مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (3) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (3) 2012

نمذجة ومحاكاة نظام قيادة لمضخة مياه بمحرك تحريضي متغير السرعة يعمل بالطاقة الشمسية

الدكتور غسان حايك*

(تاريخ الإيداع 25 / 3 / 2012. قُبِل للنشر في 5/ 6 / 2012)

□ ملخّص □

يعرض هذا البحث تصميم محرك تحريضي ذي قفص سنجابي وتطويره I.M. (Cage induction motor) تغذيته من الخلايا الكهروشمسيةPV (photo voltaic)ويشغل نظام ضخ المياه بشكل آلي. يستخدم في نظام القيادة دارة المقطع لمتابعة الطاقة الأعظمية من الخلايا الكهروشمسيةمتفاوتة الاستطاعة مع قالبة للجهد ذات التحكّم بالتيار أو ما يسمى باختصار قالبة الجهد والتيارCC-VSI(current controlled voltage source inverter)ضمن القيمة المحددة من أجل ملائمة عمل المحرك مع خصائص الخلية الكهروشمسية المقترحة. تمّ تنقيح المعادلات النموذجية الناظمة للتفاعل بين العزم والفيض المغناطيسي للمحرك مع الطاقة الشمسية المتاحة، ثم جرى تقديم صورة عن الأداء والمردود الأمثل للنظام برمته في مختلف ظروف التشغيل على أرض الواقع، لتبيان الخصائص الفريدة التي يتمتع بها من حيث استخداماته بأنظمة ضخ المياه.

الكلمات المفتاحية: النمذجة والمحاكاة – المقطعات – قالبة الجهد – التحكم الشعاعي – محرك تحريضي ذو قفص سنجابي – الخلية الكهروشمسية.

* أستاذ مساعد في قسم الطاقة الكهربائية/كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين–اللاذقية–سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (3) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (3) 2012

Modeling and simulation driving system for water pump of solar powered variable speed induction motor

Dr. Ghassan Hayek*

(Received 25 / 3 / 2011. Accepted 5 / 6 / 2012)

□ ABSTRACT □

This paper deals with the design and development of a photo voltaic (PV) array fed cage induction motor for an isolated water pumping system. A drive system using a chopper circuit to track maximum power from the PV for different solar insolation and a current controlled voltage source inverter (CC-VSI) to optimally match the motor to PV characteristics is presented. The model equations governing interaction of torque and flux producing components of motor current with available solar power are developed for the operation of the system at optimum efficiency. Performance of the system is presented for different realistic operating conditions, demonstrating its special features for applications such as solar water pumping system.

Keywords: Modeling and Simulation-Choppers-VSI-Vector control- Cage induction motor-PV.

*Associate Professor, at Electrical Power Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

لايخفى على أحد التطور التقني الهائل للطاقة الشمسية وأهميتها في تلبية متطلبات الطاقة المتزايدة، فضلاً عن أنها طاقة صديقة للبيئة، وكلفة تشغيلها منخفضة، وتؤمن مصدراً لاينضب من الطاقة، مما جعلها كأحد أهم مصادر الطاقة المتجددة. إذ تؤمن الطاقة اللازمة في المناطق الجبلية النائية على وجه الخصوص. يجب إخضاع الطاقة الشمسية لسلسلة من العمليات التحويلية قبل أن تصبح طاقة متاحة ومفيدة في العديد من التطبيقات. إن ارتفاع كلفة تحويل الطاقة قد جعلها مثار جدلٍ واسع لفترة طويلة قبل أن تظهر تقانة أنصاف النواقل، التي أدت إلى خفض كلفة تحويل هذه الطاقة فيما يخص الأجهزة اللازمة لذلك وملحقاتها بغية تحقيق هدف التكيف مع الطاقة الشمسية[1].

إن عملية تكييف الطاقة هي بمنزلة واجهة ربط بين مجموعة الخلايا الكهروشمسية(PV)والمحرك الذي يدير الحمل. تمتلكالخلايا الكهروشمسية(PV) خصائص معيارية، في حين أن التكييف يتطلب تهيئة المحرك ليناسب خصائصالخلايا الكهروشمسية(PV) القياسية.يستخدم في الوقت الراهن، محرك تيار مستمر ذو مغناطيس دائم من دون المسفرات

permanent magnet brush–less dc motor (PMBLDC) من أجل ضخ المياه[2]. ولكن لاتزال الكلفة المرتفعة وصعوبة تأمين مغناطيس دائم(PM) هي من المعوقات التي تواجه المصمم. ظهرت في وقت لاحق المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي في أنظمة ضخ المياه، وتتميز هذه المحركات بكلفة منخفضة، وقوة الأداء، وسهولة التصميم[4][3]. من المعلوم أن المحرك التحريضي ذات القفص السنجابي الذي يعمل بشكل طبيعي عند تغذيته من الشبكة الكهربائية العامة، يمتاز بالكفاءة العالية ضمن حدود الحمل والسرعة المحددة له، ولكن عند تغذيته بالطاقة الشمسية يصبح أداءه غير مثالي بسبب التفاوت لمستويات الطاقة في الإشعاع الشمسي، مما يستدعي مراعاة الطاقة الأعظمية للخلاياالخلايا الكهروشمسية(PV) ومواءمة خصائص حث المحرك على هذه الحالة من مستويات الطاقة. إن تشغيل محرك تحريضي ذي قفص سنجابي بالكفاءة المثالية يتطلب جعل الضياعات الثابتة للمحرك مساوية للضياعات المتغيرة، ولهذا تشتق العلاقة بين الطاقة الشمسية المتاحة ومكونات العزم والتدفق لتيار الملف في المحرك وفقاً لهذا المبدأ[7][6][5].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقديم توصيف مفصّل عن مجموعة الخلايا الكهروشمسية(PV) التي تغذي محركاً كهربائياً تحريضياً ذا قفص سنجابي. إذ تم عرض استراتيجية التحكم والمعادلات الناظمة ضمن مستويات مختلفة من الإشعاع الشمسي، مع تسليط الضوء على خصائص نظام القيادة للمحرك التحريضي، ومجموعة الخلايا الكهروشمسية(PV)التي تبرهن على ملائمة هذه الطريقة وتكيفها مع نظام ضخ المياه.

