



كلية الهندسة - جامعة بغداد



جمعية كليات الهندسة  
اعضاء اتحاد الجامعات العربية

## العاكس متعدد المستويات لقيادة مضخات المياه الكهروضوئية

داني كمال ابراهيم<sup>1\*</sup>، قيس عيسى عيود<sup>2</sup>

<sup>1</sup> قسم الأتمتة الصناعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سوريا

<sup>2</sup> هندسة الأتمتة الصناعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سوريا، kais2019aboud@gmail.com

\* الباحث الممثل: داني ابراهيم، danyibrahim2@gmail.com

نشر في: 31 كانون الأول 2020

**الخلاصة-** 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 التقليدية 2-LEVEL. أظهرت النتائج تفوق استراتيجية Phase Disposition (PD-PWM)، 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 إنفرتز 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، المضخات الكهروضوئية، ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى MPPT، معدل التشوه التوافقي THD

### 1. المقدمة

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 للعواكس 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 مقارنةً 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]:

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

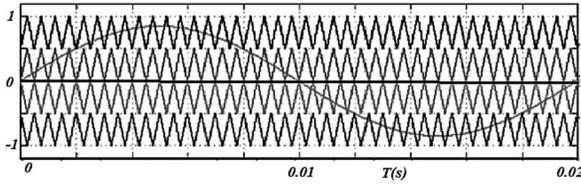
##### الميزات:

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

##### المساوئ:

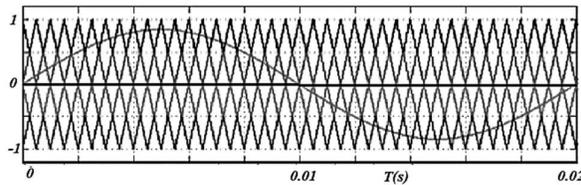
- كلما ازداد عدد مستويات الجهد، يزداد عدد الديودات المستخدمة في الدارة.

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 الترحيضية 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].



الشكل 3: استراتيجة (POD-PWM)

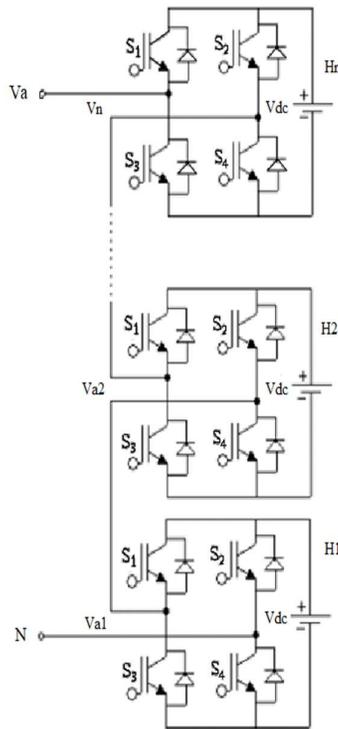
Alternative Phase opposition Disposition (APOD- 3 PWM): جميع إشارات الحامل المثلثية مزاحة بالطور عن بعضها البعض بمقدار 180 درجة، كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل 4: استراتيجة (APOD-PWM)

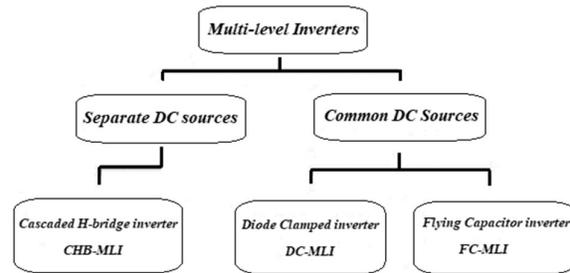
## 2. أهداف البحث

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 الاستراتيجة الأنسب لتوليد نبضات القدح 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).

- جهد الخرج له مطال يساوي نصف قيمة منبع DC.
- 2- Flying Capacitor Multilevel Inverter (FC-MLI)  
الميزات:  
• كلما ازداد عدد مستويات الجهد يتم تقليل معدل التشوه مع تجنب دارات المرشحات.  
• كمية كبيرة من القدرة المخزنة ضمن المكثفات.  
المساوي:  
• تكنولوجيا التحكم يمكن أن تكون معقدة.  
• ضياعات التبديل كبيرة جداً.
- 3- Cascaded H-bridge Multilevel Inverter (CHB-MLI)  
الميزات:  
• معدل التشوه منخفض جداً.  
• مقارنة بالأنواع الأخرى فهو يحتاج إلى عناصر أقل لكل مستوى.  
المساوي:  
• يحتاج لمصدر جهد مستمر DC منفصل لكل مستوى.

