

Modeling and Simulation of Hybrid Energy Systems to Meet Dynamic Load Requirements

Dr. Mohsen Daood^{*}
Dr. Samer Sulaiman^{**}
Rashwan Ammon^{***}

(Received 8 / 5 / 2022. Accepted 22 / 8 / 2022)

□ ABSTRACT □

This research presents the study of a hybrid energy system which consists of a group of photovoltaic cells as well as a group of wind turbines connected to the main electric power supply network based on fossil fuels, in order to reduce the demand for this fuel - which is harmful to the environment and depleted with time - especially in times when we are able to invest renewable energies on sunny days and days when the wind is suitable. Furthermore, this approach meets the requirements of dynamic loads changing at all times, especially in the hours of peak energy demand. The modeling operations are achieved in the Matlab/Simulink environment. The simulation was performed for a full day with different weather parameters (Solar radiation and wind speed) and the parameter of changing demand for energy during the hours of the day. Finally, the results are presented and discussed. They show an effective saving in fossil fuel consumption in varying proportions depending on the amount of energy extracted from solar cells and wind turbines, which depends in turn on the intensity of solar radiation and the appropriate wind speed. The best result appears clearly at 12 noon, which is the peak of energy consumption over the day. This leads to playing a major economic role in the field of energy.

Keywords: Hybrid systems, Photovoltaic cells, Wind turbines, Main electric power supply network, Step-up converter, Maximum power point, Modeling, Simulation .

^{*}Professor-Department of Mechatronic Engineering- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering-Tishreen University-Lattakia-Syria. mohsendaood@gmail.com

^{**} Assistant Professor-Department of Mechatronic Engineering- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering-Tishreen University-Lattakia-Syria. samersuleiman@gmail.com

^{***} Postgraduate Student (phD) -Department of Mechatronic Engineering- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering-Tishreen University-Lattakia-Syria. rashwan89520@gmail.com

نمذجة ومحاكاة أنظمة الطاقة الهجينة لتلبية متطلبات الحمل الديناميكي

د. محسن داود*

د. سامر سليمان**

رشوان أمون***

(تاريخ الإيداع 7 / 5 / 2022. قُبِلَ للنشر في 22 / 8 / 2022)

□ ملخص □

يعرض هذا البحث نمذجة ودراسة نظام طاقة هجين مؤلف من مجموعة خلايا كهروشمسية مع مجموعة عنفات ريحية موصولة مع شبكة الكهرباء العامة التي تعتمد على طاقة الوقود الأحفوري، وذلك لتخفيف الطلب على هذا الوقود - الضار بالبيئة والذي ينضب مع الزمن - خاصة في الأوقات التي نكون فيها قادرين على استثمار الطاقات المتجددة في الأيام المشمسة والأيام التي يكون فيه هبوب الرياح مناسباً. بالإضافة إلى تلبية متطلبات الأحمال الديناميكية المتغيرة في كافة الأوقات، وبشكل خاص في ساعات ذروة الطلب على الطاقة. أجريت عمليات النمذجة في بيئة Matlab/Simulink، كما أجريت محاكاة شاملة لعمل محطات التوليد الهجينة لمدة يوم كامل بما فيه من اختلاف بارامترات الطقس (الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح) بين ساعات الليل والنهار، واختلاف الطلب على الطاقة خلال ساعات هذا اليوم. أخيراً عرضت ونوقشت النتائج، حيث بينت النتائج توفير في استهلاك الوقود الأحفوري بنسب متفاوتة اعتماداً على كمية الطاقة المستخلصة من الخلايا الكهروشمسية والعنفات الريحية التي تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح المناسبة، والتي ظهرت بشكل واضح عند الساعة الثانية عشر ظهراً، والتي تعدّ ذروة استهلاك الطاقة في ساعات اليوم. الأمر الذي يؤدي إلى لعب دور اقتصادي كبير في مجال الطاقة .

الكلمات المفتاحية : الأنظمة الهجينة، الخلايا الكهروشمسية، العنفات الريحية ، شبكة الكهرباء العامة، المبدلة الرافعة للجهد، نقطة الاستطاعة العظمى، النمذجة، المحاكاة .

