نمذجة ومحاكاة نظام ضخ كهروضوئي اعتماداً على على خوارزمية الرصد والاضطراب لملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى MPPT

د. أحمد كردي*

(الإيداع: 19 شباط 2024، القبول: 19 شباط 20234)

الملخص:

لقد ازداد الاهتمام مؤخراً باستخدام أنظمة الضخ الكهروضوئي كونها تقدم حلاً مناسباً لخفض تكاليف الضخ المائي الذي كان معتمداً على محركات الديزل.

في هذا المقال نقدّم نمذجة ومحاكاة لنظام ضخ كهروضوئي يتضمن محرك تحريضي ثلاثي الطور ذو قفص سنجابي، مضخة غاطسة (Electric Sunmersible Pump) ESP تعمل بنظام الطرد المركزي متعددّة المراحل، قالبة الكترونية تقوم بتحويل الجهد المستمر القادم من الألواح إلى جهد متقطع بقيم معدلة جيبياً ، ودارة متحكم تعمل وفق خوارزمية الرصد والاضطراب (P&O) لملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى(MPPT) المستجرة من الألواح الكهروضوئية، يطبق خرج المتحكم على خوارزمية (V/f=const) التي تولد بدورها نبضات التحكم بالقالبة المغذية للمحرك التحريضي.

بما أن شدة السطوع الشمسي ليست ثابتة خلال فترات تشغيل المضخة وإنما متغيرة، فلابد من نظام ملاحقة لتغير الاستطاعة المنتجة من الألواح والمتغيرة بحسب شدة السطوع الشمسي والمتمثل بخوازمية (P&O).
لقد أظهرت نتائج المحاكاة قدرة نظام النظام المقترح على ملاحقة الاستطاعة العظمى والمتغيرة بحسب شدة السطوع الشمسي مما أعطى أفضل مردود لنظام الضخ خلال مراحل عمله المختلفة. كما أظهرت النتائج أهمية عمل قالبة الجهد بخوارزمية (V/f=const)، حيث مكنت نظام الضخ عند مستويات منخفضة من السطوع الشمسي دون سحب تيار زائد، ليبقى المحرك القائد للمضخة في حالة آمان أثناء عمله.

الكلمات المفتاحية: نظام الضخ الكهروضوئي، خوارزمية الرصد والاضراب، محاكاة الأنظمة الكهروضوئية.

***عضو هيئة تدريسية في قسم تقنيات الحاسوب، الكلية التطبيقية، جامعة حماة**

Modeling &Simulation of a Photovoltaic pumping system Based (P&O) MPPT Algorithm

Dr. Ahmad Kurdi*

(Received: 19 February 2024, Accepted: 4 April 2024)

Abstract:

Recently, the interest of using photoelectric pumping systems has been increased; it provides a suitable solution to reduce the costs of water pumping, which used to rely on diesel engines.

In this article, we present a modeling and simulation of a photovoltaic pumping system that includes a three-phase squirrel-cage induction motor, an ESP (Electric Submersible Pump) witch operating with a multi-stage centrifugal system, an electronic converter, that converts the continuous voltage coming from the panels into alternative voltage sinusoidal modified. A controller that works according to Perturbing Observe (P&O) algorithm for tracking the maximum power point (MPPT) extracted from the photovoltaic panels. The controller's output is applied to the (V/f=const) algorithm, which generates control pulses that applied on converter transistor bases, that applied on the induction motor.

.Since, the intensity of solar brightness is not constant during the periods of pump operation, but variable in the time, for that a tracking system must existing to tracking the change in the power produced by the panels, which varies according to the intensity of solar brightness, which is represented by the (P&O) algorithm.

The simulation results showed the ability of the proposed system to track the maximum and variable power according to the intensity of solar brightness, which gave the best performance of the pumping system during the various stages of its work. The results also showed the importance of working with the voltage regulator (V/f=const) algorithm, as it enabled the pumping system to work at low levels of solar brightness without drawing excessive current, so that the motor driving the pump remains in a safe state.

Keywords: Photovoltaic pumping, P&O Algorithm, Simulation Photovoltaic systems.

Dept. of Computer Technicals, Applied Faculty, University of Hama

1- مقدمة:

لقد توجه الاهتمام مؤخراً نحو استخدام أنظمة الضخ الكهروضوئي نظراً للحاجة الماسة لتشغيل مضخات مياه الري الزراعي بعد الارتفاع الكبير في أسعار وقود الديزل من جهة ، وكونه مصدر أساس للانبعاثات الكربونية من جهة أخرى.

هذا التحول في بلدنا (سورية) قد مر بمرحلة وسيطية في أغلب الحالات عبر تشغيل المضخات المائية من بالشبكة الكهربائية العامة، لكن سرعان ما تغير هذا الوضع إلى مرحلة الضخ الكهروضوئي بعد النقص الشديد في انتاج الطاقة الكهربائية من المحطات الكهربائية. وبالتالي أضحى استخدام أنظمة الضخ الكهروضوئية على سلم الأوليات للانتقال للري الحديث للمزروعات، موفراً الحد الأدنى من تكلفة الصيانة مع تكلفة تشغيل صفرية ، بالإضافة إلى التناقص المستملار في الكلفة التأسيسية نظراً للانخفاض المستمر في أسعار الألواح الكهرضوئية المنتجة عالمياً. ومع بداية استخدام أنظمة الضخ الكهروضوئي تم اعتماد المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي كمحرك قائد للمضخات المائية مع اعتماد خوارزميات قيادة بسيطة بحلقة مفتوحة وفق قانون (V/f=constant) ، والتي كانت معتمدة على بتغذية المضخات من الشبكة الكهربائية [A].

لقد انتشرت مضخات الغاطسة الكهربائيّة ESP (Electric Sunmersible Pump) كنوع من مضخات الطرد المركزي متعددّة المراحل، حيث تمتاز هذه المضخات بكونها مناسبة للأبار ذات الأعماق المتوسطة والعميقة، كما إنه في المضخات الغاطسة، يكون المحرك والمضخة متصلان داخل البئر كبنية واحدة، ، والتي تستخدم في الأبار الارتوازيّة لأغراض الري، ومحطات معالجة المياه، وحتى الاستخدامات المنزلية. ويتكون هذا النوع من المضخات من عدة عنفات (مراوح) Impellers، تعمل على زيادة ضغط الماء بفعل القوة النابذة للحصول على ارتفاع عالي نسبياً. تُغمر المضخة بشكل كامل في الماء، الذي بدوره يعمل على تبريد المحرك الكهربائي، وبالتالي عدم الحاجة إلى نظام تبريد خارجي، بالإضافة لهذه الميزات، ونتيجة للغمر الكامل فإن المضخة لا تستهلك أي طاقة لحسب الماء. النوع الثاني هوه المضخات التي تستخدم عنفة واحدة وهي ذات تصميم بسيط، وغالباً تستخدم لتطبيقات صغيرة مثل المضخات الغاطسة في المكيفات الصحراويّة Air Cooler Based Water، والمضخات التي تتواجد في الحدائق العامّة لأغراض النوافير وأحواض الأسماك وفي المسابح، حيث لا تحتاج الى وضع الماء لارتفاعات عالية[B].

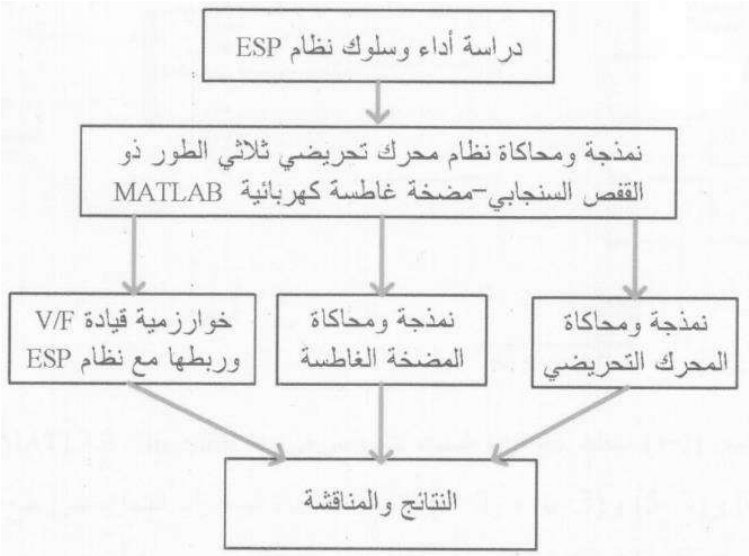
الشكل رقم (1): أنواع المضخات الغاطسة الكهربائيّة ESP

2– أهمية البحث:

دراسة وبناء خوارزمية قيادة لمحرك تحريضي ثلاثي الطور يقود مضخة غاطسة تغذى من منظومة كهروضوئية بهدف رفع أداء عملها في عملية الضخ المائي وزيادة غزارة الضخ والحصول على نظام ديناميكي في مواجهة التغيرات الحاصلة في الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، والعمل عند مستويات ضخ منخفضة دون توقف مع حدوث تغيرات مفاجئة في الاشعاع الشمسي.