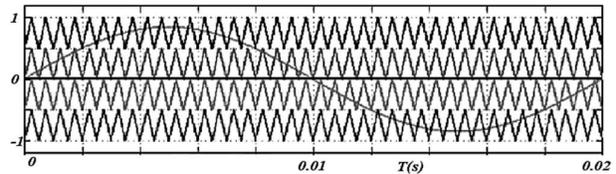


الشكل 1: أشهر أنواع العواكس متعددة المستويات

## 1.3 استراتيجة التعديل لتوليد نبضات القدح - MLI

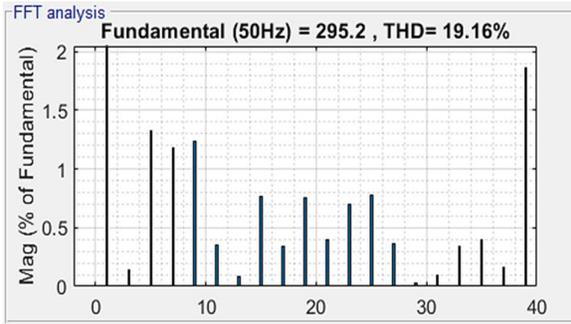
سنعمد في هذا البحث على طريقة (Sinusoidal Pulse Width Modulation) SPWM لتوليد نبضات القدح للعناصر الإلكترونية وفقاً لثلاث استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات إشارة الحامل المثلثية [2]، وهي:

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

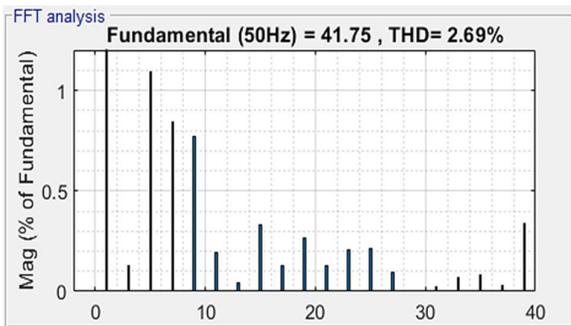


الشكل 2: استراتيجة (PD-PWM)

- 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).



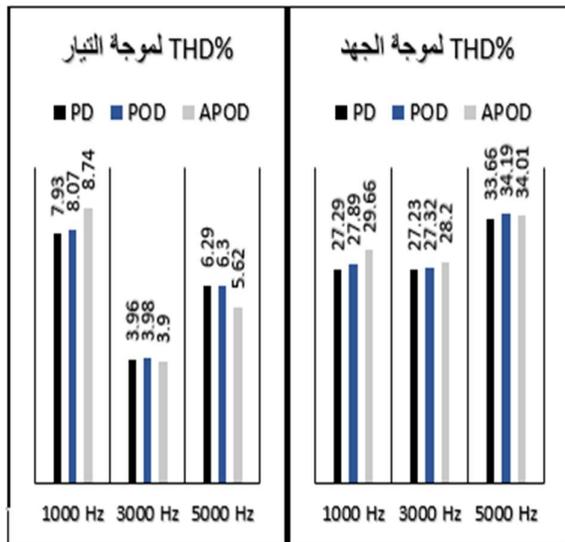
الشكل 8: التحليل التوافقي لموجة جهد الخرج للعاكس (CHB-7 L)



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 القذح ثلاث 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 القذح لعناصر إلكترونيات القدرة، وكذلك تأثير زيادة عدد مستويات موجة الجهد على قيمة معدل التشوه التوافقي للموجة الناتجة، حيث أن:



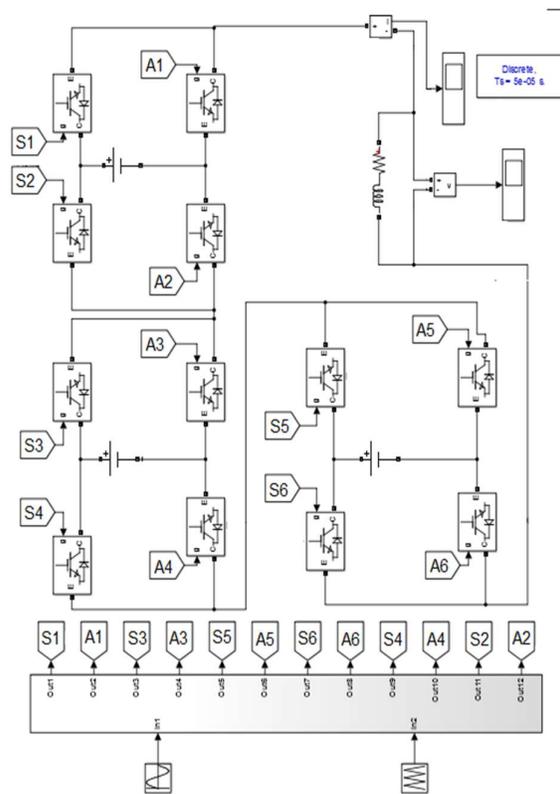
الشكل 10: معدل التشوه التوافقي للعاكس التسلسلي CHB-5