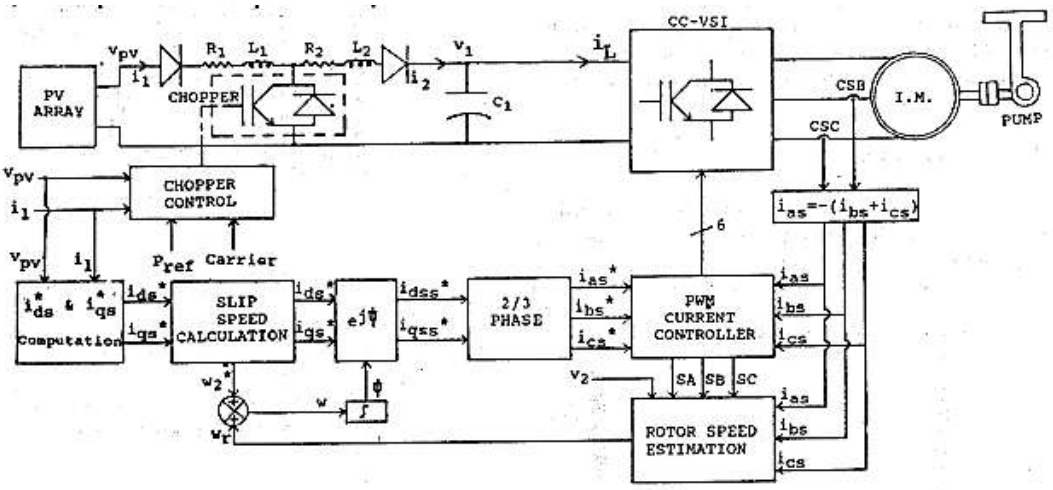
طرائق البحث ومواده:

جرى تطوير نموذج تحليلي لنظام قيادة محرك تحريضي ذي قفص سنجابي.إن الشروط المحددة لهدف الدراسة تتضمن استجابة نظام القيادة من أجل سويات مختلفة من الإشعاع الشمسي. إذ يعرض البحث نماذج متقدمة باستخدام الأداء العالي لأنظمة التحكم للمقطع الرافع والمحرك، من أجل الحصول على استطاعة عظمى من المودولالكهروشمسي. في المثال الأول يستخدم استجابة النظام عند المستوى الأدنى لطاقة الإشعاع الشمسي، بينما

يعالج المثال الثانياستجابة النظام عند المستوى الأعظمي لطاقة الإشعاع الشمسي، وفي المثال الثالث تم استعراض استجابة النظام من أجل سويات إشعاع مختلفة تتراوح بين $\left(600 \div 1000 W/m^2\right)$.

منهجية النظام المقترح:

يوضح الشكل(1)منهجية نظام القيادة لمحرك تحريضي ذي قفص سنجابي، الذي يدير حملاً عن مضخة للمياه. تتفاوت طاقة التيار المستمر DC المتوفرة عند خرج الألواح الشمسية تبعاً لمستوى الإشعاع الشمسي. إن استخراج الطاقة القصوى من الألواحالشمسية يتطلب دارة تحكم عالية التردد. تتم تغذيةقالبة الجهد ذات التحكم بالتيار–CC) (VSI من الطاقة الناتجة على خرج الخلية الكهروشمسية أومجموعة(PV). و تعدّ بدورها هذه القالبة كمنبع للطاقة الكهربائية، والمسؤولة عن تغذية المحرك بالطاقة اللازمة وفقاً للبارامترات والمعطيات المناسبة. إن تحقيق الأداء الأمثل يتطلب إيجاد التوازن بين مركبات الفيض المغناطيسي $\left(i_{ds}\right)$والعزم $\left(i_{qs}\right)$ التي تشكل المركبات الأساسي لتيار المحرك. يقوم تيار المحرك على التوازن بين الضياعات الثابتة والمتغيرة في المحرك التحريضي، وهذا بطبيعة الحال مرتبط منطقياً بالطاقة الشمسية المتاحة عند خرج المجموعة(PV) مما يسمح بتحويلها إلى طاقة ميكانيكية فعالة.



الشكل (1) المخطط الصندوقي لمجموعةالخلاياالكهروشمسية(PV) الخاصة بقيادة محرك تحريضي ذي قفص سنجابي

استراتيجية التحكم:

كما هو مبين في الشكل(1) يتم تحقيق الكفاءة المثلى من مجموعةالخلايا الكهروشمسية(PV) بواسطة متابعة نقطة الطاقة الأعظميةMPPT(maximum power point tracker)بالنسبة لمختلف سويات الإشعاع الشمسي. ولذلك يعمل المقطع(chopper) بدارة مغلقة وتأخذ دارات التحكم طلب الطاقة المرجعية P_{ref} والطاقة الفعلية $\left(P_{act} = v_{pv}\, i_1\right)$ من مجموعةالخلايا الكهروشمسية(PV)على شكل إشارات الدخل. وتقوم بتوليد التردد المرتفع المسؤول عن التحكم بأداء المقطع بواسطة دورة التشغيل الذي يعمل وفقاً لمستويات الإشعاع الشمسي مما يسمح لمجموعة الخلايا الكهروشمسية(PV) بأن توصل الطاقة الأعظمية عند خرجها. توضع دارة المرشح(LC) بين مجموعةالخلايا الكهروشمسية(PV) وقالبة الجهد ذات التحكم بالتيار(CC–VSI)ليساعد في كبت تموجات الطاقة على دخل القالبة. يتم التحكم بقيادة المحرك عن طريق دارة مفتوحة وذلك لجعل الإقلاع مستقلاً عن عزم عطالة الحمولة، ومحور دوران المحرك. حيث ينصح بوجود تردد الانزلاق في هذا النظام أيضاً. يتسارع المحرك عند الإقلاع ليصل إلى تردد انزلاق ثابت ثم إلى السرعة المحددة في الحالة الثابتة للعضو الدوار. وتم تحقيق تجاوز تردد الانزلاق بواسطة زيادة تردد التيار

