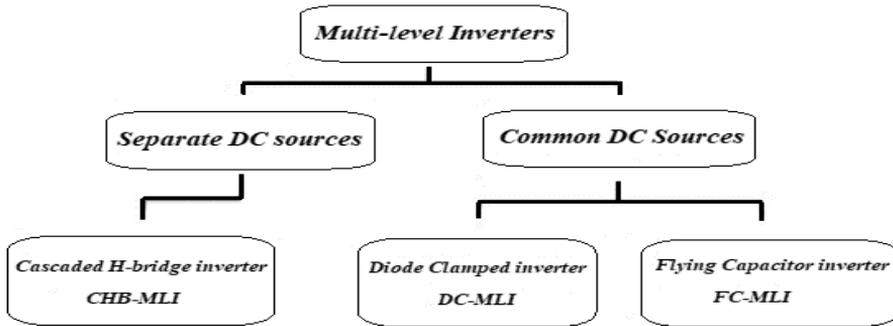
تم إدخال مفهوم العاكس متعدد المستويات منذ عام 1975، من خلال وضع مجموعة من خلايا DC بشكل متسلسل لتوليد جهد متناوب AC ومعه بدأ مصطلح Multilevel [4]، ومنذ ذلك الوقت تم تطوير العديد من طبولوجيا العاكس المتعدد المستويات، فعلى الرغم من ظهور هذه التكنولوجيا باكراً، إلا أن التعقيد الكبير في قيادتها جعل من غير 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 [2,8].

### 1.2 أشهر أنواع العواكس متعددة المستويات

يوضح الشكل (1) أشهر أنواع العواكس متعددة المستويات، وفيما يلي ميزات وسيئات كل منها [6]:



## الشكل 1: أشهر أنواع العواكس متعددة المستويات

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

#### المميزات:

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

#### المساوئ:

- 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)-2

#### المميزات:

- كلما ازداد عدد مستويات الجهد يتم تقليل معدل التشوه مع تجنب دارات المرشحات.

- كمية كبيرة من القدرة المخزنة ضمن المكثفات.

#### المساوئ:

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

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

#### المميزات:

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

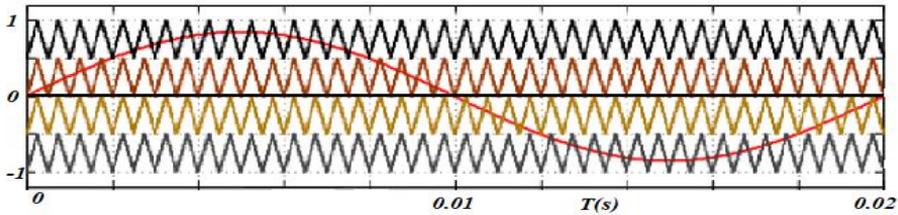
#### المساوئ:

- يحتاج لمصدر جهد مستمر DC منفصل لكل مستوى.

### 1.3 استراتيجية التعديل لتوليد نبضات القذح لـ MLI

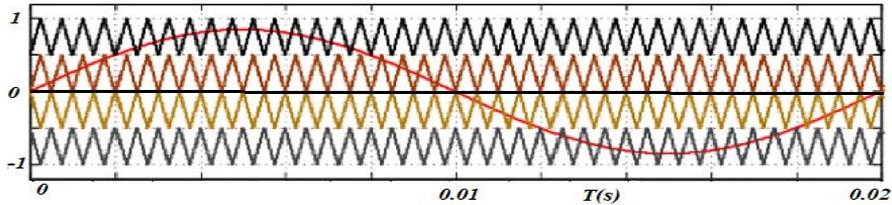
سنعتمد في هذا البحث على طريقة SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) لتوليد نبضات القذح للعناصر الإلكترونية وفقاً لثلاث استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات إشارة الحامل المثلثية [2]، وهي:

1. Phase Disposition (PD-PWM): جميع إشارات الحامل المثلثية لها نفس الطور كما هو موضح بالشكل (2).



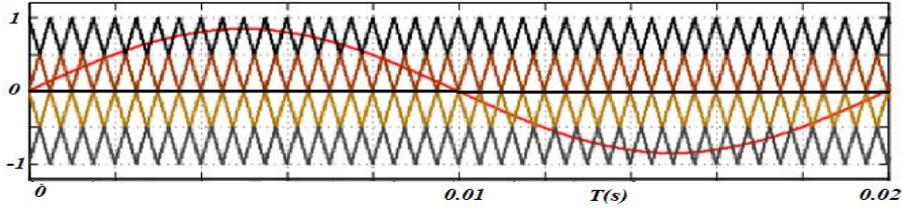
الشكل 2: استراتيجية (PD-PWM)

2. Phase Opposition Disposition (POD-PWM): جميع إشارات الحامل المثلثية التي تقع فوق خط الصفر لها ذات الطور وتكون مختلفة بالطور عن تلك التي تقع تحت خط الصفر بمقدار 180 درجة، كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل 3: استراتيجية (POD-PWM)

3. Alternative Phase opposition Disposition (APOD-PWM): جميع إشارات الحامل المثلثية مزاحة بالطور عن بعضها البعض بمقدار 180 درجة، كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل 4: استراتيجية (APOD-PWM)

## 2. الدراسات المرجعية

[1]. قام الباحث (sharma) وآخرون عام 2019 بدراسة كيفية استخدام الإنفرتير متعدد المستويات ذو النقطة المشتركة (NPC) انطلاقاً من مصادر الطاقة المتجددة، حيث بين الباحث أهمية استخدام الإنفرتيرات متعددة المستويات لقيادة المحركات التحريضية نظراً لانخفاض معدل  $(dv/dt)$  بالإضافة لمعدل التشوه التوافقي THD المنخفض لموجة الجهد.

تم تحليل أداء عاكس ثلاثي الطور ذو ثلاث مستويات باستخدام برنامج Matlab/Simulink حيث تم توليد نبضات القذح باستخدام استراتيجية (SVPWM) وقام بتوضيح أداء المحرك من حيث العزم والسرعة والتحليل التوافقي للإشارة الناتجة، كما أوصى الباحث باستخدام هذا البحث في تطبيقات ضخ المياه بالطاقة الشمسية [9].

[2]. قام الباحث (Billel) وآخرون عام 2018 بتطوير نظام ضخ كهربائي منخفض التكلفة انطلاقاً من منظومة ألواح كهروضوئية PV بالاعتماد على المحركات التحريضية (IM).

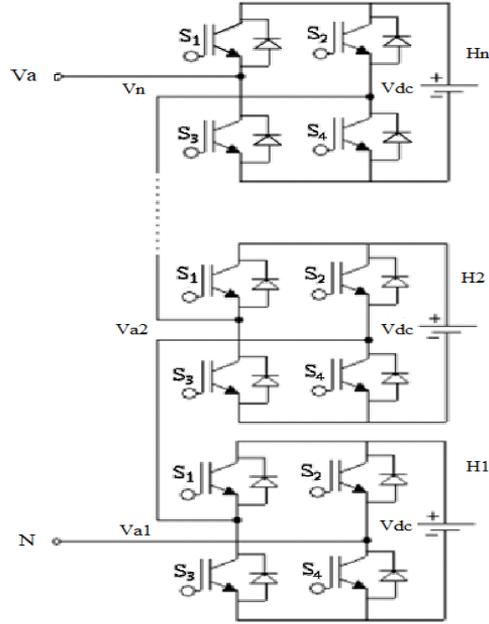
يقوم هذا النظام بملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى باستخدام خوارزمية (P&O) لتسريع تتبع نقطة الاستطاعة في ظل التغيرات الإشعاعية المفاجئة بالإضافة إلى استخدام تقنية التحكم المباشر بالعزم (DTC) لقيادة المحرك التحريضي، كما قاموا بوضع نموذج Matlab للنظام المقترح لتقييم أداءه، حيث أشارت النتائج إلى الأداء المميز للنظام المقترح [11].