## 3. منهجية البحث

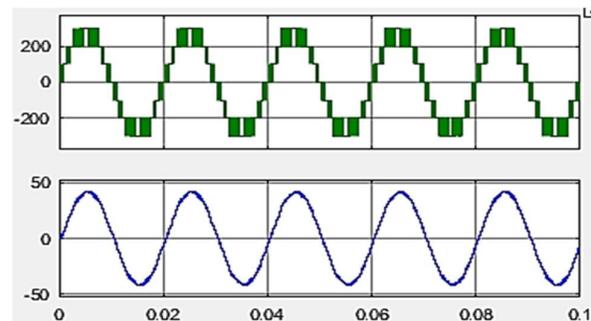
تم استخدام برنامج Matlab Simulink لمحاكاة دارة العاكس متعدد المستويات (CHB-MLI) ذو 5 و 7 و 9 مستويات عند استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات القذح، ومن ثم إجراء تحليل فورييه باستخدام الأداة FFT Analysis للحصول على معدل التشوه التوافقي THD لكل من موجة الجهد والتيار الناتج عند ترددات مختلفة.

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  $Z_L = 7 + 0.003j$ .

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 وتيار الحمل للعاكس (CHB-7 L)

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

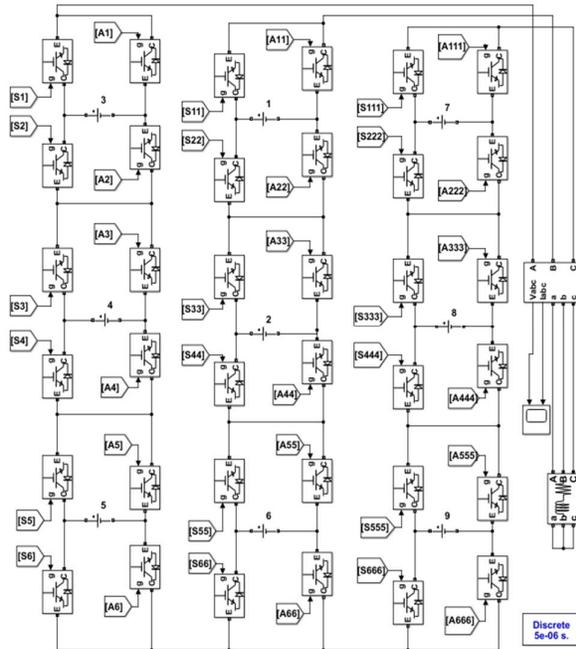
- عند تردد تبديل  $1000\text{ Hz}$  كان معدل التشوه التوافقي لموجة جهد وتيار الحمل الأعلى مقارنة بالترددات الأخرى.

- معدل التشوه التوافقي عند تردد  $5000\text{ Hz}$  أعلى منه عند تردد  $3000\text{ Hz}$ ، وعليه فإنه عند ترددات التبديل المرتفعة نسبياً يزداد معدل التشوه التوافقي طردياً مع ازدياد التردد.

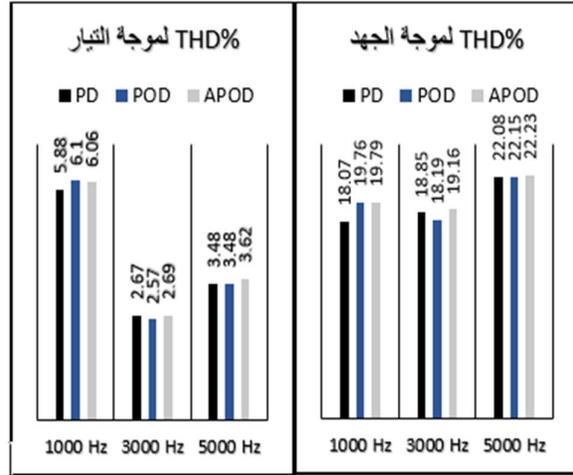
- أفضل معدل تشوه توافقي كان عند استراتيجيتي التعديل (PD) و (POD) حيث تتقارب معدلات التشوه التوافقي بينهما في حالة العاكس أحادي الطور، ولتحديد الأفضل بينهما ندرس حالة العاكس ثلاثي الطور.

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

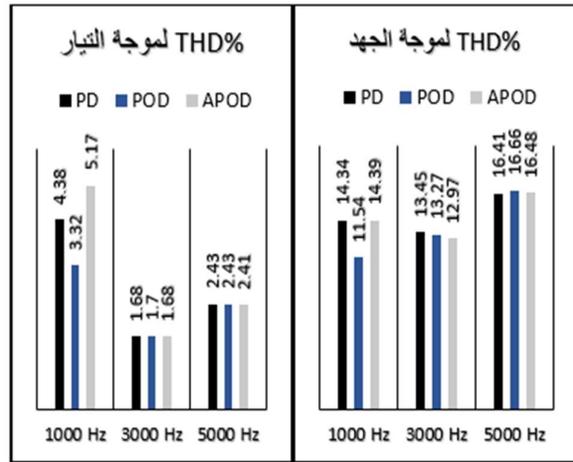
يوضح الشكل (14) نموذج MATLAB / Simulink للعاكس التسلسلي (CHB) ذو سبع مستويات ثلاثي الطور، باستخدام استراتيجية التعديل (PD-PWM) وعند تردد موجة حامل  $3000\text{ Hz}$ ، خرج العاكس متصل بحمولة تحريضية قيمتها  $Z_L = 7 + 0.003j$ .