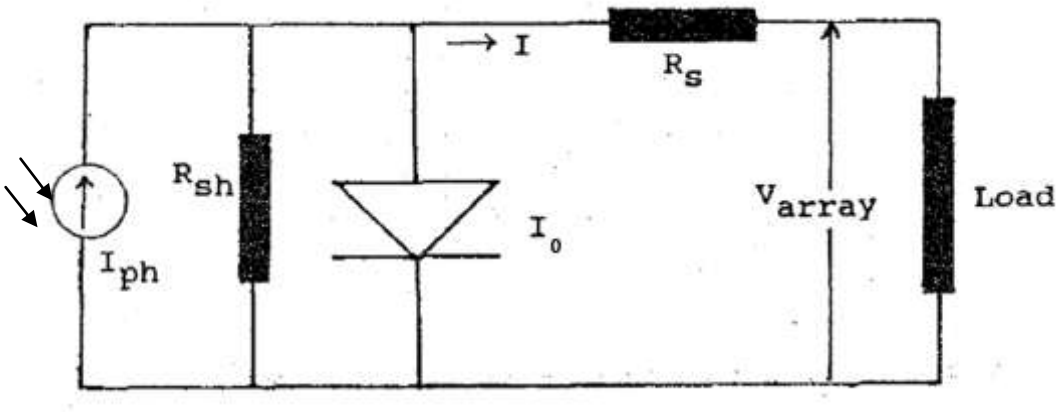
على خرج القالبة ثلاثية الطور. تحسب السرعة الزاوية للمحرك استناداً إلى ظروف التشغيل وتضاف إلى سرعة الانزلاق. ويتم حساب الانزلاق تبعاً لبارامترات أو متغيرات المحرك الذي يصبح مستقر الأداء ضمن قيمة الحالة الثابتة المحددة له، والمعتمدة على سرعة العضو الدوار ومستوى الإشعاع الشمسي وعزم الحمولة والعزم الكهرومغناطيسي. إنالمحرك في ظروف التشغيل في الحالة الثابتة يجعل عزم الحمولة مساوياً للعزم الكهرومغناطيسي مما يحقق له مثاليةالأداء بسرعة ثابتة.

النموذج الرياضي للنظام:

يتألف نظام القيادة المقترح من مجموعةالخلايا الكهروشمسية(PV)، نظام المقطع، المرشح(LC)، مكونات دارة التحكم بالمحرك، قالبة الجهد ذات التحكم بالتيار(CC–VSI)، ومحرك تحريضي ذو قفص سنجابي. إذ تدمج هذه العناصر والمكونات المختلفة التصميم لتشكل نظام متكامل الأداء والموثوقية.

1- النموذج الرياضي لمجموعةالخلايا الكهروشمسية**(PV)**:

تتكون المجموعة (PV) من خلايا كهروشمسية موصولة على التسلسل وعلى التوازي بغية تحقيق المستوى المطلوب من الجهد والطاقة كما هو موضح في الشكل(2).



الشكل (2) الدارة المكافئة للخلية الكهروشمسية(PV)

ويبين الشكل(a–3) خصائص مميزة التيار بدلالة الجهد لقيم مختلفة من الإشعاع الشمسي. يتم حساب علاقة التيار بدلالة الجهد للخلية الكهروشمسية وفقاً للمعادلة(1).

$$v_{pv} = -IR_s + \frac{1}{D}\ln\left[1+\left(I_{ph}-I\right)/I_0\right] \quad (1)$$

إذ إن:

I_{ph} تيار الفوتون المتناسب مع الإشعاع الشمسي.

I_0 تيار الإشباع العكسي للخلية.

I تيار الحمل.

R_s المقاومة التسلسلية للخلية.

$D = \frac{q}{AKT}$.

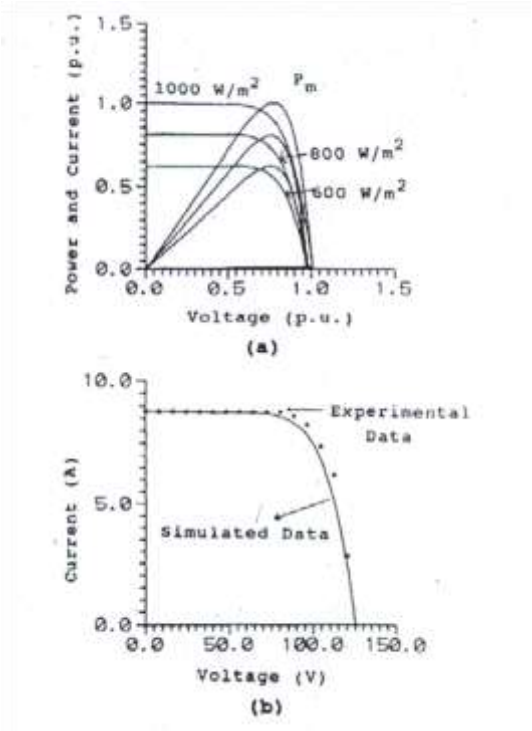
K ثابت بولتزمان.

T درجة الحرارة المطلقة.

A عامل التجميع.

q الشحنة الكهربائية للألكترون.

مع الإشارة إلى إنه تم إهمال قيمة المقاومة التفرعية R_{sh} . بينما يبيّن الشكل(3–b) البيانات التجريبية وبيانات محاكاة الأبعاد، حيث يتبين وجود علاقة بين البيانات التجريبية والنمذجة وتمثل الخصائص التي يتمتع بها النظام والتوافق بين الواقع التجريبي ومحاكاة الأداء الفعلي للنظام.



الشكل (3) (a) – مميزة التيار بدلالة الجهد I–V وخصائص الاستطاعة الأعظمية عند سويات مختلفة من الإشعاع الشمسي، (b) مقارنة بين البيانات التجريبية والنمذجة

2– النموذج الرياضي للمقطع والمرشح(LC):

يظهر الشكل(1) مجموعة (PV)التي تغذي المرشح LC بالتيار المستمر DC. وتتحكم المعادلات التفاضلية بعمل هذا القسم من النظام. سنتناول في هذا البحث حالتين لعمل المقطع:

الحالة الأولى: عندما يكون المقطع في حالة offوفي هذه الحالة يقوم الملف بالإضافة إلى جهد الدخل بإعطاء الطاقة إلى الخرج، كما هو موضح في الشكل(4–a). يوصف النظام في هذه الحالة بالمعادلات التفاضلية الآتية في المجال اللابلاسي:

$$i_1(p)=\left[\left(v_{pv}-v_1\right)/\left(L_1+L_2\right)-\left(R_s+R_1+R_2\right)/\left(L_1+L_2\right)i_1\right] \quad (2)$$

$$v_1(p)=\left(i_1-i_L\right)/C_1 \quad (3)$$

تحدد المتغيرات v_{pv} و v_1 حالة الجهد في مختلف النقاط للدارة المبينة في الشكل(4–a).