3– دارسة أداء نظام محرك تحريضي ثلاثي الطور–مضخة غاطسة IM–ESP:

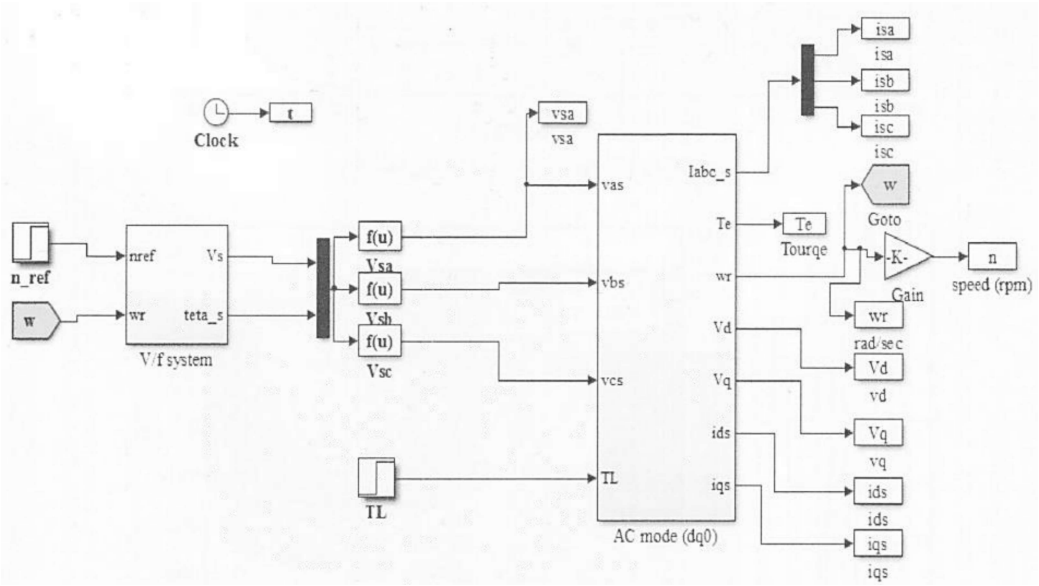
من أجل دراسة خصائص وأداء نظام ESP، يجب أولاّ القيام بنمذجة ومحاكاة نظام محرك تحريضي ثلاثي الطور ذو القفص السنجابي–مضخة غاطسة كهربائيّة باستخدام MATLAB، ثم استخدام خوارزمية القيادة V/f لدراسة أداء هذا النظام تحت ظروف تشغيل مختلفة. تمر منهجيّة النمذجة والمحاكاة هذه بالخطوات الموضّحة في الشكل(2):



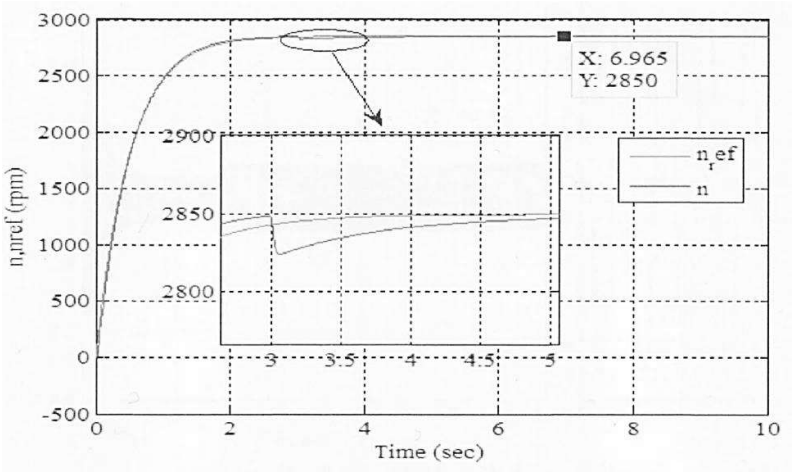
الشكل رقم (2): منهجية دراسة أداء نظام ESP بإستخدام بيئة النمذجة والمحاكاة

4- نمذجة ومحاكاة المحرك التحريضي ثلاثي الطور مع نظام قيادة باستخدام خوارزمية V/f:

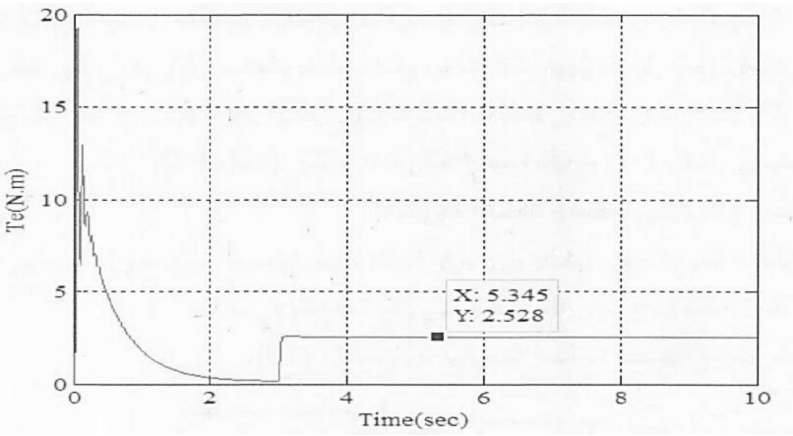
اعتماداً على النموذج الرياضي للمحرك التحريضي ثلاثي الطور ذو القفص السنجابي، أجرينا محاكاة للمحرك باستخدام MATLAB / Simullink واستخلصنا إشارات الخرج، أما نظام قيادة المحرك لتنظيم سرعة المحرك فتم إنشائه بالاعتماد على خوارزمية V/f ضمن بيئة MATLAB.



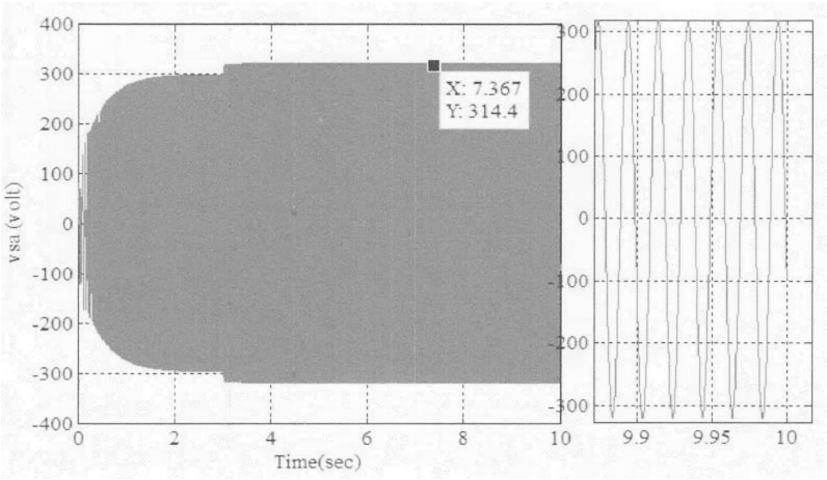
الشكل رقم (3): مخطط نظام قيادة المحرك التحريضي في بيئة MATLAB/Simulink



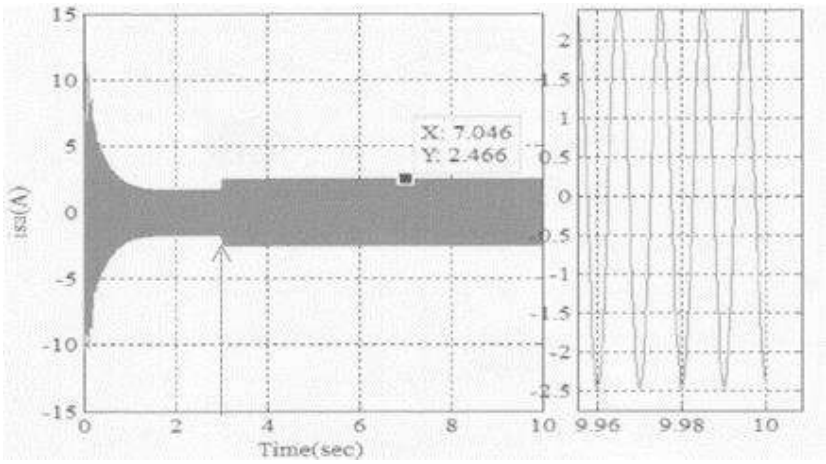
الشكل رقم (4): استجابة النظام في حالة تنظيم السرعة عند القيمة 2850 rpm



الشكل رقم (5): العزم الكهرومغناطيسي للمحرك



الشكل رقم (6): جهد الطور a للمحرك



الشكل رقم (7): ا تيار الطور a للمحرك

نلاحظ من الشكل (4) أن نظام القيادة حقّق استجابة سريعة ودقيقة وملاحقة الإشارة المرجعيّة المطلوبة. كما نُلاحظ من الشكل (6) ازدياد الجهد بشكل ناعم، وهذا سيُساهم بالحد من تيار الإقلاع الكبير كما هوه مبيّن في الشكل (7)، حيث يستقر النظام حتى لحظة تحميل المحرك في اللحظة 3sec، ونلاحظ هنا ارتفاع في قيمة العزم الكهرومغناطيسي (الشكل 5) وازدياد الجهد (الشكل6) والتيار (الشكل7) لكي يلبي الطلب على الحمل[C].

5- النموذج الرياضي لمضخة غاطسة كهربائيّة:

المضخة الغاطسة الكهربائيّة هي مضخة طرد مركزيّة ذات مراحل متعددة، يقودها محرك تحريضي ثلاثي الطور بأحد نوعيه ذو الدوار الملفوف أو ذو الدوار القفص السنجابي وهوه المستخدم في بحثنا هذا.