* استاذ- قسم هندسة الميكاترونك- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.
mohsendaood@gmail.com
** مدرس-قسم هندسة الميكاترونك- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.
samersuleiman@gmail.com
*** طالب دراسات (دكتوراه) - قسم هندسة الميكاترونك- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية- سورية .
rashwan89520@gmail.com

مقدمة:

تعدّ مصادر الطاقة المتجددة مصادر نظيفة ومستدامة نحصل عليها من الطبيعة، وهي طاقة لا تنفذ ولا تتضب مع استخدام الإنسان لها، وتختلف بذلك عن مصادر الطاقة التقليدية المهددة بالانقراض مثل النفط والفحم والغاز الطبيعي، والتي ينجم عنها غاز ثنائي أكسيد الكربون الضار بالبيئة، لذلك نالت مصادر الطاقة المتجددة في الآونة الأخيرة مزيداً من الاهتمام وخصوصاً الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، ولكن بعض المشاكل تظهر عند استثمار المصادر المتجددة، أهمها أنها مصادر متفاوتة وغير مستمرة بشكل ثابت مع تغير الزمن. وتؤثر على أنظمة توليد الطاقة المتجددة العوامل الجوية المختلفة، ومن أهم هذه العوامل عاملين أساسيين هما الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح، ويتغير هذين العاملين خلال الساعات والأيام والسنين تكون الطاقة الناتجة عنها بالتأكيد غير ثابتة، وبالتالي يصعب الاعتماد على نوع واحد من هذه المصادر بشكل كامل. لذلك فإن الانتقال إلى الأنظمة الهجينة يفيد في أخذ محاسن كل نوع من مصادر الطاقة، ولكن تكمن مشكلتها في تعقيد النظام وعدم استقراره، فيما إذا لم تحصل عملية إدارة للمصادر بشكل أمثلي لموارد توليد الطاقة [1].

دُرِس في هذا البحث نموذج هجين مؤلف من عنفات رحيبة وخلايا كهروشمسية موصولة مع الشبكة الكهربائية العامة، وذلك لدراسة الأثر الاقتصادي الناتج عن توفير الوقود الأحفوري و مدى تلبية متطلبات الحمل الديناميكي. فُسِّم هذا البحث إلى ثلاثة محاور: يعالج المحور الأول بعض الدراسات المرجعية ذات الصلة، بينما يعالج المحور الثاني الدراسة النظرية والتحليلية لمكونات النظام الهجين حيث دُرِس نموذج الخلية الكهروشمسية مع مناقشة معادلاتها وإيجاد نموذج لها في برنامج MATLAB، بالإضافة إلى تصميم المبدلة الرافعة للجهد وحساب بارامتراتهما، والقالبية ثلاثية الطور المستخدمة. وشُرِحت خوارزمية تتبع نقطة الاستطاعة العظمى بطريقة الناقلية المترابطة مع توضيح النموذج الخاص بها. ثم تناول البحث عنفات الرياح مع شرح مولد عنفات الرياح من النمط الرابع المستخدم في هذا البحث. يعالج المحور الثالث مراحل بناء النظام المقترح من خلال ذكر شروط عملية لربط الخلايا الكهروشمسية وعنفات الرياح مع الشبكة الكهربائية، وعرض النماذج الهجينة للنظام كاملاً مع اقتراح سيناريوهات المحاكاة وإظهار نتائج عملية المحاكاة ومناقشتها. تُختم هذه الدراسة بتقديم بعض الاستنتاجات والتوصيات المستقبلية .

الدراسات المرجعية:

قدّم الباحثون في المرجع [1] دراسة تحليلية لتصميم ومحاكاة ونمذجة نظام توليد الطاقة الهجين بناءً على مصادر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. تتكون الخلايا الكهروشمسية المستخدمة في هذا المرجع من ستة نماذج متصلة مع بعضها على التسلسل، ومتصلة بوحدة تحكم MPPT ومبدل DC/AC ، يرتبط النظام بـ PMSG (مولد تزامني بمغناطيسي دائم). الهدف الرئيسي من الدراسة ربط الأنظمة لتوليد أقصى طاقة لحمل أحادي الطور، أجريت عمليات محاكاة ونمذجة الخلايا الكهروشمسية وأنظمة العنفات الريحية باستخدام برنامج MATLAB . بينت نتائج المحاكاة أن نظام الطاقة الهجين مستقر وذو كفاءة وموثوقية جيدة، وقد تمكن الباحثون من توليد أقصى جهد من الخلايا الكهروشمسية والعنفات الريحية.