إن المتغيرين i_1 و i_L هما التيارات الكهربائية في مختلف تفريعات الدارة. بينما c_1 هي السعة لدارة المرشح. وتمثل البارامترات R_1 ، R_2 ، L_1 و L_2 المقاومات والمحارضة لمختلف فروع الدارة.

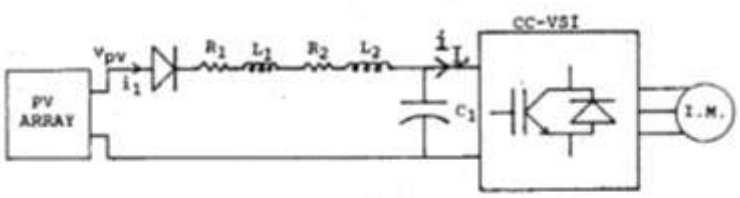
الحالة الثانية: عندما يكون المقطع في حالة on وفي هذه الحالة يقوم الدخل بتغذية الملف ويكون الخرج معزولاً، كما هو موضح في الشكل(b–4). يوصف النظام في هذه الحالة بالمعادلات التفاضلية الآتية في المجال اللابلاسي:

$$i_1(p) = v_{pv} / L_1 - [(R_s + R_1)/(L_1)]\, i_1 \qquad (4)$$

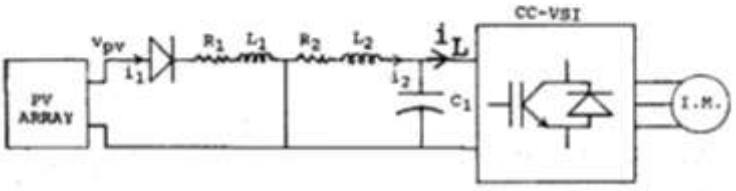
$$i_2(p) = -v_1 / L_2 - (R_2 / L_2)\, i_2 \qquad (5)$$

$$i_1(p) = (i_2 - i_L)/ c_1 \qquad (6)$$

إذ إن i_L هي تيار الدخل للقالبة.



(a)



(b)

الشكل (4) مخطط دارة القدرة للمقطع الرافع (a)– في حالة off و(b)– في حالة on

3– دارة التحكم بالمحرك:

يمثل المرشح LC وقالبة الجهد ذات التحكم بالتيار حاجزاً بين المحرك ونظام مجموعة الخلايا الكهروشمسيةPV. إذ إن التيارين الناشئين (i_{ds}^{*}) و (i_{qs}^{*}) على المحاور الأحداثية للمحرك هما بمنزلة أوامر التحكم.

تعطى استطاعة الخرج للمجموعة PV بالعلاقة الآتية:

$$P_{pv} = P_{act} = v_{pv}\, i_1 \qquad (7)$$

إذ إن P_{act} هي استطاعة الخرج الفعلية للمجموعة PV.

بفرض أن الاستطاعة الناتجة P_{pv} عن المجموعةPV قد تم ربطها بالمحرك التحريضي وبالتالي فإن خصائص الاستطاعة والسرعة لهذا المحرك يعبر عنها بالمعادلة الآتية:

$$P_{pv} = P_{act} = P_i = k_1\omega_m + k_2\omega_m \qquad (8)$$

إذ إن k_1 و k_2 هما ثوابت، وإن ω_m هي السرعة الزاوية للمحرك وواحدتها rad/s.

يمكن التعبير عن القيمة المرجعية لشعاع تيار المغنطة (i_{mr}^{*}) كتابع لسرعة المحرك ω_m من أجل تحقيق أقصى درجة من الفعالية والمردود الأمثل لنظام القيادة للمحرك التحريضي ذي القفص السنجابي، وذلك حسب المعادلة الآتية:

$$i_{mr}^{*} = fn(\omega_m) \qquad (9)$$

ويمكن التعبير عن الاستطاعة الناتجة عن المجموعة PV بالعزم T^* عند السرعة ω_m، حسب العلاقة الآتية:

$$T^* = P_{pv} / \omega_m = P_i / \omega_m \qquad (10)$$

إذ إن: P_i استطاعة الدخل للمحرك.

أما مركبات الفيض الناتجة $\left(i_{ds}^{*}\right)$ لشعاع تيار الثابت i_s فيعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$i_{ds}^{*} = i_{mr}^{*} + \tau_r P\left(i_{mr}^{*}\right) \qquad (11)$$

ومركبات العزم الناتجة $\left(i_{qs}^{*}\right)$ لشعاع تيار الثابت i_s يعبر عنها بالعلاقة التالية[8]:

$$i_{qs}^{*} = T^* / \left(k_t i_{mr}^{*}\right) \qquad (12)$$

إذ إن:

$$k_t = (3/2)(poles/2)\left\{M^2/(1+\sigma_r)\right\} \qquad (13)$$

علماً بأن:

M تمثل عامل المحرضة التبادلية، σ_r هي عامل التسرب للدوار، τ_r هي الثابت الزمني للدوار.

تحدد العلاقة(14) تردد الانزلاق المطلوب لتحقيق المردود الأمثل لنظام القيادة[10][9].

$$\omega_2^{*} = i_{qs}^{*} / \left(\tau_r i_{mr}^{*}\right) \qquad (14)$$

يعبر عن i_{qs}^{*} و i_{ds}^{*} في إطار القيم المرجعية المتواقتة، ولذلك تعدّ هذه القيم عبارة عن كميات التيار المستمر DC في النظام، ويتطلب تحويلها إلى التيار المتناوبAC. تدور هذه التيارات شعاعياً بمقدار المعامل الطوري الذي يميز بين الأطوار الثلاثة ويعطى $e^{j\varphi}$. إن φ هي زاوية التدفق (أي الزاوية الحاصلة بين محور الثابت ومحور شعاع تيار المغنطة). وهنا يتم حساب الفيض φ كبيانات رقمية للتحكم وفق العلاقة التالية:

$$\varphi_{(n)} = \varphi_{(n-1)} + \left(\omega_{r(n)} + \omega_2^{*}\right)t_n \qquad (15)$$

t_n هي زمن الدور.

