

استخدام الخوارزمية الوراثية لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية في الأنظمة الكهروضوئية

الدكتور حسام شاهين*

حسن قنجاوي**

(تاريخ الإيداع 30 / 3 / 2015. قُبِلَ للنشر في 14 / 1 / 2016)

□ ملخص □

تعد الأنظمة الكهروضوئية منبعاً متجدداً للطاقة الكهربائية وصديقاً للبيئة، لكن لا تزال أسعارها مرتفعة نسبياً. إن الحصول على أعظم استطاعة خرج ممكنة من هذه الأنظمة-وضمان الحفاظ عليها عند أقل كلفة في التطبيقات الواقعية-مرتبط بشكل كبير بملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية (MPPT) Maximum Power Point Tracking عند مختلف شروط التشغيل.

نقترح في هذا المقال استخدام تقنية الخوارزمية الوراثية (Genetic Algorithm (GA) لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية اعتماداً على نموذج الخلية الشمسية. تعطي الخوارزمية المقترحة بشكل مباشر ودقيق جهد التشغيل الأمثل (V_{OP}) الذي سيبط عليه المبدل (DC/DC) والمقابل لنقطة الاستطاعة الأعظمية وذلك بمعرفة جهد الدارة المفتوحة (V_{OC}) وتيار الدارة القصيرة (I_{SC}) للخلية.

وللتحقق من صحة وفعالية الخوارزمية المقترحة قمنا بإعداد برنامج بلغة الماتلاب MATLAB R2010a للخوارزمية الوراثية وبرنامجاً ثانياً للخلية الشمسية ودمجها معاً حيث تم أخذ المقاومة التسلسلية فقط في نموذج الخلية الشمسية وأهملت المقاومة التفرعية.

أظهرت نتائج محاكاة تطبيق الخوارزمية المقترحة على عدة نماذج من الألواح الكهروضوئية إمكانية ضبط الجهد بشكل دقيق على القيمة الأمثل وبالتالي تشغيل النظام الكهروضوئي عند نقطة الاستطاعة الأعظمية.

الكلمات المفتاحية: الأنظمة الكهروضوئية، الخوارزمية الوراثية، نقطة الاستطاعة الأعظمية، جهد الدارة المفتوحة، تيار الدارة القصيرة.

*مدرس - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
**طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Genetic Algorithm for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems

Dr. Husam Shaheen *
Hassan Kenjrawy**

(Received 30 / 3 / 2015. Accepted 14 / 1 / 2016)

□ ABSTRACT □

Photovoltaic systems (PVs) offer an environmentally friendly source of electricity; however, up till now its price is still relatively high. Achieving the maximum power of these systems and maintaining it with lowest price in real applications is highly associated with Maximum Power Point Tracking (MPPT) under different operation conditions.

This paper proposes the use of Genetic Algorithm (GA) for tracking maximum power point depending on the solar cell model. GA gives, directly and precisely, the optimal operating voltage (V_{OP}) of the cell where the DC/DC converter will be adjusted according to it based on the previous knowledge of the open circuit voltage (V_{OC}) and short circuit current (I_{SC}) of the cell.

To validate the correctness and effectiveness of the proposed algorithm, MATLAB R2010a programs for GA and PV system are written and incorporated together where the series resistant of the cell is considered while the shunt resistant is neglected.

Simulation results of applying GA on different types of solar panels showed the possibility of the accurate adjusting of the voltage to the optimum value and thus operating the system at maximum power point.

Keywords: Photovoltaic Systems (PVs), Genetic Algorithm (GA), Maximum Power Point, Open Circuit Voltage (V_{OC}), Short Circuit Current (I_{SC}).

* Assistant Professor, department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen university, Syria.

** postgraduate student, department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen university, Syria.

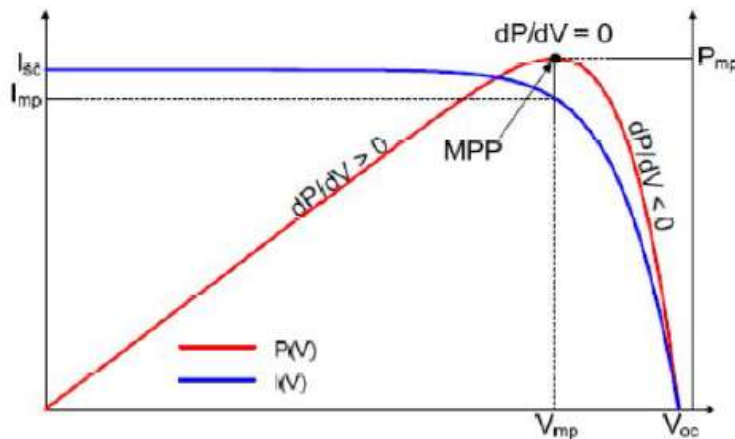
مقدمة

يبحث الانسان وبشكلٍ دائم عن مصادر جديدة ومتجددة من الطاقة لتوليد الكهرباء مع إمكانية تحقيق أدنى سعر وأعلى جودة وأطول ديمومة وأخذ الجانب البيئي بالحسبان أيضاً. تعد الطاقة الشمسية من بين أهم هذه المصادر حيث يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية باستخدام الأنظمة الكهروضوئية [1].

تعتمد استطاعة الخرج الأعظمية التي نحصل عليها من الأنظمة الكهروضوئية - والتي تشكل الخلايا الشمسية نواتها الأساسية - بشكل كبير على شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط الخارجي حيث تؤدي هذه العوامل إلى تغيير كبير في نقطة الاستطاعة الأعظمية Maximum Power Point (MPP). بالإضافة إلى ذلك، تملك مصفوفات خلايا هذه الأنظمة مميزة لا خطية Nonlinear characteristic بشكل كبير حيث يتغير أداؤها مع تغير شروط التشغيل المختلفة، لذلك يصعب من وجهة النظر التقنية تطوير نظام كهروضوئي يجمع جميع هذه المتطلبات [2]. وبغية الحصول على الاستطاعة الأعظمية من الأنظمة الكهروضوئية والحفاظ على هذه الاستطاعة في مختلف شروط التشغيل، إجريت الكثير من الأبحاث على مستوى العالم وتم اقتراح وتطوير عدة خوارزميات لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية وثبيتها [1][3].

