

## تصميم وتنفيذ نظام شحن بطاريات شمسي متطور

الدكتور علي أحمد محمود\*

الدكتور بلال عبد الكريم شيحا\*\*

سحر عبد الكريم العلي\*\*\*

(تاريخ الإيداع 21 / 6 / 2016. قُبِلَ للنشر في 23 / 8 / 2016)

### □ ملخص □

إن الهدف الرئيس لهذا البحث هو تصميم نظام شحن بطاريات بالطاقة الشمسية الأعظمية، وقد تم استخدام نظام تتبع للاستطاعة الأعظمية Maximum power point tracking (MPPT) system، مكون من مبدل (رافع - خافض) للجهد المستمر buck-boost Direct Current DC/DC converter، المبدل مقاد بواسطة متحكم صغري، تمت برمجته بطريقة الموصلية المتزايدة Incremental Conductance (InCond) وتعد طريقة سهلة وموثوقة للتتبع.

تم اختبار نظام الشحن المقترح والنتائج التي حصلنا عليها تؤكد التحكم الدائم بعملية الشحن للبطارية. تم إجراء دراسة مقارنة مع جهاز شحن شمسي يعتمد التحكم بعرض النبضة PWM، وقد أوضحت النتائج أنه تم شحن المدخرة الموصولة مع نظام الشحن المقترح بوقت أسرع، مع الأخذ بالحسبان ساعات الإشعاع الشمسي باليوم، ومواصفات اللوح الشمسي المستخدم، وهذا يؤكد وثوقية أداء نظام الشحن المقترح.

**الكلمات المفتاحية:** شاحن بطارية شمسي، مبدل رافع \_ خافض للجهد المستمر، التحكم بعرض النبضة، تتبع الاستطاعة العظمى، المتحكم PIC16F877A.

\* أستاذ في التحكم الآلي - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

\*\* أستاذ مساعد - قسم الحاسبات والتحكم الآلي - جامعة تشرين - اللاذقية.

\*\*\* طالبة دراسات عليا (دكتوراه) قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

## Design And Implementation Of Advanced Solar Battery Charging System

Dr. Ali Ahmad Mahmoud\*  
Dr. Bilal Chiha\*\*  
Sahar Alali\*\*\*

(Received 21 / 6 / 2016. Accepted 23 / 8 / 2016)

### □ ABSTRACT □

The main goal of this search is to design maximum solar power batteries charging system, Maximum power point tracking (MPPT) system is used in the photovoltaic (PV) system consisting of a buck-boost Direct Current DC/DC converter, which is controlled by a microcontroller unit, The microcontroller is programmed with a simple and reliable MPPT called Incremental Conductance (InCond).

The designed battery charger was tested, and the results obtained had insured about the permanent control on the battery charging.

Comparison study was done, with PWM solar charger controller, it was obvious by The experimental results, that the battery get charged in a very short time period considering of the solar sun light hours per day, and the characteristics of the used solar panel, which confirm the reliable performance of the suggested charging system.

**Keywords:** Solar battery charger, photovoltaic systems, DC/DC converter, maximum power point tracking, duty cycle ratio control, PIC16F877A microcontroller.

---

\*Professor of Control At industrial automation department - Technical faculty Engineering-Tartous University.

\*\* Assistant professor, Department of Computers and Automatic Control Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\* PHD Student, Department of industrial automation -Technical faculty-Tartous University.

## مقدمة:

تُعد الشمس مصدر الحياة لجميع الكائنات على الأرض، وبسبب الحاجة المتزايدة للطاقة فقد تركز الاهتمام عالمياً بالطاقة الشمسية كطاقة بديلة، وهي طاقة نظيفة مقارنة مع المصادر الأخرى المعتمدة على البترول والتي لها أثر سيء على البيئة، وقد أصبح استخدامها واسعاً في التطبيقات الصناعية والتجارية والعسكرية [1,2]، تعتمد كفاءة استثمار الطاقة الشمسية على تطور التكنولوجيا المتعلقة بمكونات النظام الشمسي، ومن أهمها متتبع الاستطاعة الأعظمية، مبدل الطاقة DC-DC converter، ونظام التخزين الذي يُعد مكوناً أساسياً في النظام الكهروضوئي، حيث يتم تخزين الطاقة المُحوّلة من الألواح الشمسية في بطاريات إلى حين الحاجة، و عندما لا يكون الإشعاع الشمسي متوافراً أو الربط بالشبكة الكهربائية غير ممكن، ولتوسيع انتشار تطبيقات الطاقة الشمسية في المنازل والمساهمة في التخفيف من أزمة الكهرباء التي نعاني منها هذه الأيام، فقد قمنا بتصميم وتنفيذ نظام للتحكم بشحن بطاريات بالاستطاعة العظمى من الألواح الشمسية مع مبدل (رافع - خافض) للجهد المستمر.

تم التركيز على النقاط السابقة في العديد من الدراسات، فقد استخدمت طرقاً عديدة مذكورة في المرجعين [3,4] معتمدة على تغيير مواصفات البطارية لتحقيق عملية الشحن. كما استخدم المبدل (الرافع - الخافض) في تصميم وتنفيذ شواحن البطاريات، في دراسة استخدمت مبدل رافع خافض متزامن ذو أربع قواطع لشحن بطارية Li-ion [5]، كما تناولت دراسة أخرى تصميم شاحن شمسي مع متتبع استطاعة أعظمية ومبدل خافض للجهد لشحن بطاريات الليثيوم Lithium-ion [6]. في عام 2014 قدمت جامعة Brac تصميماً لشاحن شمسي لمحطة شحن بطاريات من الألواح الشمسية [7]، كما استخدمت دراسة قُدمت في جامعة Ciudad في إسبانيا المنطق الضبابي Fuzzy logic في تصميم متحكم شمسي بالشحن [8]، ونُفذت دراسات كثيرة على شواحن شمسية للأجهزة المحمولة منها تصميم قدمته شركة SiliconReef [9]، كما تناولت دراسات تصميم شاحن شمسي للأجهزة الخلوية [10]، وقد تناولنا في هذه الدراسة تصميم وتنفيذ شاحن شمسي متطور مناسب للاستخدامات المنزلية.

## أهمية البحث وأهدافه:

إن استخدام شاحن شمسي بدون عملية تحكم بالشحن سيمرر تياراً من اللوح إلى البطارية متناسباً مع شدة الإشعاع الشمسي سواء كانت البطارية بحاجة إلى شحن أم لا، فإذا كانت البطارية مشحونة سيتسبب الشحن غير المنظم بزيادة جهد البطارية فوق الحد المسموح مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة البطارية داخلياً وحدوث ظاهرة إطلاق الغاز gassing وهذا يشكل ضرراً على الصحة وعلى حياة البطارية، كما يؤدي إلى فقد بالمحلول الكهروليتي لبطاريات حمض الرصاص lead-acid وتأكسد الأقطاب.

إن موقع سوريا جغرافياً يجعلها تتلقى كمية من الإشعاع الشمسي تُعد كافية لسد احتياجاتنا من الكهرباء إذا ما تم تحويلها واستثمارها بشكل جيد، وهذا النوع من المشاريع قد لا يكون جديداً، لكنه يقدم حلاً اقتصادياً لمشكلة كبيرة نعاني منها، ليس فقط بانقطاع الكهرباء لفترات طويلة وإنما كون الشواحن المماثلة المطروحة في الأسواق مرتفعة الثمن وغير موثوقة.

