

# تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل (دراسة محطة توليد حسياء)

الباحث: سامي محمد الحرح - كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية - جامعة حلب

## الملخص

رغم ما قدمته مصادر الطاقة الكهروشمسية من إيجابيات، كتقليل التلوث وتقديم طاقة مستدامة، إلا أنها تعاني من سلبية كبيرة، وهي التوافقيات الناتجة عنها عند وصلها مع الشبكة الكهربائية العامة، بسبب وجود المبدلات الاستطاعية، مما يتسبب بزيادة عامل التشوه الكلي وتشوه في شكل موجة الجهد في الشبكة الكهربائية. يقدم هذا المقال حلاً لمشكلة التوافقيات من خلال استخدام متحكم تناسبي تكاملي (PI (Proportional Integral) معايير باستخدام خوارزمية النحل للحصول على أداء أفضل ما يمكن، وتقليل عامل التشوه الكلي THD، مما ينعكس على أداء الشبكة الكهربائية وتقديم جهد كهربائي بأقل تشوه ممكن وأقل توافقيات.

تم في هذا البحث استخدام بيئة ماتلاب لنمذجة محطة توليد حسياء الكهروشمسية باستطاعة 1MW ومعرفة مقدار THD، ثم تطوير المنظومة باستخدام متحكم PI كلاسيكي، ثم استخدام متحكم PI معايير باستخدام خوارزمية النحل، ومقارنة أداء المنظومة ككل بثلاث حالات؛ الأولى: باستخدام مبدل بدون وجود متحكم والثانية استخدام مبدل بوجود متحكم PI والثالثة مبدل بوجود متحكم PI معايير باستخدام خوارزمية النحل، وقد بينت النتائج تفوق أداء الأخير على نظيره من خلال معايير: التشوه الكلي التوافقيات THD وشكل موجة الجهود الكهربائية ثلاثية الطور والاستطاعة المزودة للشبكة الكهربائية.

## **Improving the performance of an electric and solar power generation station connected to the grid using a PI controller calibrated with the bee algorithm (study of a Hasiya power station)**

### **Abstract**

Despite the positives, that solar energy sources offer. such as reducing pollution and providing sustainable energy, they suffer from a major negative, which is the harmonics resulting from them when connected to the public electrical grid, due to the presence of power converters, which causes an increase in the total distortion factor and a distortion in the shape of the voltage wave in Electrical network. This article presents a solution to the problem of harmonics using of a Proportional Integral PI (Proportional Integral) controller calibrated using the bee algorithm to obtain the best possible performance, and reduce the total distortion factor (THD). Which is reflected in the performance of the electrical network and provides electrical voltage with minimal distortion. Possible and less harmonics.

In this research, the MATLAB environment was used to model a 1MW solar energy generating station and find out the amount of THD. After that, the system is develop using a classic PI controller. Then use a calibrated PI controller using the bee algorithm, and compare the performance of the system as a whole in three cases; the first: using a inverter without a controller, the second using a inverter with a PI

controller, and the third using a inverter with a PI controller calibrated using the bee algorithm. The results showed that the performance of the latter was superior to its counterpart through criteria: total harmonic distortion (THD), three-phase electrical voltage waveform, and the power supplied to the electrical network.

**Keywords:** electric and solar power station, PI controller, bee algorithm.

## 1- مقدمة

يزداد الطلب على استخدام الطاقة الكهرو شمسية لتوليد الطاقة الكهربائية، بشكل كبير للعديد من الأسباب التي تتمحور ضمن محورين؛ المحور الأول: استدامة الطاقة الكهرو شمسية ومجانيتهما وكونها صديقة البيئة. المحور الثاني: انخفاض مصادر الطاقة الأحفورية وتوقع نفادها رغم سلبياتها المتعلقة بالتلوث نتيجة الانبعاثات الغازية الضارة بالهواء والنبات والانسان[4-1]. تتميز الطاقة الكهروشمسية عن الوقود الأحفوري التقليدي بوفرتهما واستدامتهما وعدم إنتاجها للغازات الدفيئة والملوثات الأخرى وخلوها من تأثيرها على البيئة بشكل سلبي، بالإضافة مزايا التكلفة والجدوى الاقتصادية لها، مما جعلها خيار جذاب لتلبية احتياجات الطاقة لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري المحدود والمضر بالبيئة [5-6]. هذا الأسباب كلها أدت إلى وجود ما يسمى محطات التوليد الكهرو شمسية وأبرزها محطة حسياء في الجمهورية العربية السورية، رغم جميع الإيجابيات التي ذكرناها إلا أنها تعاني من سلبية كبيرة وهي التأثير السلبي على شبكة الكهرباء نتيجة وجود عدد كبير من المبدلات، الأمر الذي دفع العديد من الباحثين إلى البحث عن طرق ربط هذه المحطات مع الشبكة بحيث يكون الأثر السلبي أقل ما يمكن وتكون موجة الجهد الكهربائي بأقل تشوهات، واستخدام العديد من الاستراتيجيات وتطويرها باستخدام خوارزمية النحل[7]. في

## تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل (دراسة محطة توليد حسياء)

هذا البحث تسلط الضوء على ربط محطة التوليد الكهرو شمسية حسياء مع الشبكة الكهربائية بحيث يتم تقليل الضياعات ومعامل التشوه الكلي وتقليل التشوه في شكل موجة الجهد الكهربائي من خلال تطوير المبدلات واخضاعها لعملية تحكم باستخدام متحكم PI ثم تطوير المبدل ومعايرة المتحكم PI باستخدام خوارزمية النحل الصناعية للحصول على أفضل أداء وعملية توليد كهرو شمسية.

### 2- هدف البحث وأهميته

يهدف البحث إلى وصل محطة التوليد الكهرو شمسية حسياء بالشبكة الكهربائية بأقل تشوه في شكل موجة الجهد، وتقليل الضياعات الناتجة عن عمليات التبديل الناجمة عن المبدلات التي تعتبر جزء أساسي لا يتجزأ من أنظمة الطاقة المتجددة المتنوعة الموصولة مع الشبكة الرئيسية ثلاثية الطور، وتبرز أهمية البحث بزيادة فعالية التوليد بتقليل الفاقد وزيادة الطاقة الفعلية المحقونة للشبكة الكهربائية، حيث تظهر أنظمة التحكم أداءً عاليًا للحصول على الاستطاعة العظمى المولدة بشكل فعال بأقل فقدان ناتج عن التبديل وتقليل التوافقيات الناتجة عن عمليات التبديل غير المتحكم بها. علاوة على ذلك، تحسين جودة الطاقة الكهربائية المولدة من المحطة الكهرو شمسية والمحقونة إلى الشبكة الكهربائية، من خلال تقليل معامل التشوه التوافقي الكلي (THD) Totally harmonic distortion. يركز هذا البحث على تحسين أداء محطة التوليد الكهرو شمسية وكفاءتها بشكل عام من خلال تحسين أداء المبدل باستخدام متحكم PI لتحديد نبضات القدح بدلاً من إعطائها بشكل اعتيادي بالاعتماد على زوايا الطور فقط. ثم تطوير المتحكم PI باستخدام خوارزمية النحل لتعبير بارامترات حلقات التحكم PI بشكل أمثل بالاعتماد على معامل THD بحيث يكون أقل ما يمكن، مما يعني بالنتيجة الحصول على طاقة كهربائية بأقل فقدان تبديل وأقل توافقيات وأقل تشوه في شكل موجة الجهد، مما يؤدي لاستغلال الطاقة الضائعة وتحويلها من طاقة ضائعة إلى طاقة فعالة، مما يزيد من فعالية الاستطاعة المولدة من المحطة الكهرو شمسية،

كما تستهدف الدراسة جعل الطاقة المولدة إلى الشبكة الكهربائية عالية الجودة بما يضمن الحد الأدنى من محتوى التشوه التوافقي THD في إشارات الجهد.

### 3- خطوات البحث

تم انجاز هذا البحث على خمس خطوات رئيسية كما يلي:

الخطوة الأولى: نمذجة محطة التوليد الكهرو شمسية حسياء باستطاعة 1MW

الخطوة الثانية: دراسة نموذج المبدل وآلية عمله

الخطوة الثالثة: دراسة تطوير المبدل باستخدام متحكم PI.

الخطوة الرابعة: دراسة تطوير معايرة حلقات التحكم PI باستخدام خوارزمية النحل.

الخطوة الخامسة: بناء النماذج المدروسة والمطورة باستخدام بيئة ماتلاب وإيجاد النتائج.