اعتمدت بعض الخوارزميات على الطرق التقليدية ومن بين أهم هذه الخوارزميات خوارزمية الاضطراب والمراقبة Perturb-And-Observe (P&O) التي تعد الطريقة الأكثر شيوعاً في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية وتعرف أيضاً بطريقة الاضطراب (Perturbation). بالرغم من أنها سهلة التنفيذ إلا أن لها العديد من السلبيات، إذ لا يمكن أن يعمل النظام الكهروضوئي عند نقطة الاستطاعة الأعظمية الأمثل وذلك بسبب التجربة البطيئة والخطأ كما أنه يعمل دائماً بشكل متذبذب حتى في شروط الحالة المستقرة للإشعاع الشمسي وهذا يؤدي إلى التآرجح في استطاعة الخرج [4].

استخدمت أيضاً خوارزمية الناقلية التزايدية (Incremental Conductance Algorithm) حيث كانت المهمة الأساسية لهذه الخوارزمية هي حساب مشتق استطاعة خرج النظام الكهروضوئي بالنسبة إلى جهده dP/dV اعتماداً على جهد واستطاعة الخرج المقاسين للمصفوفة الكهروضوئية كما يظهر في الشكل (1) [6] [5].



الشكل (1) طريقة الناقلية التزايدية

$$\begin{aligned} \Delta V / \Delta P = 0 (\Delta I / \Delta P = 0) &\rightarrow \text{عند MPP} \\ \Delta V / \Delta P > 0 (\Delta I / \Delta P < 0) &\rightarrow \text{على يسار MPP} \\ \Delta V / \Delta P < 0 (\Delta I / \Delta P > 0) &\rightarrow \text{على يمين MPP} \end{aligned}$$

لكن لهذه الخوارزمية عدة سيئات تتمثل في عدم استقرار الخرج بسبب استخدام المشتق كما أن عملية الاشتقاق تصبح أصعب عند مستويات إشعاع منخفضة حيث تكون النتائج غير مرضية. بالإضافة لذلك، فإن هذه الطريقة تحتاج إلى العديد من الحساسات لذلك تعد ذات فعالية اقتصادية منخفضة بالمقارنة مع طريقة الاضطراب والمراقبة. تم كذلك استخدام طريقة الجهد الثابت التي تعتمد على العلاقة التقريبية بين جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) وجهد نقطة الاستطاعة الأعظمية (V_{MPP}) التي تتغير مع تغير درجة الحرارة والإشعاع الشمسي والعلاقة هي:

$$V_{MPP} \approx K_1 V_{oc}$$

حيث K_1 ثابت يتعلق بخصائص المصفوفة الكهروضوئية ويتراوح عملياً بين ($0.71 \div 0.78$) [4]. من أهم ميزات هذه الطريقة هي السهولة في التنفيذ و البساطة إلا أنها تملك عدة سيئات منها: . لتحديد جهد الدارة المفتوحة بجبايقاف مبدلة القدرة (shut down) بشكل مؤقت، حيث يحدث فقدان للتغذية عند كل عملية قياس. سيئة أخرى لهذه الطريقة أنها لا تستطيع ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية عند تغير الإشعاع الشمسي بشكل منحدر، وذلك لأن تحديد جهد نقطة الاستطاعة الأعظمية لا يتم بشكل متواصل. بالإضافة لذلك تعتبر هذه الطريقة من الطرق التقريبية أي أنها لا تعطي نقطة الاستطاعة الحقيقية.

ومن الطرق التقريبية أيضاً التي استخدمت لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية طريقة التيار الثابت وهي مشابهة لطريقة الجهد الثابت. تستخدم هذه الطريقة العلاقة التقريبية بين تيار الدارة القصيرة (I_{sc}) وتيار نقطة الاستطاعة الأعظمية (I_{MPP}) التي تتغير مع تغير درجة الحرارة والإشعاع الشمسي والعلاقة هي: $I_{MPP} \approx K_2 I_{sc}$ حيث عامل التناسب K_2 يحدد بشكل ملائم لكل مصفوفة كهروضوئية وتتراوح قيمته عملياً بين ($0.78 \div 0.92$) [4-5]. كذلك تعتبر هذه الطريقة من الطرق البسيطة و السهلة التنفيذ إلا أنها تملك عدة سيئات حيث يعتبر قياس تيار القصر خلال تشغيل النظام مشكلة، وعادة يتطلب إضافة مفتاح لمبدلة القدرة من أجل قصر دارة خرج المصفوفة الكهروضوئية لقياس تيار الدارة القصيرة. سيئة أخرى لهذه الطريقة هي أنه لا يتم تحقيق نقطة الاستطاعة الأعظمية وذلك بسبب أن العلاقة التناسبية هذه هي تقريبية. وكذلك العامل K_2 يتغير وفق شروط الظل التي تحدث بسبب تلوث سطح المصفوفة. بينما اعتمدت بعض الخوارزميات الأخرى في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية على تقنيات الذكاء الصناعي (AI) كما هو الحال في تقنية المنطق الضبابي حيث تستطيع هذه التقنية معالجة معطيات الدخل الخاطئة وغير الدقيقة دون الحاجة إلى نموذج رياضي دقيق. كما إنها تقدم أداءً جيداً عند حدوث تغيرات متدرجة في الإشعاع الشمسي. لكن من سيئات الأنظمة التي تعتمد على تقنية المنطق الضبابي أنه لا يوجد دليل على أدائها الجيد عند تغير الإشعاع الشمسي بشكل منحدر وفعاليتها تعتمد على مهارة المصمم في تحديد القواعد الأساسية المناسبة [7].

ومن بين هذه التقنيات أيضاً تقنية الشبكات العصبونية (NN) Neural Networks حيث تعد هذه التقنية من طرق ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية الملائمة للاستخدام مع للمتحكمات الصغيرة. أبسط مثال للشبكات العصبونية هي الشبكة المولدة من 3 طبقات: طبقة الدخل – الطبقة المخفية – طبقة الخرج. يعتمد أداء الشبكات العصبونية على التوابع المستخدمة في الطبقة المخفية وكيف يتم تدريب الشبكة العصبونية. تكون الروابط بين العقد موزونة ويتم ضبط الأوزان من خلال عملية التدريب. لتنفيذ عملية التدريب يتم تسجيل بيانات النماذج بين دخل وخرج الشبكات العصبونية خلال فترة زمنية طويلة لذلك يتم ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية بدقة وهذه تعتبر أهم مزايا الشبكات العصبونية. لكن السيئة الرئيسية لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية باستخدام الشبكات العصبونية هي أنه يجب تدريب الشبكات العصبونية بشكل دوري [8].