لذلك فإن نظام التحكم بالشحن المصمم يعد حلاً مثالياً لأنه يحافظ على حالة شحن State Of Charge (SOC) أعلى ما يمكن عند الشحن من الألواح الشمسية، يحمي البطارية من الشحن الزائد Overcharge، يفصل الحمل عند انخفاض جهد البطارية لحد معين لمنع التفريغ العميق Deep Discharging، ويعوض الفقد الذي يحصل

بسبب حدوث التفريغ الذاتي، وبالتالي يحافظ على دورة حياة أطول ما يمكن للبطارية، كما ويناسب عدة أنواع من البطاريات لأنه يمكن تعديل خوارزمية التحكم بالشحن بسهولة لتناسب نوع البطارية وظروف العمل.

### طرائق البحث ومواده:

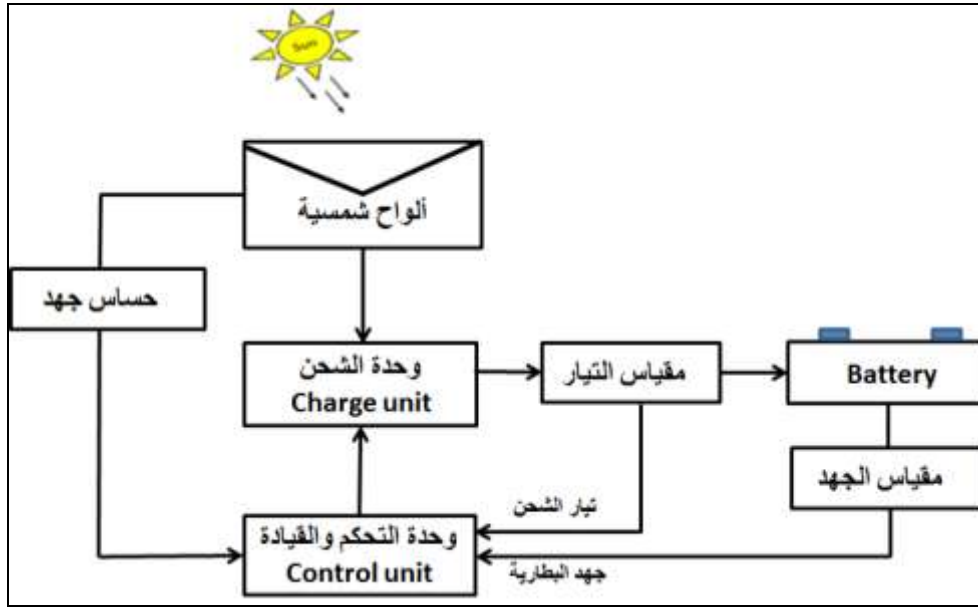
تم الاعتماد على الألواح الشمسية المتوفرة في مخبر الطاقات المتجددة في كلية الهندسة التقنية، أجهزة قياس معيارية متوفرة في مخبر بحوث الطاقة ( لشدة الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة، تيار، جهد، استطاعة )، بطاريات lead-acid 12 volt.

يتكون نظام الشحن المصمم من قسمين :

1- قسم برمجي software متمثل ببارة القيادة للتحكم بالشحن وبالمقطع مع متتبع الاستطاعة الأعظمية.

2- قسم صلب hardware مكون من دائرة المبدل (الرافع - الخافض) للجهد، ودارات قياس الجهد والتيار.

والشكل (1) يوضح المخطط الصندوقي للنظام المقترح:



الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام التحكم بشحن بطارية.

### دائرة المبدل الرافع - الخافض Buck - Boost Converter

يتكون المبدل DC/DC من عناصر تخزين وقواطع موصولة بحيث أن فترة التوصيل تتحكم بالتحويل الديناميكي للقدرة من دخل بمستوى معين إلى خرج (جهد الحمل) بمستوى آخر وفق ما هو مطلوب وهناك العديد من التطبيقات كالأظمة المُغذاة عن طريق البطاريات. يمكن أن يتغير جهد الدخل بشكل كبير بدءاً من جهد الشحن التام والذي يتناقص بالتدرج وفق استخدام البطارية، عندما تكون البطارية مشحونة بشكل كامل قد يكون جهد الشحن أعلى من الجهد اللازم فعلياً لتغذية الدارة، عندها سيكون المبدل الخافض مثالياً للحفاظ على ثبات واستقرار جهد تغذية الدارة، وعند انخفاض الشحن تحت المستوى اللازم ( أو في حال البطارية في حالة إعادة الشحن أو في حالة تفريغ )، عندها سيكون المبدل الرافع المبدل المثالي اللازم، لذلك فإن استخدام دائرة مبدل (رافع- خافض) تمكننا من الحصول على دائرة

منظم يتعامل مع مجال واسع من الجهود سواء أعلى أو أقل من الجهد اللازم لتغذية الدارة. يُعطى جهد الخرج للمبدل (الرافع - الخافض) بالعلاقة (1) :

$$V_o = \frac{D}{1-D} V_s \quad (1)$$

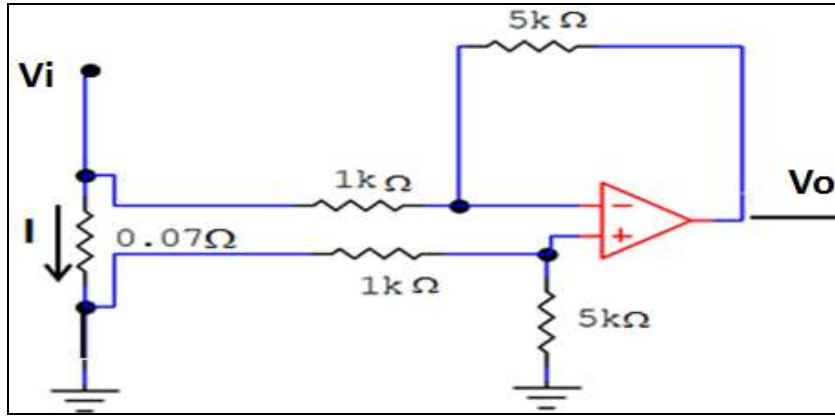
حيث:

$V_s$  هو جهد الدخل.

D هو معامل duty ratio يمثل معدل زمن التوصيل للقواطع ويتغيره بتغير عرض النبضة لـ PWM. ومن الواضح أنه يتم التحكم بجهد الخرج المنظم من خلال التحكم بالمعامل D لقواطع القدرة الالكترونية ( ترانزستورات MOSFETs ) [11,12,13].

### قياس الجهد والتيار:

قمنا بتنفيذ دارتين لقياس الجهد والتيار [14]، الدارة الأولى تقيس تيار الشحن، والثانية تقيس جهد البطارية، ويبين الشكل (2) دارة قياس التيار.



الشكل (2) دارة قياس التيار

عند مرور التيار يظهر هبوط جهد صغير جداً على المقاومة ( $R_{shunt}=0.07\Omega$ )، يتم قياس هبوط الجهد هذا عن طريق دارة مضخم العمليات الذي ربحه 5 حيث يُعطى الجهد على خرج المضخم بالعلاقة (2):

$$V_{out} = V_{in} \times 5 = I * 0.07 * 5 \quad (2)$$

يتم إدخال جهد الخرج بعد التضخيم إلى المتحكم وحساب قيمة التيار وفق العلاقة (3):

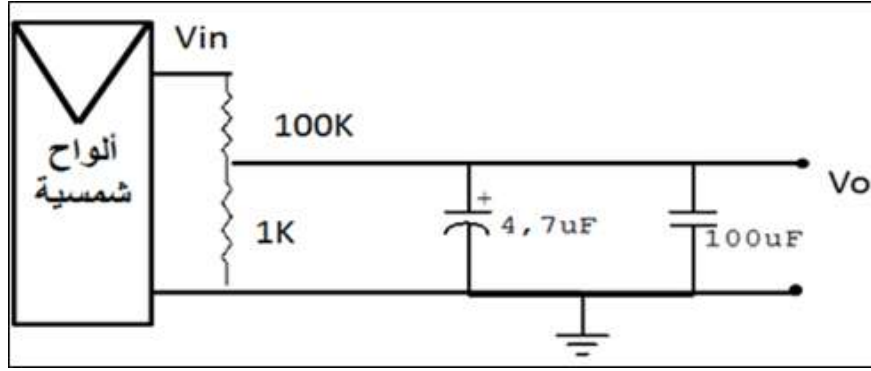
$$I = \frac{V_{out}}{0.07*5} \quad (3)$$

يتراوح مجال القياس للمقياس المصنَّع من (0-10) A.