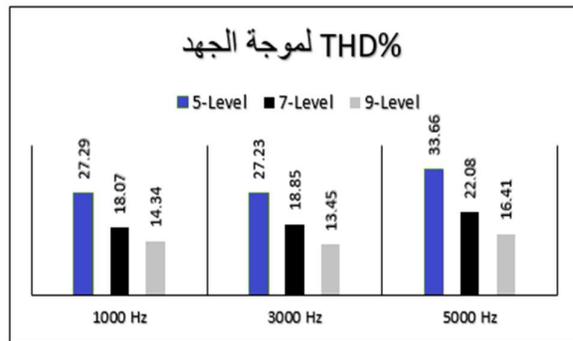
الشكل 14: نموذج MATLAB للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور



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

- أقل معدل تشوه توافقي عند تردد تبديل  $3000\text{ Hz}$ ، 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-

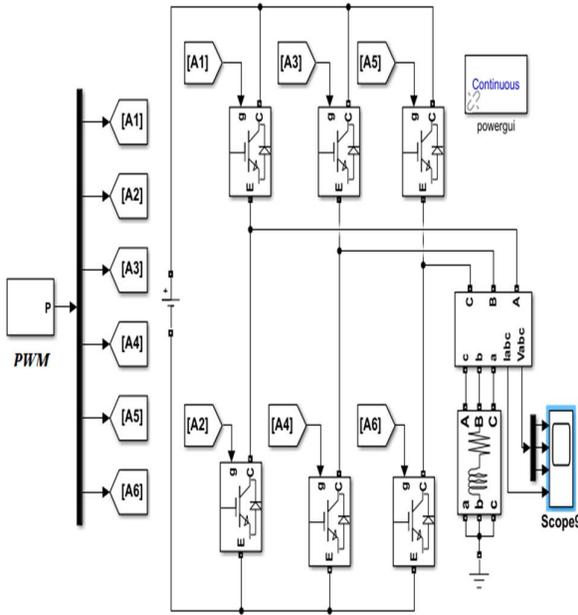
تبديل 3000 Hz فكان معدل التشوه التوافقي THD الناتج لكل طريقة على حدى موضحاً بالجدول (1) التالي.

الجدول 1: معدل التشوه التوافقي للعاكس (CHB-7 L) ثلاثي الطور

تردد التبديل 3000 Hz					
PD-PWM		POD-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%

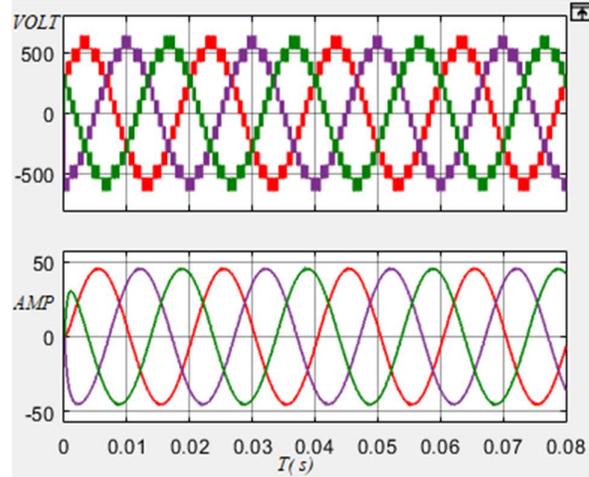
بناء عليه نلاحظ أن تقنية (PD-PWM) هي الأفضل من ناحية التشوه التوافقي THD مقارنة مع الطرق الأخرى، وعليه سنقوم بإجراء مقارنة مع دارة العاكس التقليدية ثلاثية الطور.

يوضح الشكل (18) نموذج MATLAB / Simulink للعاكس ثلاثي الطور التقليدي ذو مستويين وعند تردد موجة حامل  $3000 \text{ Hz}$ ، خرج العاكس متصل بحمولة تحريضية قيمتها  $Z_L = 7 + 0.003j$ .



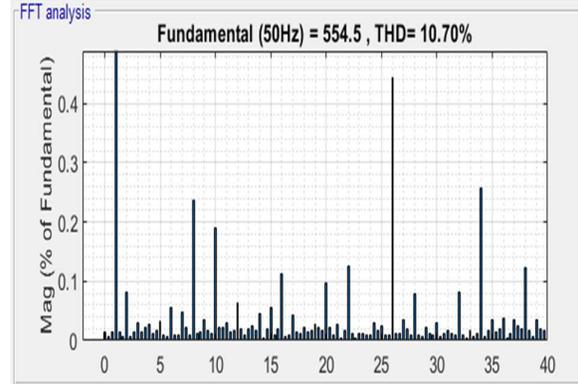
الشكل 18: نموذج MATLAB للعاكس التقليدي ثلاثي الطور

إشارة موجة جهد الخرج و تيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور بدون استخدام مرشحات موضحة بالشكل (19)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة جهد الخط كانت بقيمة 66.48% كما هو موضح بالشكل (20)، في حين أن معدل التشوه التوافقي لموجة تيار الخط الناتجة 6.41% كما هو موضح بالشكل (21).