تم نمذجة المحرك التحريضي في بيئة Matlab/Simulink عن طريق نموذج شعاع فيض الدوار وشعاع تيار الثابت كمتحولات حالة باستخدام المعادلة (1)[D] .

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{s\alpha}^{k} \\ \dot{i}_{s\beta}^{k} \\ \dot{\Phi}_{r\alpha}^{k} \\ \dot{\Phi}_{r\alpha}^{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_5 & \omega_k & a_3 & a_4\omega \\ -\omega_k & -a_5 & -a_4\omega & a_3 \\ a_2 & 0 & -a_1 & \omega_k-\omega \\ 0 & a_2 & -\omega_k+\omega & -a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha}^{k} \\ i_{s\beta}^{k} \\ \Phi_{r\alpha}^{k} \\ \Phi_{r\alpha}^{k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b & 0 \\ 0 & b \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s\alpha}^{k} \\ V_{s\beta}^{k} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a_1=\frac{R_r}{L_r},\ a_2=\frac{L_mR_r}{L_r},\ a_3=\frac{L_mR_r}{\sigma L_sL_r^2},\ a_4=\frac{L_m}{\sigma L_sL_r},\ a_5=\frac{L_r^2R_s+L_m^2R_r}{\sigma L_sL_r^2},\ b=\frac{1}{\sigma L_s}\quad \sigma=1-\frac{L_m^2}{(L_sL_r)}$$

حيث أن: $I_{s\alpha}^{k}$ يمثل تيار الثابت وفق المحور α ، $I_{s\beta}^{k}$ يمثل تيار الثابت وفق المحور β ، $\emptyset_{s\beta}^{k}$ يمثل فيض الثابت وفق المحور β ، σ يمثل عامل التسرب المغناطيسي.

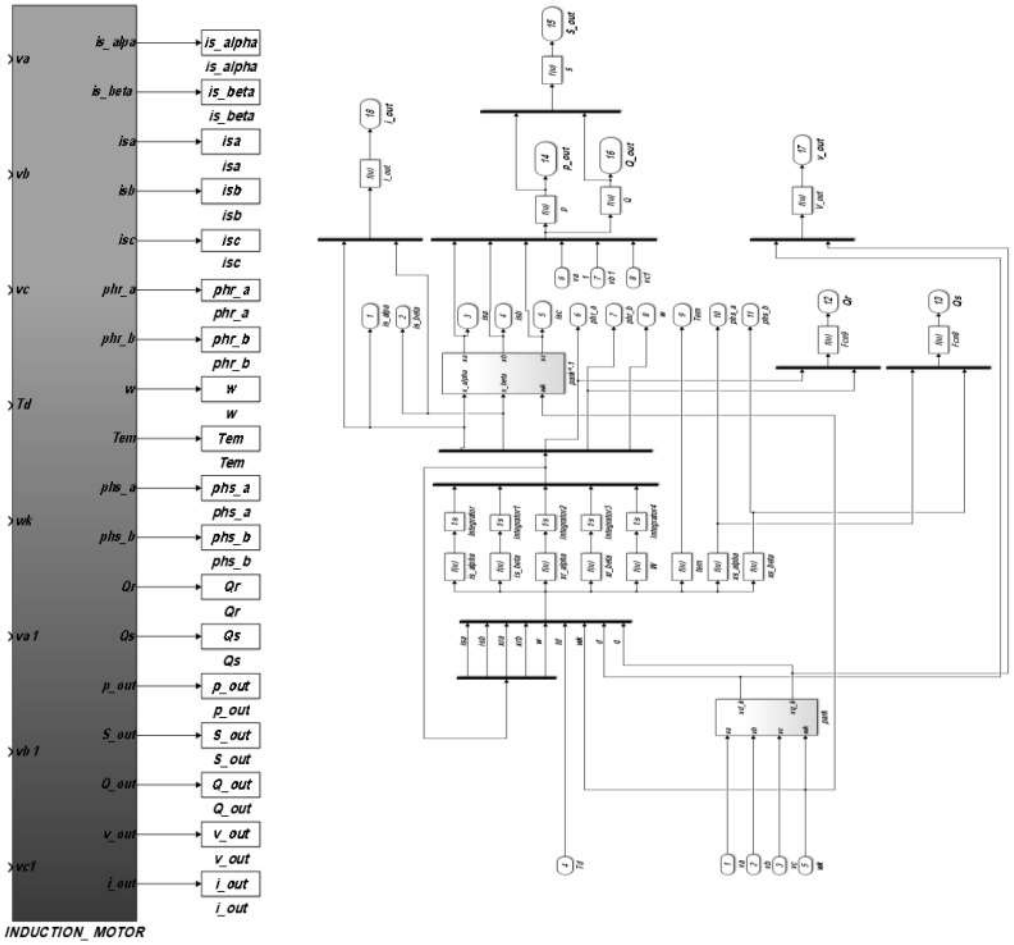
أما علاقة علاقة العزم الكهرومغناطيسي فتعطى بالعلاقة (2):

$$T_{em} = \frac{PL_m}{L_r}(\Phi_{r\alpha}^{k} i_{s\beta}^{k} - \Phi_{r\beta}^{k} i_{s\alpha}^{k}) \qquad (2)$$

ومن العلاقة الديناميكية التي تربط العزم المحصل كتابع للسرعة الميكانيكية [H]، نجد:

$$J\frac{d\omega}{dt} = p(T_{em} - T_L) \qquad (3)$$

حيث: T_L يمثل عزم الحمولة والتي تمثل المضخة ويعطى بالعلاقة $T_L = K * \omega^2$ ، ويبين الشكل التالي نموذج المحرك التحريضي في بيئة Matlab/Simulink:



الشكل رقم (8): المخطط الصندوقي والداخلي لنمذجة المحرك التحريضي ثلاثي الطور القائد للمضخة

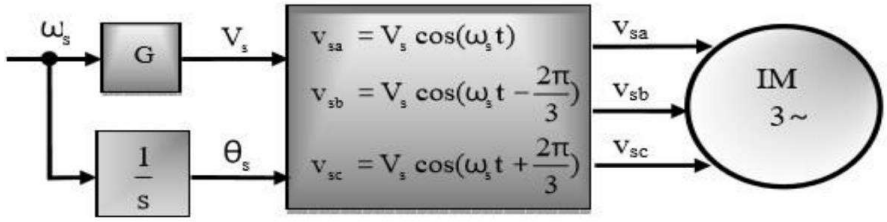
6- قيادة المحرك التحريضي باستخدام خوارزمية V/f:

تعتبر جملة المحرك التحريضي من أصعب جمل التحكم في الحقل الأكاديمي والصناعي نظراً للاخطية العالية التي يمتلكها المحرك، إن خوارزميات قيادة المحرك التحريضي ذات الحلقة المفتوحة البسيطة التي تعتمد قانون V/f هي كافية ومناسبة إذا كان على المحرك أن يعمل عند سرعة وحمولة ثابتين مثل التوربينات الهوائية والمضخات وغيرها من الأحمال التي لا يتطلب عملها تغيرات واسعة في السرعة أو الحمولة، ينص قانون (V/f) أن نسبة طويلة شعاع جهد الثابت على تردد المقادير الكهربائية في الثابت تساوي لطويلة شعاع فيض الثابت كما تبين العلاقة التالية[E]:

$$\frac{V_s}{\omega_s} = \Phi_s = const \qquad (4)$$

هي علاقة سلمية تبين أنه للحفاظ على قيمة ثابتة للفيض المغناطيسي فإن تغيرات السرعة يجب أن تكون دائماً متبوعة بتغيرات بمطال الجهد، لأن عزم المحرك يتناسب مع مربع طويلة شعاع فيض الثابت. يتم بناء خوارزمية V/f بطلب سرعة مرجعية يتم على أساسها توليد الجهود المطلوبة وذلك من خلال معادلات الجهود التالية[F]:

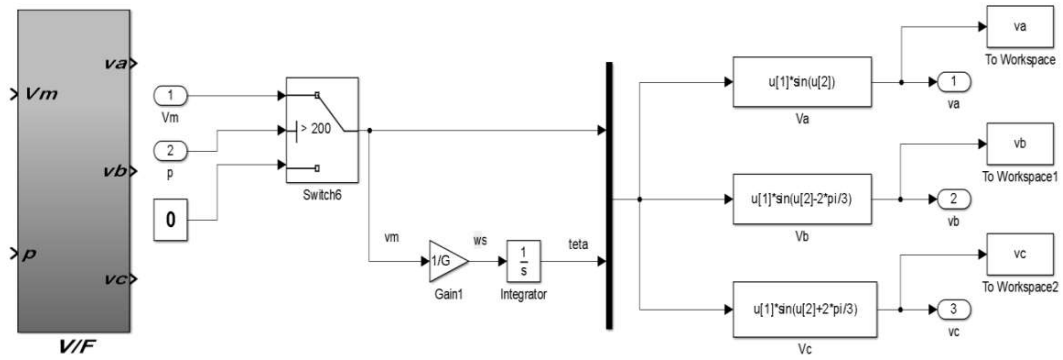
$$V_a = V_m * \sin(\omega t)$$
$$V_b = V_m * \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$
$$V_c = V_m * \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$



الشكل رقم (9): خوارزمية V/f في نظام الحلقة المفتوحة

يبين الشكل السابق مخطط خوارزمية V/f لنظام قيادة محرك تحريضي ثلاثي الطور في نظام الحلقة المفتوحة، من المعلوم أنه بتوفر قيمة مطال الجهد وزاويته فإنه يمكن باستخدام العلاقات الموضحة داخل الصندوق في الشكل (9) توليد الجهود الثلاثية المراد تطبيقها على المحرك المدروس، إن قيمة مطال الجهد يمكن حسابها من علاقة V/f إذا علمت قيمة السرعة الزاوية ω_s والزاوية θ_s يتم الحصول عليها من مكاملة السرعة[I].