طوّر الباحثون في المرجع [2] نماذج عامة وبسيطة من الخلايا الكهروشمسية، وقد أجريت عمليات التحقق و التأكد من تطابق منحنيات الخرج للنماذج مع خصائص الخلايا الكهروشمسية بعد المحاكاة، كما عُرض في هذا البحث عمليات النمذجة الرياضية والمحاكاة للعنفات الريحية وعمليات تقييم أدائها، وكان جهد خرج العنفة 240 فولت مطابقاً للقيمة المحسوبة. أجريت عمليات المحاكاة والنمذجة في بيئة Matlab/Simulink.

قام الباحثون في المرجع [3] بإدخال أنظمة الطاقة المتجددة الهجينة للتغلب على الطبيعة المتقطعة لموارد الطاقة، وأخذت بعين الاعتبار قضيتين أساسيتين هما: التحجيم الأمثل والتشغيل الأمثل، وبين الباحثون أن أداء أنظمة الطاقة المتجددة الهجينة يعتمد اعتماداً كبيراً على مدى كفاءة التحكم في إنتاج الطاقة، وأجريت مراجعة شاملة للنماذج والأساليب الشائعة المتاحة للتحكم في الطاقة وإدارتها ومقارنتها مع بعضها.

اعتمد الباحثون في المرجع [4] على منهجيات مختلفة لتحديد حجم مكونات النظام في المناطق الريفية بسبب الطبيعة الديناميكية الكبيرة في توافر الموارد والطلب، وقد ناقش الباحثون مخططات التحكم المركزية والهجينة لإدارة تدفق الطاقة.

طور الباحثون في المرجع [5] متحكماً لنظام طاقة متجددة هجينة بعدة أنواع من الاستراتيجيات، حيث صُمم نظام طاقة هجين يعتمد بشكل أساسي على طاقة الخلايا الكهروضوئية وطاقة العنفات الريحية وعدة أنظمة لتخزين الطاقة، كما استُخدمت تقنيات الذكاء الاصطناعي بسبب تقلبات الطاقة وصعوبة التنبؤ بها، واستخدمت خوارزمية تحكم مناسبة على أساس المنطق الضبابي. صُمم النموذج وأجريت عمليات محاكاته في بيئة Matlab/ Simpower System .

أكد الباحثون في المرجع [6] أن الشكل المستقل لمصادر الطاقة المتجددة غير موثوق ولا ينتج عنه إنتاج طاقة ثابت، ولكن من خلال دمج شكلين أو أكثر من مصادر الطاقة المتجددة يمكن تحسين موثوقية النظام، كما عُرضت أحدث الاتجاهات في تقنيات الأمثلة لأنظمة الطاقة المتجددة الهجينة لطاقة الخلايا الكهروضوئية وطاقة العنفات الريحية، وقد ناقش الباحثون في نهاية البحث عدة قضايا مثل التحجيم الأمثل وعامل التكلفة لأنظمة الطاقة المتجددة الهجينة.

نلاحظ أن معظم الدراسات السابقة ركزت على أنظمة مستقلة وغير مرتبطة مع الشبكة العامة وبالتالي تعاملت مع طاقات منخفضة نسبياً ولكننا في هذا البحث عملنا على ربط عناصر الطاقة المتجددة الهجينة مع الشبكة العامة وبالتالي التعامل مع طاقات كبيرة .

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تطوير نظام التحكم بعناصر نظام الطاقة الهجينة (الريحية والشمسية) وربطها مع شبكة الكهرباء العامة بحيث يستطيع النظام تلبية متطلبات الحمل الديناميكي دون انقطاع بالرغم من التقلبات المناخية التي تؤثر على إنتاج الطاقة، وإدارة عناصر الطاقة الهجينة بالشكل الأمثل، بما يحقق موثوقية التشغيل والكلفة الاقتصادية المنخفضة، وبالتالي سيكون هدفنا في هذا البحث هو بناء نظام طاقة هجين يأخذ بالاعتبار تأثير العوامل المناخية المحيطة في إنتاج الطاقة ليتم استخدامه في دراسة واستغلال موارد الطاقة بشكل أمثل.