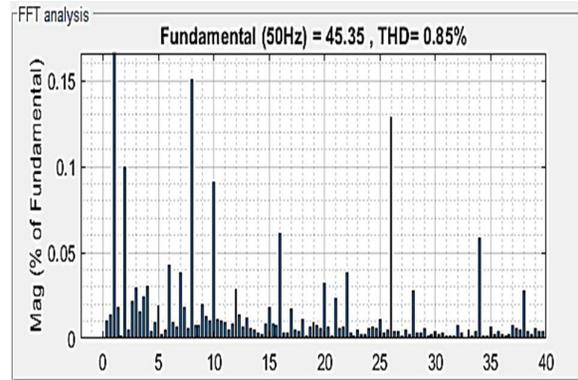


الشكل 15: موجة الجهد و تيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور

إشارة موجة جهد الخرج و تيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور موضحة بالشكل (15)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة جهد الخط كانت بقيمة 10.70% كما هو موضح بالشكل (16)، بينما معدل التشوه التوافقي لموجة تيار الخط الناتجة 0.85%، كما هو موضح بالشكل (17).



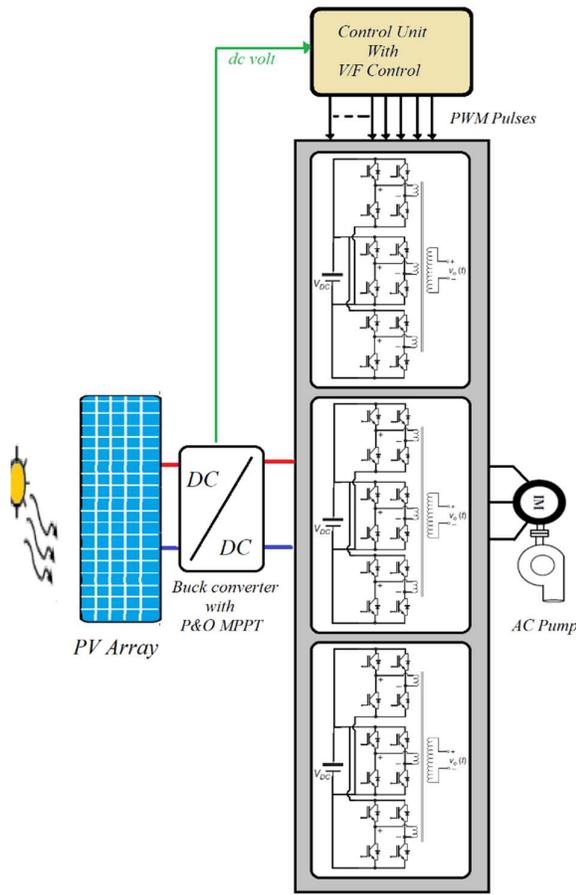
الشكل 16: THD لموجة جهد الخط للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور



الشكل 17: THD لموجة تيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور

تمت محاكاة استراتيجيات التعديل المختلفة لتوليد نبضات القذح على نموذج العاكس متعدد المستويات (CHB-7 LEVEL) ثلاثي الطور عند تردد

### 3.3 مخطط النظام المقترح



الشكل 22: النظام المقترح لقيادة المضخة الكهروضوئية

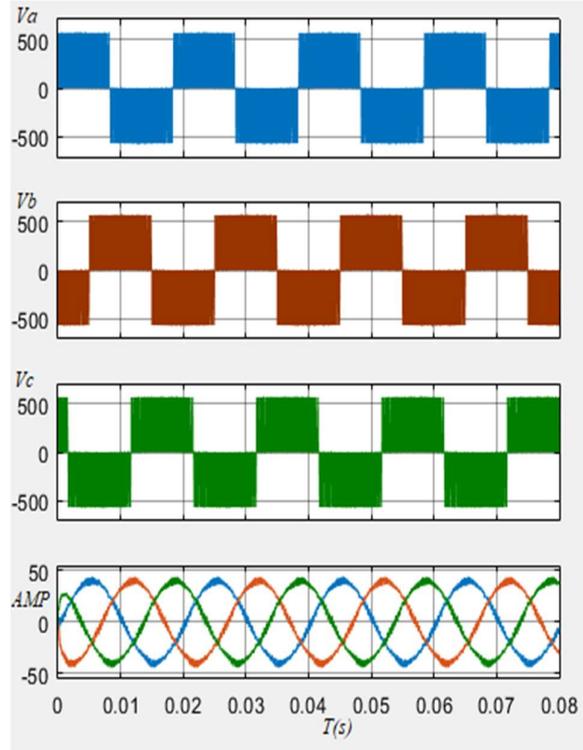
يهدف المخطط المقترح الموضح في الشكل (22) إلى تطوير نظام قيادة لمضخة المياه يعتمد على تقنية الإنفرتز متعدد المستويات، وبدراسة الخصائص السابقة لهذا النوع، تم اعتماد تقنية العاكس (CHB-MLI) ثلاثي الطور ذو سبع مستويات وفق استراتيجية التعديل PD-PWM، وفقاً لهذا المخطط سنحتاج لمنع تغذية DC واحد متمثل بالمصفوفة 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.