دارة قياس الجهد المستخدمة مبينة بالشكل (3)، حيث يمثل جهد اللوح الشمسي  $V_{in}$  إشارة دخل المقياس،  $V_o$  تمثل جهد الخرج ويحسب من العلاقة (4):

$$V_o = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times V_{in} \quad (4)$$

حيث:  $R_1 = 1K \Omega$ ,  $R_2 = 100K \Omega$ .

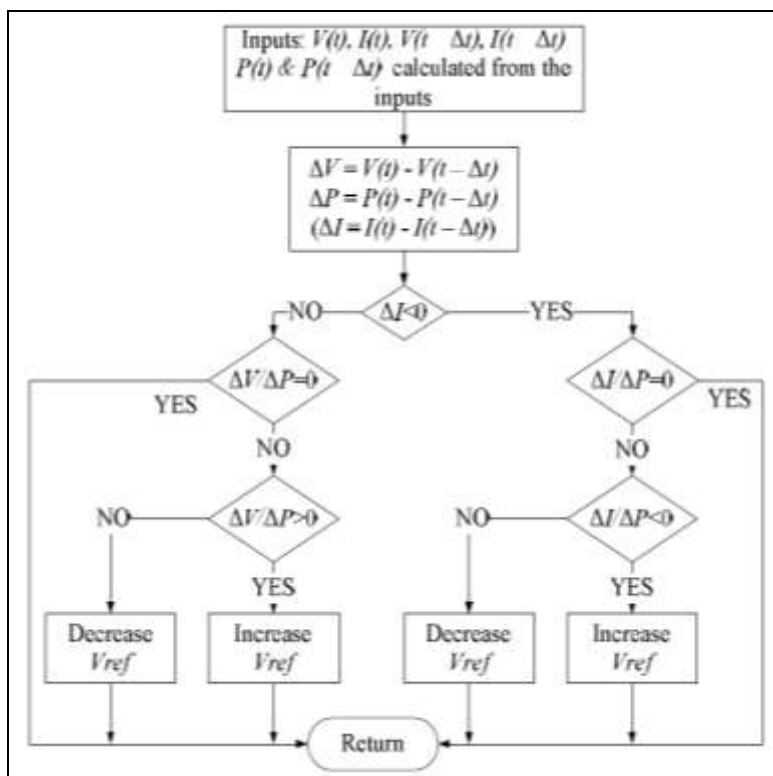


الشكل (3) دائرة قياس الجهد

تم تخفيض الجهد بهذه النسبة لتلائم جهود دخل المتحكم، كما تم وصل المكثفات لإزالة التشويش والتنعيم و زيادة استقرار الدارة. يتراوح مجال القياس لهذا الجهاز (0-150) volt. تمت معايرة المقاييس بدقة بمقارنة القيم المقاسة مع قراءات الأجهزة المعيارية المتواجدة في المخبر وتصحيح الفرق برمجياً.

#### تتكون دائرة القيادة من :

1- **متتبع الاستطاعة الأعظمية** وهو مبدل الكتروني مُتَحَكَّم به يجعل نقطة العمل للنظام توافق نقطة العمل للحمل بحيث يكون جهد خرج النظام (PV) أعظميةً عندما تتغير الظروف المحيطة من درجة حرارة أو شدة إشعاع، ويوجد العديد من النظريات المتبعة [15,16,17,18,19]، وقد اخترنا تقنية الموصلية المتزايدة Incremental Conductance (InCond) نظراً لشيوعها وسهولة تطبيقها ولأنها تمتاز بتحديد اتجاه البحث وما إذا تم الوصول إلى نقطة الاستطاعة العظمى أم لا، والشكل (4) يبين المخطط الصندوقي لهذه الطريقة.



الشكل (4) المخطط الصندوقي لتقنية الموصلية المتزايدة InCond [10].

2- المتحكم PIC16F877A استخدم لتخزين البرامج (برنامج تتبّع الاستطاعة الأعظمية، أوامر التحكم بعمل المقطع، برنامج التحكم بالشحن و التفريغ)، كما استخدم القطب CCP1 لتوليد نبضات PWM.

3- دائرة توجيه النبضات مكونة من شريحة 4072 (بوابات OR)، وشريحة 7408 (بوابات AND) للتحكم بالمفاتيح الالكترونية.

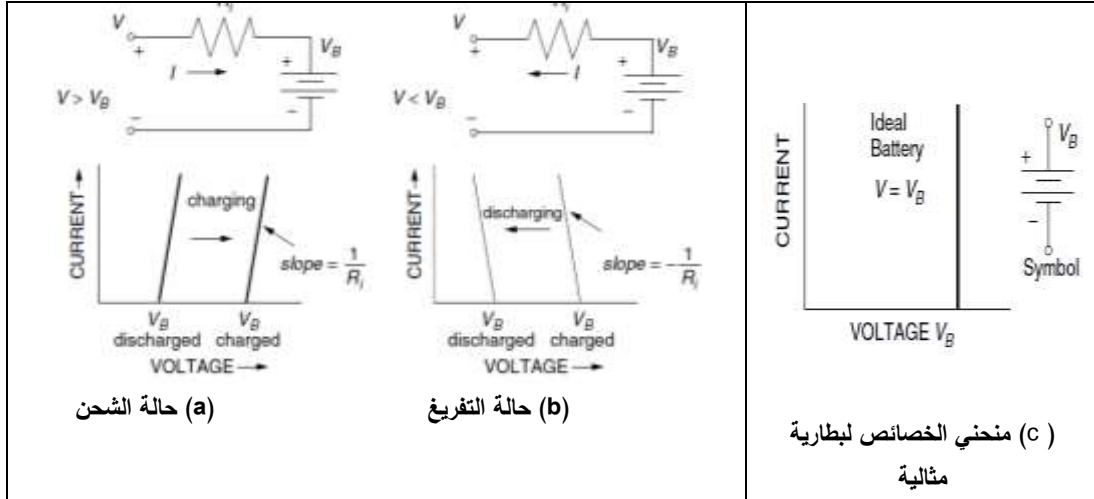
تتصل دائرة المتحكم مع شاشة LCD لعرض القيمة اللحظية لتيار الشحن وجهد البطارية والاستطاعة وحالة الشحن.

كما استخدمنا دائرة عزل مكونة من عوازل ضوئية لحماية دائرة المتحكم من التغذية العكسية المرتدة من المقطع.

### البطاريات

هناك أنواع عديدة من البطاريات المستخدمة في الأنظمة الكهروضمسية، لكل منها مزايا ومساوئ مثل أيون الليثيوم (Li-Ion)، نيكل كادميوم (Ni-Cd)، نيكل حديد (Ni-Fe)، لكن بطاريات حمض الرصاص هي الأكثر شيوعاً كونها رخيصة نسبياً ويمكن أن توفر تيارات عالية جداً وكل خلية لها جهد اسمي 2volt يمكن زيادته بالتوصيل المتوالي للخلايا [8]، لذلك قمنا بإجراء الاختبارات على هذا النوع من البطاريات بالإضافة إلى كونها متوفرة في المخبر ومتوفرة في السوق السورية بصناعة محلية ومستخدمة على نطاق واسع واهم مجالات الاستخدام حالياً التطبيقات الكهروضمسية والمنزلية منها على وجه التحديد.