### 4- نمذجة محطة توليد الكهرو شمسية حسياء

تبلغ إجمالي استطاعة التوليد في محطة حسياء 3.2MW تقريباً وتتكون المحطة

من مجموعتين:

1- الأولى: معدل استطاعتها الفعلية 1MW موصولة مع 1972 لوح شمسي، استطاعة

اللوح 545W و18 مبدل استطاعة كل مبدل 50KW و3 مبدل استطاعة كل منها 60KW

2- الثانية: معدل استطاعتها الفعلية 2.2MW موصولة مع 1972 لوح شمسي، استطاعة

اللوح 545W و1816 لوح استطاعة 555W و18 مبدل استطاعة كل مبدل 100KW و3

مبدل استطاعة كل منها 60KW

سيقتصر هذا البحث على دراسة المجموعة الأولى كحالة دراسية، يمكن من خلالها التعميم

على المجموعة الثانية، وذلك لأن المجموعتين من ناحية البرمجة متماثلتين مع اختلاف في

قيم البارامترات والاستطاعات.

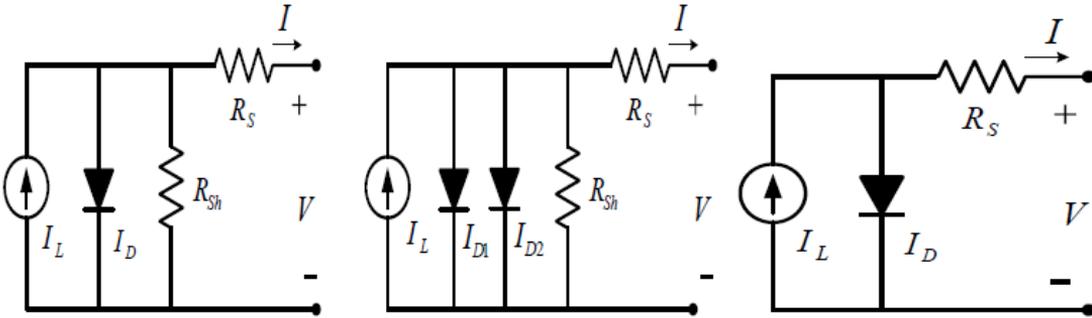
تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل  
(دراسة محطة توليد حسياء)

يتكون كل لوحة من عدد من الخلايا الكهرو شمسية تبعاً لاستطاعة اللوح واستطاعة الخلية الواحدة، يبين الشكل (1) نموذج الدارة المكافئة للخلية الكهرو شمسية الواحدة وذلك لثلاث حالات كالآتي:

الحالة الأولى: نموذج الديود الواحد والذي يتكون من منبع تيار يعطي تيار ضوئي  $I_L$  متصل على التفرع مع ديود تياره  $I_D$  ومع مقاومة القصر  $R_{Sh}$  موصولين مع المقاومة التسلسلية  $R_s$

الحالة الثانية: نموذج الديودين وهو مماثل لنموذج الديود الواحد مع إضافة ديود ثاني على التفرع فيصبح لدينا تيارين؛ تيار الديود الأول  $I_{D1}$  وتيار الديود الثاني  $I_{D2}$

الحالة الثالثة: النموذج المبسط ويتكون من ديود واحد مع اعتبار أن مقاومة القصر لا نهائية ومنه تكون وصلتها مفتوحة [8-9].



الشكل (1): نماذج الدارة المكافئة للوح الشمسي لثلاث حالات: 1- نموذج الديود الواحد -2 نموذج ديودين 3- نموذج المبسط.

تعطى مميزة الجهد - تيار الخاصة بنموذج اللوحة بالمعادلة التالية:

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V + IR_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

حيث:

$I_L$ : تيار الضوء ويقدر بالأمبير A ويعطى هذا التيار بالعلاقة (2)

$I_0$ : تيار الإشباع ويقدر بالأمبير A

$I$ : تيار الحمل ويقدر بالأمبير A

$V$ : جهد الخرج ويقدر بالفولط V

$R_s$ : المقاومة التسلسلية وتقدر بالأوم  $\Omega$

$\alpha$ : عامل تزامن الجهد الحراري ويقدر بالفولط V

$$I_L = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}} \left[ I_{L,ref} - \mu_{I,SC} (T_C - T_{C,ref}) \right] \quad (2)$$

حيث:  $\Phi$ : الإشعاع الضوئي ويقدر W/m<sup>2</sup>

$\Phi_{ref}$ : الإشعاع الضوئي المرجعي ويقدر W/m<sup>2</sup> وفي دراستنا تم أخذ قيمته 1000W/m<sup>2</sup>

$I_{L,ref}$ : تيار الضوء عند الشروط المرجعية (1000W/m<sup>2</sup> و 25°C)

$\mu_{I,SC}$ : المعامل الحراري لتيار دارة القصر (A/°C)

$T_C$ : حرارة الخلية الكهرو شمسية وتقدر (°C)

$T_{C,ref}$ : حرارة الخلية المرجعية الكهرو شمسية وتقدر (25°C)

كلاً من المعامل الحراري لتيار دارة القصر  $\mu_{I,SC}$  وتيار الضوء عند الشروط المرجعية  $I_{L,ref}$

موجودة على مواصفات الخلية الكهرو شمسية. وباعتبار أن التغير الحراري ليس موضوع

دراستنا وهذا التغير سيؤثر على الاستطاعة المولدة ونحن بصدد دراسة تأثير عمليات التبديل

عند وصل المبدلة مع الشبكة الكهربائية، مهما كانت الاستطاعة فقد قمنا بتثبيت الاستطاعة

بالغاء التغيرات الحرارية من خلال أخذ  $T_C = T_{C,ref}$  ومنه التيار الضوئي سيعطى بالعلاقة:

$$I_L = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}} I_{L,ref} \quad (3)$$

ومنه تمت نمذجة محطة توليد الكهرو شمسية حسياء بمجموعة الأولى من خلال المعادلتين

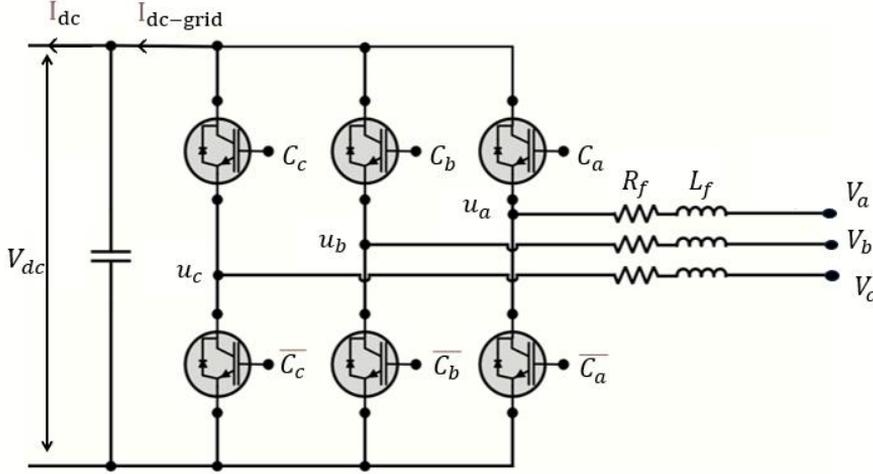
(1) و(3) على اعتبار أن التيار الضوئي المرجعي للخلية الكهرو شمسية 2A والإشعاع

الشمسي المرجعي 1000W/m<sup>2</sup> واعتبار اللوح مكون من 11 مجموعة كل مجموعة تحوي

على خمس خلايا استطاعة الخلية 10W تقريباً.

## 5- نموذج المبدل وآلية عمله

يتم استخدام المبدل لتحويل الجهد المستمر الناتج عن الألواح الكهرو شمسية إلى جهد ثلاثي الطور، ويتيح نقل الطاقة إلى الشبكة. يبين الشكل (2) نموذج المبدل ويمكن كتابة النموذج الرياضي له كما يلي:



الشكل (2) بنية المبدلة المتصلة مع الشبكة

$$V_a - U_a = R_f i_a + L_f \frac{d(i_a)}{dt}$$

$$V_b - U_b = R_f i_b + L_f \frac{d(i_b)}{dt} \quad (4)$$

$$V_c - U_c = R_f i_c + L_f \frac{d(i_c)}{dt}$$

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_a \\ C_b \\ C_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} (I_{dc-grid} - I_{dc}) \quad (6)$$

حيث:  $V_a, V_b, V_c$ : جهود الشبكة،  $C_a, C_b, C_c$ : نبضات القدرح المطبقة على قواعد المفاتيح العلوية،  $u_a, u_b, u_c$ : الجهود على الأعمدة الثلاثة للقالبية،  $I_{dc-grid}$ : التيار المستمر من جهة الشبكة،  $I_{dc}$ : التيار المستمر من جهة وصلة التيار المستمر،  $V_{dc}$ : الجهد على طرفي وصلة التيار المستمر.