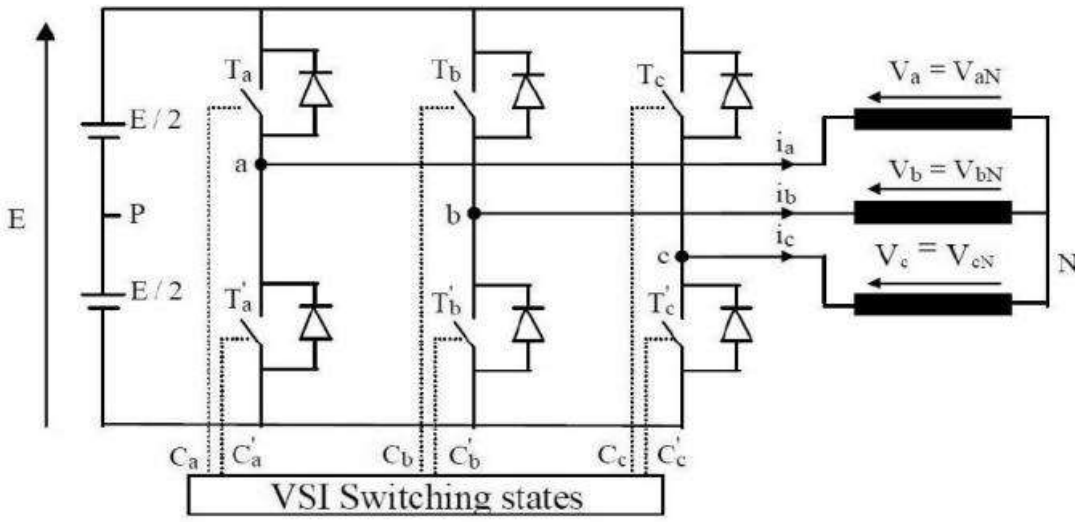
يبين الشكل التالي نمذجة خوارزمية V/f في نظام الحلقة المفتوحة مع عدم تشغيل المحرك قبل بلوغ الاستطاعة المستجرة من الألواح الكهروضوئية200watt وهي الحد الأدنى لبدء دوران المحرك.



الشكل رقم (10): المخطط الصندوقي والداخلي لنمذجة خوارزمية V/f باستخدام بيئة Matlab/Simulink

7–قالبة الجهد ثلاثية الطور المغذية للمحرك:

في دارات قيادة آلات التيار المتناوب تعمل القالبة الإلكترونية كمنبع جهد ثلاثي الطور للمحرك التحريضي ذي تردد وجهد متغيرين، تعتبر عنصر أساسي من عناصر النظام فهي عبارة عن مرحلة وسيطة بين نظام القيادة والمحرك، بحيث تقوم بتحويل الجهد المستمر القادم من الألواح إلى جهد متقطع بقيم معدلة جيبياً[G] .

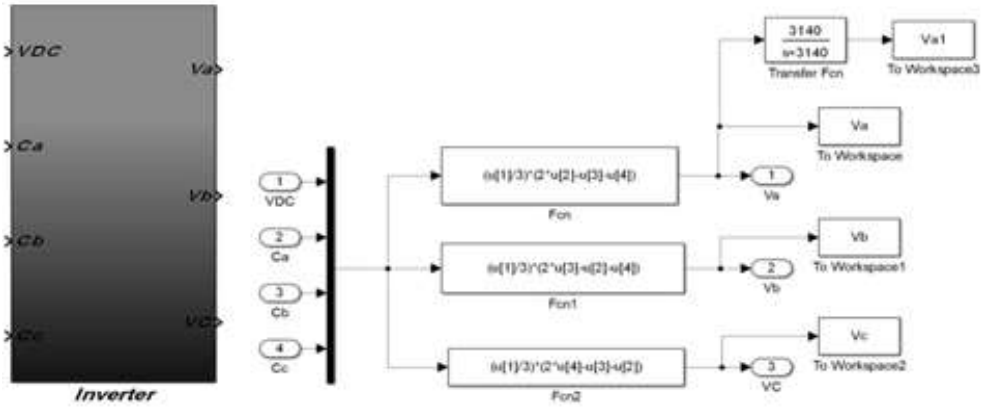


الشكل رقم (11): بنية قالبة الجهد ثلاثية الطور

تعطى علاقات جهد الطور على خرج القالبة بالنسبة للنقطة N بالعالقات التالية:

$$V_{a-N} = \frac{E}{3} \times (2C_a - C_b - C_c)$$
$$V_{b-N} = \frac{E}{3} \times (2C_b - C_a - C_c) \quad (5)$$
$$V_{c-N} = \frac{E}{3} \times (2C_c - C_a - C_b)$$

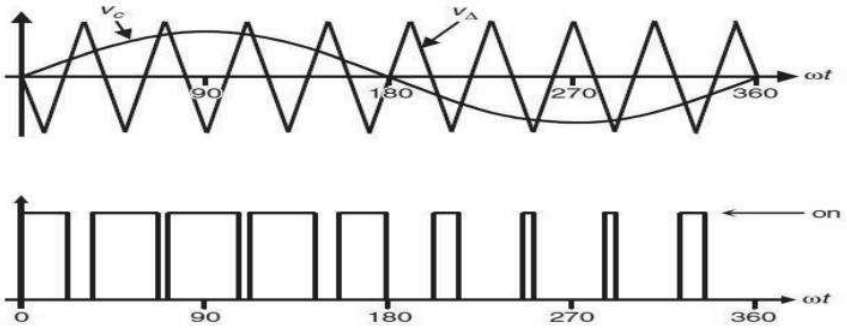
يبين الشكل (12) مخطط بناء القالبة ضمن بيئة Maltab/Simulink:



الشكل رقم (12): قالبة الجهد ثلاثية الطور

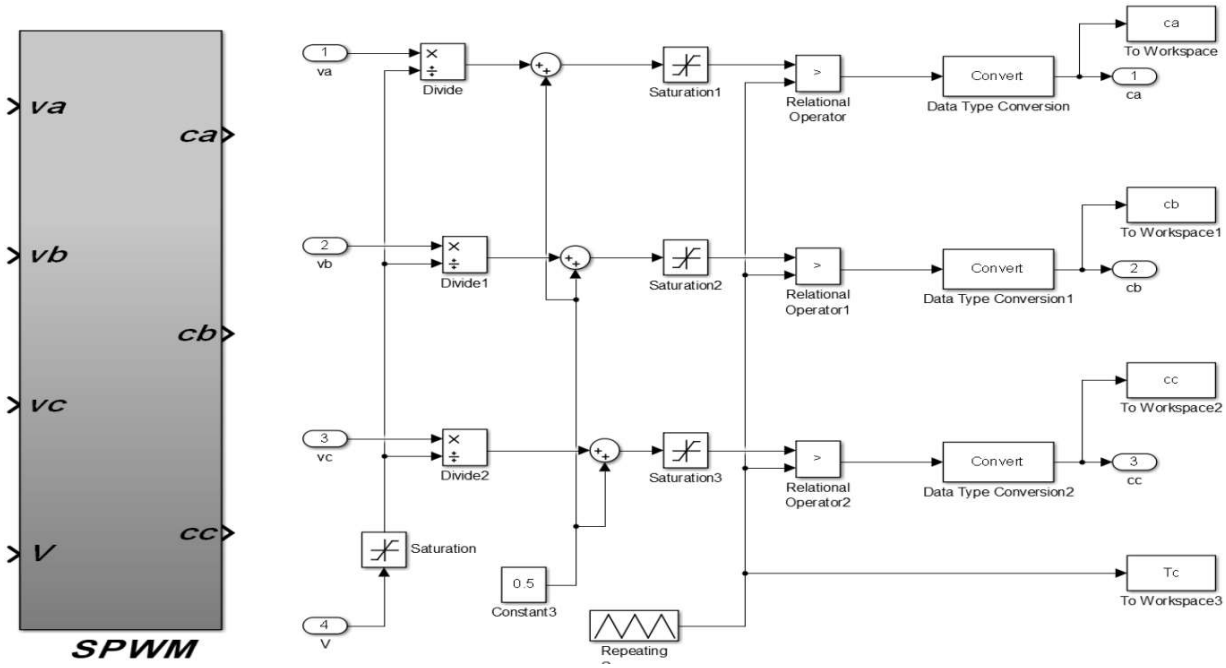
8- طريقة تعديل عرض النبضة الجيبية SPWM:

تعتمد هذه الطريقة على مقارنة ثالث إشارات جيبية مرجعية مزاحة عن بعضها بزاوية 120 درجة مع إشارة حاملة مثلثية أو سن منشار.