يلاحظ من الدراسات السابقة جميعها أنه لم يتم الوصول إلى خوارزمية أو تقنية تسمح بتشغيل النظام الكهروضوئي بشكل دقيق عند نقطة الاستطاعة الأعظمية والحفاظ عليها وبالتالي فإن كلفة تشغيله ستكون مرتفعة ومردوده منخفض.

نقترح في هذا البحث استخدام الخوارزمية الوراثية (GA) والتي هي أيضاً إحدى تقنيات الذكاء الاصطناعي للحصول على أعظم استطاعة خرج ممكنة من النظام الكهروضوئي حيث سيكون دخل الخوارزمية هو البارامترات الاسمية للوح الشمسي (جهد الدارة المفتوحة، تيار القصر، عدد الخلايا التسلسلية) وخرج الخوارزمية هو الجهد الأمثل للتشغيل (الجهد الأعظمي) الموافق لنقطة الاستطاعة الأعظمية من خلال الوصول إلى القيمة العظمى لتابع الملائمة في الخوارزمية الوراثية.

أهمية البحث و أهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من كونه يعالج مشكلة تعدد من بين أهم المشاكل التي تواجه التوسع في تطبيق الأنظمة الكهروضوئية واستخدامها بشكل اقتصادي وفعال وبالتالي فإن إيجاد حل لها سينعكس إيجاباً على التوسع في استخدام هذه الأنظمة بشكل كبير. كما أن هذه المشكلة لا تزال تعد أيضاً من بين محاور البحث النشطة المطروحة على المستوى العالمي.

انطلاقاً من المشاكل التي لوحظت في الأنظمة الكهروضوئية، فإن هذا البحث يهدف إلى :

-الحصول على أعظم استطاعة ممكنة من الأنظمة الكهروضوئية من خلال ملاحقة نقطة الاستطاعة

الأعظمية.

-ضبط جهد التشغيل للنظام الكهروضوئي على القيمة الموافقة لهذه الاستطاعة أي تثبيتها وبالتالي تحسين أداء

النظام الكهروضوئي ورفع مردوده.

طرائق البحث و مواد:

مواد البحث:

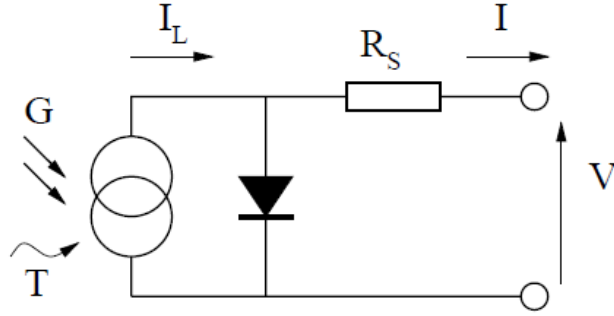
تم في هذا البحث استخدام بارامترات ومعطيات للوحين شمسيين هما MSX60, KC200GT واستخدام حاسوب شخصي بالمواصفات التالية: النوع ASUS XL54، الذاكر 2 GB، المعالج intel core i3 2.1 GH بالإضافة إلى استخدام برنامج MATLAB R2010a.

طرائق البحث:

استخدمنا في هذا البحث المنهجين التجريبي والوصفي حيث شملت منهجية البحث المراحل التالية:

اختيار نموذج الخلية الشمسية:

تم في هذا البحث اعتماد نموذج الخلية الشمسية ذي المقاومة التسلسلية فقط وذلك بسبببساطة هذا النموذج ودقة النتائج التي نحصل عليها إذ يتألف هذا النموذج من منبع تيار على التفرع مع ديوود ومقاومة تسلسلية كما يظهر في الشكل (2).



الشكل (2) نموذج الخلية الشمسية

حيث:

G : سوية (شدة) الاشعاع الشمسي (Wm^{-2})؛
 T : درجة الحرارة (C°)؛
 I_L : التيار الضوئي (A)؛
 R_s : المقاومة التسلسلية (Ω).
 I : تيار الخرج (A)؛

يعطى تيار الخرج في هذا النموذج حسب معادلة شوكلبي (Shockley equation) كما يلي:

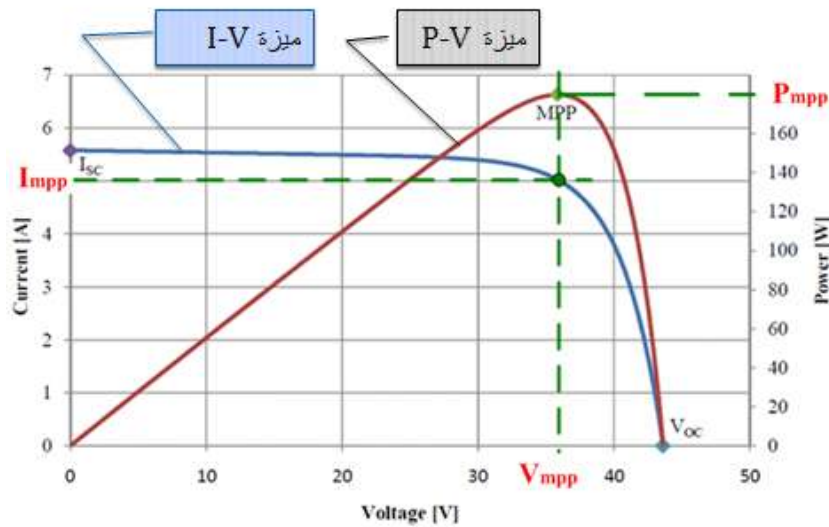
$$I = I_L - I_0 (e^{q(V + IR_s)/nkT} - 1) \dots \dots \dots (1)$$

حيث:

I_0 : تيار الاشعاع العكسي للديود؛ q : شحنة الالكترن ($1.60217 \times 10^{-19} C$)؛
 k : ثابت بولترمان ($1.38065 \times 10^{-23} J/K$)؛ T : درجة الحرارة ($^\circ K$)؛
 n : عامل المثالية للديود.