يعطى النموذج الديناميكي للمبدل في جملة محاور ثنائية  $d, q$  كما يلي [10-11]:

$$V_d = u_d + R_f i_d + L_f \frac{di_d}{dt} - \omega_s L_f i_q \quad (7)$$

$$V_q = u_q + R_f i_q + L_f \frac{di_q}{dt} + \omega_s L_f i_d \quad (8)$$

أما علاقات الاستطاعة فتعطى كما يلي:

$$P_{grid} = V_d I_d + V_q I_q \quad (9)$$

$$Q_{grid} = -V_d I_q + V_q I_d \quad (10)$$

6- تطوير المبدل باستخدام متحكم PI:

تم تصميم متحكم تناسبي تكاملي (Proportional Integral) PI من خلال حساب إشارة الخطأ للجهد  $E_V$  بين جهد الوصلة المستمرة  $V_{DC}$  وجهد المستمر المرجعي  $V_{ref}$  وفق العلاقة:

$$E_V = V_{DC} - V_{ref} \quad (11)$$

ثم الاعتماد على إشارة الخطأ لحساب قيمة شعاع التحكم وهو عبارة عن قيمة التيار المستمر المرجعي الخاص بالمبدلة الذي تم توليده بناء على شعاع خطأ الجهد وفق المعادلة:

$$I_{DC\_ref} = E_V k_p + k_I \int E_V dt \quad (12)$$

حيث:

$k_p$ : الربح التناسبي و  $k_I$ : الربح التكاملي.

يتم حساب زاوية جهد الطور من جهود الشبكة الكهربائية، ويتم تحويل التيارات الثلاثية  $I_{abc}$  إلى التيارات الثنائية ( $I_d$  و  $I_q$ )، واستخدام متحكم PI لكل منهما [12] وفق المعادلتين:

$$d_m = k_{pd} (I_d - I_{d\_ref}) + k_{Id} \int (I_d - I_{d\_ref}) dt \quad (13)$$

$$q_m = k_{pq} (I_q - I_{q\_ref}) + k_{Iq} \int (I_q - I_{q\_ref}) dt \quad (14)$$

حيث:

$k_{pd}$ : الربح التناسبي لتيار الوصلة d و  $k_{Id}$ : الربح التكاملي لتيار الوصلة d.

$k_{pq}$ : الربح التناسبي لتيار الوصلة q و  $k_{Iq}$ : الربح التكاملي لتيار الوصلة q.

$d_m$  و  $q_m$ : مركبتي إشارة التعديل m في الاحداثيات الثنائية.

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل  
(دراسة محطة توليد حسياء)

يتم تحويل المركبتان  $d_m$  و  $q_m$  إلى الاحداثيات الثلاثية لتوليد المركبة  $m$  التي تمثل الجهد المرجعي لتوليد نبضات القذح للمبدل.

#### 7- تطوير المبدل باستخدام خوارزمية النحل لمعايرة المتحكم PI

تعتبر خوارزمية النحل من أبرز خوارزميات الأمثلة والمعايرة الأمثلية وقد استخدمت لمعايرة متحكمات PID للتحكم بمحركات الوقود [13]، كما تم استخدامها في العديد من العمليات والأبحاث الهندسية المتعلقة بنظم القدرة الكهربائية [14].

كما هو مبين بالشكل (3) تم استخدام خوارزمية النحل لمعايرة ثوابت التحكم PI وهما ثابت التناسبي وثابت التكاملي لثلاث حلقات تحكم المعطاة بالمعادلات (12) و(13) و(14) وهي الآتي:

1-  $k_p$ : الربح التناسبي

2-  $k_I$ : الربح التكاملي.

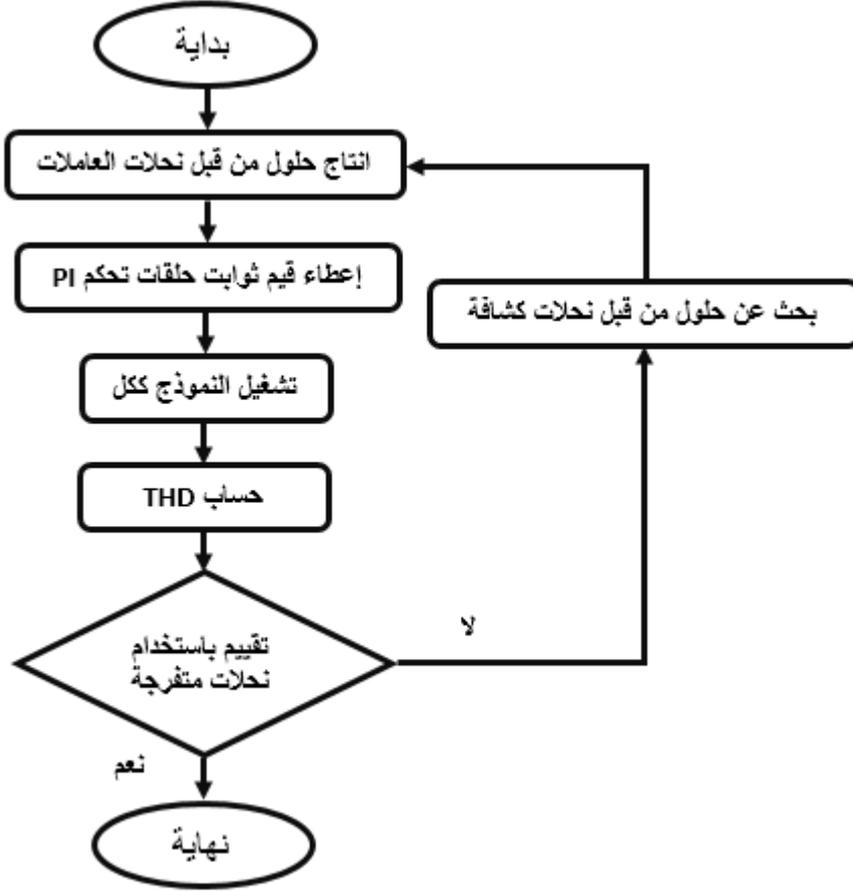
3-  $k_{pd}$ : الربح التناسبي لتيار الوصلة  $d$

4-  $k_{Id}$ : الربح التكاملي لتيار الوصلة  $d$

5-  $k_{pq}$ : الربح التناسبي لتيار الوصلة  $q$

6-  $k_{Iq}$ : الربح التكاملي. لتيار الوصلة  $q$ .

يتم تقسيم مجتمع النحل إلى ثلاث مجتمعات؛ النحل العاملة التي تقوم بإنتاج وتوليد الحلول، النحل الكشافة التي تبحث عن حلول جديدة والنحل المتفرجة التي تقوم بتقييم الحلول، يتم بالبداية توليد قيم من قبل النحل العاملة واعطائها للثوابت الستة السابقة، ثم تشغيل نموذج محطة التوليد الكهرو شمسي الموصول مع الشبكة لحساب معامل THD وتقييمه من قبل النحل المتفرجة فإذا لم يتم التوصل إلى



الشكل (3) خوارزمية النحل لمعايرة ثوابت حلقات تحكم PI في المبدل الكهرو شمسي قيمة جيدة أو أقل ما يمكن يتم الايعاز للنحلّات الكشافّة للبحث عن حلول جديدة التي بدورها تعطي النحلّات العاملة البارامترات الجديدة لإنتاج حلول جديدة وهكذا حتى يتم التوصل إلى أقل قيمة THD والذي يعطي بالعلاقة:

$$THD = \frac{I_H}{I_F} \quad [15]$$

$$I_H = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad [16]$$

حيث:

$I_H$ : مطال التوافقيات والمعطى بالعلاقة (16).

$I_n$ : القيمة الفعالة للتيار التوافقي n

$I_F$ : القيمة الفعالة للتيار الأساسي.

## 8- النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (4) نموذج المحاكاة المصمم في بيئة Matlab\Simulink والذي يتضمن سبعة أجزاء تم تصميمها بناء على المعادلات المبينة في الفقرات السابقة وهذه الأجزاء كالآتي:

1- تصميم الألواح الشمسية الخاصة بمحطة توليد حسياء الكهروشمسية

باستطاعة 1MW وذلك عند خل إشعاع شمسي قدره 1000Wm<sup>2</sup>

2- المبدل التقليدي بدون وجود أي متحكم: دخل الجهد المستمر الناتج من مجموعة الألواح وخرجه جهود الطور الثلاثة.

3- المبدل بوجود متحكم PI كلاسيكي.