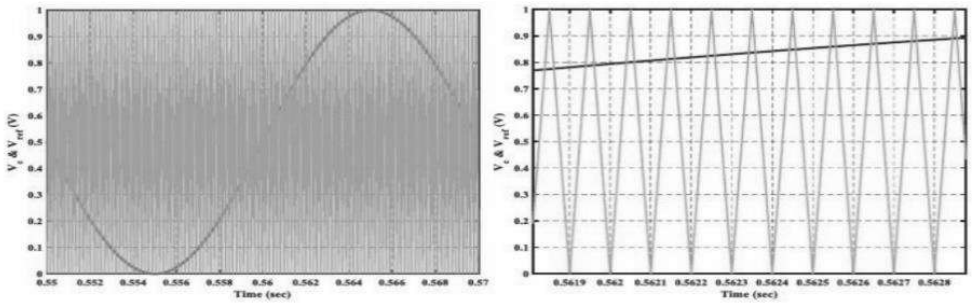
الشكل رقم (13): توليد النبضات بطريقة تعديل عرض النبضة الجيبي SPWM

يفضل اختيار الإشارة المثلثية لأن النبضة تكون متناظرة بالنسبة لمركز الإشارة الحاملة أما بالنسبة لإشارة سنّ المنشار فتكون النبضة مزاحة يميناً أو يسارياً بالإضافة لكون المحتوى الهارمونيكي أقل في حال استخدام الإشارة المثلثية منه عند استخدام إشارة سن المنشار، إنّ تردد الإشارة الحاملة يجب أن تكون أكبر ب 10 مرات على الأقل من الإشارة المرجعية وأصغر من التردد الأعظمي الممكن تطبيقه على المفاتيح الإلكترونية المستخدمة .



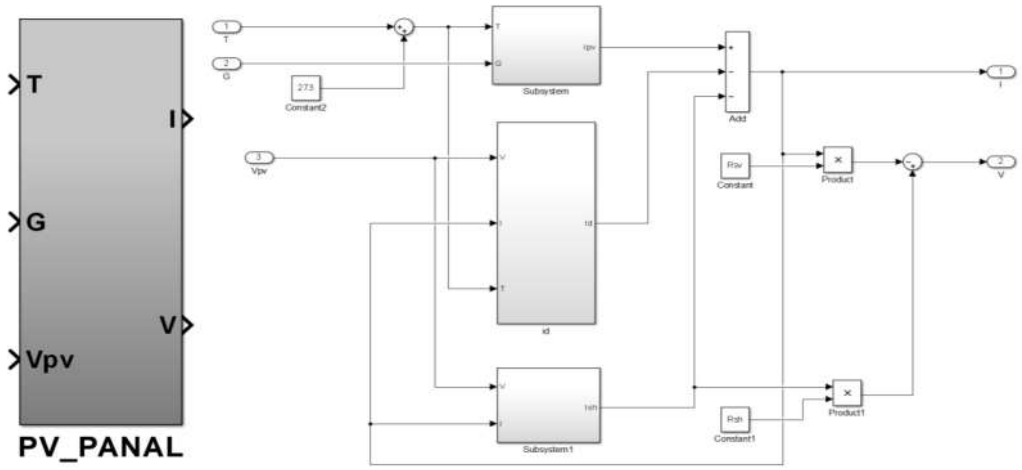
الشكل رقم (14): المخطط الصندوقي والداخلي لتعديل عرض النبضة الجيبي SPWM

يبين الشكل (14) طريقة النمذجة لتقنية SPWM ، حيث يتم إدخال الإشارات المرجعية القادمة من خرج المنظم V/f ثم نقوم بالتقسيم على جهد الوصلة المستمرة E، حيث $E = 2V_{Smax}$ وبالتالي نحصل على إشارة مرجعية مطالها من 0.5+ إلى 0.5− بجمع هذه الإشارة مع القيمة 0.5 نحصل على الإشارة المرجعية في النظام الواحدي أي مطالها من 0 إلى 1، تتم مقارنة الإشارات الناتجة مع إشارة حاملة مثلثية، نتيجة هذه المقارنة نوجد نبضات قدح مفاتيح القالبة للحصول على صورة الجهد الواجب تطبيقها على المحرك.



الشكل رقم (15): إشارة الجهد المرجعية والإشارة المثلية الحاملة

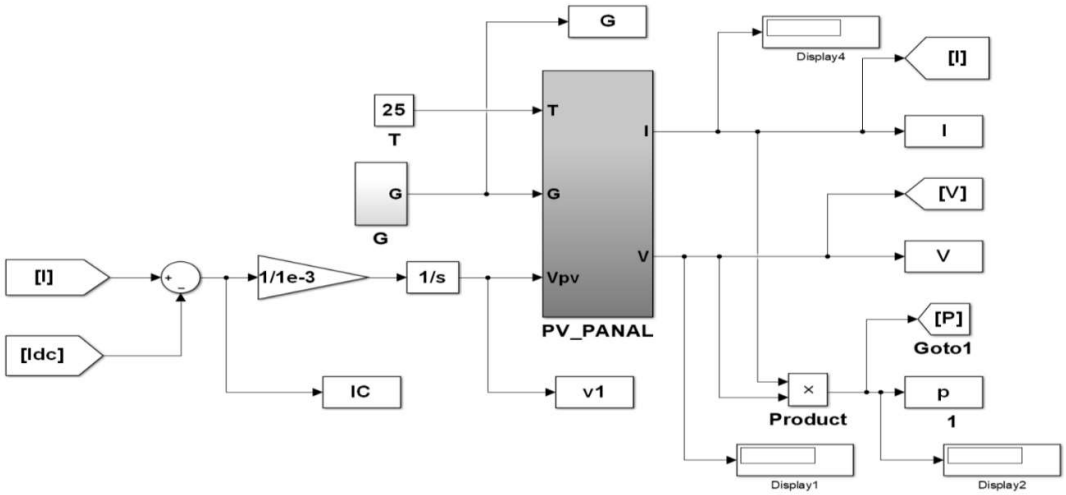
9- نموذج اللوح الشمسي ضمن بيئة Matlab/Simulink:



الشكل رقم (16): المخطط الصندوقي والداخلي لنموذج اللوح الشمسي

نلاحظ من المخطط الصندوقي للوح الشمسي أنه يحتاج إلى ثلاث مداخل وهي شدة الشعاع الشمسي ودرجة حرارة اللوح وجهد خرج اللوح ولكن من أجل أن تكون عملية النمذجة صحيحة مشابهة للواقع العملي تم إضافة مكثف على خرج مصفوفة الألواح بحيث إذا تم استجرار تيار من المنظومة الشمسية سيؤدي إلى تغير الجهد على طرفي المنظومة (علماً أنه لايتواجد في الواقع العملي)، حيث جهد خرج الألواح يعطى بالعلاقة التالية:

$$V_{Pv} = \frac{1}{C}\int (I_{Pv} - I_L) * dt \qquad (6)$$

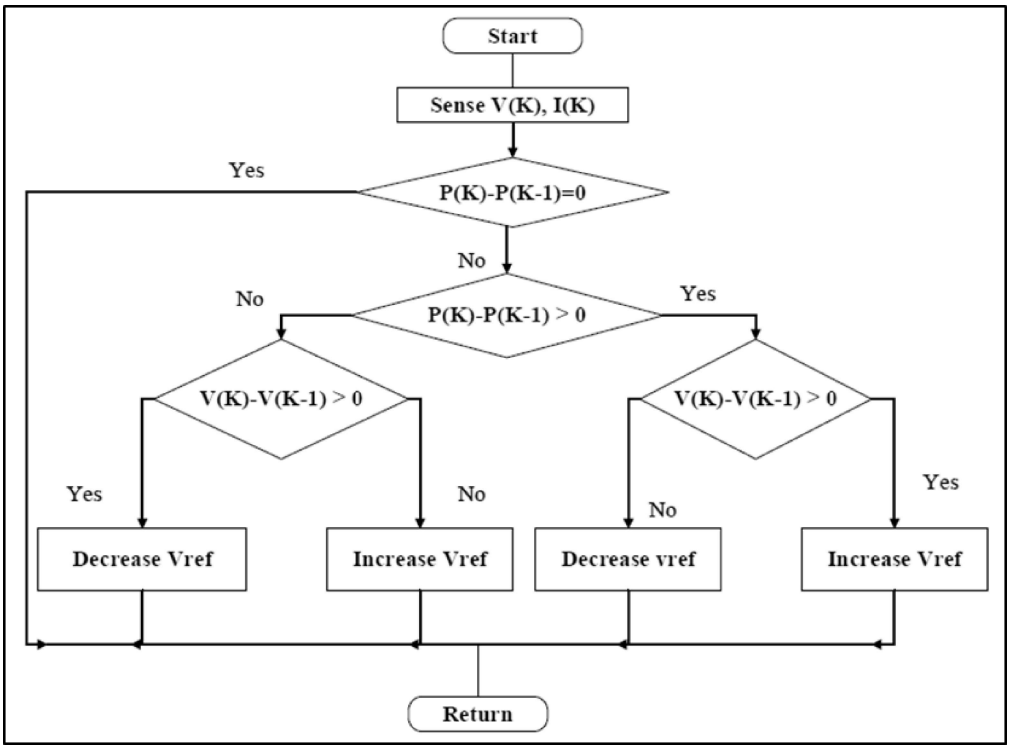


الشكل رقم (17): نموذج PV_Panels مع وجود مكثف على خرج الألواح

10- بناء خوارزمية الملاحقة للاستطاعة العظمى:

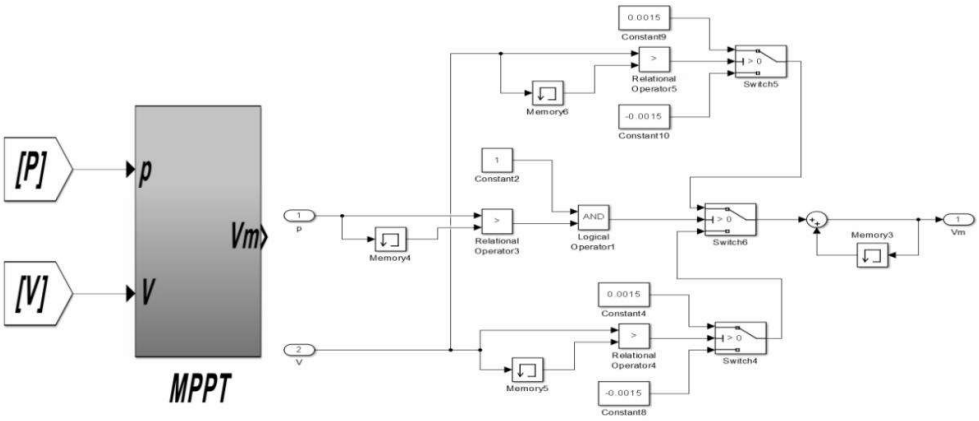
إنَ اللوح الشمسي المثالي يحول فقط من 30%~40% من شدة الإشعاع الشمسي الى طاقة كهربائية، لذلك فإن تقنياتMPPT تستخدم لتحسين مردود اللوح الشمسي، كما يوجد طرق عديدة من أجل الحصول على استطاعة عظمى من ألواح الطاقة الشمسية.

تم استخدام طريقة المراقبة والاضطراب التي تعتبر من أبسط الطرق للحصول على نقطة الاستطاعة العظمى، نحتاج لتنفيذ هذه الطريقة الى حساسين لقياس تيار وجهد الألواح الشمسية كما أن تكلفة بنائها وتطبيقها أقل مقارن الطرق الأخرى، يمكن بناء هذه الخوارزمية اعتماداً على المخطط النهجي الذي يبين في الشكل التالي:



الشكل رقم (18): المخطط النهجي لخوارزمية MPPT بطريقة المراقبة والاضطراب

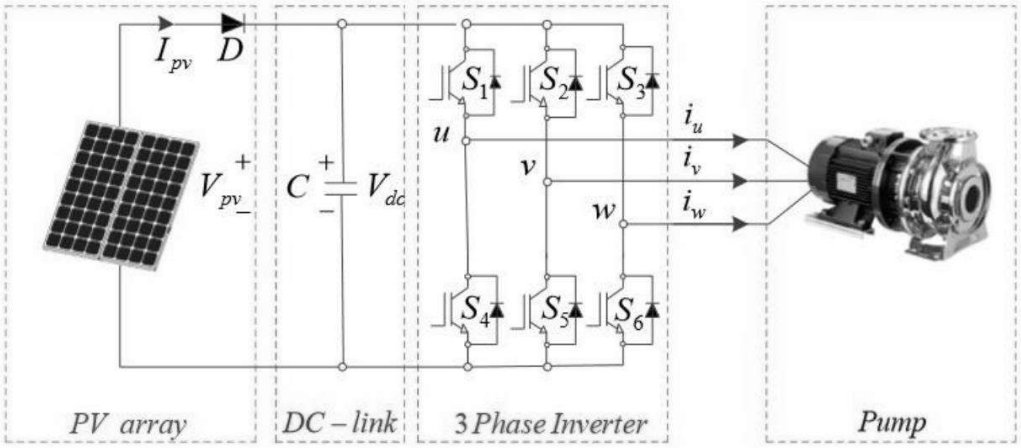
يبين الشكل السابق خوارزمية MPPT بطريقة المراقبة الاضطراب حيث أن خرج الخوارزمية هي قيمة مطال جهد الطور V_m التي تشكل دخل نظام V/f. تعتمد هذه الطريقة على تغيير جهد نقطة عمل اللوح الشمسي باتجاه معلوم زيادةً أو نقصاناً عن طريق تغيير قيمة الخرج، من ثم قياس تغير الاستطاعة المقدمة من اللوح الشمسي إذا زادت الاستطاعة هذا يعني أن تغير جهد نقطة العمل في الاتجاه الصحيح نحو نقطة الاستطاعة العظمى. وبالتالي فإن الخطوة المستقبلية التالية لجهد نقطة عمل اللوح الشمسي يجب أن تكون في الاتجاه ذاته أي زيادة للجهد. أما إذا نقصت فهذا يعني أن الخطوة المستقبلية لجهد نقطة عمل اللوح الشمسي يجب أن تكون في الاتجاه المعاكس. وبذلك نعمل على نقل نقطة عمل اللوح الشمسي باتجاه زيادة الاستطاعة حتى تصبح نقطة العمل عند قمة المنحني (PPV،VPV).



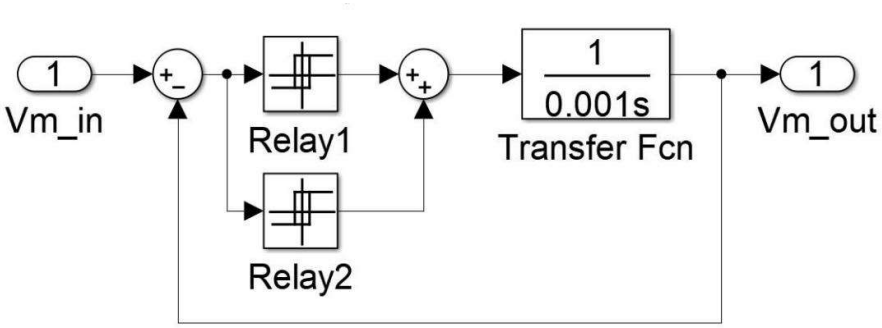
الشكل رقم (19): المخطط الصندوقي والداخلي لخوارزمية MPPT صمن Matlab

11– نظام الرّي الكهروشمسي المقترح:

نظهر على الشكل التالي نظاماً للري الكهروشمسي الأكثر شيوعاً في الحياة العملية، حيث يتألف من مصفوفة الألواح الشمسية التي توصل فيها الألواح على التسلسل من أجل الحصول على جهد وصلة مستمرة DC ، والتي هي تشكل دخل الإنفرتر التي تغذي المضخة بجهود ثلاثية الطور ذات جهد وتردد متناسب مع شدة الشعاع الشمسي، يعتمد مبدأ عمل نظام القيادة للمنظومة على ملاحقة الاستطاعة العظمى تبعاً لتغير درجة الحرارة وشدة الشعاع الشمسي، يكون خرج منظم MPPT عبارة عن قيمة مطال الجهد اللازمة للعمل عند نقطة الاستطاعة العظمى الأنية، يتم إدخال هذه القيمة إلى مُدرج الجهد وذلك من أجل تخفيض تيارت الإقلاع، خرج مدرج الجهد هو دخل خوارزمية (V/f) التي تقوم بحساب ω_s وتشكيل الجهود الثلاثية المرجعية لمخطط تعديل عرض النبضة الجيبي، والتي تعطي نبضات القدح لقالبة الجهد ثلاثية الطور، والتي تقوم بدورها بتطبيق الجهود التي هي صورة عن الجهود المرجعية.