طرائق البحث ومواده :

استخدم في هذا البحث نهج الطريقة التحليلية لنمذجة النظام المقترح بعد إجراء دراسة مرجعية شاملة عن نماذج الخلايا الكهروضوئية والعنفات الريحية، واستخدم برنامج Matlab وبيئة Simulink بشكل خاص لعمل نموذج هجين يتضمن عنفات ريحية وخلايا كهروضوئية متصلة مع شبكة الكهرباء العامة مع وجود أحمال ديناميكية. وأخيراً اعتمد في هذا البحث الطريقة التجريبية لدراسة تأثير العوامل المناخية عن طريق تحليل نتائج النمذجة والمحاكاة والمقارنة من أجل إثبات كفاءة النموذج المقترح .

1- أنظمة الخلايا الكهروضوئية:

تتكون أنظمة الخلايا الكهروضوئية بشكل أساسي من نموذج الخلية الكهروضوئية والمبدلة الرافعة للجهد والقالبية ثلاثية الطور .

1-1- نموذج الخلية الكهروضوئية:

يتكون النظام الشمسي من عدد من الخلايا الكهروضوئية المتصلة على التوالي أو التوازي كما هو مبين في الشكل (1) لتحقيق جهد الخرج المطلوب، حيث نحصل من نظرية أنصاف النواقل على المعادلة الأساسية التي تصف العلاقة $I=f(v)$ للخلية الكهروضوئية المثالية الآتية :

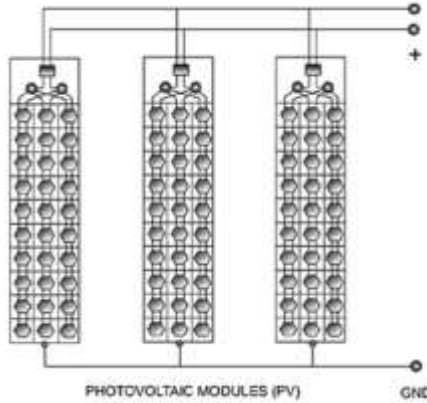
$$I = I_{pv} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{\alpha kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

حيث : I_{pv} تيار الخلية الكهروضوئية. I_0 تيار الإشباع للديود . q هي شحنة الإلكترون قيمتها $1.6021764e-19$ [C] . α ثابت خاص بالديود. k ثابت بولتزمان قيمته $1.3806503e-23$ [J/K] . T درجة حرارة وصلة $p-n$ مقدره بالكلفن [1,2] .

لا يمكن اعتبار المعادلة السابقة عملية لتمثل العلاقة بين التيار والجهد لخلية كهروضوئية لأن الخلايا الموصولة على التفرع تزيد التيار، بينما الخلايا الموصولة على التسلسل تؤمن جهد خرج أكبر، حيث تتكون المصفوفة العملية من عدة خلايا كهروضوئية متصلة ويتطلب ذلك إدراج بارامترات إضافية إلى المعادلة الأساسية لتصبح على النحو الآتي :

$$I = I_{pv} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t \alpha}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (2)$$

حيث : V_t الجهد الحراري للديود. R_s المقاومة التسلسلية. R_{sh} المقاومة التفرعية [1,2]، كما هو مبين في الشكل (2) الذي يوضح نموذج مكافئ لخلية كهروضوئية .



الشكل (1) مخطط مصفوفة كهروضوئية

تتضمن بيانات (مواصفات) الخلايا الكهروضوئية (datasheets) البارامترات الآتية:

- الجهد الاسمي للدارة المفتوحة $(V_{oc,n})$.
- تيار دارة القصر $(I_{sc,n})$.
- الجهد عند نقطة الاستطاعة العظمى (V_{mp}) MPP.
- التيار عند نقطة الاستطاعة العظمى (I_{mp}) MPP.
- معامل حرارة جهد الدارة المفتوحة (K_V) .
- معامل حرارة تيار دارة القصر (K_I) .
- استطاعة الخرج لنقطة الاستطاعة العظمى التجريبية $(P_{max,e})$.
- الفعالية (المردود)