البطارية المثالية هي التي يبقى جهدها ثابتاً عند تغير التيار كما في الشكل (5-c)، لكن في الحقيقة تُمثل البطارية عملياً ببطارية مثالية مع مقاومة خارجية، والشكل (5-a,b) يمثل الدارة المكافئة العملية للبطارية ومنحنيات الشحن والتفريغ [20].



الشكل (5) الدارة المكافئة ومنحنيات شحن وتفريغ البطارية.

### التفريغ الذاتي وظاهرة إطلاق الغاز:

يحدث التفريغ الذاتي عندما تكون البطارية في دارة مفتوحة، وبشكل أساسي نتيجة التفاعل بين القطبين والالكتروليت ويؤدي هذا التفاعل للتفريغ الذاتي إلى تصاعد غاز وانخفاض في تركيز حمض الكبريتيك. ويصبح معدل التفريغ الذاتي أكبر مع ارتفاع درجات الحرارة وزيادة عدد دورات الشحن/التفريغ .

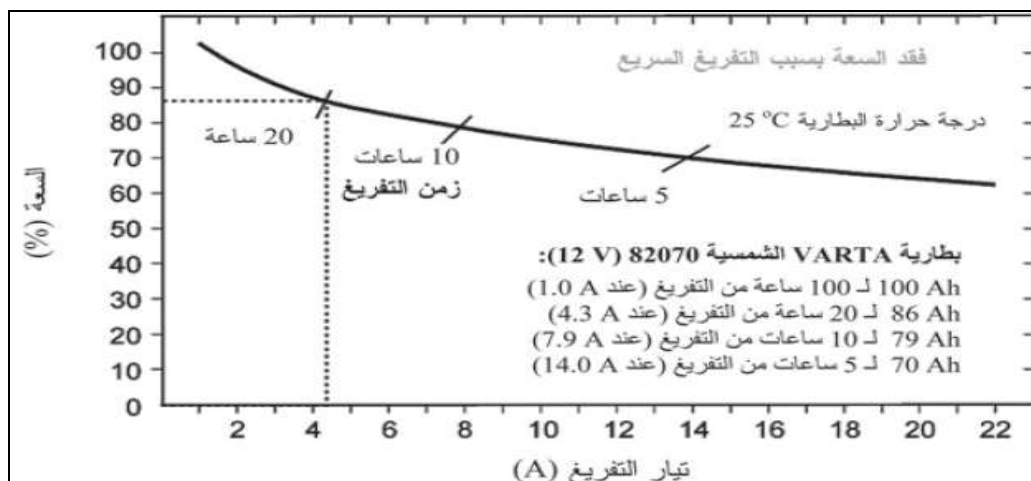
ينطلق الغاز عندما يتم تغذية البطارية بتيار أكبر من اللازم، مما يؤدي إلى إطلاق غازي الهيدروجين والأوكسجين، بعض عمليات إطلاق الغاز تُعد عادية إلا أن إطلاق غاز زائد يدل على أن هناك شحن زائد للبطارية، والغازات المنطلقة هي مواد قابلة للانفجار إذا ما تعرضت لشرارة ولهذا يجب توفير تهوية ملائمة، يبدأ إطلاق الغاز عند حوالي 80-90% من الشحن الكامل، والفكرة الخاطئة هي إيقاف الشحن عند بدء إطلاق الغاز ولن تصل البطارية إلى الشحن الكامل أبداً، لذلك قمنا بتقليل تيار الشحن عند مستوى شحن 80% [21].

### بعض المصطلحات الخاصة بالبطاريات

**سعة المدخرة (Ah):** وتعرف بأنها الشحنة الكهربائية المقدمة من المدخرة وبالتالي هي حاصل التيار الذي يمكن أخذه من المدخرة في الزمن الذي يمكن أن تفرغ فيه تقريباً نظامياً، تعطى سعة المدخرة الاسمية عادة على أساس السعة التي تقدمها خلال عشرين ساعة أو عشر ساعات. كما تتعلق السعة بنوع و عدد و أبعاد الصفائح (الألواح) المستخدمة و بقيمة و سرعة تفريغ أو تخزين التيار الكهربائي.

إن كفاءة البطارية هي دالة متعلقة بتيار التفريغ و تيارات التفريغ العالية تؤدي إلى كفاءة أقل وتقتصر العمر الزمني للبطارية ويجب تجنبها، وهذا ما يظهر واضحاً بالشكل (6) الذي يمثل السعة كتابع لعمق التفريغ لبطارية حمض الرصاص 12volt بسعة مصنفة 100 Ah (100 ل 100 ساعة من التفريغ) [8].

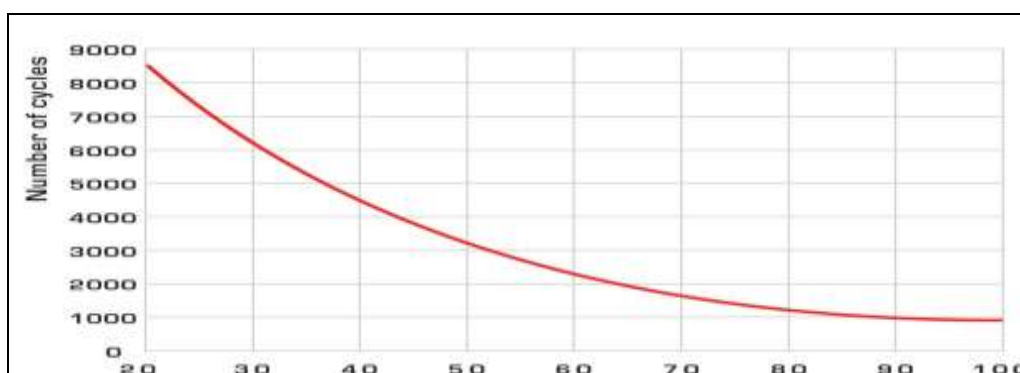




الشكل (6) سعة البطارية بدلالة تيار التفريغ

**عمق التفريغ (Depth Of Discharge) DOD:** ويعبر عن أقصى طاقة يمكن استخراجها من البطارية، وهو طريقة بديلة للإشارة إلى حالة شحن البطارية (SOC)، حيث أن عمق التفريغ هو متمم لمستوى شحن البطارية، فعند ازدياد أحد البارامترين ينقص الآخر، لذلك يُسمح للبطارية بالتفريغ حتى 50% وقد أخذنا ذلك بالحسبان في خوارزمتنا المقترحة، حيث يتم فصل الحمل عند هذا المستوى للشحن.

**عمر البطارية (Battery Live Span):** إن العمر الافتراضي للعديد من أنواع البطاريات يعتمد على عدد دورات الشحن / التفريغ التي تنجزها البطارية، إذ أن البطارية ذات عمق التفريغ الأعمق تملك عمراً أقصر، كما أن الأعمار الزمنية لبطاريات حمض الرصاص تنخفض بنسبة 50% لكل 10 K من درجة الحرارة فوق 25 °C. إن درجات حرارة التشغيل القصوى أقل من درجات حرارة الوسط القسوى وهذا يتطلب تعديل درجة الحرارة للبطاريات أثناء الشحن في التطبيقات التي تتغير فيها الحرارة بشكل ثابت أعلى من 5K. المشكلة هي أن سعة البطارية تعتمد على تيار التفريغ، وعمر البطارية يعتمد على مدى عمق التفريغ، يبين الشكل (7) دورة حياة البطارية بدلالة عمق التفريغ [22,23].