2-2-3 مفهوم نقطة الاستطاعة الأعظمية:

إن نقطة الاستطاعة الأعظمية هي النقطة الموافقة لأعظم استطاعة خرج من المصفوفة الكهروضوئية وتمثل مساقطها على مميزة (الجهد - التيار) جهد نقطة الاستطاعة الأعظمية V_{MPP} وتيار نقطة الاستطاعة الأعظمية I_{MPP} [4]، [6] كما يظهر في الشكل (3).



الشكل (3) نقطة الاستطاعة الأعظمية

الخوارزمية الوراثية (GA) Genetic Algorithm

تعد الخوارزمية الوراثية جزءاً من الحوسبة التطورية Computational Evolution، والتي هي منطقة سريعة النمو في علم الذكاء الاصطناعي، وهي مستوحاة من نظرية داروين في التطور. باستخدام هذه الخوارزمية، يتم الحصول على الحلول الأمثل للمشاكل المطروحة عن طريق عملية تطورية ينتج عنها أفضل (أمثل) حل. وبعبارة أخرى، فإن الحل يتطور مع الزمن (الأجيال أو التكرارات). اخترعت الخوارزمية الوراثية من قبل العالم John Holland حيث طورها هو وطلابه وزملاؤه [9]. في عام 1992 استخدم (John Koza) الخوارزمية الوراثية في تطوير برامج لتنفيذ مهام معينة وقد سمي هذه الطريقة باسم البرمجة الوراثية [Genetic Programming (GP) 10]. أثبتت الخوارزمية الوراثية فعالية عالية في تطبيقات متعددة تمثلت بأدائها الفعال في إيجاد الحل الأمثل لمشاكل مثل حل المعادلات اللاخطية وغيرها.

مراحل تطبيق الـ GA:

تعمل الخوارزمية الوراثية على مجموعة من الحلول وليس حلاً واحداً. يشمل تطبيق الخوارزمية الوراثية المراحل

التالية:

1. الانطلاق (Initialization):

في البداية، يتم إنتاج أو خلق جيل (مجموعة من الحلول) لإبتدائية الملائمة للمشكلة المطروحة) بشكل عشوائي. يمكن تمثيل مجموعة الحلول الإبتدائية بمصفوفة أعمدتها (X_1, X_2, \dots, X_m) تمثل المتغيرات التي يجب تحديد قيمها (الحل الأمثل) لتعطي أعظم قيمة لتابع الهدف، بالإضافة إلى عمود أخير يمثل قيمة تابع الهدف. أما أسطر المصفوفة (S_1, S_2, \dots, S_n) فهي قيم عشوائية لهذه المتغيرات مأخوذة ضمن المجالات المسموحة لها والتي تشكل الحلول كما يظهر في الشكل (4). تقوم الخوارزمية الوراثية بالبحث عن قيم المتغيرات التي تعطي أفضل حل وفقاً لتابع هدف ما (أي بمعنى أعلى قيمة لتابع الهدف). في حالتنا متغير البحث هو جهد الخلية الشمسية، لذلك سوف نحاول الحصول على أمثل قيمة لهذا الجهد والتي توافق قيمة الاستطاعة الأعظمية.

2. التقييم (Evaluation):

وهي خطوة مهمة في الخوارزمية الوراثية لأنها تسمح باختيار الحل الأفضل من بين مجموعة الحلول المتاحة. يتم تقييم الحلول من خلال تابع هدف ما، ويكون الحل أفضل (أمثل) إذا أعطى أعلى قيمة لتابع الهدف. في حالتنا تابع الهدف هو ببساطة استطاعة اللوح الشمسي ($P=V.I$) والتي نسعى أن تكون أعظمية حيث يتم اختيار قيمة الجهد التي تعطي استطاعة أعظمية.

متغيرات (مجاهيل) المشكلة	X_1	X_2	...	X_m	قيمة تابع الهدف
S_1	3	0.02	...	17	11
S_2	4.1	0.11	...	9.3	23
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
S_n	2.4	0.05	...	13.5	8

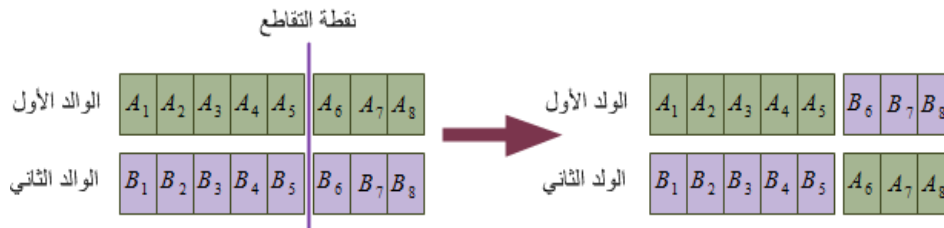
الشكل (4) مثال على تشكيل مصفوفة الحلول الابتدائية في الخوارزمية الوراثية

3. العمليات الوراثية:

وهي أساس خوارزمية الـ GA، لا تستبعد النظريات الاحتمالية ولكنها تعطي نتائج مهمة جداً، وهذه العمليات هي :

-الاختيار: يتم اختيار مجموعة من الحلول بنسبة ما وفقاً لتابع الهدف الأعظمي لتشارك في تشكيل الجيل الجديد.

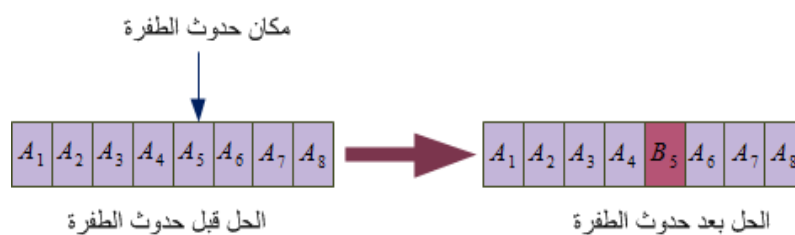
-التقاطع: يتم تقاطع أزواج من الحلول المختارة للحصول على حلول جديدة كما يظهر في الشكل (5)