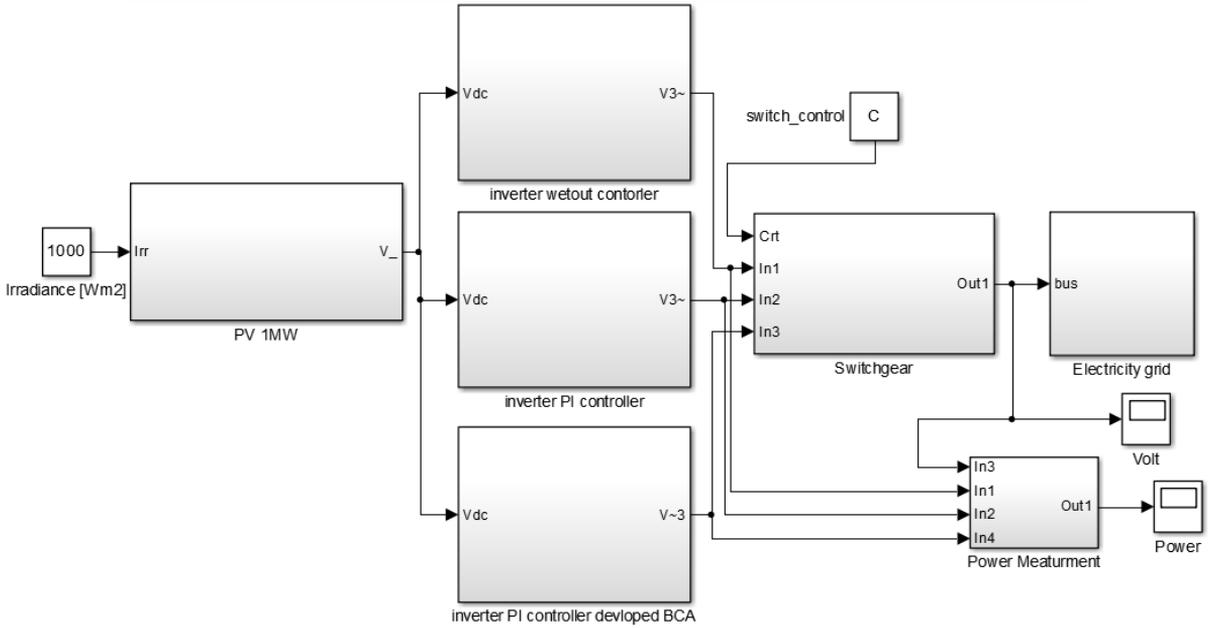
4- المبدل بوجود متحكم PI معايير باستخدام خوارزمية النحل BCA.

5- وحدات التبديل Switchgear من أجل التبديل بين المبدلات الثلاثة.

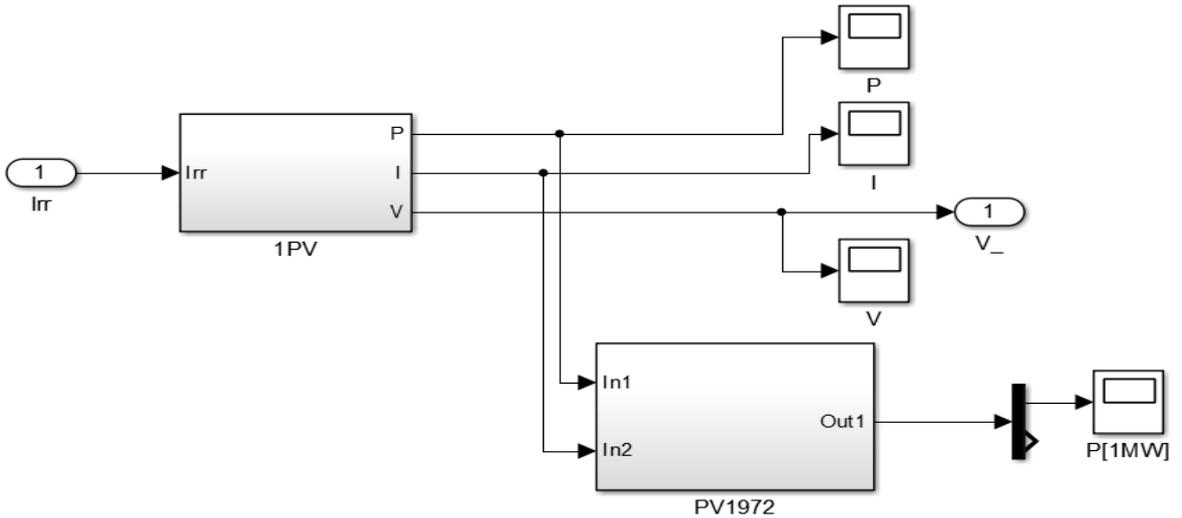
6- الشبكة الكهربائية Electricity Grid

7- وحدات القياس الاستطاعية.

إن عملية تصميم الألواح الكهروشمسية الخاصة بمحطة توليد حسياء تمت كما في الشكل (5) على مرحلتين وهما؛ مرحلة تصميم اللوح الواحد، ثم نمذجة المحطة بشكل كامل، بحيث تشمل عدد الألواح والاستطاعة 1MW، أما نمذجة اللوح فقد تمت من خلال المعادلات (1) و(2) و(3)، يبين الشكل (6) نموذج المحاكاة الخاص بالأخيرة منها. يبين الشكلان (7) و(8) نموذج محاكاة المبدل بدون وجود وبوجود متحكمات PI على الترتيب.

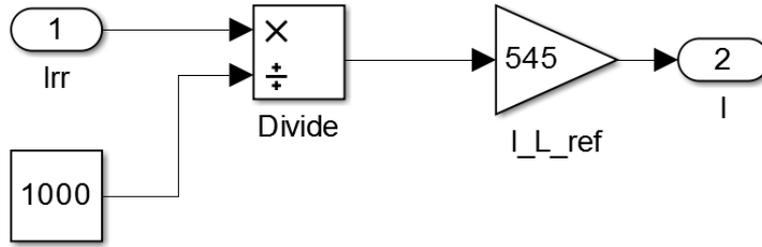


الشكل (4): نموذج المحاكاة لكافة آليات عمل المبدلات الخاصة بمحطة التوليد الكهروضوئية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW (حالة مبدل بدون تحكم، حالة مبدل مع متحكم PI، حالة مبدل مع متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل).



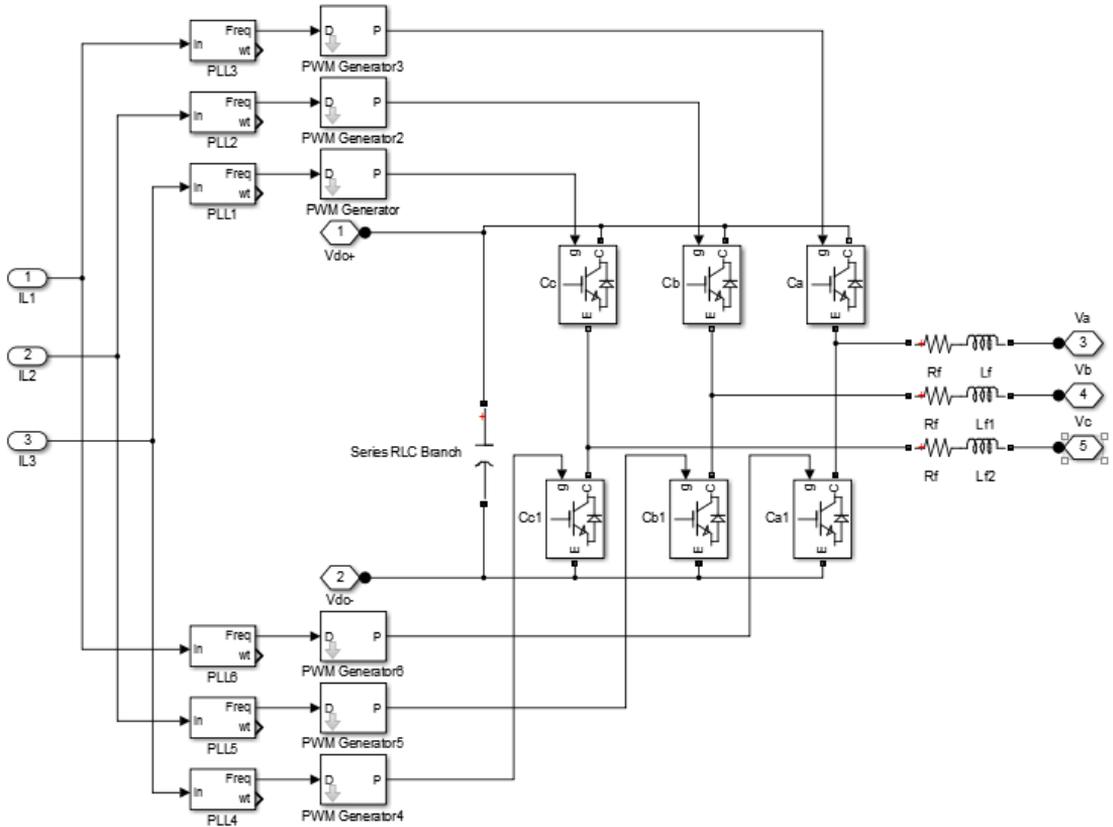
الشكل (5): نموذج المحاكاة محطة التوليد الكهروضوئية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW المكونة من 1972 لوح شمسي.