[3]. قام الباحث (Singh) وآخرون في عام 2018 بتقديم نظام لضخ المياه بالطاقة الكهروضوئية بسيط وفعال يتكون من مرحلتين: بالمرحلة الأولى يتم استخراج الطاقة العظمى من مصفوفة الألواح الكهروضوئية عن طريق التحكم بنسبة التشغيل Duty Cycle لمحول رافع للجهد من نوع Boost باستخدام استراتيجية (INC) لملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى.

أما المرحلة الثانية فهي تتكون من دائرة الإنفرتتر ثلاثي الطور يعمل على تحويل الطاقة الكهربائية المستمرة على خرج دائرة المقطع من DC إلى AC، حيث أن الإنفرتتر مجهز للعمل وفق نظام V/F للتحكم بسرعة مضخة المياه تبعاً لتغير شدة الإشعاع الشمسي، وقد بينت النتائج فعالية النظام المقترح [10].

### 3. أهداف البحث

يهدف هذا البحث لدراسة استخدام العاكس متعدد المستويات التسلسلي (-CHB MLI) الموضح بالشكل (5) لقيادة مضخات المياه الكهروضوئية وفق نظام V/F بحيث يتم التحكم بكمية المياه المتدفقة تبعاً لشدة الإشعاع الشمسي، حيث سنعمد في البداية إلى تحديد الاستراتيجية الأنسب لتوليد نبضات القرح لتحقيق أقل معدل تشوه توافقي THD لموجة جهد وتيار الحمل، والذي بدوره يعبر عن مدى كفاءة هذا النوع في تحويل الطاقة المستمرة إلى متناوبة.



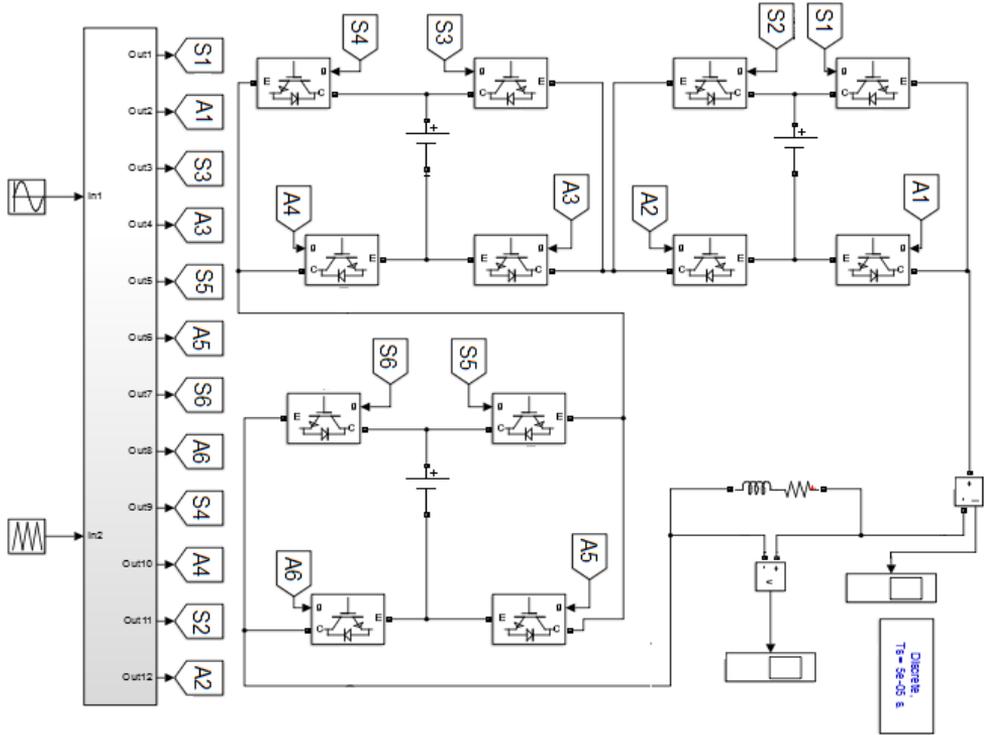
الشكل 5: بنية العاكس (CHB-MLI)

#### 4. منهجية البحث

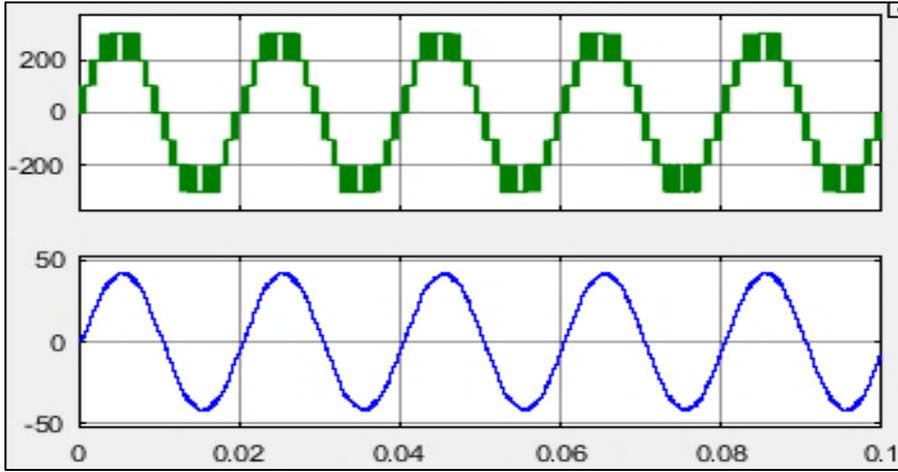
تم استخدام برنامج Matlab Simulink لمحاكاة دائرة العاكس متعدد المستويات (CHB-MLI) ذو 5 و 7 و 9 مستويات عند استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات الفتح، ومن ثم تم إجراء تحليل فورييه باستخدام الأداة FFT Analysis للحصول على معدل التشوه التوافقي THD لكل من موجة الجهد والتيار الناتج عند ترددات مختلفة.

يوضح الشكل (6) نموذج MATLAB / Simulink للعاكس التسلسلي (CHB) ذو سبع مستويات أحادي الطور، باستخدام استراتيجية التعديل (APOD-PWM) وعند تردد موجة حامل  $3000 \text{ Hz}$ ، خرج العاكس متصل بحمولة تحريضية قيمتها  $Z_L = 0.7 + 0.003j$ .

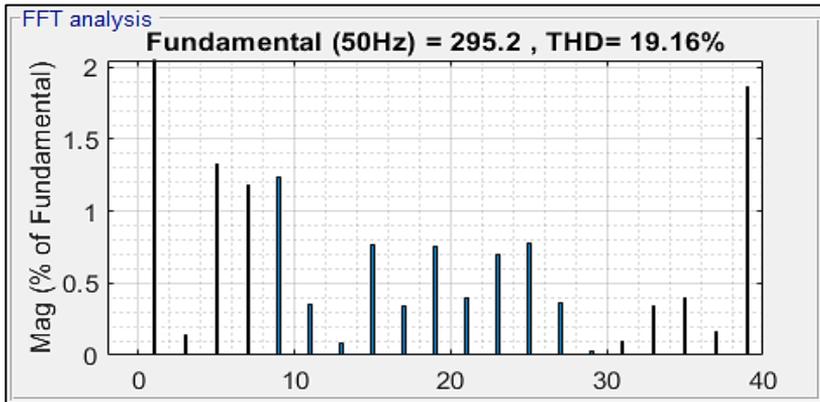
إشارة موجة جهد وتيار الحمل للعاكس موضحة بالشكل (7)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة الجهد كان بقيمة 19.16% كما هو موضح بالشكل (8)، في حين أن معدل التشوه التوافقي لموجة التيار الناتجة 2.69%، كما هو موضح بالشكل (9).