تمثل المركبات الإحداثية لشعاع تيار الثابت بالقيم المرجعية المستقرة(لكميات التيار المتناوب AC)، كما في العلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} i_{dss}^{*} &= i_{ds}^{*}\cos\varphi - i_{qs}^{*}\sin\varphi \\ i_{qss}^{*} &= i_{ds}^{*}\sin\varphi + i_{qs}^{*}\cos\varphi \end{aligned} \qquad (16)$$

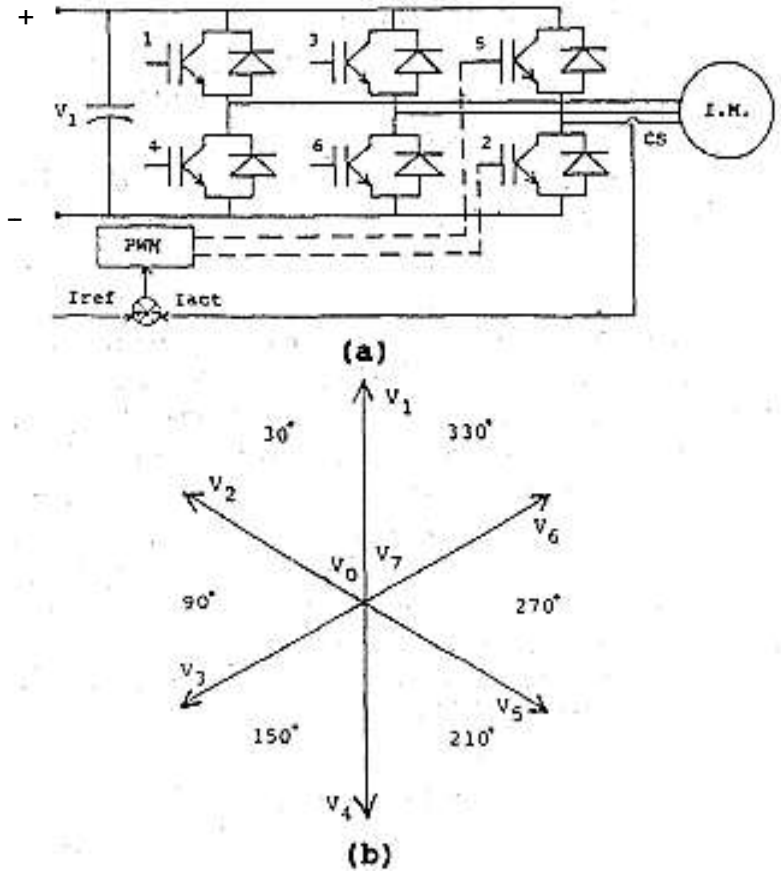
إن التيارات المرجعية ثلاثية الطور في ملف الثابت i_{as}^{*}، i_{bs}^{*} و i_{cs}^{*} مشتقة من i_{dss}^{*} و i_{qss}^{*} باستخدام التحويلات ثنائية الطور إلى ثلاثية الطور. توضح المعادلة التالية التيارات المرجعية ثلاثية الطور:

$$\begin{aligned} i_{as}^{*} &= i_{qss}^{*} \\ i_{bs}^{*} &= \left(\sqrt{3}/2\right)i_{qss}^{*} - (1/2)i_{dss}^{*} \\ i_{cs}^{*} &= -\left(\sqrt{3}/2\right)i_{qss}^{*} - (1/2)i_{dss}^{*} \end{aligned} \qquad (17)$$

4- النموذج الرياضي للقالبة:

كما هو مبين بالشكل (a-5) تعتبر قالبة الجهد ذات التحكم بالتيار(CC-VSI) المكونة من مفاتيح الكترونية ترانزستورية(IGBTs) فائقة السرعة، مصدراً للطاقة الكهربائية للمحرك[12][11]. يتم التحكم بعمل القالبة باستخدام تقنية التحكم بعرض النبضة(PWM) وذلك بمقارنة التيارات المرجعية i_{as}^{*} ، i_{bs}^{*} و i_{cs}^{*} مع تيارات الملف للمحرك i_{as} ، i_{bs} و i_{cs}.

نحصل عن طريق التحكم(PWM)لكل زوج من المفاتيح عند خرج القالبة على ثمانية أشعة للجهد على ملفات الثابت كما هو مبين في الشكل(b-5)، منها ستة أشعة لاصفرية وهي مقادير متعادلة للجهد وبإزاحة زاوية 60°، وشعاعان صفريان تكون قيم الجهد على ملفات المحرك معدومة. تشكل أشعة الجهد الفراغيةv_7------v_0 توابع قسرية ولذلك يتم التحكم بتيارات الملف وفقاً لأشعة التيارات المرجعية.



الشكل (5) (a)– مخطط التحكم بعرض النبضة PWM للقالبة CC-VSI

(b)المخطط الشعاعي لجهود الخرج للقالبة مقارنة

5- النموذج الرياضي للمحرك التحريضي:

إن التوابع القسرية v_7------v_0 تنظم تيارات المحرك وتبقيها متناغمة(متناسقة) مع أشعة التيارات المرجعية المتباينة. إن معادلات التوازن الفولت أمبير(العلاقة18) والعزم(العلاقة19) للمحرك التحريضي تشكل معادلات تفاضلية من الدرجة الأولى. يعبر عن هذه المعادلات بالإطار المرجعي الثابت ذي المتغيرات d-q كما في العلاقتين الآتيتين في المجال اللابلاسي[11]:

$$[i](p)=[L]^{-1}\{[v]-[R][i]-\omega_r[G][i]\} \qquad (18)$$

$$\omega_r(p)=(T_e-T_1)/(2J/poles) \qquad (19)$$

إذ إن :

$[v]$، $[i]$، $[R]$، $[L]$ و $[G]$ هي مصفوفات من الجهد، التيار، المقاومة، المحارضة الذاتية والناقلية، كما إن T_1 هي عزم الحمولة و J هي عزم العطالة(كافة البارامترات المتعلقة بالمحرك مدونة في الملحق).