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل  
(دراسة محطة توليد حسياء)

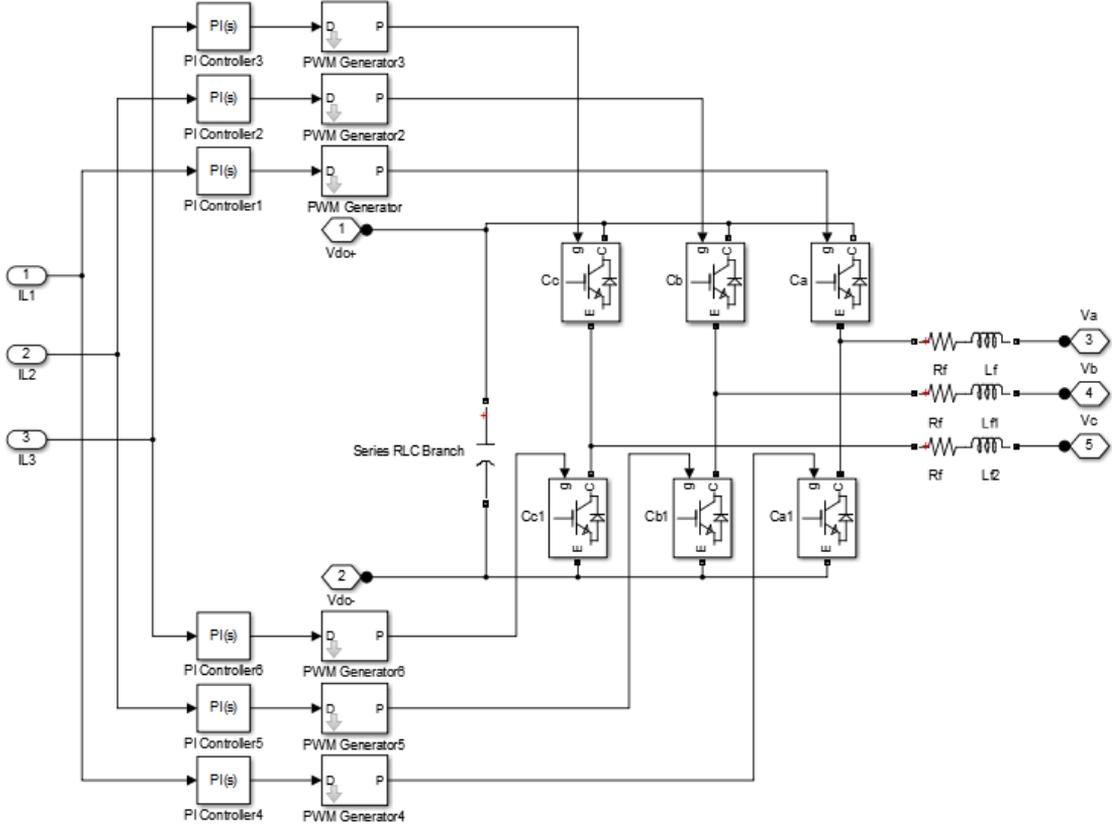


Irradiance [Wm<sup>2</sup>]<sub>ref</sub>

الشكل (6): نموذج المحاكاة جزء من الخلية الكهروضمسية الخاص بالتيار الضوئي.



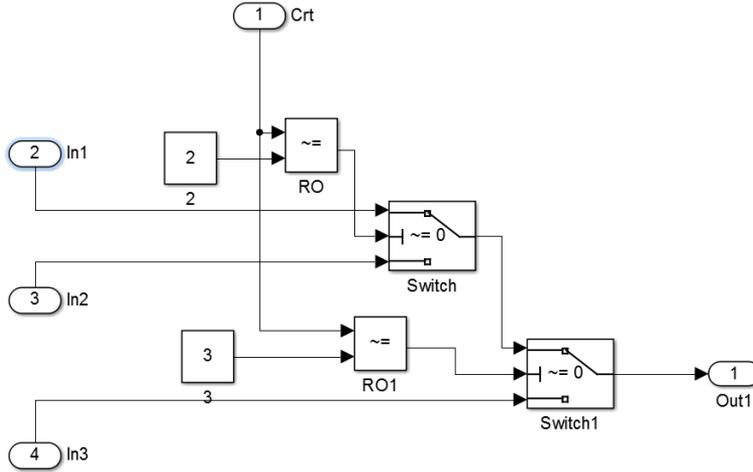
الشكل (7): نموذج المحاكاة الخاص بالمبدل بدون وجود متحكمات PI.



الشكل (8): نموذج المحاكاة الخاص بالمبدل بوجود متحكمات PI.

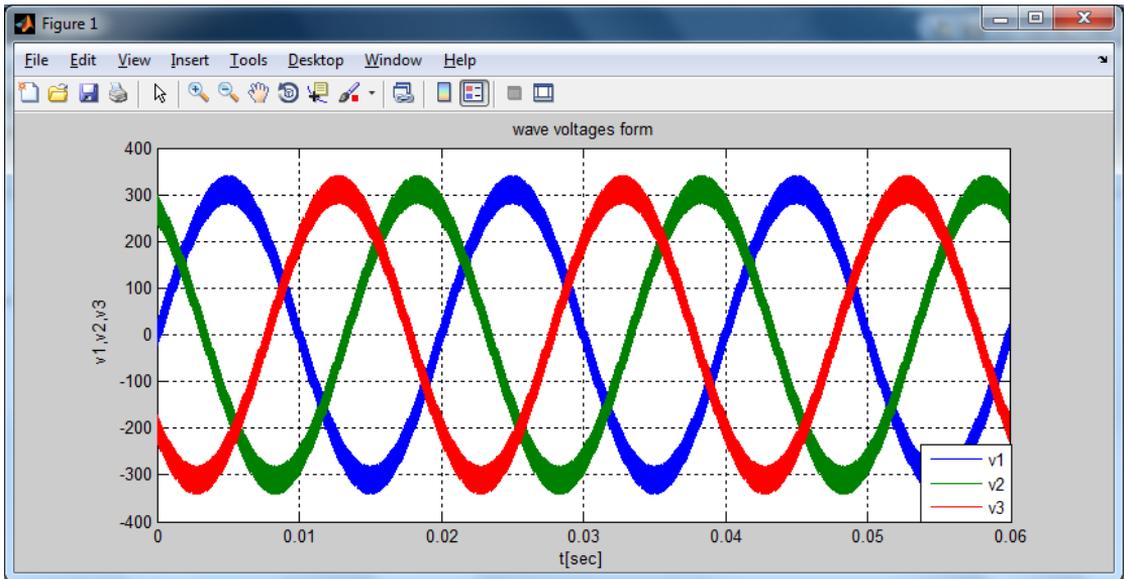
إن وحدة التبديل switchgear يتم التحكم بها عن طريق المتحول C الذي يأخذ ثلاث قيم  $C=1$  لوصول المحطة الكهروضوئية مع الشبكة عن طريق المبدل inverter without controller والقيمة  $C=2$  لوصولها عن طريق المبدل المزود بمتحكم PI والقيمة  $C=3$  لوصولها عن طريق المبدل المزود بمتحكم PI معاً وفق خوارزمية النحل BCA، ويبين الشكل (9) البنية التصميمية لوحدة التبديل Switchgear.

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل  
(دراسة محطة توليد حسياء)

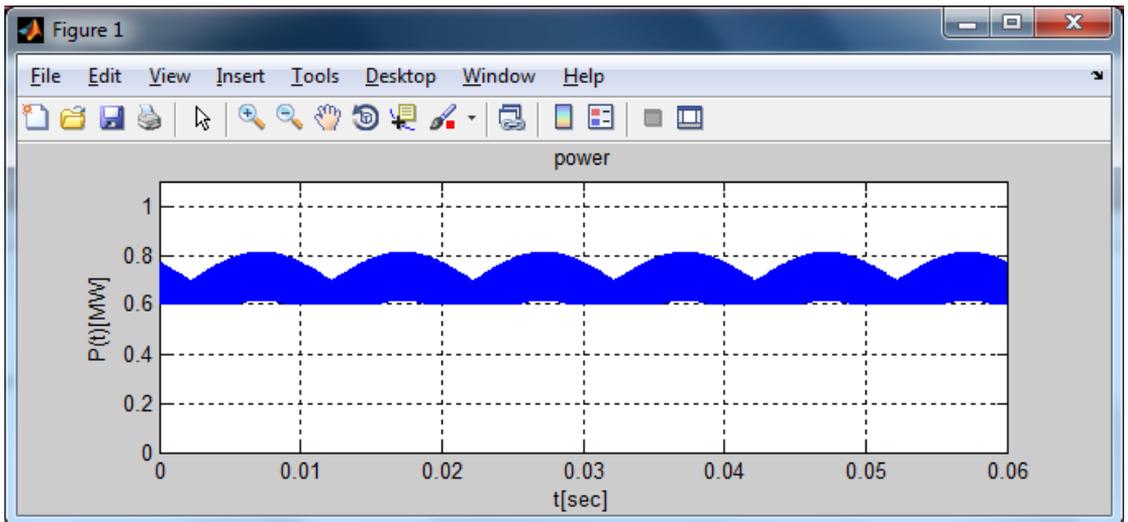


الشكل (9): البنية التصميمية لوحدة التبديل Switchgear.