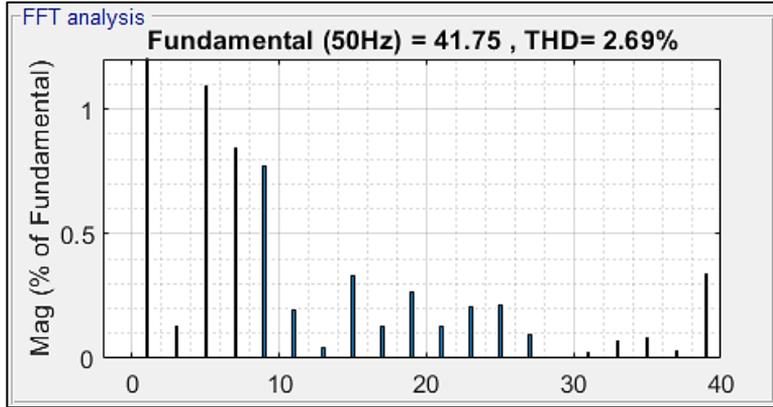
الشكل 6: نموذج MATLAB للعاكس (CHB-7 L)



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



الشكل 8: التحليل التوافقي لموجة جهد الخرج للعاكس (CHB-7 L)



الشكل 9: التحليل التوافقي لموجة تيار الحمل للعاكس (CHB-7 L)

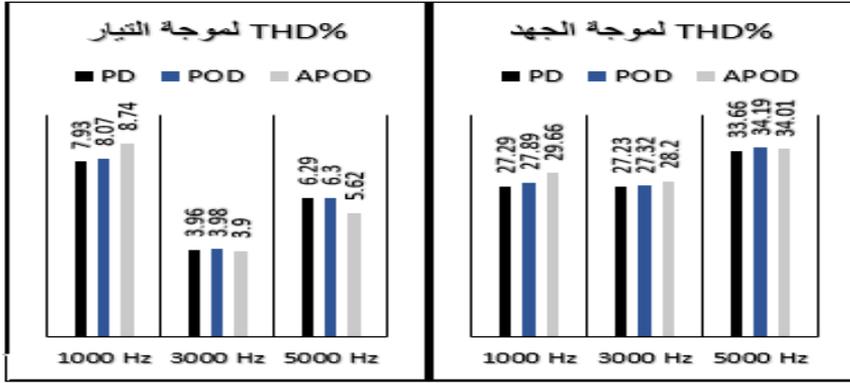
### 3.1 مقارنة بين أشهر استراتيجيات التعديل (PD-POD-APOD)

تمت محاكاة أشهر استراتيجيات التعديل PD-POD-APOD لتوليد نبضات القرح 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 الموجودة بالأشكال (10) و (11) و (12) و (13)، حيث نلاحظ العلاقة بين ترددات التبديل المختلفة واستراتيجية التعديل المتبعة لتوليد نبضات القرح لعناصر إلكترونيات القدرة، وكذلك تأثير زيادة عدد مستويات موجة الجهد على قيمة معدل التشوه التوافقي للموجة الناتجة، حيث أن:

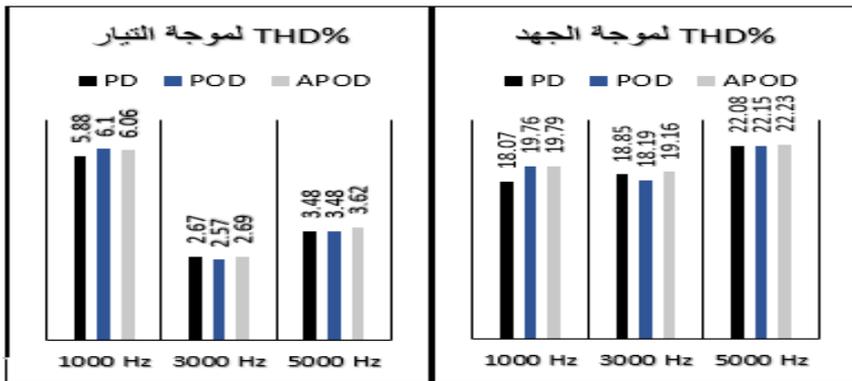
- أقل معدل تشوه توافقي عند تردد تبديل  $3000 H_z$ ، عند استراتيجيات التعديل المختلفة، وكذلك عند عدد مستويات جهد مختلفة، كما هو موضح بالشكل (10)، الشكل (11) والشكل (12).
- معدل التشوه التوافقي THD يتناسب عكساً مع عدد مستويات الجهد، كما هو موضح في الشكل (13)، حيث أنه عند استراتيجية تعديل PD-PWM كانت

موجة الجهد ذات تسع مستويات تملك أقل معدل تشوه توافقي مقارنة بالمستويات الأخرى وعند ترددات تبديل مختلفة.

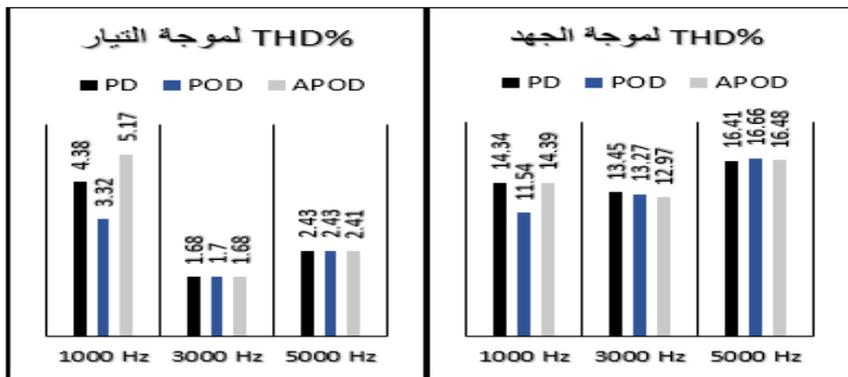
- عند تردد تبديل  $1000 H_z$  كان معدل التشوه التوافقي لموجة جهد وتيار الحمل الأعلى مقارنة بالترددات الأخرى.
- معدل التشوه التوافقي عند تردد  $5000 H_z$  أعلى منه عند تردد  $3000 H_z$ ، وعليه فإنه عند ترددات التبديل المرتفعة نسبياً يزداد معدل التشوه التوافقي طردياً مع ازدياد التردد.
- أفضل معدل تشوه 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.