نستنتج علاقة السرعة ω_r من علاقة توازن العزوم(19)، وتستخدم سرعة الدوار $\omega_{r(n)}$ في بنية دارة التحكم لنظام القيادة، وهذا يلغي الحاجة إلى حساس للسرعة ويقلل من كلفة النظام ويعزز من موثوقيته. تعطى علاقة العزم الكهرومغناطيسي T_e الناتج عن المحرك بالعلاقة:

$$T_e=(3/2)(p/2)L_m\left(i_{qss}i_{drs}-i_{dss}i_{qrs}\right) \qquad (20)$$

إذ إن:

L_m هي المحارضة الممغنطة، والمتغيرات i_{dss} و i_{qss} هي المركبات الإحداثيةq–dلتيارات الثابت في الإطار المرجعي المستقر. ولكنالمتغيرات i_{qrs} و i_{drs} هي المركبات الإحداثية q–dلتيارات الدوار في الإطار المرجعي المستقر.

تستخدم المعادلات التفاضلية من الدرجة الأولى (2)، (3)، (4)، (5)، (6)، (18) و (19) في دراسة نظام القيادة المقترح. وتحل بمساعدة تقنية عددية واسعة الانتشار هي طريقة رونغا–كيوتا(Runga–Kutta).

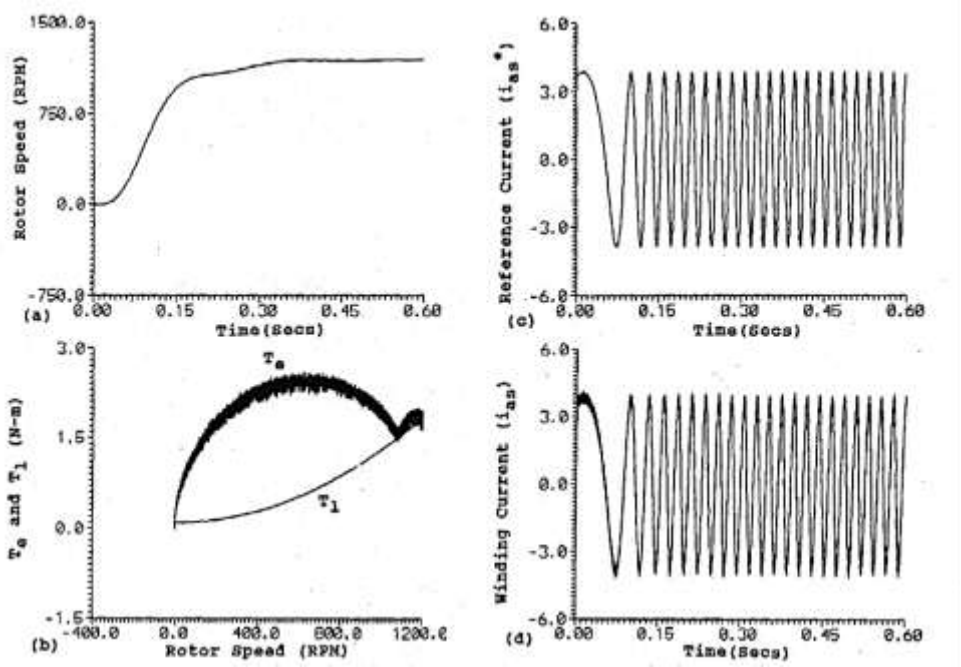
النتائج والمناقشة:

يطبق هذا النموذج المحسن الآن في نظام القيادة لمحرك تحريضي ذي قفص سنجابي، وقد أعطيت مواصفاته في الملحق. إن الشروط المأخوذة بالاعتبار من أجل الوصول إلى هدف الدراسة تتضمن استجابة نظام القيادة من أجل سويات مختلفة من الإشعاع الشمسي. يبين الشكل(6) استجابة النظام خلال الإقلاع وعند حالة الحركة المستقرة، وذلك من عند المستوى الأدنى للإشعاع الشمسي ($600\ w/m^2$). يلاحظ من الشكل(6–c) و(6–d)أنه قد تم إجراء تجارب على المحرك عند الإقلاع بتردد متحكم به. يعتمد تردد الإقلاع لنظام القيادة على الانزلاق المحسوب في دارة التحكم للمحرك. عند الزيادة في سرعة المحرك فإن تردد التيارات المرجعية ثلاثية الطور الناتجة عن دارة التحكم للمحرك يزداد، ويجب أن تراقب تيارات الملفات بحيث تكون متطابقة تماماً مع التيارات المرجعية.

نرى من الشكل(6–a) و(6–b) أنه مع الزيادة في سرعة المحرك فإن عزم الحمولة أيضاً يزداد ويصبح مساوياً للعزم الكهرومغناطيسي الناتج عن المحرك بواسطة نظام القيادة. عند هذه النقطة يستقر المحرك عند قيمة محددة للسرعة ويصطلح على تسميتها باسم الحالة المستقرة لسرعة الدوران. نلاحظ من الشكل(6–a) أن سرعة الدوران خلال الحالة المستقرة هي (1180 r.p.m)، وذلك عند هذا المستوى الشمسي من الإشعاع. تعدّ هذه القيمة للسرعة كافية من أجل تحقيق هدف ضخ المياه وغايته.