الشكل رقم (20): نظام الرّي الكهروشمسي المقترح



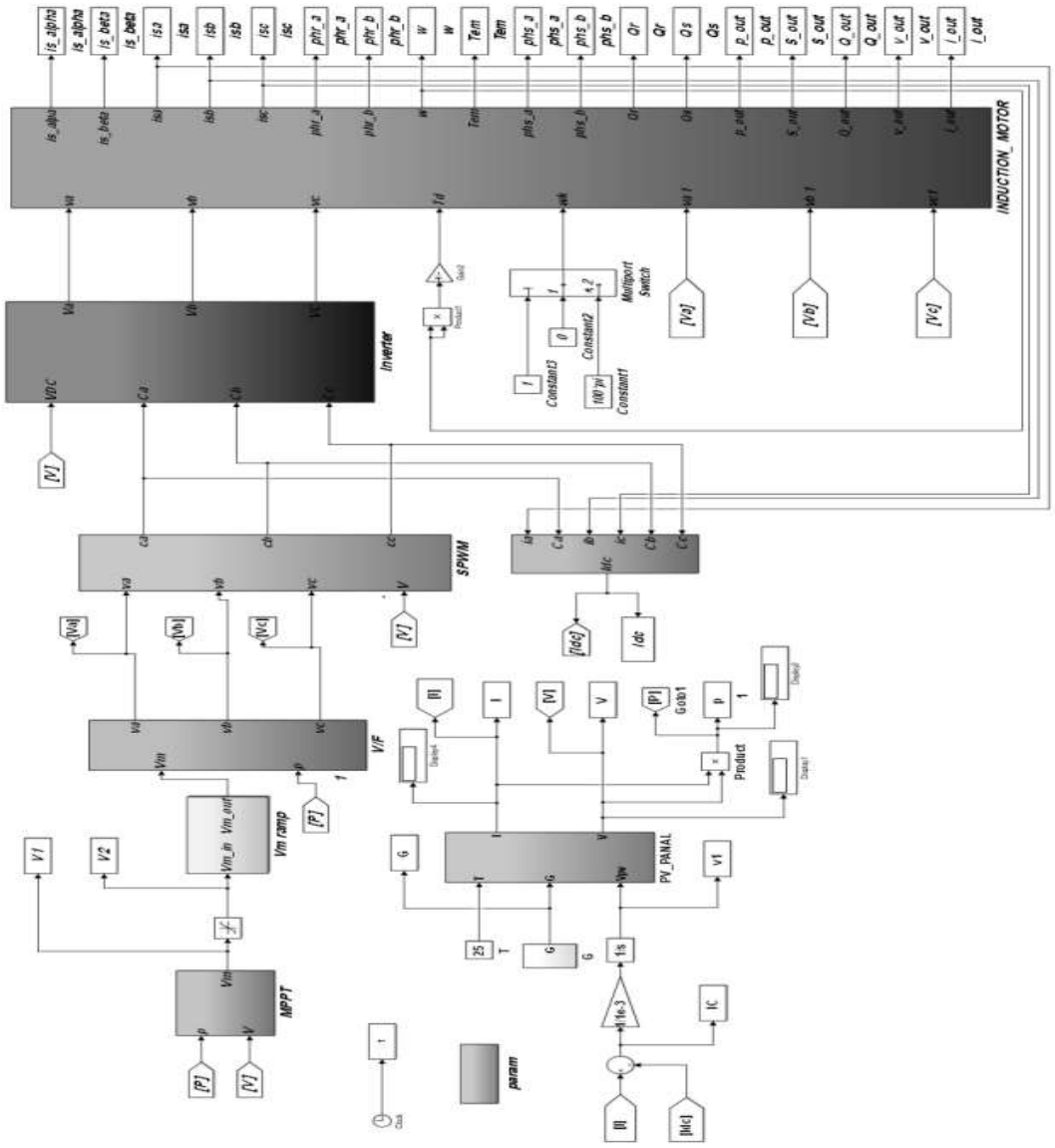
الشكل رقم (21): مخطط مدرج الجهد

إنّ التيار I_L هو نفسه تيار الوصلة I_{dc}، يتم حسابه عن طريق العلاقة (7):

$$I_{dc} = C_a * i_a + C_b * i_b + C_c * i_c \quad (7)$$

حيث أن تيارات المحرك الثلاثية هي i_a, i_b, i_c ونبضات التحكم C_a, C_b, C_c

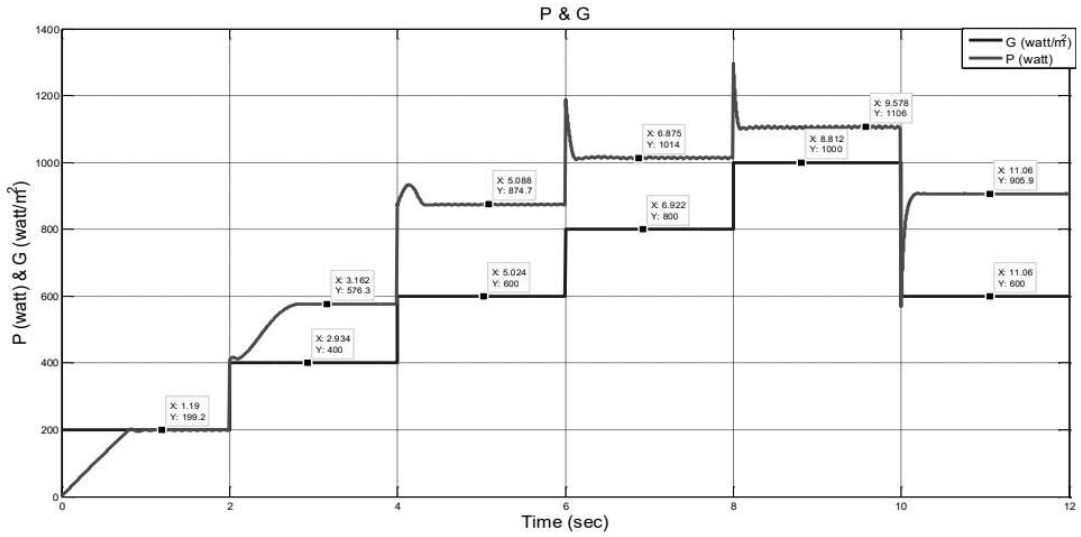
إنَّ شكل تيار الوصلة المستمرة متقطع لذلك لابدَّ من ترشيحه باستخدام ملف في الوصلة المستمرة. تم نمذجة النظام المقترح في بيئة Matlab/Simulink بزمن أخذ عينات $T_s = 10\mu sec$ وتردد التقطيع $f_s = 5KHZ$ والعمل عند قيمة مختلفة لشدة الشعاع الشمسي عند درجة حرارة ثابتة $T = 25\ C^0$.



الشكل رقم (22): نموذج نظام الضخ الكهروضوئي المقترح

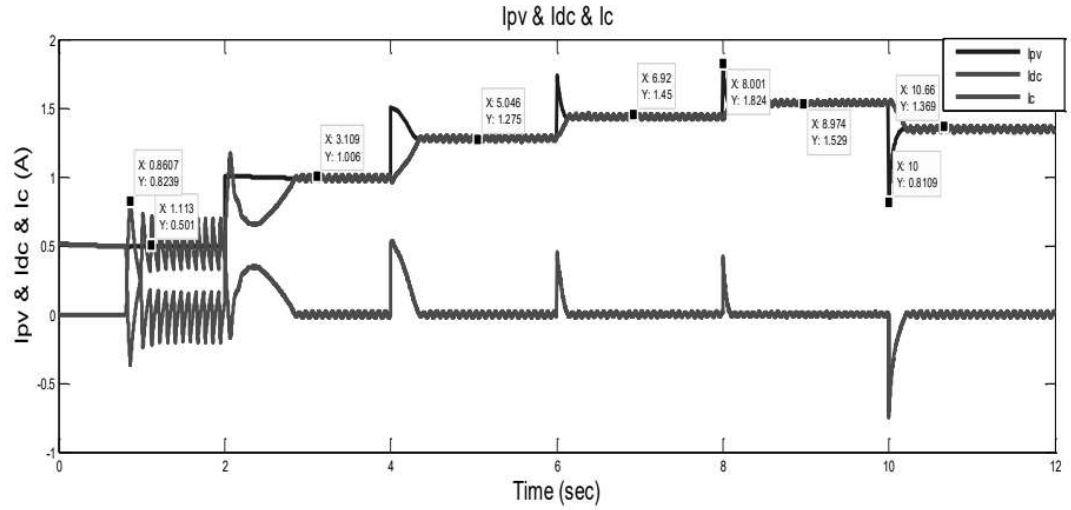
12- نتائج المحاكاة ومناقشتها:

تم زيادة الإشعاع الشمسي بشكل متقطع خلال فترات زمنية من أجل دراسة أداء النظام المدروس حيث تم زيادة الإشعاع بشكل متقطع في بداية تشغيل تكون قيمة الإشعاع G=200Watt/m^3 وبعد زمن قدره2Sec يتم زيادة الإشعاع الشمسي بمقدار 200Watt/m^3 ، وهكذا إلى الوصول الى اللحظة 8Sec يصل قيمة الإشعاع الشمسي إلى القيمة الأعظمية G=1000Watt/m^3 ، وفي اللحظة 10Sec تم إنقاص الإشعاع بمقدار 400Watt/m^3 وتم تطبيق الحمل بشكل دائم ومتناسب مع السرعة وقد تم الحصول على النتائج التالية:



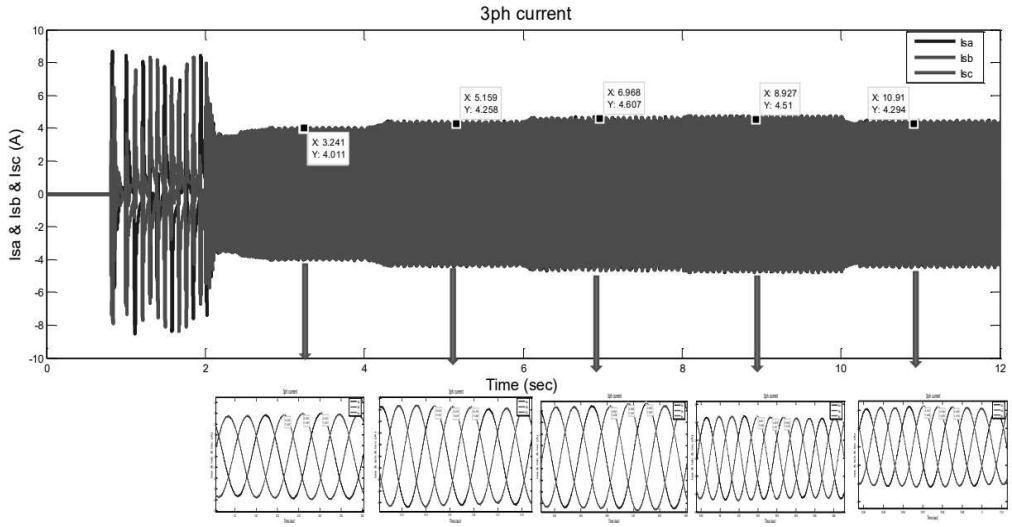
الشكل رقم (23): يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي مع تغيرات الاستطاعة الناتجة عن اللوح الشمسي

نلاحظ من الشكل (23) أنه عند زيادة شدة الإشعاع الشمسي تزداد قيمة الاستطاعة التي يمكن للألواح الكهروضوئية تقديمها للمحرك، الذي قيمة دخله الإسمية P=1100Watt ، وقد قام بسحبها كاملة من الألواح الشمسية، حيث أن هذه الاستطاعة المقدمة قد تصل الى 1200W أو أكثر قليلاً عند التطبيق العملي وذلك نتيجة عدم مثالية العناصر الإلكترونية في الانفرتر الصناعي (القالبة)، ولكن نحن قمنا بحساب هذه الزيادة وأخذها بعين الإعتبار في حسابات المنظومة الشمسية ولكن لم تظهر في النمذجة لأن Matlab يفترض أن كل العناصر مثالية.