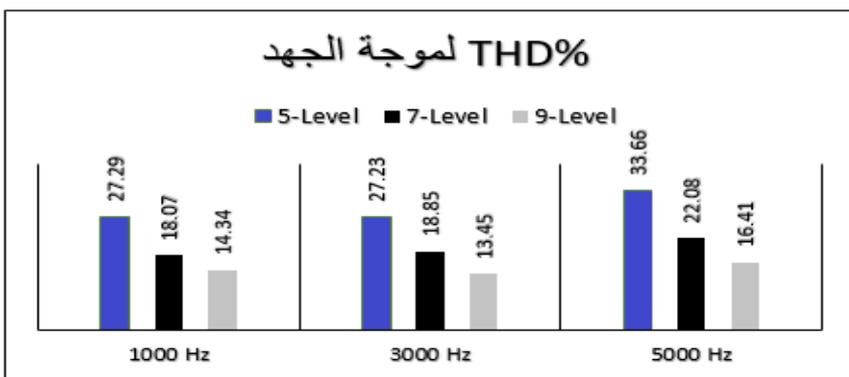
الشكل 10: معدل التشوه التوافقي للعاكس التسلسلي CHB-5



الشكل 11: معدل التشوه التوافقي للعاكس التسلسلي CHB-7



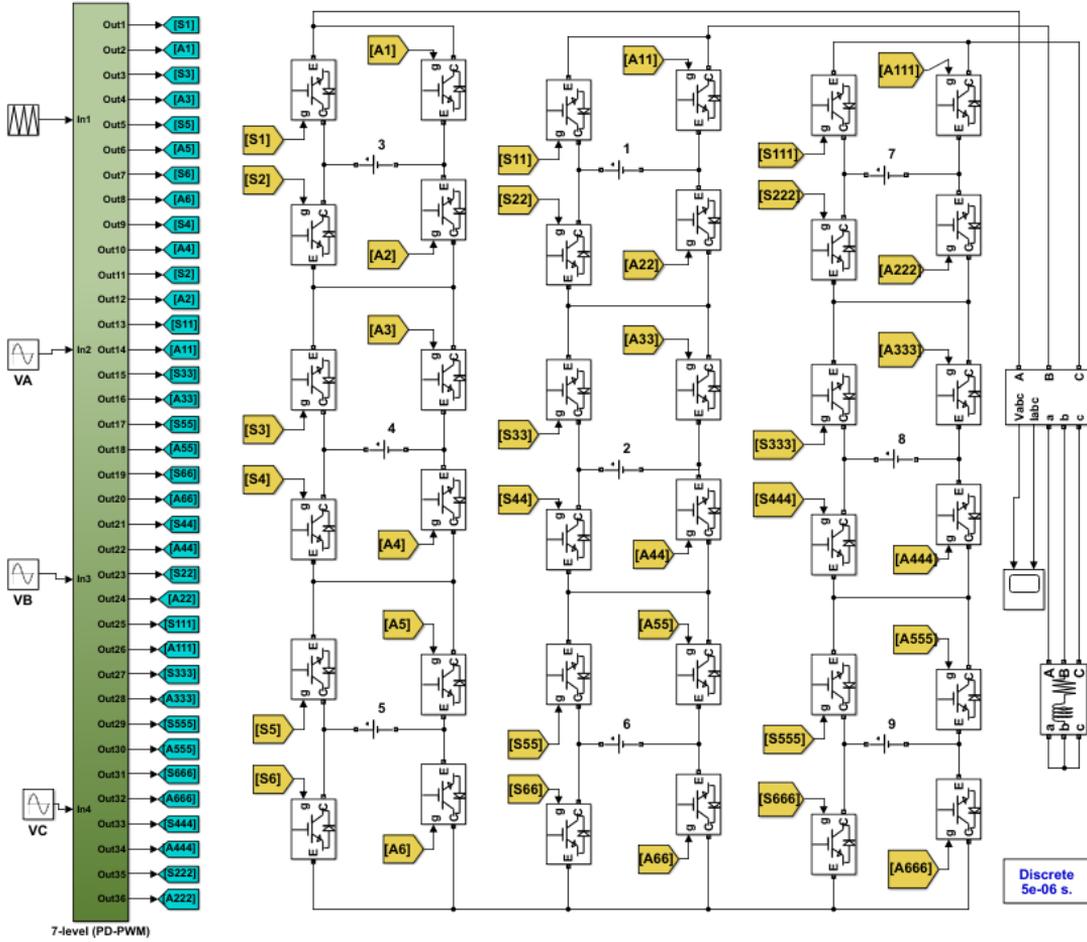
الشكل 12: معدل التشوه التوافقي للعاكس التسلسلي CHB-9



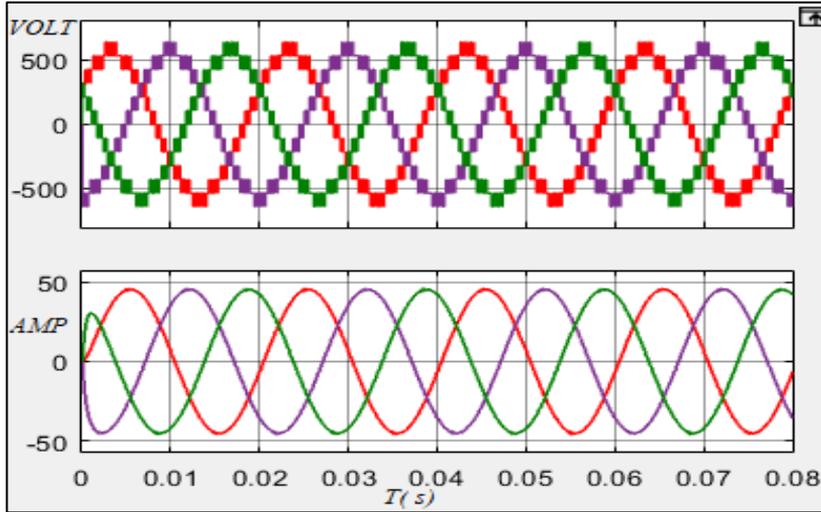
الشكل 13: معدل التشوه التوافقي عند استراتيجية PD-PWM

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

يوضح الشكل (14) 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  $Z_L = 7 + 0.003j$



الشكل 14: نموذج MATLAB للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور



الشكل 15: موجة الجهد والتيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور

إشارة موجة جهد الخرج والتيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور موضحة بالشكل (15)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة جهد الخط كانت بقيمة 10.70%، بينما معدل التشوه التوافقي لموجة تيار الخط الناتجة كانت 0.85%.

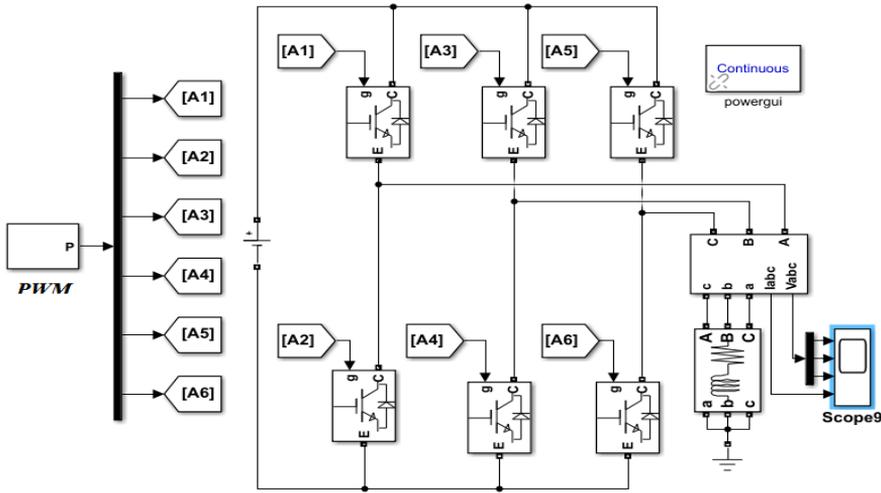
تمت محاكاة استراتيجيات التعديل المختلفة لتوليد نبضات القرح على نموذج العاكس متعدد المستويات (CHB-7 LEVEL) ثلاثي الطور عند تردد تبديل 3000 Hz فكان معدل التشوه التوافقي THD الناتج لكل طريقة على حدى موضحاً بالجدول (1) التالي.