أن قيمة الاشعاع الضوئي  $1000w/m^2$ ، أما متحول التحكم C فيأخذ القيم 1 أو 2 أو 3 ليقوم بوصل المحطة الكهروشمسية للشبكة الكهربائية عن طريق مبدل بدون متحكم أو مع متحكم PI كلاسيكي أو متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل على الترتيب، يبين الشكل (10) شكل الجهود ثلاثية الطور  $V1$  و  $V2$  و  $V3$  الموصولة إلى الشبكة عن طريق المبدل العادي بدون وجود متحكم والاستطاعة المقدمة من محطة الألواح الكهروشمسية حسياء.



أ- شكل موجة الجهد ثلاثية الطور

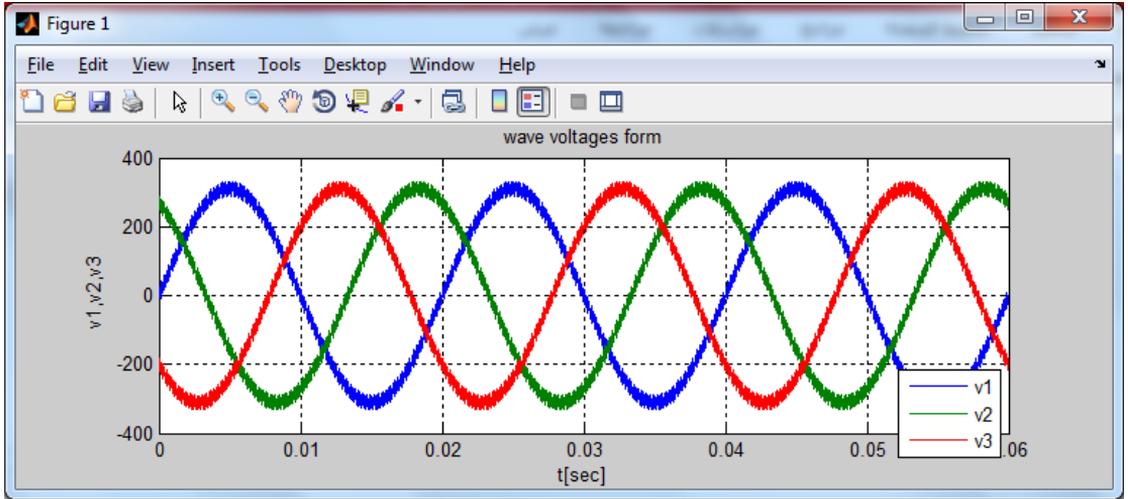


ب- قيمة الاستطاعة الفعلية

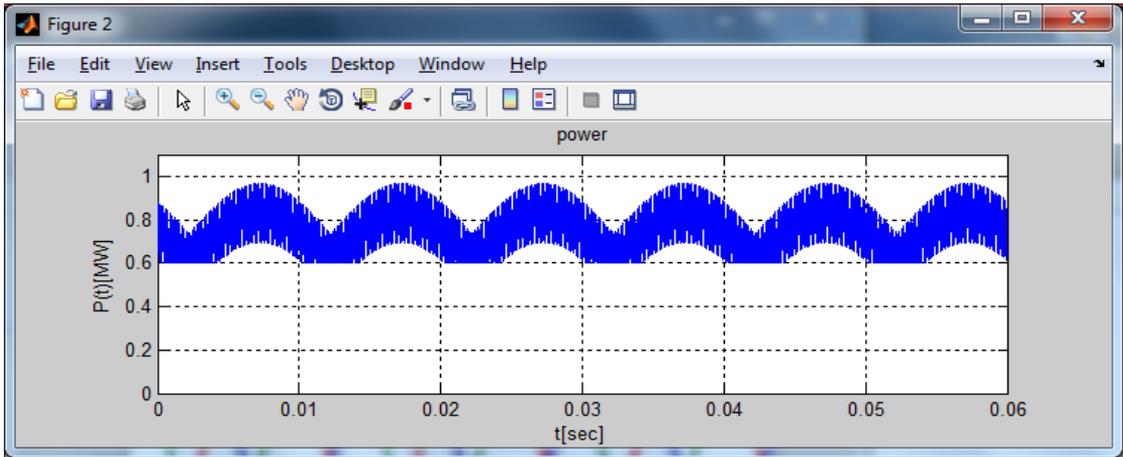
الشكل (10): نتائج عمل نموذج المحاكاة الخاص بمحطة التوليد الكهروضوئية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW حالة مبدل بدون تحكم.

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل  
(دراسة محطة توليد حسياء)

كما يبين الشكل (11) الجهود والاستطاعة عند وصل المحطة عن طريق  
مبدل يحوي متحكم PI وذلك عند  $C=2$ ، في حين يبين الشكل (12) ذات الأمر  
باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل وذلك عند  $C=3$ .

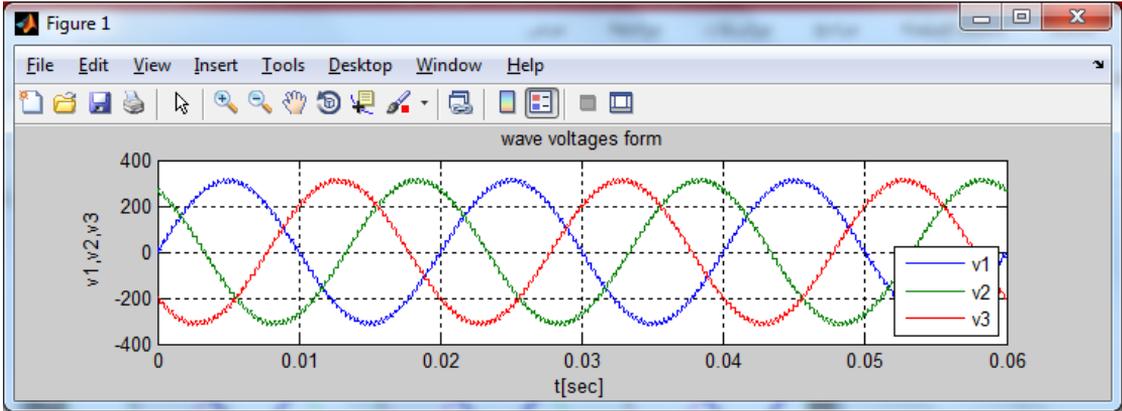


أ- شكل موجة الجهد ثلاثية الطور

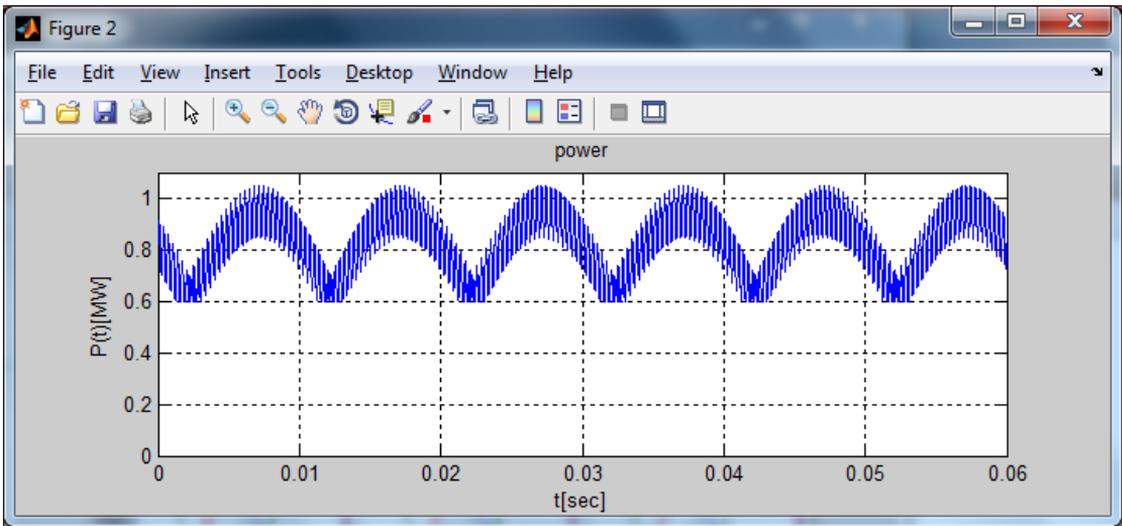


ب- قيمة الاستطاعة الفعلية

الشكل (11): نتائج عمل نموذج المحاكاة الخاص بمحطة التوليد الكهروشمسية حسياء  
لمجموعة استطاعة 1MW حالة مبدل مع متحكم PI.