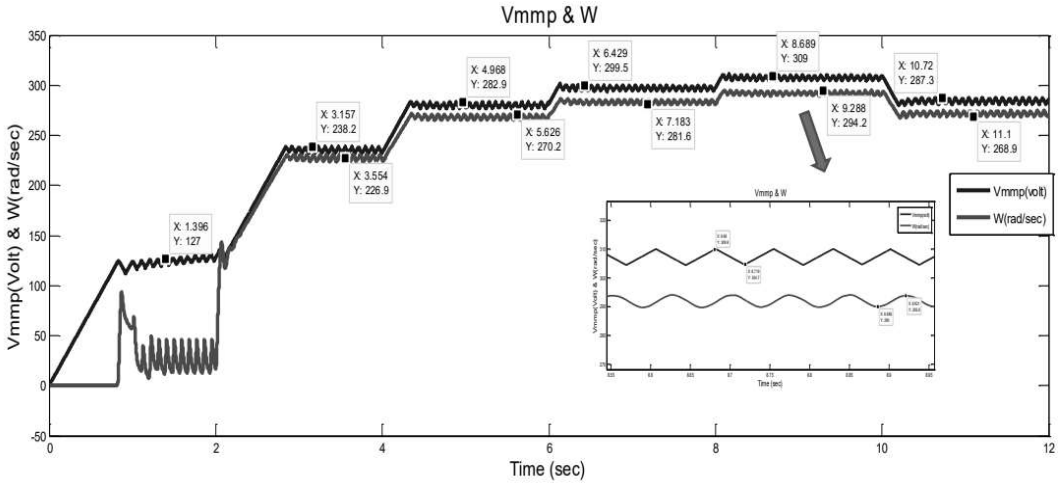
الشكل رقم (24): تيارات كل من اللوح الشمسي وتيار الوصلة المستمرة DC وتيار المكثف الموصول على خرج الألواح

يبين الشكل (24) إشارات تيار اللوح وتيار الوصلة المستمرة للمحرك وتيار المكثف حيث نلاحظ أنه لا يوجد أي تجاوز غير مرغوب لتيار الوصلة المستمرة على كامل مجال العمل ونلاحظ زيادة تيار المكثف لفترة قصيرة عند تغير قيمة الإشعاع الشمسي ونقصانه في حالة إنقاص قيمة الإشعاع الشمسي وعودته الى الصفر بعد فترة قصيرة وذلك نتيجة تأقلم المحرك وسحب أعلى تيار أعلى من الألواح وزيادة سرعته، ونلاحظ زيادة تيار الألواح مع كل زيادة للإشعاع الشمسي، ونقصان تيار الألواح مع كل نقصان للإشعاع الشمسي، ونلاحظ أن التيار في اللحظة 0 sec إلى اللحظة 2sec مهتزة بشدة وذلك لأنه في هذه الفترة يكون المحرك في حالة لاعمل ويبدأ بالإقلاع إبتداءً من اللحظة 2sec.



الشكل رقم (25): إشارات التيارات الثلاثية للمحرك مع إضاح قيمة التيارات في كل مرحلة زيادة لقيمة الشعاع الشمسي

يبين الشكل (25) إشارات التيارات الثلاثية للمحرك التحريضي ونلاحظ أن تيار المحرك قد قام بإستجرار تياره الأعظمي 4.51A والتي تقابل قيمة فعلية تساوي 3.2A ولا يوجد أي تجاوز للقيمة الإسمية في لحظة 8sec الى اللحظة 10sec، حيث أن هذه الفترة تكون قيمة الإشعاع الشمسي أعظمية $G=1000Watt/m^3$، وتجدر الإشارة إلى أن قيمة التيار في بداية النمذجة ناتجة عن اللاحمل للمحرك قبل وصول استطاعة الألواحWatt 200.



الشكل رقم (26): إشارة الجهد الناتج عن المنظم MPPT وسرعة المحرك التحريضي ثلاثي الطور

يظهر الشكل (26) كلّ من إشارات الجهد الناتج عن المنظم MPPT وسرعة المحرك التحريضي، ونلاحظ أن إشارة السرعة تلاحق إشارة الجهد حيث تزداد قيمة السرعة مع كل زيادة لقيمة الشعاع الشمسي الساقط وقد وصل قيمة الجهد والسرعة إلى قيم اسمية في اللحظة 8sec الى اللحظة 10sec وذلك في فترة وصول الإشعاع الشمسي إلى القيمة الأعظمية له وهي G=1000 Watt/m^3 ، وهبوطها نتيجة نقصانه ونلاحظ أيضاً أنه هنالك ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى من قبل المنظم MPPT من بداية التشغيل حيث قيمة السرعة قريبة من الصفر وحتى السرعة الاسمية. من البداية نتيجة حالة اللاعمل للمحرك وإنه في جميع الإشارات يوجد اهتزاز للإشارة وذلك نتيجة استخدام خوارزمية MPPT التي تعتمد طريقة الاضطراب والرصد حيث أن هذه الخوارزمية تقوم بملاحقة نقطة الإستطاعة العظمى للألواح الشمسية ولكن تهتز على جانبيها ويتم تطبيق الجهد الصادر عن هذه الخوارزمية إلى الخوارزمية V/f التي تقوم بتشكيل الجهود الثلاثية ومن ثم تمريرها على مرحلة تعديل عرض النبضة لتشكيل النبضات التي تطبق على قالبة الجهد الثلاثية التي تعطي قيمة الجهود الحقيقية، ومنها الى المحرك، ومن أجل تقليل الإهتزازات يجب تقليل خطوة الزيادة والنقصان للخوارزمية المتبعة.

13– النتائج العامة:

في هذا البحث، تم نمذجة المحرك التحريضي ثلاثي الطور وبناء نموذج اللوح الشمسي اعتماداً على معادلاته التي تصف سلوكه الفيزائي، كما قمنا بنمذجة خوارزمية الرصد والاضطراب (P&O) MPPT، وذلك من أجل الحصول على أفضل مردود للألواح الشمسية. حيث تم تطبيق خرج المنظم MPPT على خوارزمية V/f ففي نظام الحلقة المفتوحة كون هذه الخوارزمية تفي بالغرض في مثل هذه التطبيقات (تطبيقات مضخات الري)، وهي ذات أداء جيد وكلفة منخفضة وسهلة النمذجة والتطبيق، ومن ثم تم بناء نموذج قالبة الجهد الثلاثية الطور ونموذج تشكيل نبضات القدح عن طريق تقنية تعديل عرض النبضة الجيبيSPWM ، حيث أن هذه القالبة

سوف تطبق جهود ثلاثية الحقيقية على المحرك مما يسبب دورانه وتشكيل حلقة مغلقة في هذه الحالة ما بين قسم التوليد (الألواح الشمسية) والأحمال (المحرك التحريضي ثلاثي الطور).

المراجع العلمية:

[A] Sanjeevikumar, P., Grandi, G., Wheeler, P. W., Blaabjerg, F., & Loncarski, J. (2015, June). **A simple MPPT algorithm for novel PV power generation system by high output voltage DC–DC boost converter**. In *2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)* (pp. 214–220). IEEE.

[B] Mitkumar Bhimrao Salunkhe, "**A Review on Improvement of Efficiency of Centrifugal Pump Through Modifications in Suction Manifold** ", International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology Volume 2, Issue 12, Dec.–2015

[C] Shaw, P. (2019). **Modelling and analysis of an analogue MPPT-based PV battery charging system utilising dc–dc boost converter**. *IET Renewable Power Generation*, *13*(11).

[D] Beriber, D., & Talha, A. (2020, May). **MPPT techniques for PV systems**. In *4th International conference on power engineering, energy and electrical drives* (pp. 1437–1442). IEEE.

[E] Belgacem, F. *et al.* (2022) '**Optimization of photovoltaic water pumping system based on BLDC motor for agricultural irrigation with different MPPT methods**', *Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science*, 66(4), pp. 315–324. doi:10.3311/ppee.20140.

[F] Shukla, S. *et al.* (2022) '**A new analytical MPPT–based induction motor drive for solar PV water pumping system with battery backup**', *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69(6), pp. 5768–5781. doi:10.1109/tie.2021.3091929.

[G] Sharma, R., Sharma, S. and Tiwari, S. (2020) '**Design optimization of solar PV water pumping system**', *Materials Today: Proceedings*, 21, pp. 1673–1679. doi:10.1016/2019.11.322.

[H] Gevorkov, L., Domínguez–García, J.L. and Romero, L.T. (2022) '**Review on solar photovoltaic–powered pumping systems**', *Energies*, 16(1), p. 94. doi:10.3390/en16010094.

[l] Vanaja, D.S. *et al.* (2021) '**Investigation and validation of solar photovoltaic–fed modular multilevel inverter for marine water–pumping applications**', *Electrical Engineering*, 104(3), pp. 1163–1178. doi:10.1007/s00202–021–01370–x.