الجدول 1: 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%   | 1.60%  |

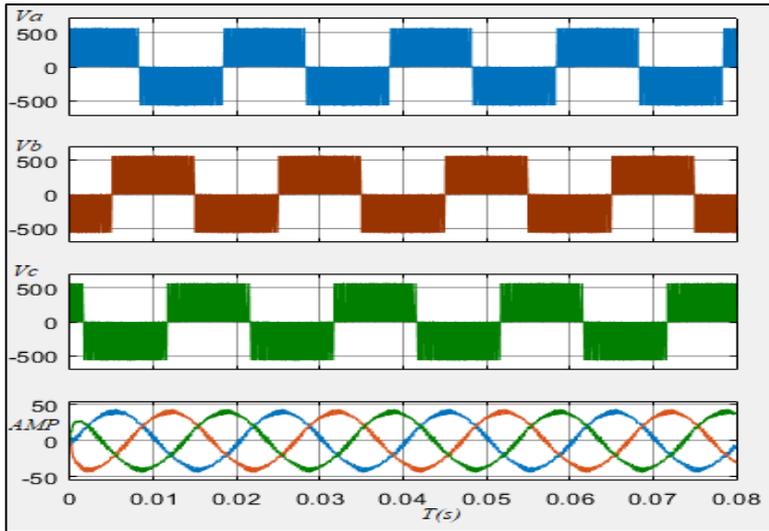
بناء عليه نلاحظ أن تقنية (PD-PWM) هي الأفضل من ناحية التشوه التوافقي THD مقارنة مع الطرق الأخرى، وعليه سنقوم بإجراء مقارنة مع دائرة العاكس التقليدية ثلاثية الطور.

يوضح الشكل (16) نموذج MATLAB / Simulink للعاكس ثلاثي الطور التقليدي ذو مستويين وعند تردد موجة حامل  $3000 \text{ Hz}$ ، خرج العاكس متصل بحمولة تحريضية قيمتها  $Z_L = 7 + 0.003j$ .

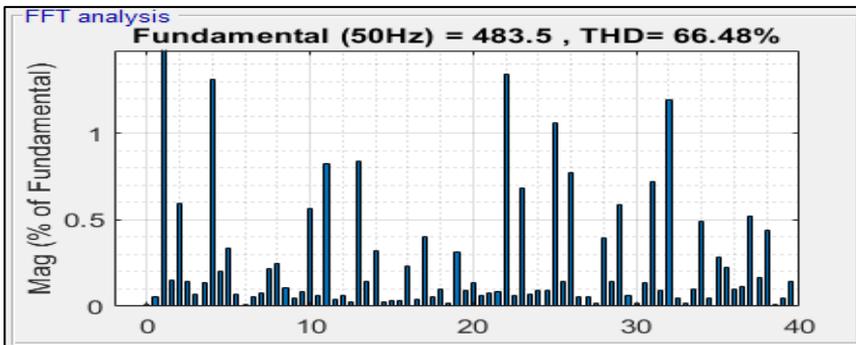


الشكل 16: نموذج MATLAB للعاكس التقليدي ثلاثي الطور

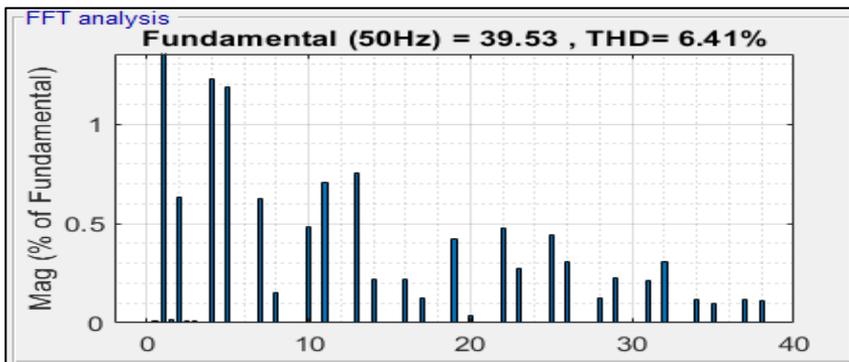
إشارة موجة جهد الخرج وتيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور بدون استخدام مرشحات موضحة بالشكل (17)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة جهد الخط كانت بقيمة 66.48% كما هو موضح بالشكل (18)، في حين أن معدل التشوه التوافقي لموجة تيار الخط الناتجة 6.41% كما هو موضح بالشكل (19).



الشكل 17: إشارة موجة جهد و تيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور

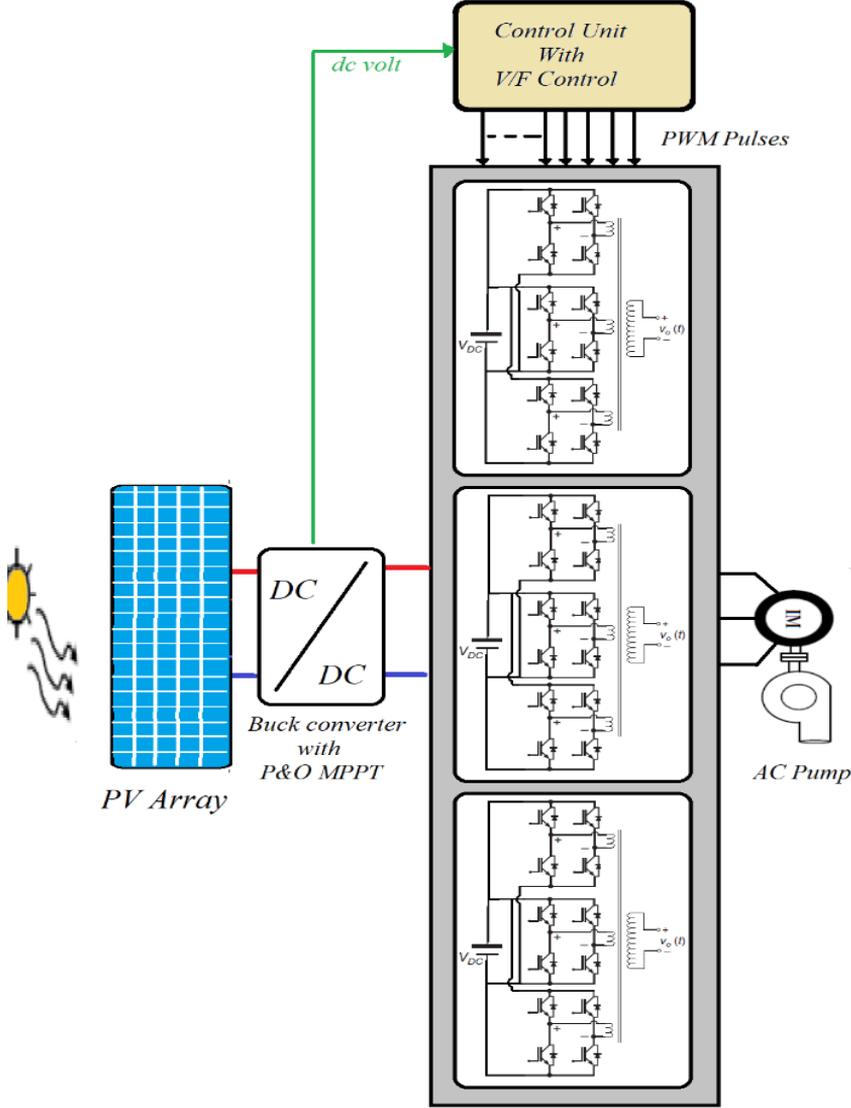


الشكل 18: THD لموجة جهد الخط للعاكس التقليدي ثلاثي الطور



الشكل 19: THD لموجة تيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور

### 3.3 مخطط النظام المقترح



الشكل 20: النظام المقترح لقيادة المضخة الكهروضوئية

يهدف المخطط المقترح الموضح في الشكل (20) إلى تطوير نظام قيادة لمضخة المياه يعتمد على تقنية العاكس متعدد المستويات، ودراسة الخصائص السابقة لهذا النوع،

تم اعتماد تقنية العاكس (CHB-MLI) ثلاثي الطور ذو سبع مستويات وفق استراتيجية التعديل PD-PWM، وفقاً لهذا المخطط سنحتاج لمنبع تغذية DC واحد متمثل بالمصفوفة الكهروضوئية وذلك بسبب استخدام محولات عزل ضمن البنية الداخلية للعاكس لتجنب استخدام منابع dc منفصلة لكل مستوى على حدى وبالتالي الحصول على أقصى مردود، يوجد على خرج المصفوفة الكهروضوئية مقطع تخفيض يعمل على ملاحقة نقطة الإستطاعة العظمى وتحويل التغير الحاصل في الإشعاع الشمسي إلى تغير في جهد الخرج للمصفوفة الكهروضوئية.