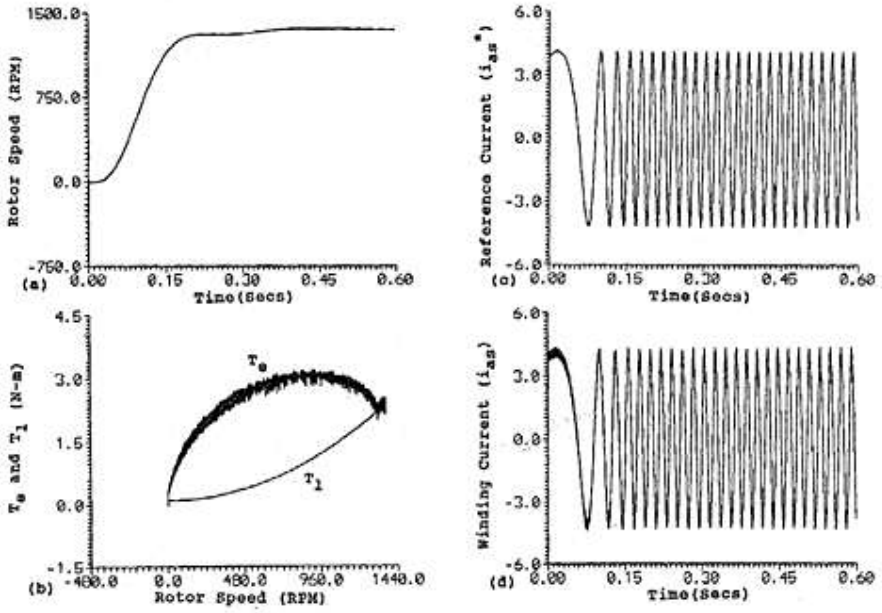
قد تم مراقبة عزم الحمولة عند الحالة المستقرة ليكون (1.8 N.m). وأيضاً تم ملاحظة أن المحرك يعمل بمطال ثابت للتيار، ولكنه يتحكم بالتردد عند الإقلاع وعند سرعة دوران ثابتة. خلال فترة الإقلاع فان القيمة المنخفضة لتردد التيار المار في ملفات المحرك يساعد في تحسين العزم الأعظمي الكهرومغناطيسي وتطويره ، وهذا يؤدي بالتالي إلى إنجاز التسارع السريع. في حين أن تردد الحالة المستقرة لتيار ملف الثابت للمحرك يتحدد من خلال مستوى

الإشعاع الشمسي. ويتبين من ذلك أن التيار المار خلال ملفات المحرك لايقفز إطلاقاً إلى قيمة تتجاوز قيمة الذروة(peak) للتيار وهي (3.7 A). وهذا يقدم حماية داخلية ذاتية في النظام.



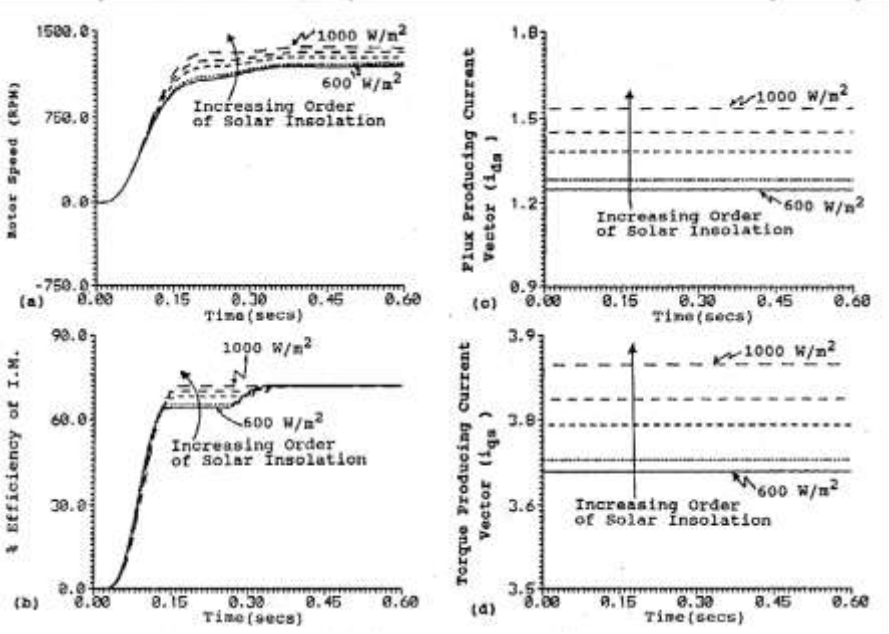
الشكل (6)– استجابة نظام القيادة لأدنى مستوى من طاقة الإشعاع الشمسي

إن استجابة نظام القيادة الموافق للمستوى الأعلى للإشعاع الشمسي($1000\ w/m^2$)كما هو مبين في الشكل (7). في هذه الحالة نجد بوضوح قيمةً أعلى لسرعة المحرك وتصل إلى(1350 r.p.m) في الحالة المستقرة. يمكن أن ينسب هذا إلى حقيقة مفادها أن المحرك الآن يطور عزماً كهرومغناطيسياً أعلى قيمته تصل إلى(2.3 N.m)، وذلك كمقارنة مع الحالة السابقة للمستوى الأقل للإشعاع الشمسي.



الشكل (7)– استجابة نظام القيادة لأعلى مستوى من طاقة الإشعاع الشمسي

تولد دارة التحكم للمحرك تياراً بتردد متحكم به خلال إقلاع نظام القيادة بمطال عند الذروة قدره (4.0 A). نلاحظ من الشكل(c–7) و(d–7)بأن تيار الملفات متطابقة تماماً مع التيار المتولد عن دارة التحكم بالمحرك. إن استجابة نظام القيادة لمستويات مختلفة من الإشعاع الشمسي مبين في الشكل (8).إذ إن الشكل(a–8)يبين بوضوح ان سرعة الدوران في الحالة المستقرة للقيادة تكون مختلفة، وذلك من أجلسويات مختلفة للإشعاع الشمسي. إن سرعة الدوران في الحالة المستقرة للمحرك تكون أعلى من أجل المستوى الأعلى للإشعاع الشمسي والعكس صحيح. ولكن عند المستوى الأصغري للإشعاع الشمسي($600\ w/m^2$) فإن سرعة الدوران في الحالة المستقرة تكون قيمتها أقلمن (1180 r.p.m).ولكن في حالة المستوى الأعظمي للإشعاع الشمسي($1000\ w/m^2$) كما وجدنا سابقاً فإن سرعة الدوران في الحالة المستقرة تكون قيمتها أعلى من(1350 r.p.m). بينما من أجل المستويات الإضافية الأخرى كلها للإشعاع الشمسي فان السرعة تكون بين هذين الحدين المذكورين أعلاه. يوضح الشكل(b–8)فعالية النظام وكفاءته لسويات مختلفة من الإشعاع الشمسي. من الشكل(a–8) و(b–8) فانه يمكن باهتمام ملاحظة انه خلال الحالة المستقرة فإن المردود أو الفعالية الأعظمية للنظام هي نفسها وتبلغ (% 72)، وذلك من أجل سويات متباينة للإشعاع الشمسي. بينما خلال فترة الإقلاع وعند هذه السويات المتباينة نفسها من الإشعاع الشمسي تكون فعالية النظام وكفاءته أقل من القيمة الأعظمية المذكورة سابقاً. إن هذا التشابه في قيمة المردود الأعظمي للقيادة وعند جميع سويات الإشعاع الشمسي تعود إلىحقيقة المردود الأمثل. وهي محاولة لتعزيز مفهوم الحالة المستقرة للمحرك وشروط تشغيله.



