

The Development Of The Electronic Switch Control Circuit For A Single Phase Inverter Used In The Photovoltaic System

Dr. Ayman Nbhan NBHAN *

(Received 29 / 1 / 2018. Accepted 9 / 4 / 2018)

□ ABSTRACT □

This research is centered on the design of the electronic switch control circuit for a single phase inverter to generate a sine wave output voltage similar to the network voltage in terms of frequency and value. The design has the advantage of a pure sine wave with low harmonics and low cost. The technique used is the "sinusoidal pulse width modulation" technique generated by the microcontroller. To ensure the accuracy of the designer inverter and the driving circuit, we performed several tests on different AC loads. The proposed inverter model improved the output waveform and reduced the dead time of the control signal to less than 63 microseconds, with reducing the harmonics. In addition, the results of the practical test were compared with the simulation results and there was a good agreement.

Keywords: Microcontroller, sinusoidal display modulation technology, single phase inverter.

* PhD in control technology – Industrial ministry – Syria.

تطوير دائرة التحكم بالمفاتيح الإلكترونية لقالب أحادي الطور يستخدم في النظام الكهروضويسي

د. أيمن نبهان نبهان *

(تاريخ الإيداع 29 / 1 / 2018. قُبِلَ للنشر في 9 / 4 / 2018)

□ ملخص □

يتمحور العمل في هذا البحث حول تصميم دائرة التحكم بالمفاتيح الإلكترونية لقالب أحادي الطور بهدف توليد جهد خرج ذو موجة جيبية تماثل جهد الشبكة العامة من حيث التردد والقيمة، يمتاز التصميم بالحصول على موجة جيبية نقية بتوافقيات قليلة وبتكلفة منخفضة. التقنية المستخدمة هي تقنية " تعديل عرض النبضة الجيبي " PWM المولدة عبر المتحكم الصغري. للتأكد من دقة عمل القالب المصمم ودارة القيادة تم القيام بعدة اختبارات على أحمال متناوبة ذات استطاعة مختلفة، حيث استطاع نموذج القالب المقترح تحسين شكل موجة الخرج وتخفيض الزمن الميت لإشارة التحكم إلى أقل من 63 ميكرو ثانية مما يساهم في خفض التوافقيات الضارة، بالإضافة إلى أنه تم مقارنة نتائج الاختبار العملية مع نتائج المحاكاة وكان هناك تطابق جيد.

الكلمات المفتاحية: متحكم صغري، تقنية تعديل عرض النبضة الجيبي، قالب أحادي الطور.

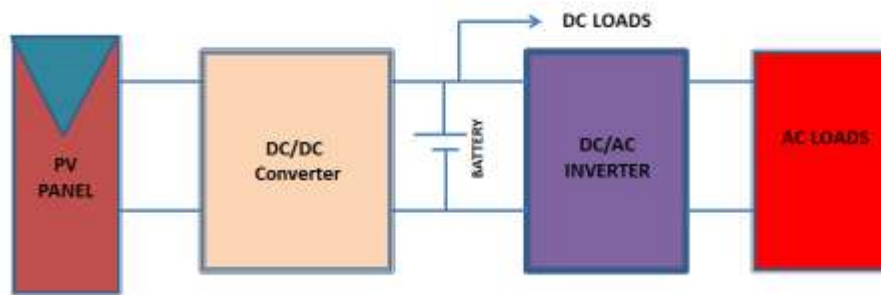
* دكتوراه في تكنولوجيا التحكم - وزارة الصناعة - سوريا.

مقدمة:

يزداد الطلب على الطاقة الكهربائية في سورية بشكل كبير، وفي ظل هذا التحدي الطاقى الهائل والنمو المطرد لاستهلاك الطاقة تبدو خيارات الطاقات المتجددة هدفاً هاماً لا يجوز إغفاله في أي من الخيارات الاستراتيجية القادمة، لاسيما في ضوء النضوب المتوقع والمعلن للمصادر العالمية والمحلية للوقود الأحفوري إضافة إلى ظروف الواقع الحالي في سوريا والحاجة الملحة للطاقة.