نظام التحكم العام بالعاكس المقترح مجهز للعمل وفق نظام التحكم السلمي،  $v/f$  لتشغيل محرك المضخة التحريضي والتحكم بسرعه.

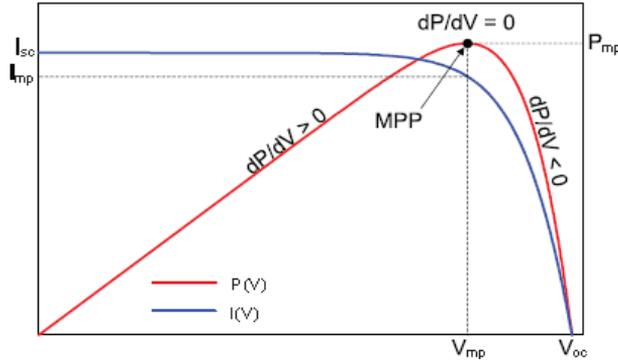
### 3.3.1 ملاحقة نقطة الإستطاعة العظمى

إن تيار وجهد المصفوفة الكهروضوئية يتعلق بدرجة الحرارة وبشدة الإشعاع الساقط على الخلية، وبما أن هذين البارامترين متغيران بصورة مستمرة خلال النهار إذاً ستتغير خصائص المصفوفة الكهروضوئية بشكل مستمر خلال النهار.

بما أن فعالية تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية في الخلايا الكهروضوئية منخفضة بشكل عام (حوالي 15 % ويمكن أن تصل إلى 30 % في أحسن الأحوال)، لا تزال تكلفة الطاقة الكهروضوئية عالية (بالمقارنة مع كلفة الطاقة الكهربائية المتاحة من المصادر التقليدية)، ولذلك فإنه من المهم والضروري الحصول على الحد الأقصى المُتاح من الطاقة الكهربائية انطلاقاً من الخلايا الكهروضوئية، عن طريق ضمان عمل مبدلة DC/DC بالشكل الأمثل، مما يتيح الحصول على الطاقة الأعظمية عند العمل بالتوتر والتيار المقابلين لنقطة المنحني الموافقة لنقطة الاستطاعة الأعظمية، ولكن هذه النقطة غير ثابتة و تتعلق بالإشعاع الشمسي، لذلك يجب ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية (MPPT) Maximum Power Point Tracking.

من أشهر الطرق المتبعة في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية هي طريقة الارتياح والملاحظة (Perturbation and Observation) (P&O)، والتي تعتمد على الحقيقة القائلة: أنه في مميزات الجهد/استطاعة (P-V) للمنظومة الكهروضوئية، في الجهة اليسرى من نقطة الاستطاعة الأعظمية MPP يكون تغير الاستطاعة بالنسبة إلى الجهد موجباً أي  $dP/dV > 0$  أما في الجهة اليمنى يكون  $dP/dV < 0$ ، كما هو موضح في الشكل (21)، [1].

أي أن مشتق الاستطاعة بالنسبة إلى الجهد (التيار) لمنظومة ال PV يساوي الصفر عند ال MPP.



الشكل 21: منحنى (I-V) ومنحنى (P-V) في طريقة P&O.

- عند ال MPP يكون  $dV/dP = 0$  ( $dI/dP = 0$ )
- على اليسار يكون  $dV/dP > 0$  ( $dI/dP < 0$ )
- على اليمين يكون  $dV/dP < 0$  ( $dI/dP > 0$ )

إذا كان جهد نقطة العمل متغيراً في اتجاه معطى وكان  $dP/dV > 0$  فإن التغير سيحرك نقطة عمل المنظومة باتجاه ال MPP. وهكذا تستمر خوارزمية ال P&O حتى تجعل جهد المنظومة الكهروضوئية بالاتجاه نفسه.

أما إذا كان  $dp/dV < 0$  فإن التغير في نقطة العمل سيبعد المنظومة الكهروضوئية عن الـ MPP . بالتالي تعكس خوارزمية الـ P&O اتجاه التغير لتعيد نقطة العمل باتجاه نقطة الـ MPP .

الميزة الرئيسية لهذه الطريقة أنها سهلة التطبيق وتحتاج إلى متطلبات حسابية منخفضة، قابلة للتطبيق في معظم الأنظمة، ولا تحتاج إلى أية معلومات عن المصفوفة الكهروضوئية سوى قياس الجهد والتيار .

وفقاً للنظام المقترح فإنه على خرج كل مصفوفة يوجد مقطع تخفيض (Buck) سيقوم بملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى وفق خوارزمية (P&O) لتحويل التغير الحاصل في الإشعاع الشمسي إلى تغيير في الجهد على خرج دائرة المقطع.

### 3.3.2 التحكم السلمي V/F scalar control

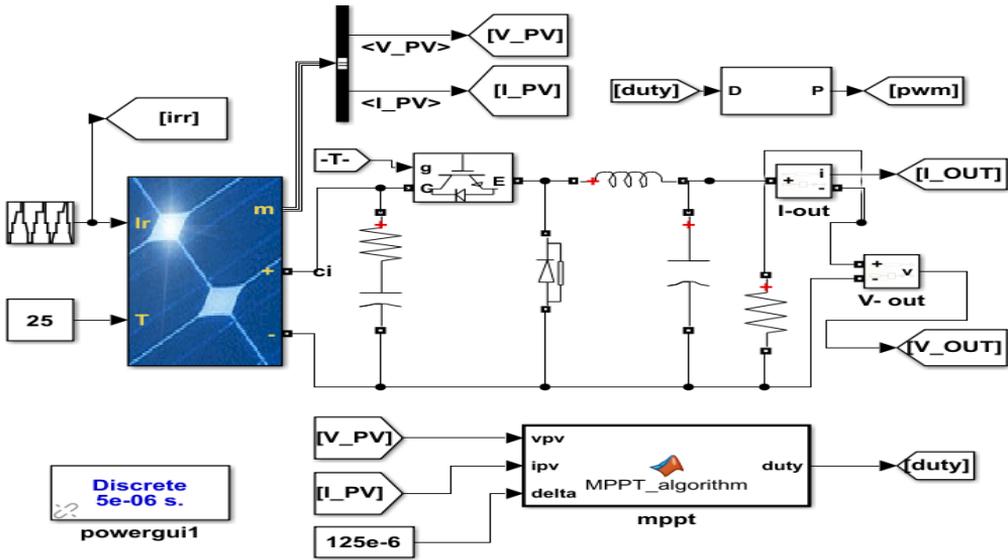
تسمى هذه التقنية بالتحكم السلمي لأن شعاع الحقل غير مستخدم ويكون التردد والجهد هي المتغيرات الرئيسية التي تطبق على ملفات الثابت، ويتم تجاهل حالة الدوار وهذا يعني أنه لا توجد تغذية عكسية لإشارة السرعة والموضع، ولهذا يعتبرها النوع من القيادة حلقة مفتوحة وهو مناسب للمضخات والمراوح والتطبيقات التي لا تتطلب مستويات عالية من الدقة. كانت تعتبر هذه الطريقة من أكثر طرق التحكم شيوعاً، فإذا كان المطلوب تخفيض التردد المحدد عند جهد تغذية معين، فإن فيض الثغرة الهوائية سيميل إلى الإثباع مسبباً زيادة مفرطة في تيار الثابت وتشوهاً في موجة الفيض .