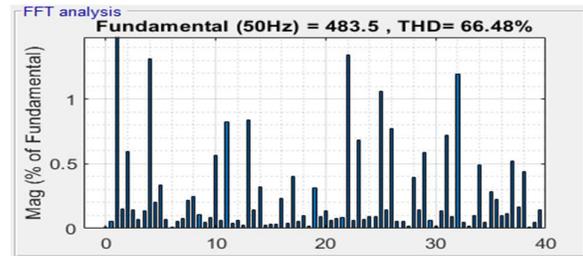
#### 3.3.1 ملاحقة نقطة الإستطاعة العظمى

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.

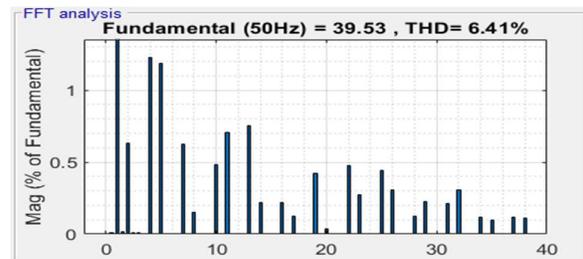
بما أن فعالية تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية في الخلايا الكهروضوئية منخفضة بشكل عام (حوالي 15 % ويمكن أن تصل إلى



الشكل 19: إشارة موجة جهد وتيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور



الشكل 20: THD لموجة جهد الخط للعاكس التقليدي ثلاثي الطور



الشكل 21: THD لموجة تيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور

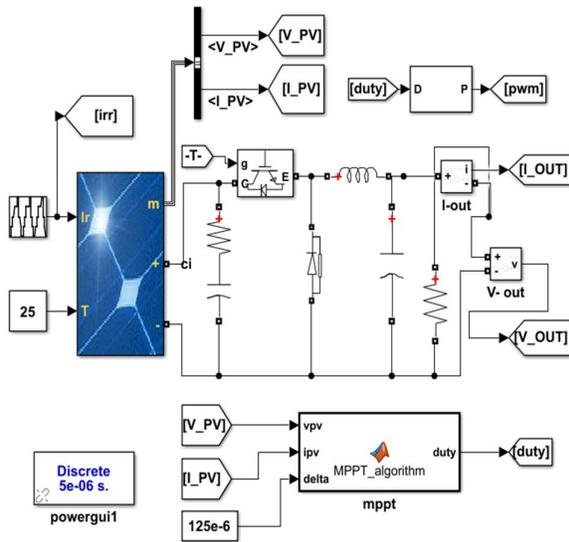
والموضع، ولهذا يعتبر هذا النوع من القيادة حلقة مفتوحة وهو مناسب للمضخات والمراوح والتطبيقات التي لا تتطلب مستويات عالية من الدقة. كانت تعتبر هذه الطريقة من أكثر طرق التحكم شيوعاً، فإذا كان المطلوب تخفيض التردد المحدد عند جهد تغذية معين، فإن فيض الثغرة الهوائية سيميل إلى الإشباع مسبباً زيادة مفرطة في 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].

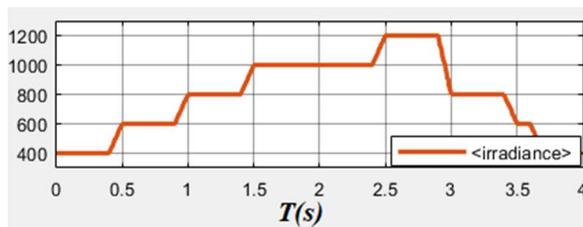
### 3.4 الاختبارات والنتائج

#### 3.4.1 دائرة مقطع التخفيض Buck converter

تمت نمذجة دائرة مقطع التخفيض (Buck) الموضحة بالشكل (24) تقوم بملاحقة 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 (25).