بينت دراسة الأسكوا (UN-ESCWA) أن عدد ساعات الشمس التي تتعم بها سوريا تفوق الثلاثة آلاف ساعة سنوياً أي أن أشعة الشمس تكاد لا تغيب عن سوريا طيلة أيام السنة (335 يوماً خلال 365 يوماً من أيام السنة) وهي من المعدلات المرتفعة جداً بالنسبة إلى باقي مناطق العالم ككندا أو روسيا مثلاً حيث لا تتجاوز فيها عدد ساعات الشمس المشرقة حاجز الألف ساعة سنوياً. [1, 2]

المكونات الرئيسية للنظام الكهروضوئي المستقل (Stand-alone system) هي: ألواح PV، مبدلة DC-DC مدخرة، قالب، كما يظهر الشكل (1):



الشكل (1): المخطط الأساسي للنظام الكهروضوئي.

معظم أجهزة الأنفرتتر (القالب) التجارية تعطي موجة مربعة أو موجة قريبة من الجيبية، وفي الواقع استخدام هذه الأنفرتترات يؤدي إلى تضرر التجهيزات الالكترونية بشكل كبير. [3]

في حين أن الأنفرتترات التي تعطي موجة جيبية تكون باهظة الثمن. من أجل الحصول على موجة جيبية نقية سوف نعتمد على تقنية تعديل عرض النبضة الجيبية (SPWM) الواسعة الاستخدام في تطبيقات الكهروضوئية القدرة الكهربائية مثل قيادة المحركات الكهربائية، أجهزة عدم انقطاع الكهرباء (UPS)، وأنظمة الطاقات المتجددة. [4, 5]

تتميز تقنية تعديل SPWM بأن اتساع (Amplitude) النبضات ثابت مع اختلاف ثابت فترة التوصيل (duty cycle) لكل دورة عمل (Period). أشهر طرق توليد إشارة التحكم لهذه التقنية يتم عبر مقارنة موجة جيبية مع إشارة مثلثية. [6]

أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من هذا العمل هو استبدال الطريقة التقليدية للتحكم بطريقة رقمية عبر استخدام المتحكم المنطقي "PIC" لتوليد إشارات PWM الضرورية، حيث يقوم المتحكم بإنشاء التردد المتغير لإشارة PWM التي تتحكم بالجهد المطبق

على بوابة المفاتيح الإلكترونية لدائرة الأنفرتير. استخدم في هذا البحث المتحكم من نوع "PIC16f877A" والذي هو في متناول اليد (متوفر في السوق ورخيص الثمن)، كذلك فإن المتحكم المنطقي أكثر بساطة ومرونة لتغيير خوارزميات التحكم في الزمن الحقيقي (Real time) دون الحاجة إلى تغيير التجهيزات (Hardware) مما يخفض التكلفة المادية ويقلل تعقيد دائرة التحكم التي تزود اشارات التحكم اللازمة لعمل Inverter [7]. من أهم التطبيقات العملية لـ Inverter المُصمم هو في أنظمة الطاقة الكهروضوئية (Photovoltaic) سواء في ال أنظمة المعزولة أو المرتبطة بالشبكة (Stand-alone or grid connection).

مشكلة البحث:

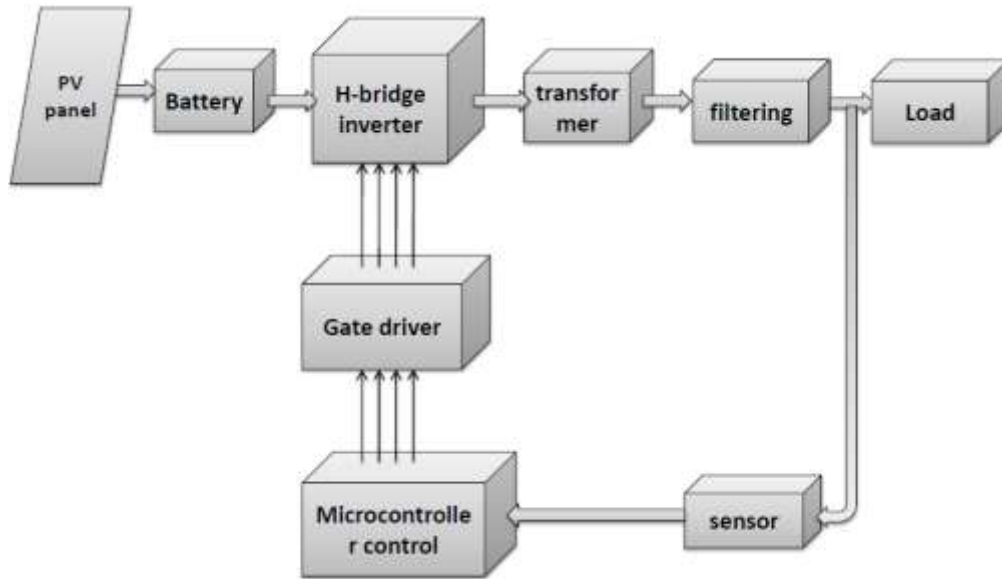
Inverter هو مرحلة الملائمة الثانية في النظام الكهروضويسي والذي يقوم بتحويل توتر الدخل المستمر "DC" إلى توتر الخرج المتناوب "AC". في inverter المثالي: يجب أن تكون موجة توتر الخرج جيبية نقية، لكن بالنسبة للأنفرتير التجاري يكون شكل هذه الموجة غير جيبية ويحتوي على توافقيات غير مرغوبة [8]، وبالتالي التجهيزات الإلكترونية التي يتم تغذيتها عبر هذا الأنفرتير سوف تتضرر، تتعلق هذه التوافقيات الضارة بعدد نبضات التحكم خلال الدور الواحد. [9]

من ناحية أخرى، زيادة نبضات التحكم خلال الدور الواحد سيؤثر على الضياعات أثناء عملية التبديل (Switching losses)، وبالتالي يجب أخذ هذا العامل في عين الاعتبار والذي يؤثر على حجم الفلتر (Filter) وبالتالي على التكلفة.

المشكلة الأكثر أهمية هي تحديد فترة الزمن الميت لإشارة التحكم (Dead time control)، والتي يجب أن تكون قيمتها مناسبة لتجنب مشكلة الضرر الناتج عن التوافقيات. حيث أنه إذا كانت فترة الزمن الميت قصيرة سوف تؤثر على عملية التبديل في حين أنه لو كانت طويلة ستسبب زيادة في تشويه (زيادة التوافقيات) إشارة التحكم. [10]

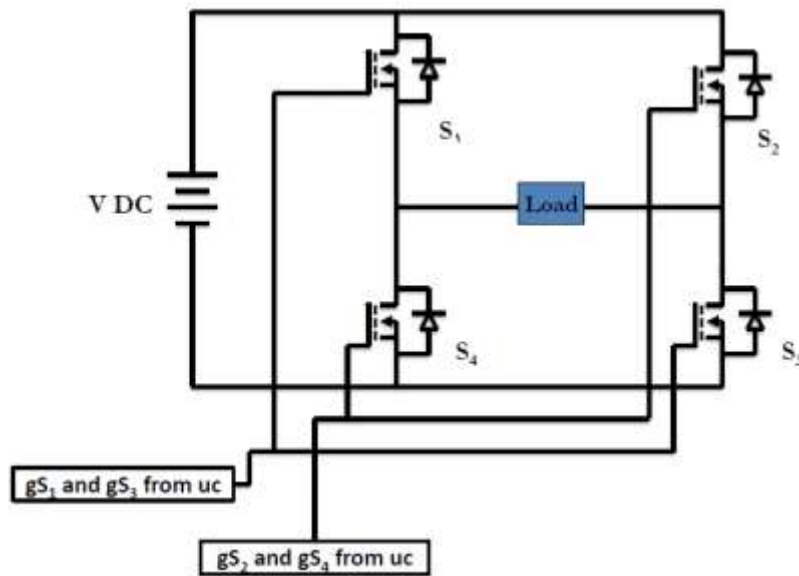
تصميم النظام المقترح:

يظهر الشكل التالي، الشكل (2)، المخطط الصندوقي للنظام الكهروضويسي المقترح:



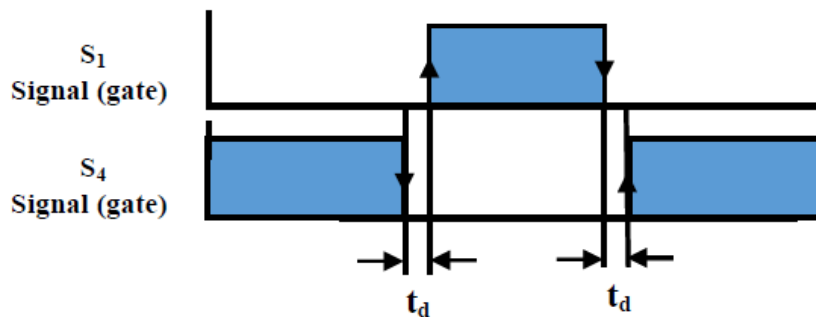
الشكل (2): المخطط الصندوقي للنظام المقترح.

عناصر النظام التي تم بتصميمها، هي inverter الاستطاعي، ودارة المتحكم و برنامج التحكم. Iverter المصمم هو أنفرتير أحادي الطور (220V/50Hz)، وهو عبارة عن دائرة جسر H (H-bridge)، انظر الشكل (3). يتم تطبيق إشاراتي التحكم G_{S1} و G_{S3} معاً خلال النصف الأول من دورة العمل، بينما يتم تطبيق إشاراتي التحكم G_{S2} و G_{S4} معاً خلال النصف الثاني [11]. من أجل الحصول على الموجة الجيبية على خرج الأنفرتير نستخدم المتحكم "PIC" لتوليد إشارات التحكم PWM اللازمة لفتح المفاتيح الالكترونية لجسر H والتي هي ترنزيستورات من نوع MOSFET.



الشكل (3): inverter أحادي الطور، دائرة جسر H.

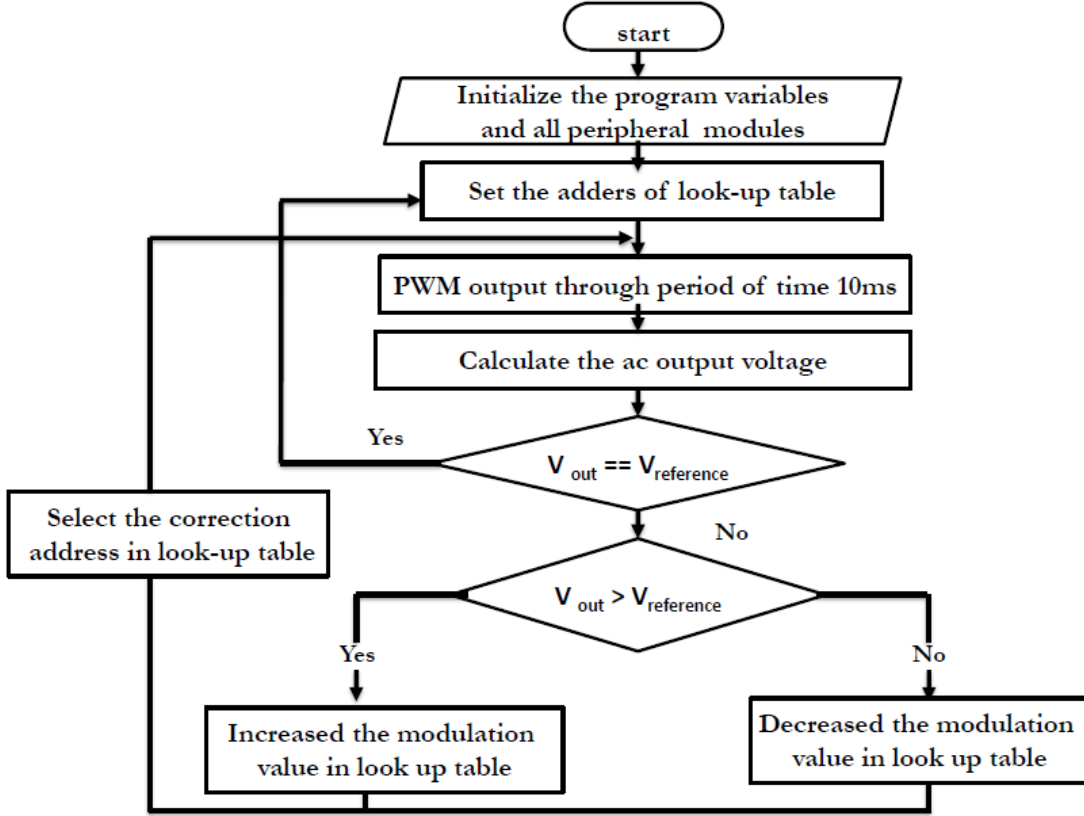
الدائرة الرئيسية في هذا النظام هي المتحكم "PIC" الذي يقوم بتوليد إشارات PWM المتضمنة الزمن الميت والذي يفيد في تخفيض التكلفة والعناصر الالكترونية. القضية الهامة هنا هي بالتحكم بفترة الزمن الميت، يبين الشكل التالي، الشكل 4، مخطط الزمن الميت "td". هناك إشارات متداخلة محتملة بين مفاتيح فترة التشغيل (S_1, S_4) وللزوج الآخر من المفاتيح (S_2, S_3) في دائرة جسر القالب، يمكن أن يسبب هذا التداخل قصر في الدارة ولكن يمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق الاختيار الصحيح لفترة الزمن الميت.