يتم توفير هذه المعلومات بالإشارة إلى الشروط الاسمية أو ظروف الاختبار القياسية لدرجة الحرارة والإشعاع الشمسي، حيث تعتبر درجة الحرارة القياسية 25°C ، ويعتبر الإشعاع الشمسي القياسي 1000 W/m^2 [2]. تحتوي الخلية الكهروضوئية العملية على مقاومة تسلسلية R_s ومقاومة تفرعية R_{sh} ، وبشكل عام في نمذجة الخلايا الكهروضوئية يتم افتراض I_{sc} يساوي تقريباً I_{pv} ، وذلك لأن المقاومة التسلسلية في الخلايا العملية تكون منخفضة والمقاومة التفرعية كبيرة [2]. يتم إعطاء تيار الإشعاع للديود بالمعادلة الآتية :

$$I_0 = \frac{I_{sc,n} + K_I \Delta T}{\exp\left(\frac{V_{oc,n} + K_V \Delta T}{\alpha V_t}\right) - 1} \quad (3)$$

حيث: $I_{sc,n}$ تيار دارة القصر الاسمي. $V_{oc,n}$ جهد الدارة المفتوحة الاسمي. K_I معامل حرارة تيار دارة القصر $[A/K]$. K_V معامل حرارة جهد الدارة المفتوحة $[V/K]$. يعتمد تيار الإشعاع I_0 بشكل كبير على درجة الحرارة لذلك تتأثر الشبكة بدرجة الحرارة بتغيرات خطية لجهد الدارة المفتوحة وفقاً لمعامل درجة حرارة الجهد الفعلي [3]. يتم تبسيط النموذج فنكون لدينا المعادلة الآتية :

$$I_{pv} = (I_{pv,n} + K_I \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (4)$$

حيث: I_{pv} تيار الخلية الكهروضوئية. $I_{pv,n}$ تيار الخلية الكهروضوئية الاسمي. G الإشعاع الشمسي الفعلي. G_n الإشعاع الشمسي الاسمي وهنا أخذ قيمته $1000 \text{ [W/m}^2]$. لإيجاد العلاقة بين R_s و R_{sh} نجعل $P_{max,m} = P_{max,e}$ ونحل المعادلة الناتجة بالنسبة لـ R_s كما هو مبين في المعادلات الآتية :

$$P_{max,m} = V_{mp} \left\{ I_{pv} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q}{KT} \frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{\alpha N_s}\right) - 1 \right] - \frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{R_{sh}} \right\} = P_{max,e} \quad (5)$$

$$R_{sh} = \frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{V_{mp} I_{pv} - V_{mp} I_0 \exp\left[\frac{q}{KT} \frac{(V_{mp} + R_s I_{mp})}{\alpha N_s}\right] + V_{mp} I_0 - P_{max,e}} \quad (6)$$

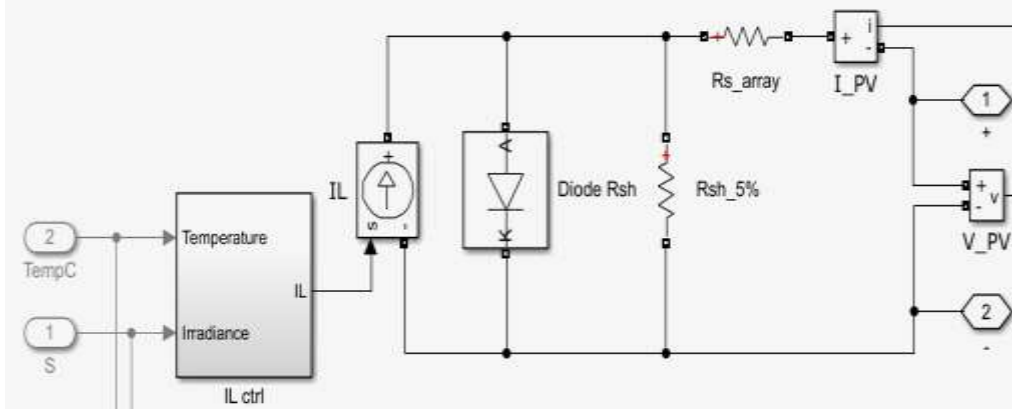
حيث: N_s عدد الخلايا الموصولة على التسلسل . تعني المعادلة السابقة أنه من أجل أي قيمة لـ R_s ستكون هناك قيمة R_{sh} التي تجعل المنحني $I-V$ الرياضي يصل إلى النقطة التجريبية (I_{mp}, V_{mp}) . الهدف هو إيجاد قيمة R_s (وبالتالي R_{sh}) التي تجعل ذروة منحني $P-V$ الرياضي يتطابق مع نقطة الاستطاعة العظمى التجريبية عند نقطة (I_{mp}, V_{mp}) . هذا يتطلب عدة تكرارات حتى تصبح $P_{max,e} = P_{max,m}$. يقوم كل تكرار بتحديث قيمتي R_s و R_{sh} للحصول على أفضل حل [3]، كما أن قيمة تيار الخلية الكهروضوئية الاسمي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_{pv,n} = \frac{R_{sh} + R_s}{R_{sh}} I_{sc,n} \quad (7)$$