بناءً على ذلك يجب أن يكون التخفيض في التردد مصحوباً بتقليل جهد الثابت من أجل الحفاظ على فيض الثغرة الهوائية ثابتاً للمحرك التحريضي، يمكن استخدام هذه التقنية للحصول على عزوم إقلاع جيدة وحالة مستقرة جيدة، وباختصار هذه الطريقة هي إمداد المحرك بالجهد المطلوب متناسباً مع التردد المكافئ للسرعة المطلوبة بغض النظر عن حمل المحرك الميكانيكي والسرعة الفعلية التي يدور بها المحرك [5].

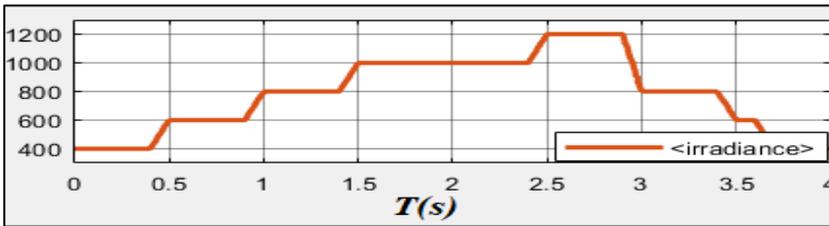
### 3.4 الاختبارات والنتائج

#### 3.4.1 دائرة مقطع التخفيض Buck converter

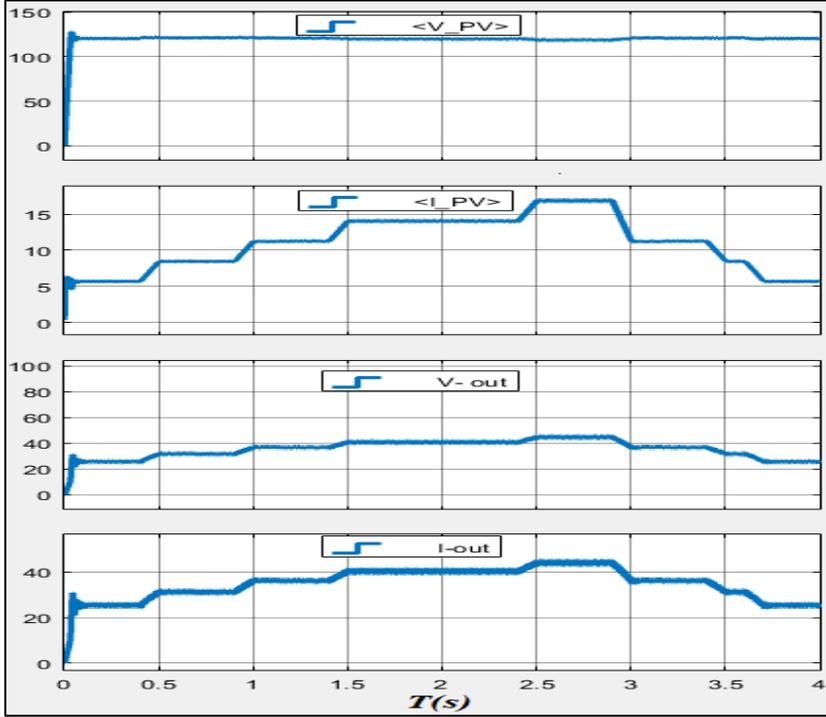
تمت نمذجة دائرة مقطع التخفيض (Buck) الموضحة بالشكل (22) تقوم بملاحظة نقطة الاستطاعة العظمى Mppt وفق خوارزمية P&O، تتوضع هذه الدارة وفقاً للنظام المقترح على خرج المصفوفة الكهروضوئية، بحيث تتعرض وفقاً لنموذج الاختبار لإشعاع شمسي موضح بالشكل (23).



الشكل 22: نموذج MATLAB لمقطع Buck يعمل وفق خوارزمية P&O



الشكل 23: تغيرات الإشعاع الشمسي وفق النموذج التجريبي لمقطع التخفيض

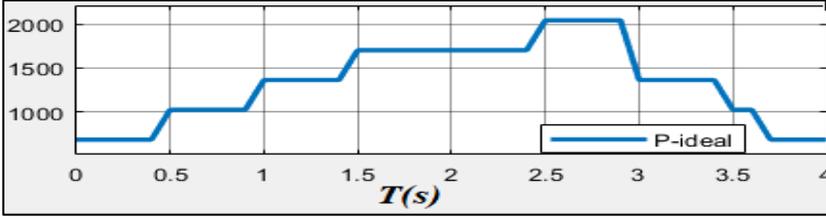


الشكل 24: التيارات والجهود على دخل وخرج دائرة المقطع

جهود الدخل والخرج لدائرة المقطع موضحة بالشكل (24) حيث كان جهد الدخل على دائرة المقطع (خرج المصفوفة الكهروضوئية) ثابت مع تغير التيار على خرج المصفوفة الكهروضوئية بناء على تغير شدة الإشعاع الشمسي.

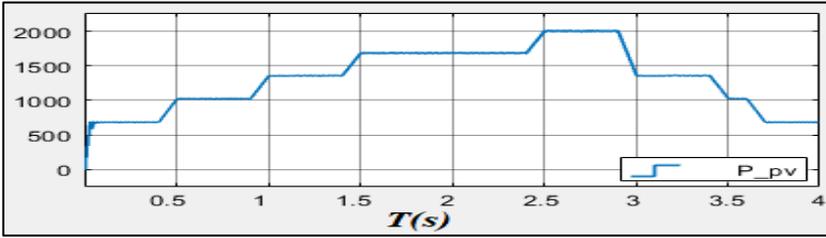
جهد الخرج لدائرة المقطع كان بقيمة متغيرة تتوافق مع قيمة تيار الخرج الذي يرتبط بالحمل على خرج دائرة المقطع.

الاستطاعة النموذجية المقدمة من المصفوفة الكهروضوئية عند نقطة الاستطاعة العظمى موضحة بالشكل (25).



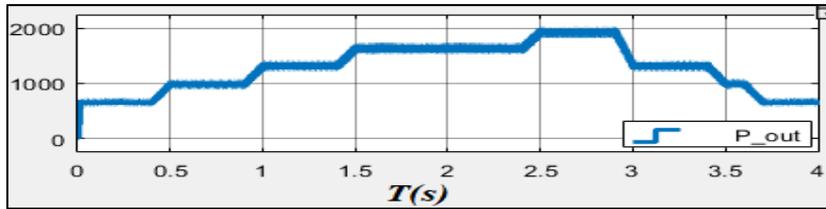
الشكل 25: الاستطاعة الاسمية للمصفوفة الكهروضوئية

الاستطاعة على خرج المصفوفة الكهروضوئية (الاستطاعة المستجرة من المصفوفة الكهروضوئية) موضحة بالشكل (26).



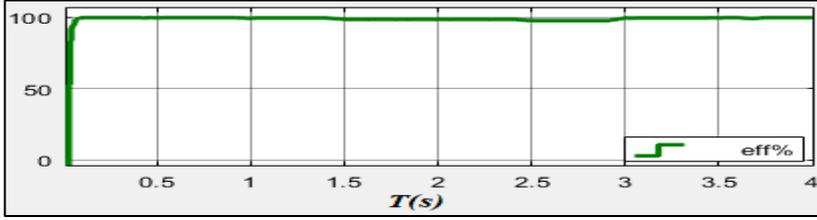
الشكل 26: الاستطاعة المستجرة من المصفوفة الكهروضوئية

الاستطاعة على خرج دائرة المقطع موضحة بالشكل (27).