الشكل (4): مخطط يظهر الزمن الميت.

1- خوارزمية برنامج التحكم:

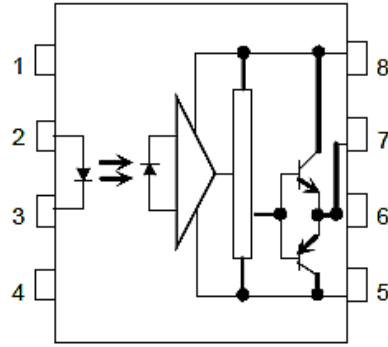
يتم التحكم بفترة الزمن الميت عن طريق برمجة المتحكم، يبين الشكل رقم (5) خوارزمية تصميم برنامج توليد إشارة الـ SPWM اللازمة للتحكم بالأنفرتير أحادي الطور.



الشكل (5): خوارزمية برنامج إشارة التحكم SPWM

2- قيادة بوابة الترانزستور (Gate Driver):

بالنسبة لقيادة بوابة الترانزستورات MOSFET في دائرة جسر H هناك جانبين: الجانب العالي للترانزستورات (Q1, Q2) يكون بين الأرضي وبين الجهد العالي، بينما الجانب المنخفض للترانزستورات (Q3, Q4) يكون بين منبع القدرة وبين الأرضي. استخدمنا الدارة TLP250، الشكل (6)، لقيادة بوابة الترانزستورات.

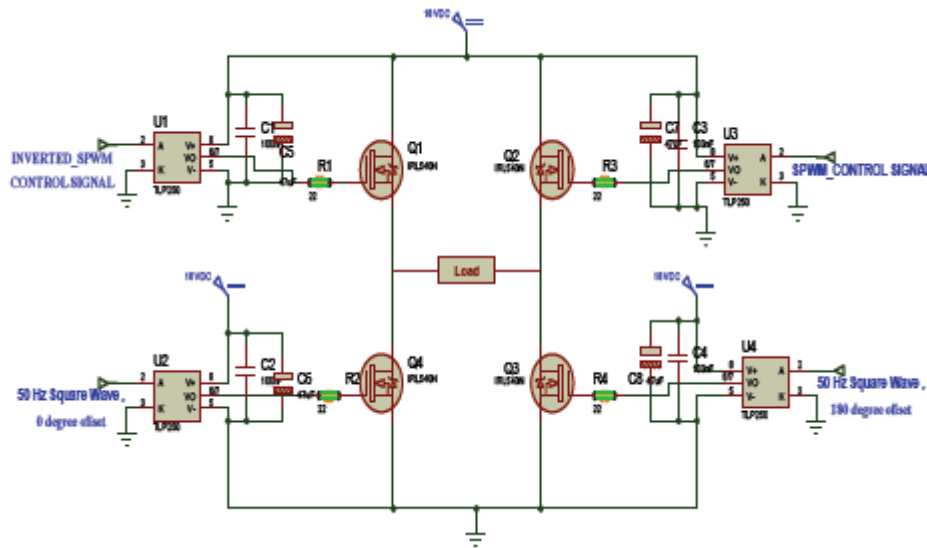


الشكل (6): منظر علوي لدارة القيادة TLP250

النتائج والمناقشة:

يبين الشكل التالي رقم (7)، النموذج البرمجي لمخطط دارة جسر H مع دارة القيادة باستخدام برمجية "Proteus 8 Professional".

تتكون دارة جسر H من أربع ترانزستورات MOSFET من نوع "IRL540N" السريعة التبديل وبمواصفات (100V, 36A) وذات مقاومة منخفضة جدا (44 mΩ) مما يجعل ضياعات التبديل منخفضة.



الشكل (7): مخطط دارة جسر H مع دارة القيادة باستخدام برمجية "Proteus 8 Professional".

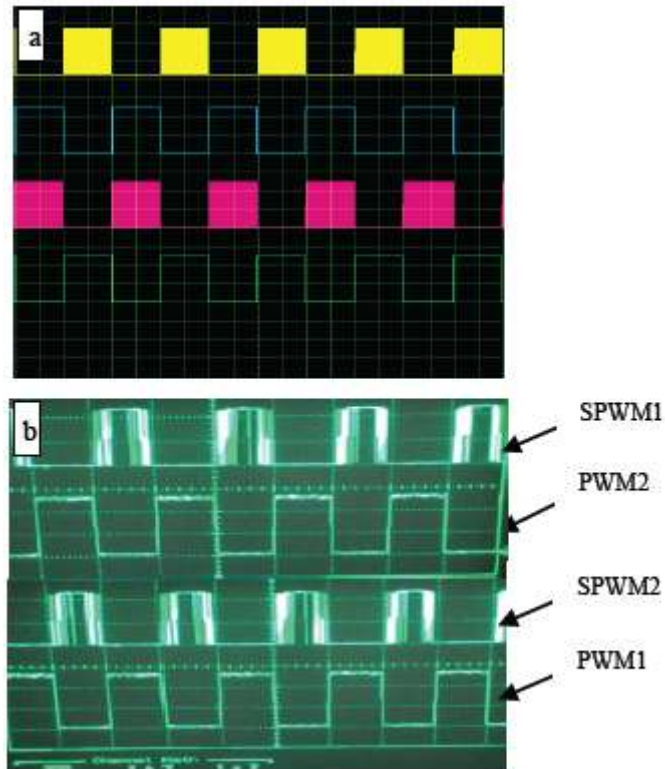
يظهر الشكل (8)، دارة الاختبار العملية، نلاحظ أن خرج الأنفرتير موجة جيبية قيمتها 221V بتردد 50Hz، وهذه القيمة تتوافق مع قيمة جهد وتردد الشبكة العامة. يعمل المتحكم "PIC16F877A" بجهد 5V (باستخدام المنظم LM7805). من أجل كتابة البرنامج على المتحكم استخدمنا البرنامج "mikroC PRO".



الشكل (8): دائرة الاختبار العملية من أجل حمل أومي.

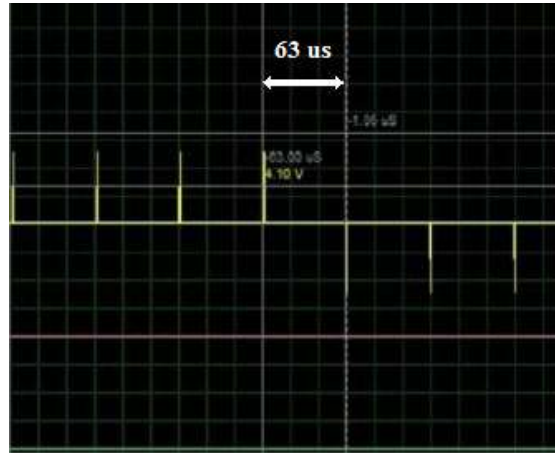
نبين في الشكل (9)، مقارنة بين نتائج المحاكاة والنتائج التجريبية لإشارات التحكم الأربعة بترانزستورات الأنفتر

(دائرة جسر H).