الشكل (7) دورة حياة البطارية بدلالة عمق التفريغ

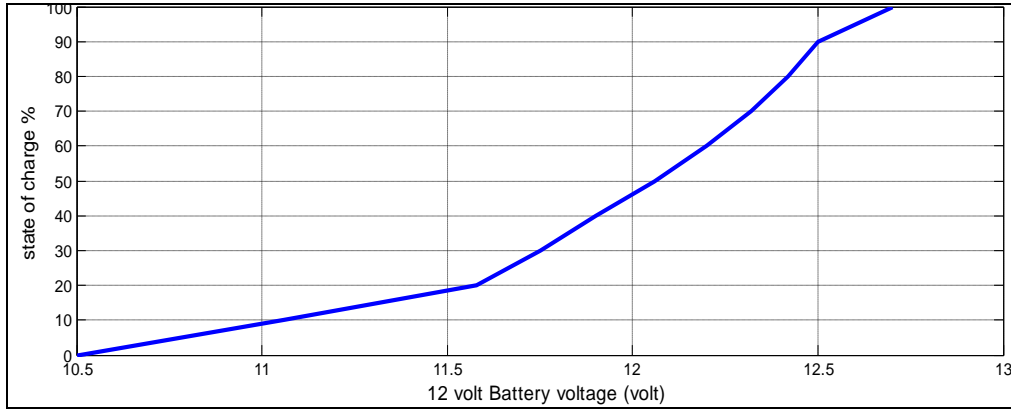
**حالة الشحن (State Of Charge) SOC:** إن حالة الشحن state of charge تعد من أهم المعايير المعتمدة عند توليد نبضات PWM للتحكم بالشحن وتعطى بالعلاقة (5):

$$\% SOC \text{ مستوى الشحن} = \frac{\text{سعة المتبقية في البطارية}}{\text{التأرجح في سعة (Ah)}} \quad (5)$$

والجدول (1)، والشكل (8) يبينان العلاقة بين جهد البطارية وحالة الشحن [7]:

الجدول (1) حالة الشحن \_ جهد البطارية

Battery voltage (volt)	State of charge %
10.5	0%
11.06	10%
11.58	20%
11.75	30%
11.9	40%
12.06	50%
12.20	60%
12.32	70%
12.42	80%
12.5	90%
12.7	100%



الشكل (8) العلاقة بين حالة اشحن وجهد البطارية

**خوارزمية التحكم بالشحن:** تقسم خوارزمية التحكم بالشحن المستخدمة إلى المراحل التالية:

- 1- التهيئة وتتضمن تفقد حدوث مقاطعة ويتضمن برنامج المقاطعة تعليمات حساب الزمن (ساعات وأيام) وإرسال نبضات PWM لشحن البطارية لمدة معينة لمنع حدوث التفريغ الذاتي الذي يحدث إذا ما تُركت البطارية لمدة معينة على فراغ (اعتمدنا 10 أيام)، وقراءة حساسات الجهد والتيار وحساب مستوى الشحن وفق العلاقة (6):

$$SOC = \frac{V_B - 10.5}{12.7 - 10.5} * 100 \quad (6)$$

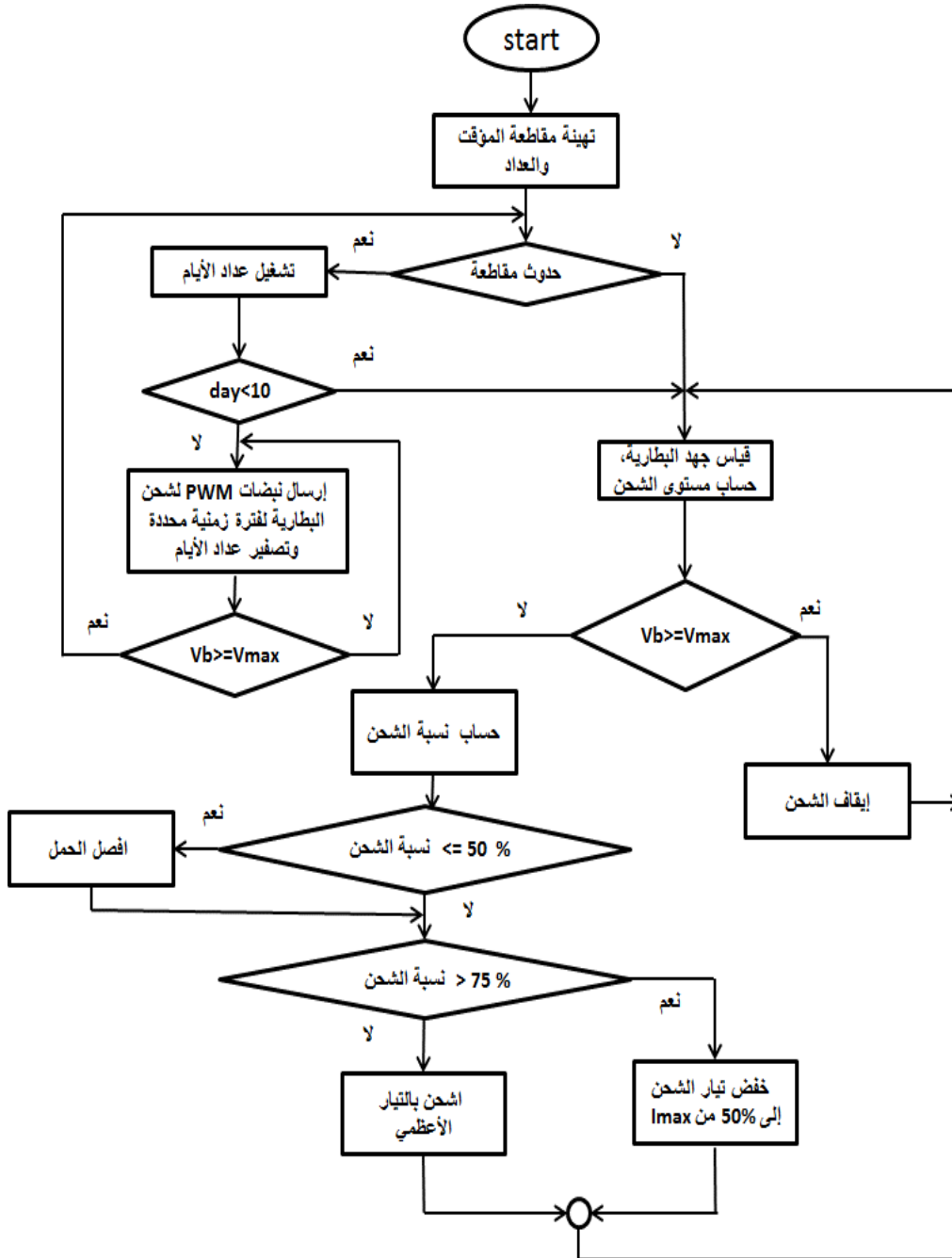
- حيث يقابل الجهد 10.5 volt حالة التفريغ التام لبطارية حمض الرصاص كمثال، لكن الخوارزمية قابلة للتعامل مع أنواع أخرى (جافة - هلامية)، كما يقابل الجهد 12.7 حالة الشحن التام وبالتالي التيار  $I_{max} = 0$ .
- 2- الشحن بالتيار الأعظمي الموافق لجهد بطارية أقل أو يساوي 10.5 أو مستوى الشحن ما بين (0-80)%
- 3- تخفيض تيار الشحن عند زيادة جهد البطارية عن 12.4 الموافق لـ 80% وذلك وفق العلاقة (7):

$$\text{نسبة تخفيض التيار} = I_{max} \left(1 - \frac{SOC-80}{20}\right) \quad (7)$$