الشكل 27: الاستطاعة على خرج دائرة المقطع

مردود المصفوفة الكهروضوئية مع دائرة مقطع وفق خوارزمية P&O لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية  $\eta = 98\%$ ، كما هو موضح بالشكل (28).



الشكل 28: مردود المصفوفة الكهروضوئية

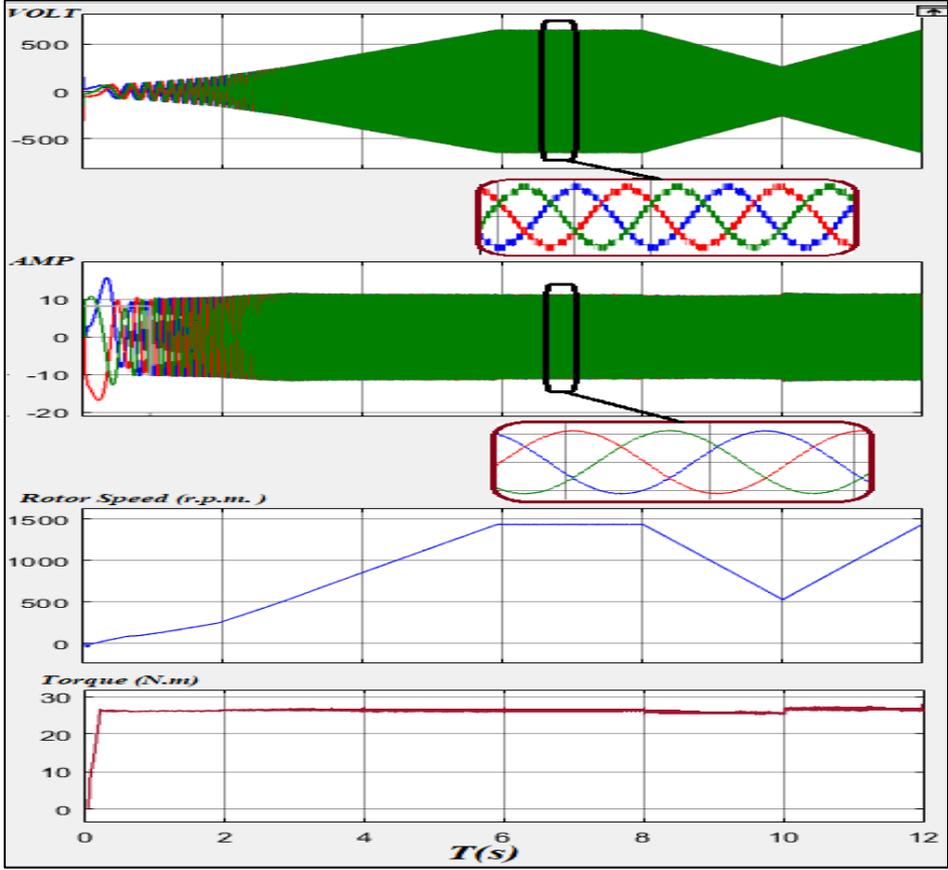
### 3.4.2 دائرة العاكس (CHB-7L) ثلاثي الطور وفق نظام V/F

تمت نمذجة دائرة العاكس (CHB-7I) ثلاثي الطور وفق نظام V/F، حيث تم وصله مع محرك تحريضي له المواصفات التالية:

5.4 hp (4 KW), 400 V, 50Hz, 1430 RPM

العزم الاسمي للمحرك  $T_n = 26.7 \text{ N.M}$ ، في البداية تم إقلاع المحرك وفق نظام V/F للاستقرار على الجهد الاسمي له، حيث نلاحظ تغير السرعة بشكل تدريجي للاستقرار على السرعة الاسمية، فعند حدوث تغير في جهد الدخل للمحرك نلاحظ تغير السرعة مع ثبات تيار المحرك وكذلك ثبات العزم، كما هو موضح بالشكل (29).

وفق النظام المقترح فإن التغير الحاصل في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على المصفوفة الكهروضوئية يتم تحويله إلى تغير في جهد الخرج مع الحفاظ على الاستطاعة العظمى على خرج دائرة المقطع والذي بدوره سيؤدي إلى تغير في جهد الدخل لدائرة العاكس (CHB-7I) ثلاثي الطور الذي يعمل وفق نظام V/F فيقوم بتغير سرعة الدوران مع الحفاظ على العزم ثابت أي أنه تم تغيير شدة التدفق لمضخة المياه مع تغير شدة الإشعاع الشمسي، وعند قياس مقدار الطاقة الكهربائية المستجرة من قبل العاكس بلغت 95% من إجمالي الطاقة الكلية التي توفرها مصفوفة الألواح الكهروضوئية.



الشكل 29: تغيير سرعة المحرك مع تغيير جهد الثابت وثبات العزم

#### 4. الاستنتاجات والتوصيات

##### 4.1 الاستنتاجات

مما سبق نستنتج أن العاكس المتعدد المستويات التسلسلي CHB-7Level 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 (66.59%) بدون مرشح، وعليه فإن النظام المقترح لقيادة مضخات المياه الكهروضوئية يتمتع بكفاءة تحويل عالية للقدرة الكهربائية من شكلها المستمر للمتناوب، بالإضافة لموثوقيته العالية كونه مجهز للعمل وفق نظام V/F لقيادة المحركات التحريضة

حيث يعمل على تغيير سرعة المضخة بما يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي وبالتالي ضمان استمرار عملية ضخ المياه بما يتناسب مع كمية الإشعاع الشمسي دون توقف، حيث بلغت نسبة الطاقة المستجرة وفق هذا النظام من إجمالي الطاقة التي توفرها مصفوفة الألواح الكهروضوئية 95%.

#### 4.2 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  |
| Maximum Power Point Tracking             | MPPT |
| Phase Disposition                        | PD   |
| Phase Opposition Disposition             | POD  |
| Pulse Width Modulation                   | PWM  |
| Total harmonic distortion                | THD  |

- [1] Ahmed, J., & Salam, Z. "An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency," *Applied Energy*, 150, 97-108. (2015).
- [2] Debnath, S., Qin, J., Bahrani, B., Saadedifard, M., & Barbosa, P. "Operation, control, and applications of the modular multilevel converter: A review," *IEEE transactions on power electronics*, 30(1), 37-53. (2014).
- [3] 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).
- [4] Lai, J. S., & Peng, F. Z. "Multilevel converters-a new breed of power converters," *IEEE Transactions on industry applications*, 32(3), 509-517. (1996).
- [5] Peña, J. M., & Díaz, E. V. "Implementation of V/f scalar control for speed regulation of a three-phase induction motor," *IEEE andescon* (pp. 1-4). (2016).
- [6] 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).
- [7] Singh, B., Sharma, U., & Kumar, S. "Standalone photovoltaic water pumping system using induction motor drive with reduced sensors," *IEEE transactions on industry applications*, 54(4), 3645-3655. (2018).
- [8] 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).
- [9] Sharma, Ravi Kant. "Performance Analysis of Multilevel inverter based on SVPWM for Renewable Energy Sources." 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). IEEE, (2019).
- [10] Singh, Bhim, Utkarsh Sharma, and Shailendra Kumar. "Standalone photovoltaic water pumping system using induction motor drive with reduced sensors." *IEEE transactions on industry applications* 54.4 (2018): 3645-3655.
- [11] Talbi, Billel, et al. "A high-performance control scheme for photovoltaic pumping system under sudden irradiance and load changes." *Solar Energy* 159 (2018): 353-368.