في البداية تؤخذ القيمة الابتدائية لـ R_s مساوية للصفر، أما القيمة الابتدائية لـ R_{sh} تعطى بالعلاقة الآتية :

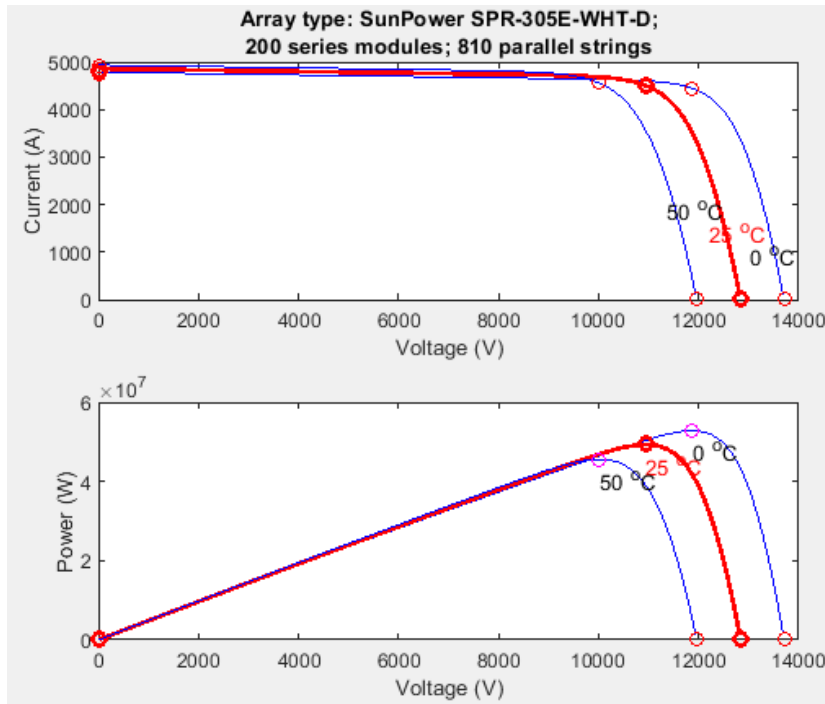
$$R_{sh,min} = \frac{V_{mp}}{I_{sc,n} - I_{mp}} - \frac{V_{oc,n} - V_{mp}}{I_{mp}} \quad (8)$$

تحدد المعادلة السابقة الحد الأدنى لقيمة R_{sh} بالرغم من أن R_{sh} لا تزال مجهولة إلا أنها بالتأكيد أكبر من $R_{sh,min}$ [2,3]. يبين الشكل (2) نموذج Simulink المكافئ لخلية كهروضوئية .