حيث  $I_{max}$ : تيار الشحن الأعظمي ويختلف حسب سعة البطارية ونوعها، سعة البطارية المستخدمة 7.2 Ah وبالتالي فإن التيار الأعظمي الأمثل للشحن يعطى بالعلاقة (8):

$$I_{max} = 7.2 \cdot \frac{2}{4} = 1.8 A \quad (8)$$

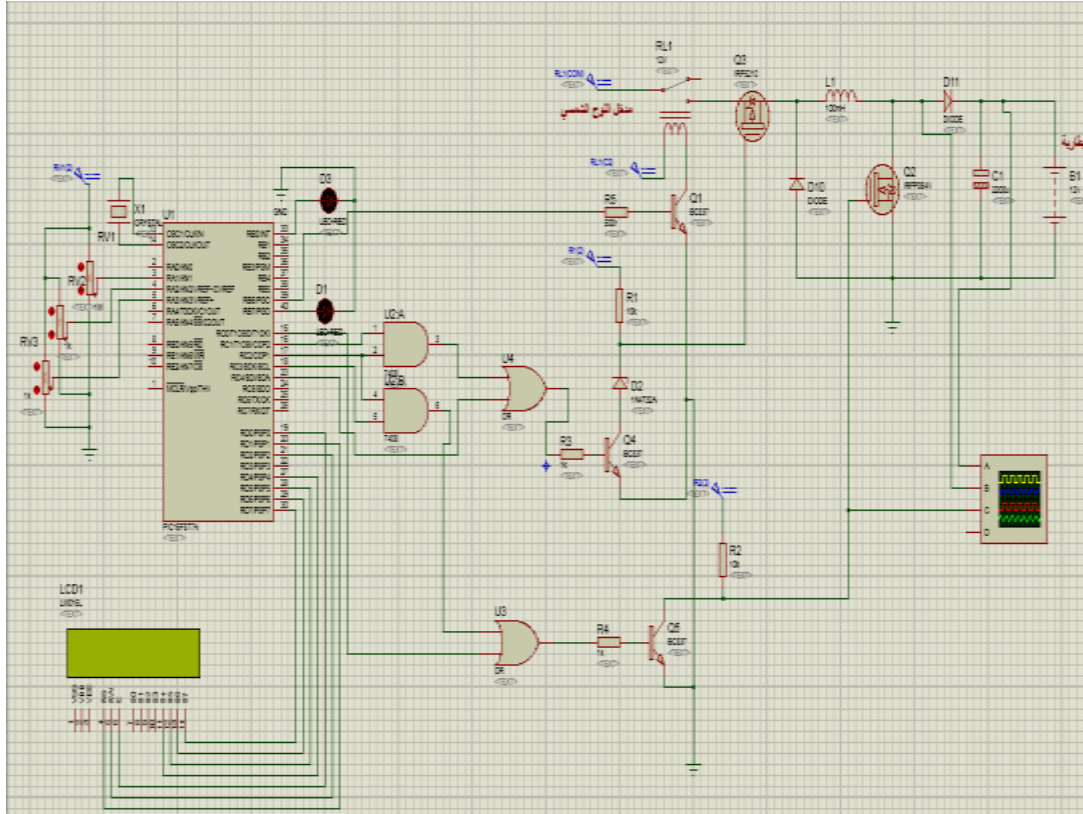
فإذا كانت نسبة الشحن للبطارية أقل من 80% من سعتها الاسمية فإن منظم الشحن في الدارة يحافظ على تيار أعظمي لا يزيد عن 1.8 A وذلك بهدف الحصول على عمر استثماري أمثل للمدخرة. والشكل (9) يبين المخطط الصندوقي للخوارزمية المقترحة:



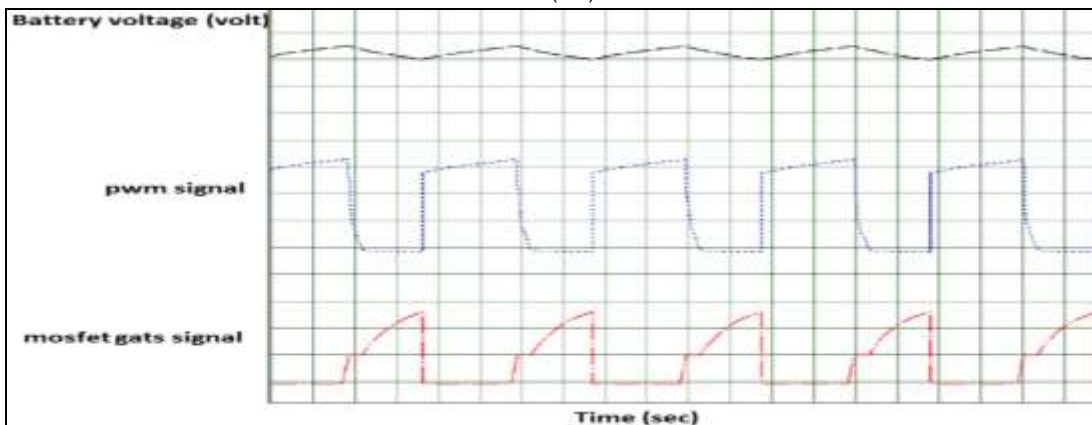
الشكل (9) خوارزمية التحكم بالشحن والتفريغ

## النتائج و المناقشة

قمنا بنمذجة الدارات المستخدمة ببرنامج البروتس Proteus8 كما في الشكل (10):  
 نتائج النمذجة ببرنامج البروتس proteus8 مبينة بالشكل (11)، حيث تمثل الإشارة العليا إشارة جهد البطارية أثناء عملية الشحن كما يظهر الشكل نبضات PWM المولدة من المتحكم ونبضات قرح بوابات الترانزستورات MOSFETs .



الشكل (10) دائرة القيادة



الشكل (11) إشارات جهد البطارية ونبضات التحكم

الدارات العملية المنفذة تظهر في الشكلين 12، 13 حيث يمثل الشكل (12) دائرة المقطع الرفع - الخافض والشكل (13) دائرة القيادة والتحكم بالنبضات المولدة من المتحكم PIC16F877A.



الشكل (12) دائرة المقطع الرفع الخافض



الشكل (13) دائرة القيادة والتحكم بالنبضات

تظهر شاشة LCD إشارة جهد البطارية الحالي (VB (volt) ومستوى الشحن % SOC و تيار الشحن (A) IB والاستطاعة اللحظية (P (watt)، كما في الشكل (14).



الشكل (14) شاشة LCD المستخدمة

قمنا بمقارنة أداء الدارة المنفذة مع دائرة شاحن شمسي PWM موجود في الأسواق يظهره الشكل (15)، كما يبين الشكل (16) التجهيزات والدارات المستخدمة في التجربة.

استخدمنا لوحين شمسيين نوع monocrystalline لهما نفس المواصفات التي يظهرها الشكل (17)، بطاريتين نوع 12volt Lead-acid، تم تفريغهما إلى نفس قيمة الجهد، ثم قمنا بوصل أحد اللوحين مع شاحن PWM إلى

إحدى البطاريتين، والأخرى مع دائرة الشحن المُنفذة إلى اللوح الآخر، وتسجيل القيم اللحظية لتياري الشحن وجهد البطاريتين وشدة الإشعاع الشمسي، والزمن عند كل قراءة، بدأنا بتسجيل القيم بتاريخ 1/6/2016 الساعة 1:30، بمعدل قراءة كل نصف ساعة، وحتى الساعة السابعة، حيث وصلت شدة الإشعاع إلى  $58 \text{ W/m}^2$  وبما أن تيار الشحن متناسب طردياً مع شدة الإشعاع، فإن تيارى الشحن انخفضا كما هو موضح بالشكل (18) في اليوم الأول، لكن من الواضح أن تيار الدارة المُنفذة (تيار دارة MPPT) أعلى، ولم يكن ذلك كافياً لشحن أي من المدخرتين، في اليوم التالي بدأنا من الساعة العاشرة والنصف وحتى الخامسة بعد الظهر حيث سُحنت المدخرة الموصولة مع دارة التتبع، ويُلاحظ من المنحني أن التيار يتبع الخوارزمية المقترحة، بينما كانت المدخرة الثانية لم تصل بعد إلى الشحن التام كما هو مبين في الشكل (19).