أ- شكل موجة الجهد ثلاثية الطور



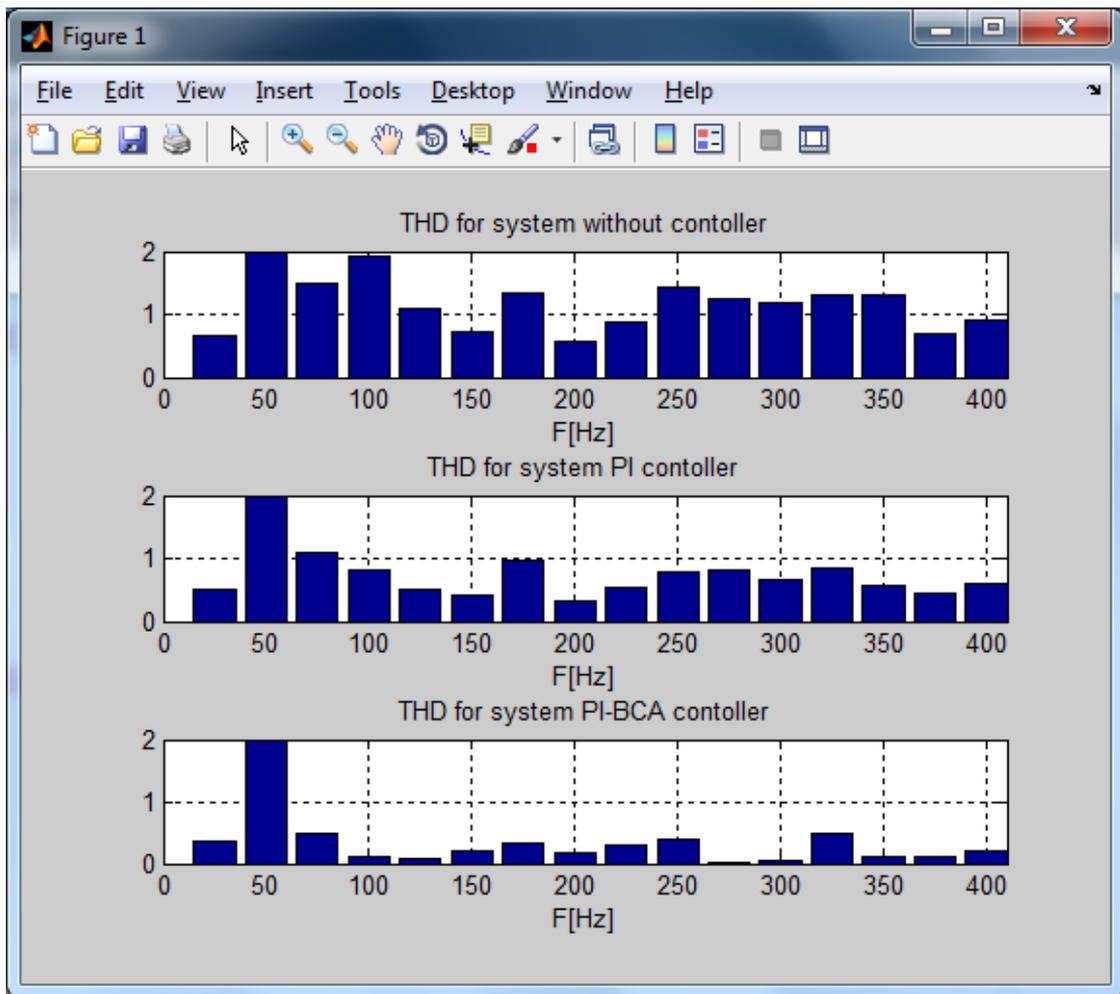
ب- قيمة الاستطاعة الفعلية

الشكل (12): نتائج عمل نموذج المحاكاة الخاص بمحطة التوليد الكهروضوئية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW حالة مبدل مع متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل.

عند مقارنة الأشكال الثلاثة (10) و(11) و(12) يتضح تفوق المبدل الذي يحوي على متحكم PI معايير بخوارزمية النحل على المبدل الذي يحوي على متحكم

PI كلاسيكي وعلى المبدل العادي. حيث كانت الجهود الثلاثة V1 و V2 و V3 أقل تشوه في شكل موجتها وكانت الاستطاعة الكلية المقدمة للشبكة أعلى وأقل تشوه وساهم المتحكم المدعم بخوارزمية النحل بزيادة نسبة الاستطاعة بمقدار 23.1% عن المبدل العادي وبنسبة 9.7% عن المبدل المدعم بمتحكم PI كلاسيكي من خلال تقليل الضياعات الناتجة عن عمليات التبديل للمبدلات الاستطاعية لكافة المحطة الكهروشمسية. تبين النتائج المعروضة في الأشكال من (10) إلى (12) فعالية نظام التحكم بالمبدلة المتصلة مع الشبكة المدعم بمتحكم PI معايير بخوارزمية النحل والذي اختصارا نطلق عليه الاختصار PI-BCA، حيث تم تنظيم الجهود ثلاثية الطور، كما يلاحظ أن مقدار الاهتزاز يكون أقل لدى استخدام المتحكم PI-BCA وذلك لأنه يساهم من التقليل من الإشارات الكهربائية التي تمثل دخل المبدلة المتصلة بالشبكة. وذات الأمر يمكن ملاحظته عند مقارنة الشكل (12-أ) مع الشكلين (10-أ) و (11-أ)، كما يتضح أيضا من مقارنة الشكل (12-ب) مع الشكلين (10-ب) و (11-ب) أن المتحكم PI-BCA يساهم بزيادة الاستطاعة المقدمة للشبكة.

كما تم حساب قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي THD لكافة الحالات الثلاثة (مبدل عادي، مبدل مع متحكم PI كلاسيكي، مبدل مع متحكم PI-BCA) كما هو موضح في الشكل (13)، الذي يبين تفوق المبدل ذو متحكم PI-BCA عند وصل المحطة الكهرو شمسية مع الشبكة عن طريقه ومنه عند استخدام المتحكم PI-BCA تكون قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي أقل منها عند استخدام المبدل بمتحكم PI أو بدون متحكم.



الشكل (13): قيمة THD لمحطة التوليد الكهروضوئية حسياء لمجموعة استطاعة 1MW بالحالات: مبدل بدون متحكم، مبدل مع PI، مبدل مع متحكم PI مدعم بخوارزمية النحل.

من الواضح من خلال النتائج المعروضة في الأشكال من (10) إلى (13) تفوق المبدل ذو متحكم PI-BCA المقترح بتقليل التشوه في شكل موجة الجهد وتقليل قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي، مما يساهم بتعزيز جودة الطاقة المنقولة للشبكة، حيث

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل  
(دراسة محطة توليد حسياء)

بلغت قيمة معامل التشوه الكلي،  $\% \text{THD}=11.0072$  و  $\% \text{THD}=6.9859$  و  $\% \text{THD}=3.1754$  لكلٍ من المبدل العادي والمبدل ذو متحكم PI كلاسيكي ومبدل ذو متحكم PI-BCA على الترتيب. ويبين الشكل (14) آلية كيفية تأثير خوارزمية النحل على قيمة التشوه الكلي THD من خلال تغير قيم ثوابت المتحكمات PI الخاصة بالمبدل المستخدم لربط محطة الطاقة الكهرو شمسية مع الشبكة العامة، حيث كانت أقل قيمة للتشوه  $\% \text{THD}=3.1754$  وذلك عند قيم الثوابت:

$$k_p = 5.0776$$

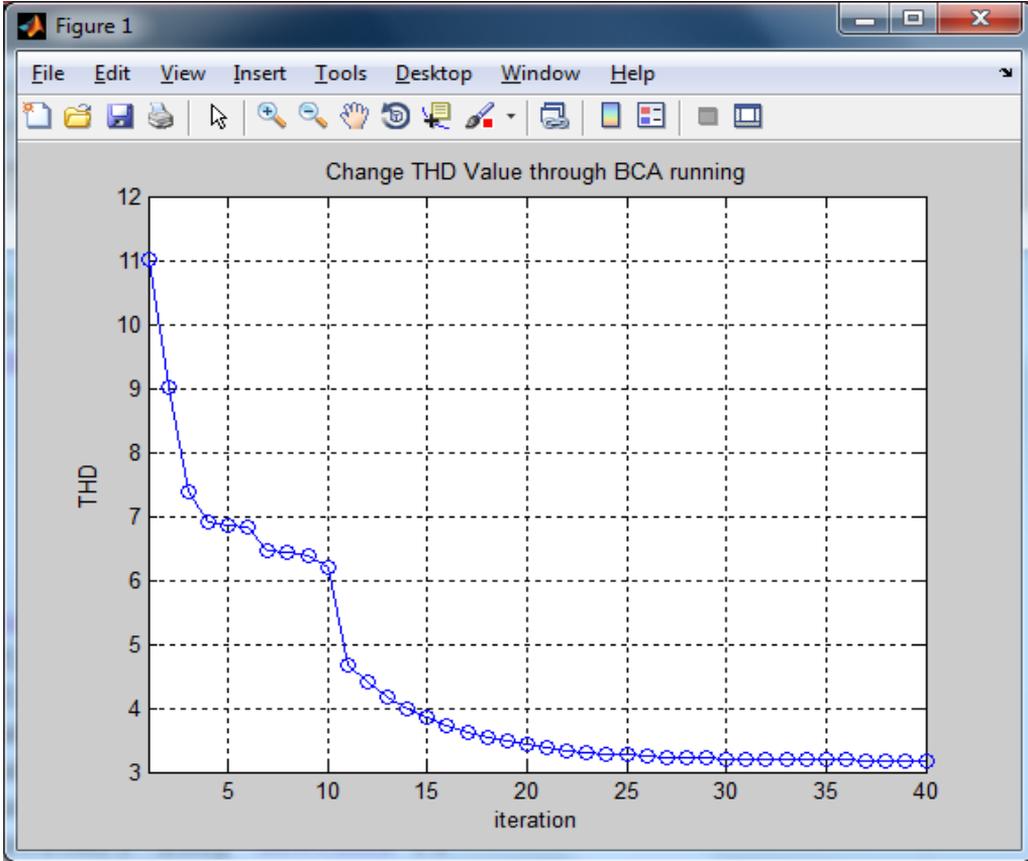
$$k_i = 44.1123$$

$$k_{pd} = 4.6623$$

$$k_{id} = 55.8329$$

$$k_{pq} = 5.1562$$

$$k_{iq} = 51.5008$$



الشكل (14): منحنى التقارب لخوارزمية النحل يبين تغير قيمة THD وفق تغير قيم ثوابت المتحكمات PI المدعمة بخوارزمية النحل.

كما يبين الجدول (1) مقارنة نتائج الطريقة المستخدمة في هذا البحث مع أبحاث أخرى ذات صلة استخدمت طرق ومنهجيات أخرى لربط محطة التوليد الكهرو شمسية مع الشبكة الكهربائية، حيث يتبين من الجدول تفوق الطريقة المستخدمة في هذا البحث على مثيلاتها من الطرق الأخرى وأعطت أقل قيمة THD.

الجدول (1): مقارنة نتائج البحث مع أبحاث ذات صلة.

البحث	الطريقة المستخدمة لربط المنظومة الكهرو شمسية بالشبكة	قيمة THD
[12]	منهجية الخطوة الخلفية	5%
[15]	أمثلة الحكم والتأسيس	6%
[16]	متحكمات PIC	8%
الدراسة الحالية	متحكمات PI معايرة بخوارزمية النحل	3.1754%

## 7- الخلاصة والاستنتاجات

تم في هذا البحث دراسة ومحاكاة محطة توليد كهروشمسية حسياء متصلة بالشبكة الكهربائية ثلاثية الطور باستطاعة توليد 1MW، حيث تم استخدام ثلاث مبدلات هما: المبدل العادي المتصل مع الألواح الكهروشمسية والمبدل ذو متحكم PI والمبدل ذو متحكم PI-BCA لوصل محطة التوليد مع الشبكة للتحكم بسرمان الاستطاعة الفعلية وآلية القدر والتبديل لتوليد جهود ثلاثية الطور بأقل تشوه في شكل موجة الجهود المزودة للشبكة الكهربائية وفق منهجية التحكم PI المعايرة بخوارزمية النحل. كما تم تحسين أداء البديل على مرحلتين؛ الأول بتزويدها بمتحكم PI والثانية بتطوير أداء هذا المتحكم من خلال معايرته بخوارزمية النحل، مما زاد فعالية عملية التبديل عند وصل المحطة الكهروشمسية مع الشبكة الكهربائية بالحصول على شكل موجة جهود كهربائية أقل تشوه لشكل الموجة وبمعامل تشوه THD أقل ما يمكن مما

تحسين أداء محطة توليد كهر وشمسية موصولة بالشبكة باستخدام متحكم PI معايير بخوارزمية النحل  
(دراسة محطة توليد حسياء)

---

ساهم في زيادة الاستطاعة الفعلية المحقونة للشبكة الكهربائية من خلال تقليل الضياعات وتحويلها الطاقة بأعلى قدر إلى الشبكة بدلاً من هدرها نتيجة عمليات التبديل غير الأمثلية.

أوضحت نتائج المحاكاة تفوق المدبل ذو المتحكم PI-BCA في قدرته على تحقيق كفاءة أكبر، حيث كانت الاستطاعة المستخلصة من ألواح محطة التوليد الكهروشمسية أكبر مقارنة مع استخدام المبدل بحالتين؛ الأولى بدون متحكم والثانية بوجود متحكم PI، وكذلك كانت قدرة المبدل المزود بمتحكم PI-BCA على تقليل الاهتزازات في الإشارات الكهربائية أعلى، مما ساهم بتقليل قيمة معامل التشوه التوافقي الكلي في تيارات الشبكة ثلاثية الطور الأمر الذي انعكس إيجاباً على الاستطاعة المزودة للشبكة عن طريق محطة التوليد الكهروشمسية.

### المراجع

- [1] Sahri, Y., Tamalouzt, S., Belaid, S. L., Bajaj, M., Ghoneim, S. S., Zawbaa, H. M., & Kamel, S. (2023). Performance improvement of hybrid system based DFIG-wind/PV/batteries connected to DC and AC grid by applying intelligent control. *Energy Reports*, 9, 2027-2043.
- [2] Ghosh, S. K., Roy, T. K., Pramanik, M. A. H., & Mahmud, M. A. (2021, February). LMI-based optimal linear quadratic controller design for multiple solar pv units connected to distribution networks. In *2021 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)* (pp. 1-6). IEEE.
- [3] Shah, A. A., Han, X., Armghan, H., & Almani, A. A. (2021). A nonlinear integral backstepping controller to regulate the voltage and frequency of an islanded microgrid inverter. *Electronics*, 10(6), 660.
- [4] Metry, M., & Balog, R. S. (2020). An adaptive model predictive controller for current sensorless MPPT in PV systems. *IEEE Open Journal of Power Electronics*, 1, 445-455.
- [5] Akarne, Y., Essadki, A., Nasser, T., & Laghrifat, H. (2023). Modelling and control of a grid-connected AC microgrid with the integration of an electric vehicle. *Clean Energy*, 7(4), 707-720.
- [6] Abouddrar, I., El Hani, S., Heyine, M. S., & Naseri, N. (2019). Dynamic modeling and robust control by ADRC of grid-connected hybrid PV-wind energy conversion system. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1-19.
- [7] Karthikeyan Sathasivam, Ilhan Garip, Saeed Hassan Saeed, Yaser Yais, Ali Ihsan Alanssari, Ali Adhab Hussein, **A Novel MPPT Method Based on PSO and ABC Algorithms for Solar Cell**, Electric Power Components and Systems: Vol 52, 2024.
- [8] Carlos Cárdenas-Bravo, Rodrigo Barraza, Antonio Sánchez-Squella, Patricio Valdivia-Lefort, Federico Castillo-Burns, Estimation of Single-Diode Photovoltaic Model Using the Differential Evolution Algorithm with Adaptive Boundaries, *Energies* 2021, 14(13), 3925; <https://doi.org/10.3390/en14133925>

- [9] Chandrakant D. Bhos, Javed Sayyad, and Paresch Nasikkar, Power enhancement using improved maximum power point tracking for solar photovoltaic systems under partial shading, *Clean Energy*, 2022, Vol. 6, No. 6, 810–816
- [10] Abouddrar, I., El Hani, S., Heyine, M. S., & Naseri, N. (2019). Dynamic modeling and robust control by ADRC of grid-connected hybrid PV-wind energy conversion system. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1-19.
- [11] Tahiri, F. E., Chikh, K., El Afia, A., Lamterkati, J., & Khafallah, M. (2017, November). Simulation and experimental validation of VOC and hysteresis control strategies of unit power factor three-phase PWM rectifier. In *2017 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)* (pp. 1-6). IEEE.
- [12] Fatim-Zahra Zaghar, Zineb Hekss, Rafi Mohamed, A. Ridah, Backstepping approach-based control for three phase grid connected photovoltaic system, IFAC-PapersOnLine · January 2022.
- [13] Zhuo Hu, Weihao Guo, Kege Zhou, Lei Wang, Fu Wang & Jinliang Yuan, **Optimization of PID control parameters for marine dual-fuel engine using improved particle swarm algorithm**, nature, (2024) 14:12681 | <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63253-y>
- [14] Simeon Ebahe Okachi1, Eko James Akpama, LOAD FLOW ANALYSIS OF 132KV CALABAR TRANSMISSION SYSTEM FOR IMPROVED PERFORMANCE USING GLOBAL BEST ARTIFICIAL BEE COLONY (GABC) ALGORITHM, April 2024
- [15] T. E. K. Zidane et al.: Grid-Connected Solar PV Power Plants Optimization: A Review, IEEE, 2023, *Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2023.3299815*
- [16] Harsh J. Patel, Mehul Rana, Abhishek Nikam, Kaival Patel, Parth Patel, **On-Grid Solar Traction System**, University of the Cumberland, Project Management, Williamsburg, Kentucky, USA, 2024, **DOI:** 10.36348/sjce.2024.v08i01.001