الشكل (9): إشارات التحكم بمفاتيح الأنفتر: (a) نتائج المحاكاة. (b) النتائج التجريبية

يظهر الشكل (10)، قياس قيمة الزمن الميت في إشارة التحكم للأفترتر الأحادي الطور الناتجة عن المحاكاة. كما ذكرنا سابقاً بأن فترة الزمن الميت يجب أن تكون مناسبة لتجنب مشكلة التوافقيات، بقياس فترة الزمن الميت الناتجة نجد أن قيمتها منخفضة إلى حد كبير وتساوي 63us.



الشكل (10): قياس قيمة الزمن الميت.

يتم وصل خرج دائرة جسر H إلى محولة رفع ومرشح LC للحصول على الموجة المتناوبة الجيبية. حيث أن الهدف الرئيسي من هذا العمل الحصول على جهد جيبي نقي انطلاقاً من ألواح الـ PV. تم اختبار الأفترتر على عدة أحمال متناوبة وكان خرج الأفترتر قريباً جداً من قيمة جهد الشبكة العامة 220V وكان التردد مساوياً إلى 50Hz.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تطوير دائرة التحكم بالمفاتيح الإلكترونية لقالب أحادي الطور والذي يعتبر مرحلة ملائمة الثانية في النظام الكهروضمسي وذلك باستخدام المتحكم المنطقي "PIC". من أجل الحصول على اشارات التحكم المناسبة لمفاتيح القالب تم استخدام تقنية SPWM، والتي أتاحت لنا تحسين نوعية شكل موجة جهد الخرج. في النهاية تمت مقارنة نتائج المحاكاة مع نتائج الاختبارات العملية، حيث أظهرت النتائج صحة ودقة جهد خرج inverter، وبالتالي النظام الكهروضمسي، ومدى تطابقه مع جهد الشبكة العامة من حيث القيمة والتردد.

التوصيات:

نوصي في الأعمال المستقبلية بمتابعة العمل من أجل القالب الثلاثي الطور لأهميته في التطبيقات الصناعية.

المراجع:

- [1] IRENA. *International Renewable Energy Agency* , 10 Des.2017
<http://www.irena.masdar.ac.ae/#>.
- [2] Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) .*The Regional Conference on Renewable Energy and Sustainable Development in Rural Areas of the ESCWA Region* , Morocco,2013.
- [3] A Mamun and all, "Design and Implementation of Single Phase Inverter" International Journal of Science and Research, 2013.
- [4] Dr.R.Nagarajan and all, " IMPLEMENTATION OF SPWM TECHNIQUE FOR INVERTER", international Journal of Advanced Research in Biology, Engineering, Science and Technology (IJARBEST), Vol. 2, Issue 9, 2016.
- [5] Dr B Gavaskar Reddy and all, "Performance Improvement of Single Phase Inverter using SPWM ", IOP Publishing, ICMAEM-2017.
- [6] P Zope and all, "design and implementation of carrier based sinusoidal PWM inverter", International Journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering, Vol 1, 2012.
- [7] Nehari Larbi and all, " Design and implementation of single phase solar inverter based on microcontroller 16F628A", IEEE, Electrical Engineering (ICEE), 4th International Conference on, 2015.
- [8] Ezzidin Hassan Elmabrouk Aboadla and all, " Selective Harmonics Elimination technique in single phase unipolar H-bridge inverter", IEEE, Research and Development (SCOREd), 2017.
- [9] H.M Abdarand all, " Design and Implementation a Specific Grid-Tie Inverter for an Agent-based Microgrid ", IEEE, energy tech., 2012.
- [10] S.M Islam, G.M sharif, "microcontroller based sinusoidal PWM inverter for photovoltaic application" First International Conference development in renewable energy technology, IEEE, 2009.
- [11] E.S Omokere, A.O.C Nwokoye, "Evaluating the performance of a single phase PWM inverter using 3525A PWM IC" International Journal Engineering Research & Technology (IJERT), Vol 1, 2012.