استخدمنا برنامج Excel لرسم المنحنيات، وكون التجربة أجريت على يومين وتكررت الساعات، قمنا برسم المنحنيات بدلالة تسلسل أخذ القراءات الموافقة للزمن بالساعات، والنتائج المسجلة مدرجة في الجدول (2).



الشكل (15) شاحن شمسي PWM



الشكل (16) تجهيزات تجربة المقارنة

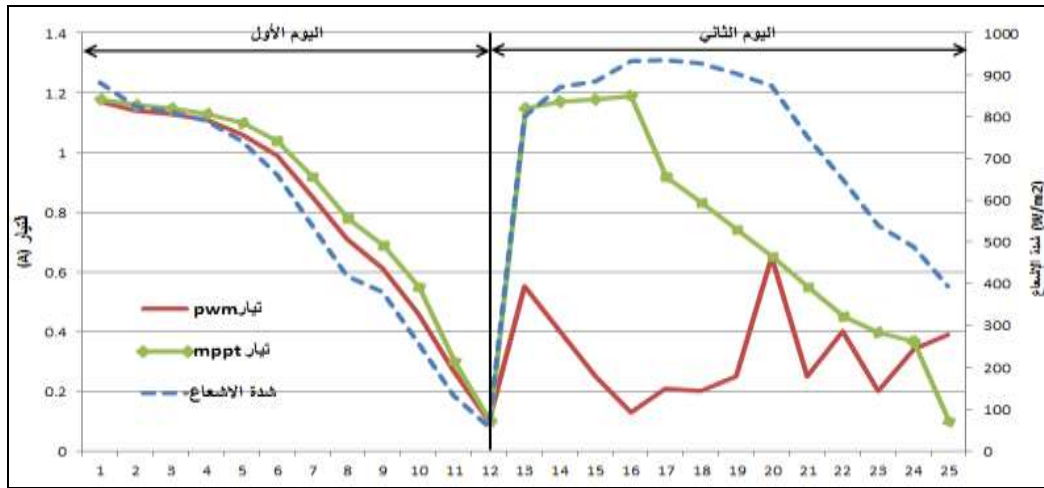
Type	SNM- 020
Power(P):	20 W
Voltage(Vmp):	16.8V
Current(Imp):	1.19A
Open Circuit Voltage(Voc):	21.4V
Short Circuit Current(Isc):	1.21A
All values at Standard Test	
Condition: 1000W/m <sup>2</sup>	
AM1.5, Cell Temperature 25°C	

الشكل (17) مواصفات اللوح المستخدم.

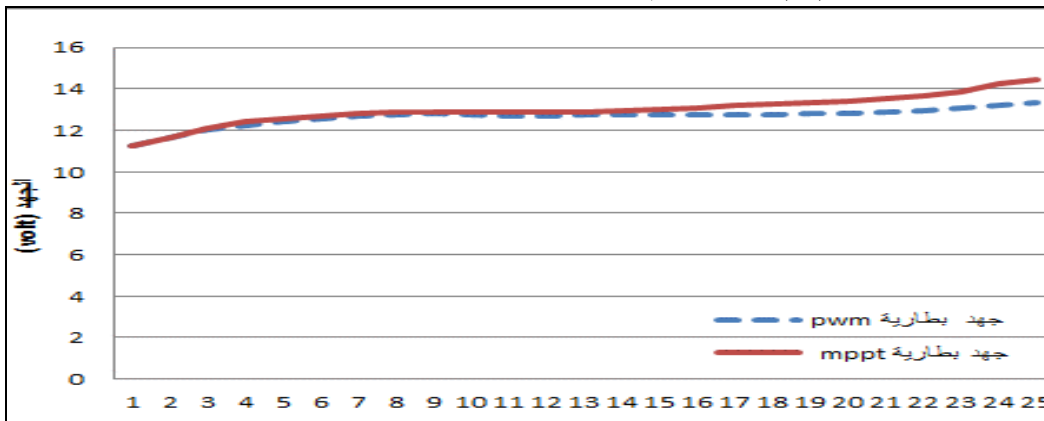
الجدول (2) نتائج القياس

التيار الأعظمي imax	مستوى الشحن SOC	جهد شاحن mppt (v)	تيار شاحن mppt(A)	جهد شاحن pwm (v)	تيار شاحن pwm (A)	شدة الاشعاع (W/M2)	الزمن (بالساعة)	تسلسل القراءات
1.8	18	11.22	1.18	11.22	1.18	880	13:30	1
1.8	28.5	11.64	1.16	11.61	1.14	825	14:00	2
1.8	40.25	12.11	1.15	12	1.13	810	14:30	3
1.8	48.25	12.43	1.13	12.25	1.11	790	15:00	4
1.8	51.75	12.57	1.07	12.45	1.06	740	15:30	5
1.8	54.25	12.67	1	12.57	0.99	660	16:00	6
1.8	57.5	12.8	0.87	12.69	0.85	537	16:30	7
1.8	58.75	12.85	0.73	12.76	0.71	417	17:00	8
1.8	59	12.86	0.66	12.78	0.68	380	17:30	9
1.8	59.25	12.87	0.54	12.74	0.5	259	18:00	10
1.8	59.5	12.88	0.3	12.7	0.27	133	18:30	11
1.8	59.5	12.88	0.1	12.7	0.3	58	19:00	12
1.8	59.5	12.88	1.15	12.72	0.55	800	10:03	13
1.8	60.5	12.92	1.17	12.73	0.4	870	11:00	14
1.8	62	12.98	1.18	12.74	0.25	883	11:30	15

1.8	63.5	13.04	1.19	12.75	0.13	933	12:00	16
1.8	68	13.22	0.92	12.76	0.21	936	12:30	17
1.8	69.25	13.27	0.83	12.77	0.2	927	13:00	18
1.8	71.25	13.35	0.74	12.79	0.25	903	13:30	19
1.8	72.75	13.41	0.65	12.81	0.65	872	14:00	20
1.8	75.25	13.51	0.55	12.87	0.25	753	14:30	21
1.8	79.5	13.68	0.45	12.92	0.6	650	15:00	22
1.485	83.5	13.84	0.4	13.1	0.2	539	15:30	23
0.585	93.5	14.24	0.37	13.23	0.34	488	16:00	24
0.113	98.75	14.45	0.1	13.36	0.39	394	17:00	25



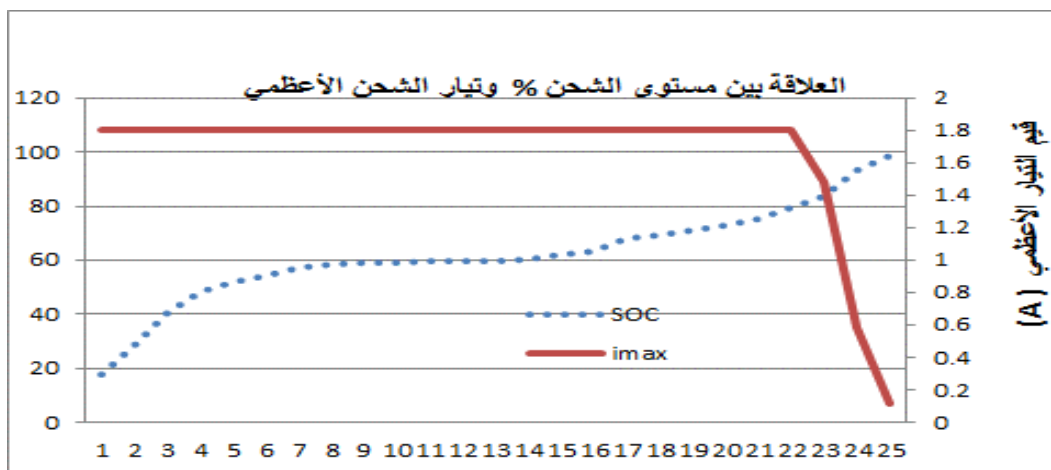
الشكل (18) مقارنة بين قيم تيار الشحن لكل من شاحن PWM و شاحن MPPT



الشكل (19) مقارنة جهد البطارتين

قمنا برسم منحنى (مستوى الشحن %) للمدخلة الموصولة مع نظام التتبع والتيار الأعظمي المسموح والشكل (20) يوضح تماماً الأداء الجيد للخوارزمية.