الشكل 24: نموذج MATLAB لمقطع Buck يعمل وفق خوارزمية P&O

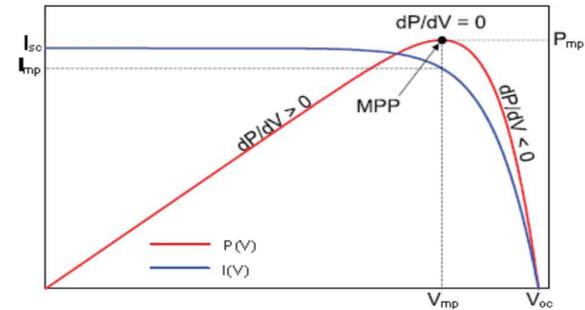


الشكل 25: تغيرات الإشعاع الشمسي وفق النموذج التجريبي لمقطع التخفيض

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 الممتاح من الطاقة الكهربائية انطلاقاً من الخلايا الكهروضوئية، عن طريق ضمان عمل مدبلة 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 تتعلّق بالإشعاع الشمسي، لذلك يجب ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية (MPPT) Maximum Power Point Traking.

من أشهر الطرق المتبعة في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية هي طريقة الارتباب والملاحظة (P&O) (Perturbation and Observation)، والتي تعتمد على الحقيقة القائلة: أنه في مميزات الجهد/استطاعة (P-V) للمنظومة الكهروضوئية، في الجهة اليسرى من نقطة الاستطاعة الأعظمية  $dP/dV > 0$  يكون تغير الاستطاعة بالنسبة إلى الجهد موجباً أي  $dP/dV > 0$ ، أما في الجهة اليمنى يكون  $dP/dV < 0$ ، كما هو موضح في الشكل (23)، [1].

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



الشكل 23: منحني (I-V) ومنحني (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 سيرك نقطة عمل المنظومة باتجاه ال-MPP. وهكذا تستمر خوارزمية ال-P&O حتى تجعل جهد المنظومة الكهروضوئية بالاتجاه نفسه.

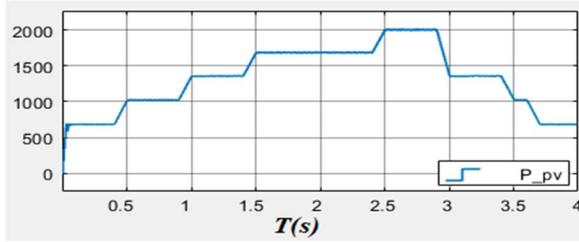
أما إذا كان  $dP/dV < 0$  فإن التغير في نقطة العمل سيبعد المنظومة الكهروضوئية عن ال-MPP. بالتالي تعكس خوارزمية ال-P&O اتجاه التغير لتعيد نقطة العمل باتجاه نقطة ال-MPP.

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 الإستطاعة العظمى وفق خوارزمية (P&O) لتحويل التغير الحاصل في الإشعاع الشمسي إلى تغير في الجهد على خرج دائرة المقطع.

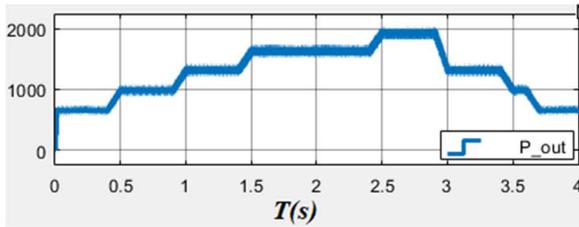
### 3.3.2 التحكم السلمي V/F scalar control

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



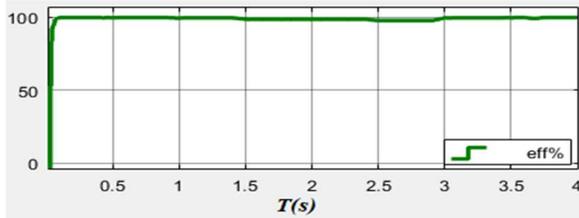
الشكل 28: الاستطاعة المستجرة من المصفوفة الكهروضوئية

الاستطاعة على خرج دارة المقطع موضحة بالشكل (29).



الشكل 29: الاستطاعة على خرج دارة المقطع

مردود المصفوفة الكهروضوئية مع دارة مقطع وفق خوارزمية P&O لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية  $\eta = 98\%$ ، كما هو موضح بالشكل (30).



الشكل 30: مردود المصفوفة الكهروضوئية

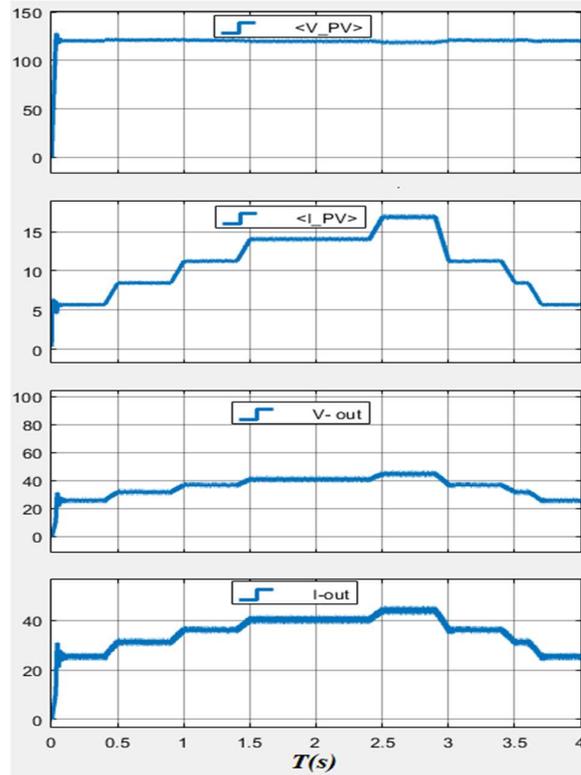
### 3.4.2 دارة العاكس (CHB-7L) ثلاثي الطور وفق نظام V/F

تمت نمذجة دارة 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  $T_n = 26.7$  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 (31).