الشكل (5) التقاطع

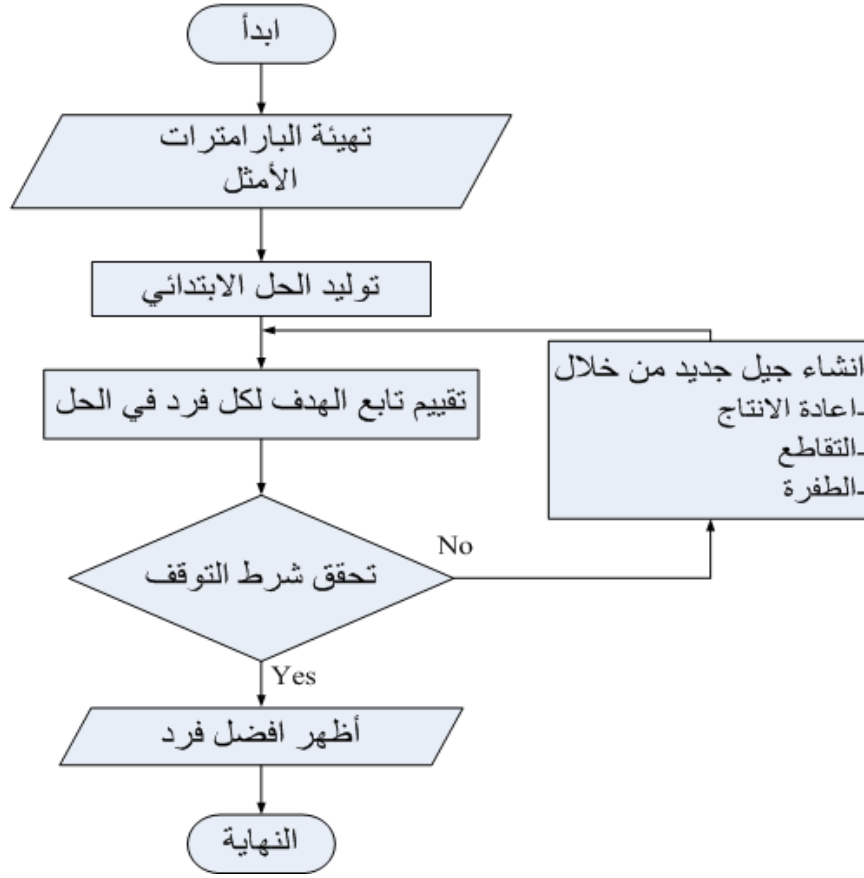
-الطفرة: يطبق على الحل الجديد عملية وراثية جديدة أخرى وهي الطفرة كما يظهر في الشكل (6) وذلك

لضمان أنه يوجد حل جديد مختلف عن الحلول السابقة حتى تستمر الخوارزمية في العمل



الشكل (6) الطفرة

- الادخال (Insertion): يدمج الحل الجديد مع الحل القديم لاستبدال الحلول ذات تابع الهدف الأقل.
4. نهاية البرنامج: يخلق البرنامج حلولاً أفضل جيلاً بعد جيل ويتوقف البرنامج إما وفقاً لعدد التكرارات أو عند الحصول على نفس القيمة الأعظمية لتابع الهدف في جيلين متلاحقين.
- استخدام الخوارزمية الوراثية في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية:
- يمكن توضيح استخدام الخوارزمية الوراثية في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية كما يلي:
1. تهيئة قيم بارامترات تقنية الحل الأمثل الابتدائية مثل عدد الحلول في الجيل الواحد والعدد الأعظمي للأجيال، بالإضافة إلى قيم بارامترات الخوارزمية الوراثية مثل شرط التوقف ونوع التقاطع مع نسبة حدوثه ونوع الطفرة مع نسبة حدوثها وقيم بارامترات اللوح الشمسي.
 2. تشكيل جيل ابتدائي من الحلول الصحيحة بشكل عشوائي بحيث يأخذ بالحسبان المتغيرات التي يجب تحديد قيمها الأمثل ضمن المجالات المسموحة لهذه المتغيرات.
 3. تقييم كل حل من مجموعة الحلول الابتدائية وفقاً لتابع الهدف المحدد.
 4. تشكيل جيل جديد من الحلول اعتماداً على العمليات الوراثية للخوارزمية الوراثية (الاختيار والتقاطع والطفرة).
 5. تقييم جميع حلول الجيل الجديد وفقاً لتابع الهدف المحدد.
 6. إذا تحقق شرط التوقف يجب إيقاف البرنامج وإخراج أفضل حل وإلا يتم العودة إلى الخطوة (4) من جديد حتى يتم نصل إلى عدد التكرارات الأعظمي.
- يبين الشكل (7) المخطط التدفقي للخوارزمية الوراثية:



الشكل (7) المخطط التدفقي للخوارزمية الوراثية

النتائج والمناقشة

للتأكد من صلاحية وفعالية الخوارزمية الوراثية في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية للألواح الشمسية في الأنظمة الكهروضوئية، تم تطوير برنامجين بلغة الـ (MATLAB)، الأول لحساب تيار الخلية الشمسية في الألواح الشمسية والثاني للخوارزمية الوراثية وتم ربط البرنامجين معاً للحصول على نقطة الاستطاعة الأعظمية في هذه الألواح. تم بعد ذلك اختبار هذه الخوارزمية على لوحين شمسيين: KC200GT و MSX60.

4-1 نتائج حساب تيار الخلية الشمسية:

تم التحقق من صلاحية برنامج نموذج الخلية الشمسية على اللوحين KC200GT و MSX60 عند سويات مختلفة للإشعاع الشمسي، وعند درجات حرارة مختلفة أيضاً وكانت النتائج كما يلي:

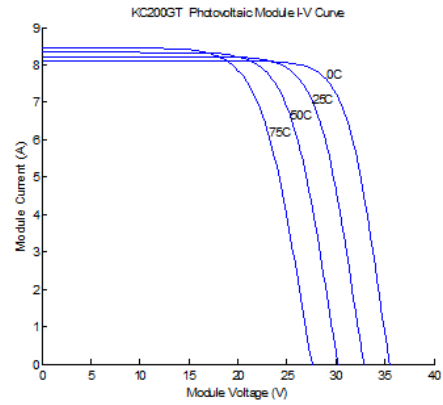
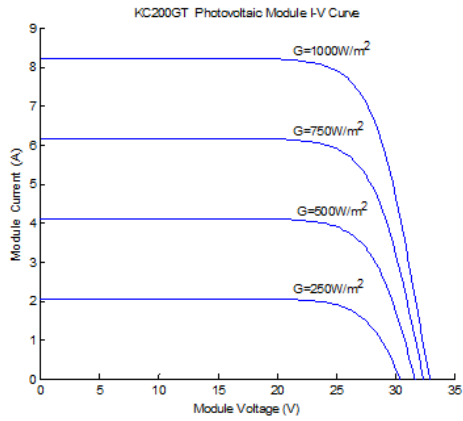
A - على اللوح KC200GT:

عند ادخال بارامترات اللوح KC200GT كما في الجدول (1)، حسب المرجع [11]، تم إيجاد التيار الذي يعطيه هذا اللوح ورسم مميزة الجهد - التيار عند قيم مختلفة لدرجات الحرارة كما في الشكل (8)، وعند سويات مختلفة للإشعاع

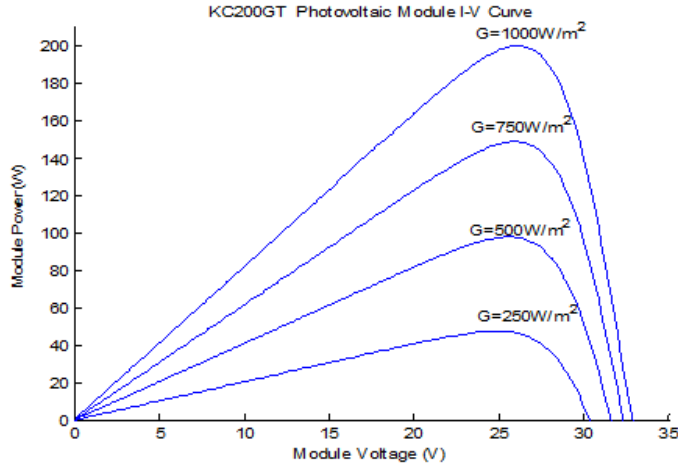
الشمسي كما في الشكل (9)، وكذلك رسم مميزة الجهد-الاستطاعة عند سويات مختلفة للإشعاع الشمسي كما في الشكل (10).

الجدول (1) بارامترات اللوح KC200GT:

200 W	الاستطاعة الأعظمية
26.3 V	جهد الاستطاعة الأعظمية
7.61 A	تيار الاستطاعة الأعظمية
32.9V	جهد الدارة المفتوحة
8.21A	تيار الدارة القصيرة
54	عدد الخلايا التسلسلية



الشكل (8) ميزة I-V للوح KC200GT عند درجات حرارة مختلفة الشكل (9) ميزة I-V للوح KC200GT عند سويات اشعاع مختلفة

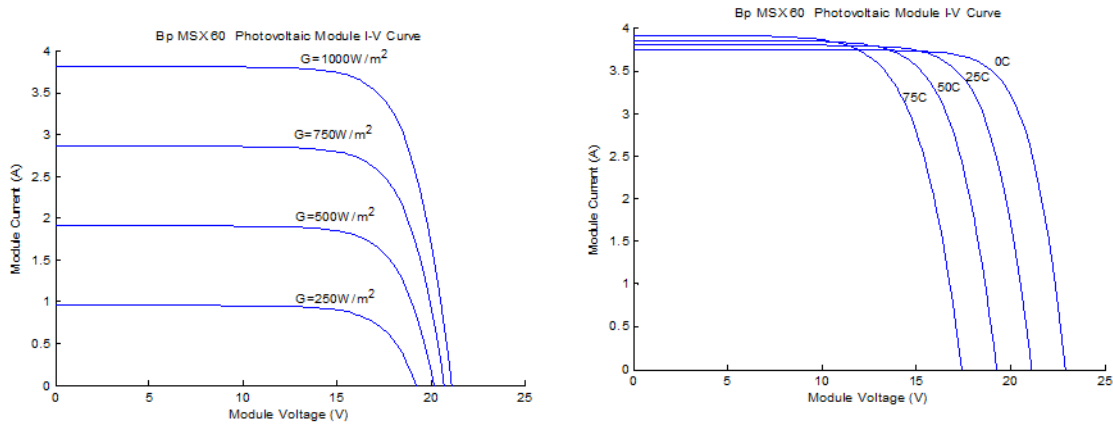


الشكل (10) ميزة P-V للوح KC200GT عند سويات اشعاع مختلفة

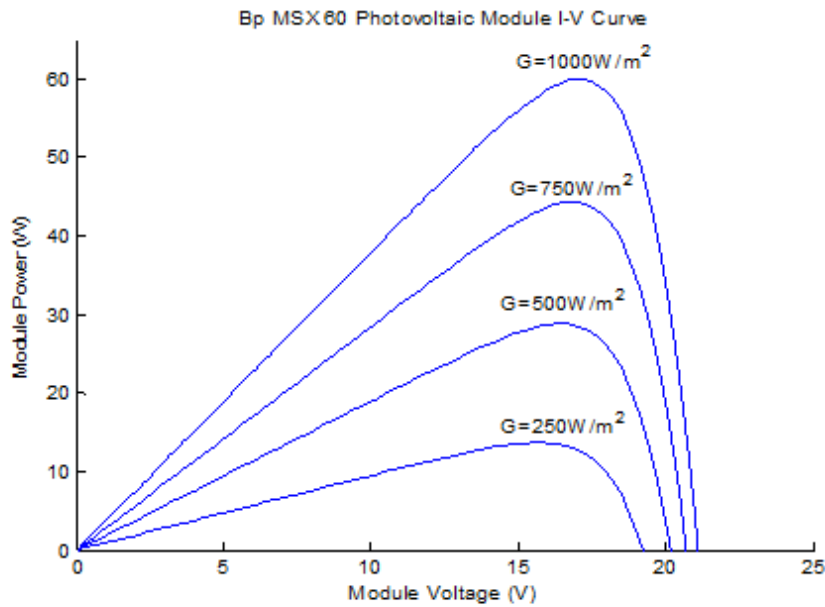
B على اللوح MSX60 عند ادخال بارامترات اللوح MSX 60 كما في الجدول (2)، حسب المرجع [12]، تم ايجاد التيار الذي يعطيه هذا اللوح ورسمميزة الجهد - التيار عند قيم مختلفة لدرجات الحرارة كما في الشكل (11)، وعند سويات مختلفة للإشعاع الشمسي كما في الشكل (12)، وكذلك رسم مميزة الجهد- الاستطاعة عند سويات مختلفة للإشعاع الشمسي كما في الشكل (13).