الشكل (2) نموذج Simulink المكافئ لخلاية كهروضمسية

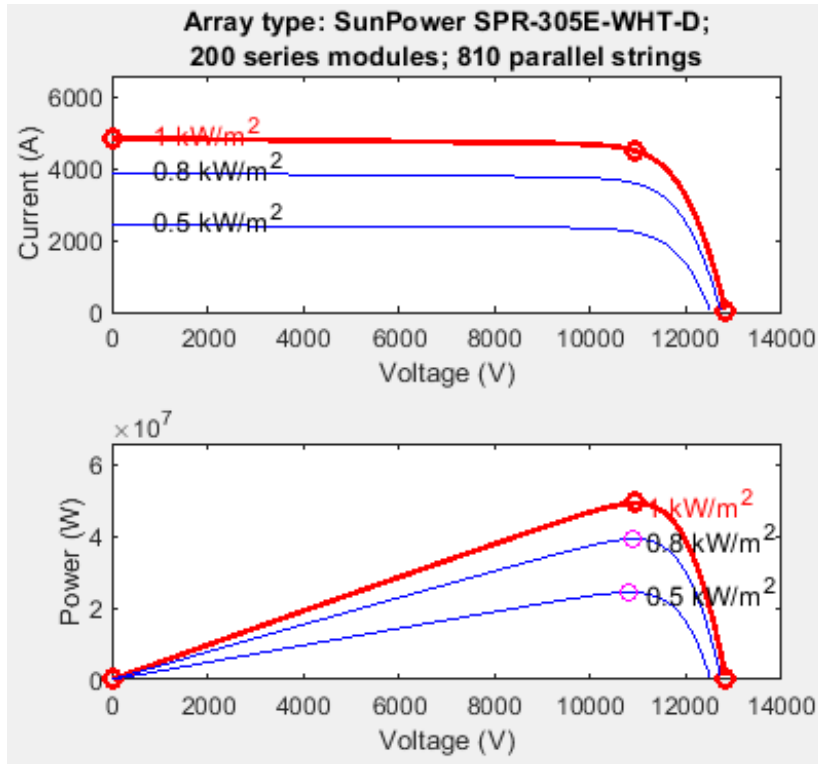
نجد تجريبياً بإجراء المحاكاة ضمن برنامج MATLAB أنه لتوليد استطاعة بحدود 50[MW] تقريباً تستخدم مصفوفة خلايا شمسية مؤلفة من 810 سلسلة تفرعية و 200 وحدة متصلة تسلسلياً في كل سلسلة تفرعية، حيث تم استخدام الخلايا من نوع SunPower SPR-305E-WHT-D ضمن النظام المقترح. يظهر الشكل (3) منحنى I-V و P-V عند الإشعاع الشمسي $1000 [W/m^2]$ وعند ثلاث درجات حرارة مختلفة $0\ 25\ 50\ ^\circ C$ ، والذي يظهر تأثير درجات الحرارة على الطاقة المنتجة من الخلايا الكهروضمسية .



الشكل (3) منحنى I-V و P-V عند الشروط الاسمية للإشعاع الشمسي $1000W/m^2$ ودرجات الحرارة $0\ 25\ 50\ ^\circ C$

نلاحظ من الشكل (3) إنه كلما ازدادت درجة الحرارة كلما انخفضت نقطة الاستطاعة العظمى وذلك بسبب الأثر السلبي للحرارة المرتفعة على الخلايا الكهروضمسية فكلما ارتفعت الحرارة كلما انخفضت الاستطاعة المقدمة من الخلايا الكهروضمسية. وعند تثبيت درجة الحرارة على $25^\circ C$ وتغيير الإشعاع الشمسي ليأخذ ثلاث قيم

الإشعاع الشمسي كلما ازدادت قيمة نقطة الاستطاعة العظمى. يكون منحنبي I-V و P-V كما هو مبين في الشكل (4) حيث نلاحظ أنه كلما ازداد



الشكل (4) منحنبي I-V و P-V عند درجة الحرارة 25 °C وإشعاع شمسي [1000 800 500] W/m²

1-2- تصميم المبدلة الرافعة للجهد :

عند توليد استطاعة تعادل 50MW تقريباً فإن الخلايا الكهروضوئية تعطي جهد خرج 12.5KV، وبالتالي سوف نصمم مبدلة رافعة للجهد تعطي جهد خرج 22KV وتكون قيمة التيار

$$I_L = \frac{P}{V_{in}} = \frac{50000000}{12500} = 4000A \quad (9)$$

وباعتبار قيمة المردود مثالية $\mu = 100\%$ وتردد التبديل $f_s = 5KHZ$ ، نحسب نسبة دورة العمل (Duty Cycle) كالتالي:

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} * \mu = 1 - \frac{12500}{22000} * 1 = 0.56 \quad (10)$$

وتحسب قيمة ذاتية الوشيعية على النحو الآتي :

$$L = \frac{V_s(\min) * D}{f_s * \Delta I_L} = \frac{12500 * 0.56}{5000 * 0.3 * 4000} = 1.1mH \quad (11)$$

حيث تؤخذ ΔI_L كنسبة بين 20% - 40% من التيار I_L [4]، وهنا أخذت 30% من I_L .