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 دارة المقطع والذي بدوره سيؤدي إلى تغير في جهد الدخل لدارة العاكس (CHB-7I) ثلاثي الطور الذي يعمل وفق نظام V/F فيقوم بتغيير 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.

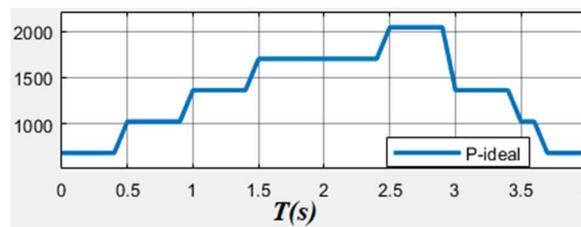


الشكل 26: التيارات والجهد على دخل وخرج دارة المقطع

جهود الدخل والخرج لدارة المقطع موضحة بالشكل (26) حيث كان جهد الدخل على دارة المقطع (خرج المصفوفة الكهروضوئية) ثابت مع تغير التيار على خرج المصفوفة الكهروضوئية بناء على تغير شدة الإشعاع الشمسي.

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

الاستطاعة النموذجية المقدمة من المصفوفة الكهروضوئية عند نقطة الاستطاعة العظمى موضحة بالشكل (27).

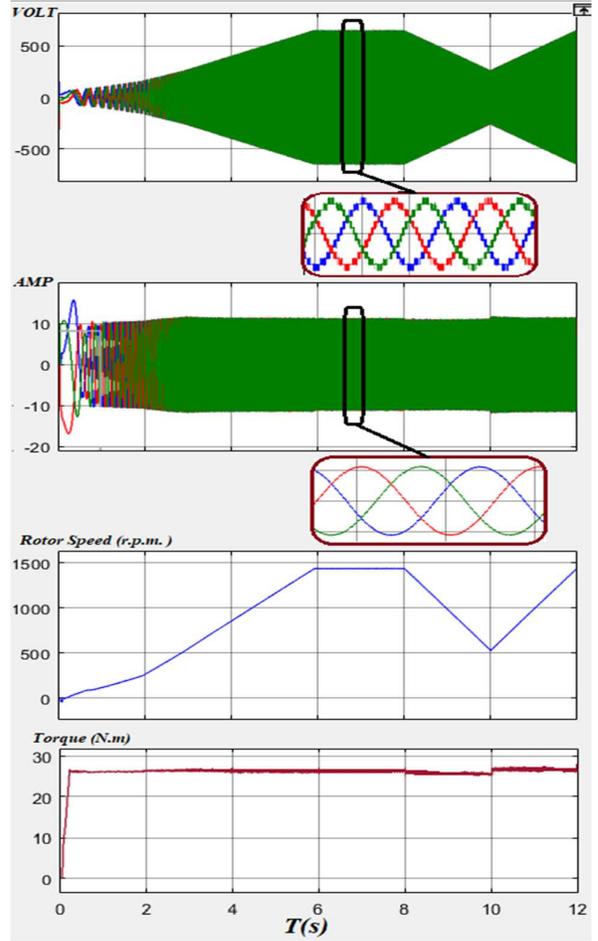


الشكل 27: الإستطاعة الاسمية للمصفوفة الكهروضوئية

الاستطاعة على خرج المصفوفة الكهروضوئية (الاستطاعة المستجرة من المصفوفة الكهروضوئية) موضحة بالشكل (28).

## الرموز

Alternative Phase opposition Disposition	APOD
Cascaded H-bridge	CHB
Diode Clamped	DC
Flying Capacitor	FC
Multilevel Inverter	MLI
Maximum Power Point Traking	MPPT
Phase Disposition	PD
Phase Opposition Disposition	POD
Pulse Width Modulation	PWM
Total harmonic distortion	THD



الشكل 31: 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 المستجدة 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.

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).
- [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., Saeedifard, 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

المصادر

## Multi-level inverter for driving PV water pumps

Danny Ibrahim<sup>1</sup>, Kais Aboud<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria.

<sup>2</sup>Department of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria. kais2019aboud@gmail.com

\*Corresponding author: Danny Ibrahim, danyibrahim2@gmail.com

Published online: 31 December 2020

**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 we simulated the system by MATLAB / SIMULINK the results showed the effectiveness and reliability of the proposed system.

**Keywords** — "Multilevel inverters, Solar pumps, Maximum Power Point Traking, Total harmonic distortion"