الجدول (2) بارامترات اللوح MSX60

60W	الاستطاعة الأعظمية
17.1V	جهد الاستطاعة الأعظمية
3.5A	تيار الاستطاعة الأعظمية
21.1V	جهد الدارة المفتوحة
3.8A	تيار الدارة القصيرة
36	عدد الخلايا التسلسلية



الشكل (11) ميزة I-V للوح MSX 60 عند درجات حرارة مختلفة الشكل (12) ميزة V-I للوح MSX 60 عند مستويات اشعاع مختلفة



الشكل (13) ميزة P-V للوح MSX60 عند مستويات اشعاع مختلفة

2-4 نتائج استخدام الخوارزمية الوراثية في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية
 تم تطبيق الخوارزمية الوراثية على لوحين شمسيين هما (MSX60 و KC200GT) لإيجاد القيمة الأمثل لجهد
 كل منهما والتي يجب أن يضبط عليها المتحكم المستخدم في النظام الكهروضوئي من أجل الحصول على الاستطاعة
 الأعظمية للنظام. يأخذ جهد اللوح الشمسي قيمه ضمن المجال $[V_{OC} - 0]$. لذلك فإن الخوارزمية الوراثية هي التي يجب

أن تحدد القيمة الأمثل للجهد ضمن هذا المجال. لتطبيق الخوارزمية الوراثية تم بدايةً تحديد القيم الأولية للبارامترات الأساسية للخوارزمية كما يظهر في الجدول (3).

الجدول (3) القيم الابتدائية لبارامترات الخوارزمية الوراثية (GA)

بارامترات الخوارزمية الوراثية	
30	عدد الحلول (عدد الأفراد)
100	العدد الأعظمي للأجيال (g_{max})
1	عدد الأبناء لكل زوج يتم اختياره من الأباء
عدد الحلول $\times 0.8$	احتمال الاختيار
عدد الحلول $\times 0.8$	احتمال التقاطع
عدد الحلول $\times 0.8$	احتمال الطفرة

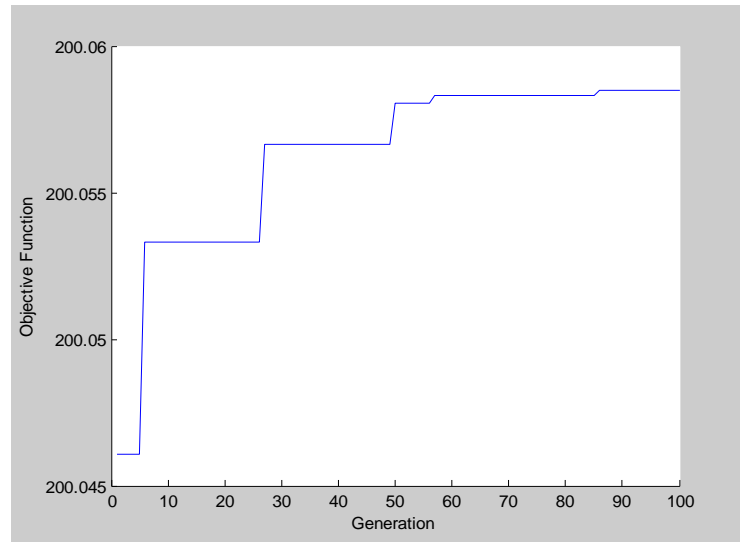
تم اعتماد القيم السابقة لبارامترات الخوارزمية الوراثية حسب المرجع [13]، [14]. وبما أن الخوارزمية الوراثية ذات طبيعة احتمالية احصائية تم تنفيذ برنامج الخوارزمية الوراثية 25 مرة على كل لوح وكانت النتائج كما يلي:

A - على اللوح KC200GT:

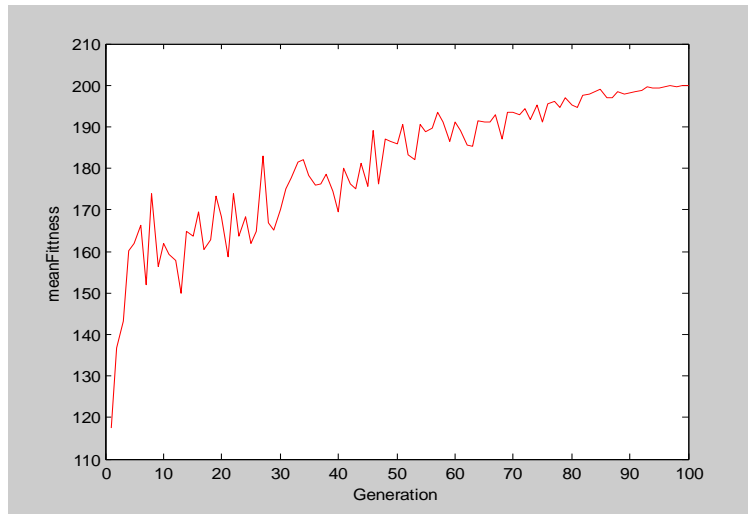
عند تنفيذ برنامج الخوارزمية الوراثية 25 مرة على اللوح KC200GT عند درجة حرارة 25°C وسوية اشعاع 1000 w/m^2 كانت قيمة الاستطاعة هي 200.0586W والجهد الأمثل الموافق لها هو 26.14V .

تظهر الأشكال (14) و(15) سلوك تابع الهدف والقيمة المتوسطة له عند الحصول على أعظم استطاعة

ممكنة.



الشكل (14) سلوك تابع الهدف عند الحصول على أعظم استطاعة للوح KC200GT



الشكل (15) القيمة الوسطى لتابع الهدف عند الحصول على أعظم استطاعة للوح KC200GT

ومن البارامترات الأسمية للوح نجد أن الجهد الموافق للاستطاعة الأعظمية $26.2812V = 200 \div 7.61$

$$\frac{|26.2812 - 26.14|}{26.2812} * 100 = 0.5\% \quad \text{والخطأ النسبي للمؤي للجهد المحسوب}$$

$$\frac{|200 - 200.0586|}{200} * 100 = 0.02\% \quad \text{والخطأ النسبي للاستطاعة المحسوبة}$$