الشكل (8)– استجابة نظام القيادة لسويات مختلفة من طاقة الإشعاع الشمسي

وذلك لكي يعمل نظام القيادة عند أي مستوى للإشعاع الشمسي لفترة زمنية أطول ولاسيما عند نقطة التشغيل للحالة المستقرة. وبالانطلاق من المردود الأمثل لنظام القيادة فإنه قد تم محاولة إجرائها من خلال اختيار سويات مختلفة للعزم الناتج i_{qs} والفيض الناتج i_{ds} والمتعلقة بمركبات شعاع تيار الثابت، وذلك بغية إنجاز توازن بين الضياعات الثابتة والمتغيرة. إن أي مستوى خاص لكل من العزم i_{qs} والفيض i_{ds} سوف يعتمد على مستوى الإشعاع الشمسي الصادر .نشاهد من الشكل(c–8) و(d–8) أن مستوى هذين التيارين i_{qs} و i_{ds} يكون مختلفاً عند سويات مختلفة للإشعاع

الشمسي. وبالتالي فإن كل مستوى لهذين التيارين i_{qs} و i_{ds}ينتج عنه المردود الأفضل لنظام القيادة في أثناء شرط الحالة المستقرة.

الاستنتاجات والتوصيات:

من الدراسة النظرية ومقارنتها بالنتائج العملية، يمكن استخلاص ما يأتي:

1. أن نظام القيادة الكهربائية لمحرك تحريضي ذو قفص سنجابي،ونظام النموذج الكهروشمسي(PV) المقترح يملك قيماً كافية لكي يؤدي عمله بكفاءة.
2. إن تصميم دارة التحكم للمحرك قد أسهمت بإيجاد تيار داخلي(inherent current) خاص لحماية القالبة.
3. ضبط العمل ومتابعته عند النقطة الأعظمية للطاقةMPPT باستخدام نظام التحكم (PWM) بالخلايا الكهروشمسية.
4. تبين من خلال نتائج البحث بأن نظام القيادة المقترح يحقق القيمة الأعظمية نفسها للمردود (% 72)عند سويات مختلفة للإشعاع الشمسي.وهذا يؤكد على فعالية التقنية التي تم تطويرها من أجل الحصول على المردود الأمثل.
5. إن هذا النوع من الأنظمة مفيد في العديد من التطبيقات مثل ضخ المياه، بالإضافة إلى مطاحن الدقيق وأمثلة أخرى كثيرة ولاسيما في المناطق الجبليةالنائية.
6. التوجه إلى استخدامات أخرى لمتابعة النقطة الأعظمية للطاقة قد تكون أكثر دقة وذلك باستخدام المتحكم الصغري(microcontroller)بهدف استخدامها في التطبيقات المختلفة.

المراجع

1. JEWELL, W.T and RAMKUMAR, R.: "The history of utility-interactive photovoltaic generation ",Proc. Of IEEE/PES New York, No.88WM237, 1988, pp.1-5.
2. PUTTA SWAMY, C.L., SINGH BHIM and SINGH, B.P:"Dynamic performance of permanent magnet brushless dc motor powered by a pv array for water pumping ",Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells,Netherland, Vol.36, No.2, 1995, pp.187-200.
3. YAU, Y. , BUSTAMANTEP. and RAMSHAW, R.S.:"Improvement of induction motor drive systems supplied by photovoltaic arrays with frequency control ", IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol.9, No.2, 1994, pp. 256-262.
4. SINGH B.N., SINGH, BHIM and SINGH B.P.:"Vector control of induction motor drive without mechanical speed sensor ",Conference Proceeding, Nurnberg, Germany, June 28th to 30th, 1994.
5. ESRAM, T., CHAPMAN, P.L.: "Comparison of photovoltaic arrays Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE Tans. On Energy Conversion, Vol.22, No. 2, 2007, pp. 439-449.
6. OI, AKIHIRO.: "Design and Simulation of photovoltaic water pumping system", 2005.
7. SCHROEDER, D.: Elektrische Antriebe-Grundlagen, Berlin, 2007, pp. 206-212.

8. [8]-: PETER, F. BROSCH: Moderne Stromrichter-antriebe, vogel-buchverlage, Germany, 2008, pp. 247-255.
9. THEODORE, WILDI: "Electrical Machines, Drives, and Power Systems ",London, 1998, pp. 299-309.
10. JENS, WEIDAUER,: "Elektrische Antriebstechnik ",Germany, 2005, pp. 198-104.
11. : PETER-KLAUS, BUDIG: Stomrichtergespeiste Drehstromantriebe, VDE Verlag, Berlin, 2001.
12. 12.SHEPHERD, W., HULLEY, L.N. and LIANG, D.T.W.:"Power electronics and motor control, Cambridge University press, 1995, pp.487- 503.

ملحقات

مواصفات المحرك التحريضي ذي القفص السنجابي:

$0.37\,kW\,(0.5\,HP),\,Y-connected,\,110V,\,3.5\,A,\,R_s=1.18\,\Omega,\,R_r=1.47\Omega$

$X_{is}=1.38\,\Omega,\,X_{ir}=1.38\,\Omega,\,M=0.135\,H,\,X_m=43.65\Omega,\,J=0.0018\,Kgm^2$

مواصفات دارة القدرة:

$R_1=0.05\,\Omega,\,R_2=0.075\,\Omega,\,R_3=0.075\,\Omega,\,L_1=5mH,\,L_2=10\,mH,\,L_3=12\,mH$

$C_1=2000\,\mu F,\,C_2=1000\,\mu F$

مواصفات المودول الكهروشمسي PV–Array:

No. of cell connected in series 36
No. of cell connected in parallel 1
Area of solar $0.00785\,m^2$
Type $cz-Si$
series resistance of each cell $R_s=0.003\,\Omega$
Reverse Saturation current $I_o=0.000025\,A$
Thermal Voltage $22.5\,V$
Compilation factor, $A=1.66$
Photon current, $I_{ph}=8.8\,A$