الشكل (20) العلاقة بين مستوى الشحن كنسبة مئوية والتيار الأعظمي المسموح للشحن

### الكلفة التقريبية للنظام المقترح:

- إن العناصر الضرورية لتجميع نظام الشحن المقترح متوفرة في السوق المحلية ورخيصة الثمن نسبياً. بلغت الكلفة التقديرية لتصنيع الجهاز حوالي 50,000 ليرة سورية توزعت كما يلي:
- 1- ثمن العناصر المكونة للنظام ( المتحكم PIC16F877A، ودارة تغذية المتحكم، دارة الملازمة MAX232، مثبتات جهد، وعناصر إلكترونية مختلفة) حوالي 25000 ليرة سورية.
  - 2- تصميم وتنفيذ الدارة المطبوعة وتركيب العناصر 10000 ليرة سورية.
  - 3- دارة المقطع 15000 ليرة سورية

### الاستنتاجات والتوصيات

- 1 - لا يمكن استخدام شاحن PWM لشحن بطاريات ذات ساعات كبيرة أو مع نظام PV ذو حجم كبير، كونه لا يحوي نظام تتبع للاستطاعة الأعظمية.
- 2 - يمكن استخدام نظام الشحن المقترح مع أنظمة PV بأي حجم، ومع أنواع مختلفة من البطاريات ويسعات مختلفة، بتيارات أعظمية A(40-50).
- 3 - بعد زيادة جهد المدخلة الموصولة مع شاحن PWM عن 12.7v أثناء الشحن، لاحظنا من المنحنيات أن الشاحن لا يعمل بشكل جيد، حيث يُلاحظ تذبذب بقيم التيار بشكل لحظي مما يؤكد أن نظام الحماية لشاحن PWM من زيادة الشحن غير مستقر، بينما كانت قراءة المقياس الموصول مع دارة شاحن MPPT مستقرة تماماً.
- 4 - عند حدوث تظليل جزئي على الألواح لوحظ بالتجربة انخفاض كلا التيارين بشكل كبير ولكن بعد فترة زمنية قصيرة لا تتجاوز 50sec يعود تيار شاحن MPPT إلى قيمته بعد زوال التظليل، بينما احتاج شاحن PWM إلى عدة دقائق.
- 5 - الجهد أثناء عملية الشحن لا يعبر عن قيمة جهد البطارية الحقيقي (على فراغ)، والقيمة التي يقرأها المقياس أثناء الشحن ليست إلا متوسط جهد الشاحن وجهد البطارية، فمثلاً بالمقياس تبين أن الجهد 14.5 v للمدخلة أثناء الشحن يقابل 12.7 بعد فصل الشاحن أي أن المدخلة مشحونة.

نوصي بمراقبة الطاقة المُستجزة من نظم الألواح الشمسية التي تستخدم المعرجات الحاوية نظام شحن، والمطروحة في الأسواق والتأكد من أنها تستجر أعظم استطاعة من الألواح، حيث لوحظ أن معظمها لا يستجر الاستطاعة العظمى.

### المراجع:

- [1] International Energy Agency, *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*; IEA Publications, Paris, France, 2010.
- [2] Tomabechi, K, *Energy Resources in the Future*, Energies, Vol.3, 2010, pp.686-695.
- [3] Shengyi, L; Dougal, R, *Dynamic Battery Model for System Simulation*, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 25, No.3, 2002, pp1521-3331.
- [4] Zhang, W; Skelton, D; Martinez, R, *Modelling and Analysis of an Off-line Battery Charger for single Cell Lithium Batteries*, IEEE, 2004.
- [5] Shiau, K; Ma, W, *Li-Ion Battery Charging with a Buck-Boost Power Converter for a Solar Powered Battery Management System*, Energies, Vol. 6, 2013, pp.1669-1699.
- [6] SANTOS, C, *optimized photovoltaic solar charger with voltage maximum power point tracking*, Institute National Engineering technology, LISBOA, thesis, 2008.
- [7] Ferdausi, M, *designing smart charge controller for the solar battery charging station (SBCS)*, BRAC University, Dhaka, Bangladesh, 2014.
- [8] Bago, C; Galan, G; Aguilera, J; Layos, L, *fuzzy controller applications in stand-alone photovoltaic systems*, Ciudad Universitaria, Madrid Spain, 2010.
- [9] Maia, A; Tavora, F, *Solar Battery charger for portable devices application*, SiliconReef Consultoria, Bairro do Recife, 2013.
- [10] Diag, J; Pia, S; Regt, E, *solar cell phone charger*, eduEC.711 D-Lab Energy, Sabana, Nicaragua, 2011.
- [11] Weissbach, S; Torres, M, *A Non-inverting Buck-Boost Converter with Reduced Components Using a Microcontroller*, Proceedings of the Southeast Conference, South Carolina, 2001, pp 79-84.
- [12] Sahu, B; Rincon-Mora, A, *A Low Voltage, Dynamic, Noninverting, Synchronous Buck-Boost Converter for Portable Application*, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 19, No.2, 2004, pp 443-452.
- [13] Gaboriault, M; Notman, A, *A High Efficiency, Non-Inverting, Buck-Boost DC-DC Converter*, Applied Power Electronics Conference and Exposition APEC'04 Nineteenth Annual IEEE, vol.3, 2004, pp 1411-1415.
- [14] LUECKE, J, *Analog and Digital Circuits for Electronic Control System Applications*, Newnes, Elsevier, 2005, P 324.
- [15] Rajavarma, K; Kerala, E; George, N, *Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System*, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, India, Vol. 3, December 2014.
- [16] Atkinson, D; Zahawi, B; Elgendy, M, *Assessment of the Incremental Conductance Maximum Power Point Tracking Algorithm*, IEEE, 2012.
- [17] Babu, G; Dash, S; Kalaiaras, N; Velu, A, *An Enhanced Methodology for Maximum Power Point Tracking in Solar Powered UPS Application*, IEEE, 2013.

[18] Shah,K; Joshi,L, *Comparative Analysis of Incremental Conductance Base MPPT for Multi-String Photovoltaic System*, Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), IEEE, 2013.

[19] Patel,J; Seth,V; Sharma,G, *Design & Simulation of PV system using Incremental MPPT algorithm*, IJAREEEIE, Vol 2, Issue 5, May 2013.

[20] Masters,G, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2004,676.

[21] Stefan,k; w,Krauter, *solar electric power generation –photovoltaic energy systems*, springer –verlag Berlin, Heidelberg,2011,(477).

[22] Lynn,A, *Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics*, John Wiley & Sons, 2010 .

[23] Dunlop,J; Farhi,B, *Recommendation for maximizing battery life in photovoltaic systems: a review of lessons learned*, Florida solar energy center /university of central Florida ,2001.

بعض المواقع الالكترونية ذات الصلة:

[1] <http://www.sciencedirect.com>

[2] <http://www.elsevier.com/locate/renene>

[3] <http://www.en.wikipedia.org/wiki/solargenerators>

[4] <http://www.ijetae.com>

[5] [www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com)

[6] <http://www.ruralelec.org/38.0.html.In:www.ruralelec.org>.

[7] <http://www.smart.net/~solar/LineList/PVmodulesUSSC>

[8] [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)

[9] <http://www.firstsolar.com>

[10] [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv\\_roadmap-1.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap-1.pdf)