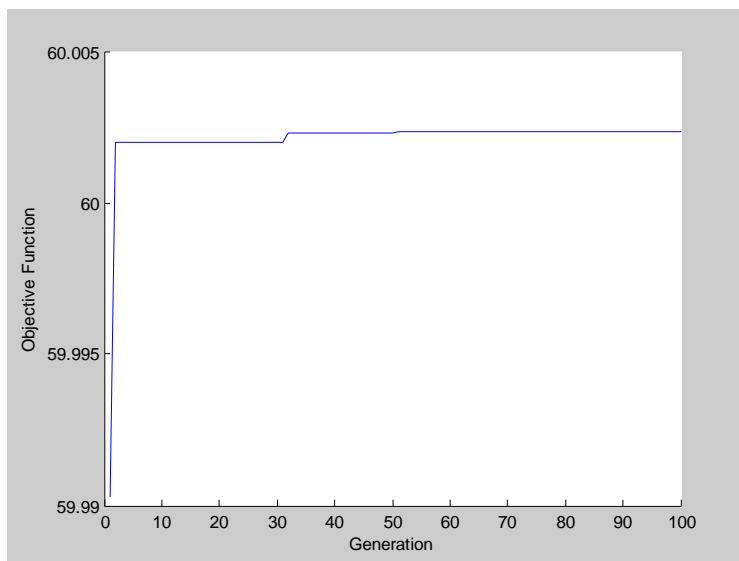
B - على اللوح MSX60

عند تنفيذ برنامج الخوارزمية الوراثية على اللوح MSX60 عند درجة حرارة $25^{\circ}C$ وسوية اشعاع 1000 w/m^2

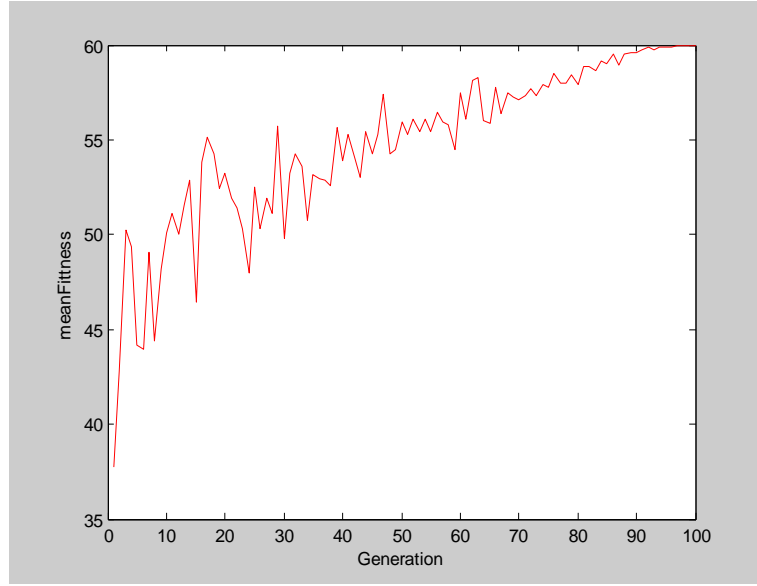
كانت قيمة الاستطاعة هي $60.002W$ والجهد الأمثل الموافق لها هو $17.06V$.

تظهر الأشكال (14) و(15) سلوك تابع الهدف والقيمة المتوسطة له عند الحصول على أعظم استطاعة

ممکن.



الشكل (16) سلوك تابع الهدف عند الحصول على أعظم استطاعة للوح MSX60



الشكل (17) القيمة الوسطى لتابع الهدف عند الحصول على اعظم استطاعة للوح MSX60

ومن البارامترات الأسمية للوح نجد أن الجهد الموافق للاستطاعة الأعظمية $17.14286V = 60 \div 3.5$

$$\frac{|17.14286 - 17.06|}{17.14286} * 100 = 0.48\%$$

$$\frac{|60 - 60.0028|}{60} * 100 = 0.004\%$$

والخطأ النسبي المئوي للجهد
والخطأ النسبي للاستطاعة

ومن البارامترات الأسمية للوح نجد أن الجهد الموافق للاستطاعة الأعظمية $17.14286V = 60 \div 3.5$

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

من خلال النتائج التي حصلنا عليها نستنتج ما يلي:

1 فعالية برنامج الخلية الكهروضوئية المطور في تحديد تيار الخلية الشمسية عند شروط مختلفة لدرجات الحرارة ولسويات الاشعاع الشمسي.

2 فعالية الخوارزمية الوراثية في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية بدقة وسرعة كبيرتين.

التوصيات:

نوصي بما يلي:

1 متابعة البحث باستخدام نموذج الخلية الشمسية الذي يأخذ بالحسبان المقاومة التفرعية.

2 متابعة البحث مع الأخذ بالحسبان شروط الظل.

المراجع

- [1] HADJI, S.; KRIM, F.; GAUBERT, J. P. *Development of an Algorithm of Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems Using Genetic Algorithms*. IEEE USA, 2011, 43-46.
- [2] LIU, C.; WU, B.; CHEUNG, R. *Advanced Algorithm for MPPT Control of Photovoltaic System*. Canadian Solar Buildings Conference, Canadian Solar Buildings Conference Montreal, August 20-24, 2004.
- [3] MORALES, D. S. *Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications* Espoo 14.12.2010,73.
- [4] SATPATHY, S. *Photovoltaic Power Control Using MPPT and Boost Converter*. National Institute of Technology, Rourkela. May, 2012, 45.
- [5] ESRAM, T.; CHPMAN, L. *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. IEEE USA. Vol. 22, N°. 2, 2007, 439-449.
- [6] HOHM, D. P.; ROPP, M. E. *Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms*. South Dakota State University, Brookings, Vol.11 , N° □ □ 2003, 47-62.
- [7] TAKUN, P.; KAITWANIDVILAI, S.; JETTANASEN, C. *Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems*. Hong Kong. Vol.2, □ 2011 6-18.
- [8] RAMAPRAHA, B.L; MATHUR L. *Intelligent Controller based Maximum Power Point*. International Journal of Computer Applications Vol. 12, N°.10, 2011, 37 – 41.
- [9] GOLDBERG, D. E. *Genetic algorithms in search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, MA, U.S.A, 1989.
- [10] DAVIS, L. *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [11] highlights of kyocera photovoltaic modules, 6 Sep. 2014. <www.kyocerasolar.com/assets/001/5195.pdf>.
- [12] pb solar 60-Watt Multicrystalline Photovoltaic Module, 6 Sep. 2014. <www.solarelectricsupply.com/media/custom/upload/Solarex-MSX64.pdf>.
- [13] Coley, D. A. *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*. World Scientific Publishing Co, 1999,244.
- [14] MICHALEWICH, Z. *Genetic Algorithm + Data Structures = Evolutionary Programs*. Springer-Verlag, 1992,388.