لدينا أيضاً:

$$P = I_s V_s = I_o V_o \quad (12)$$

$$I_s = I_L \quad (13)$$

يمكن حساب قيمة I_o بالعلاقة الآتية :

$$I_o = \frac{P}{V_o} = \frac{50000000}{22000} = 2272.72 \text{ A} \quad (14)$$

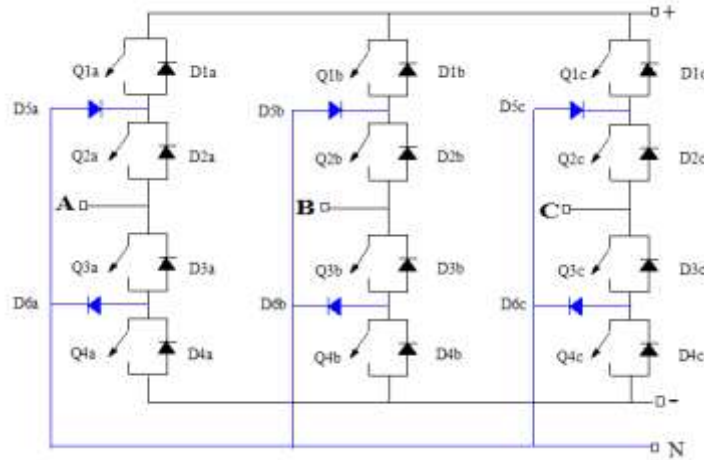
تسبب سعة المكثفة المكافئة لمكثفتي المبدلة الرافعة للجهد وفق العلاقة الآتية :

$$C = \frac{I_o(\max) * D}{f_s * \Delta V_c} = \frac{2272.72 * 0.56}{5000 * 0.01 * 22000} = 0.001157 \text{ F} = 1.157 \text{ mF} \quad (15)$$

حيث : $V_c = V_o$ و ΔV_c تتراوح بين 1% إلى 5% من جهد خرج المبدلة [4] وتم أخذه هنا 1% .

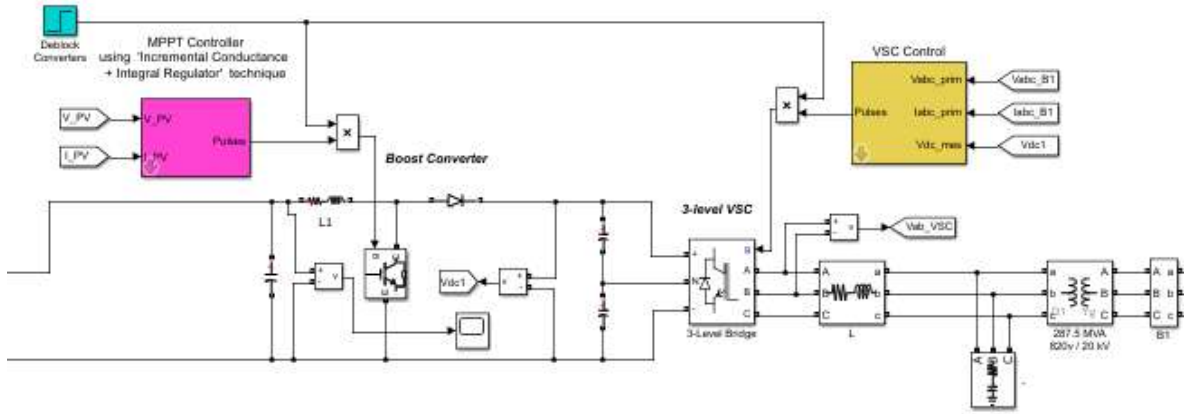
1-3- القالبية ثلاثية الطور:

تتألف القالبية المستخدمة من ثلاثة أذرع، يتكون كل ذراع من أربعة مفاتيح تبديل على التفرع مع ديودات واثنين من الديودات المحايدة كما هو موضح في الشكل (5) .



الشكل (5) قالبية ثلاثية الطور

يبين الشكل (6) نموذج Matlab/Simulink لمبدلة رافعة للجهد مع القالبية .



الشكل (6) نموذج Matlab/Simulink للمبدلة رافعة الجهد مع القالب

1-4- خوارزمية تتبع نقطة الاستطاعة العظمى بطريقة الناقلية المتزايدة :

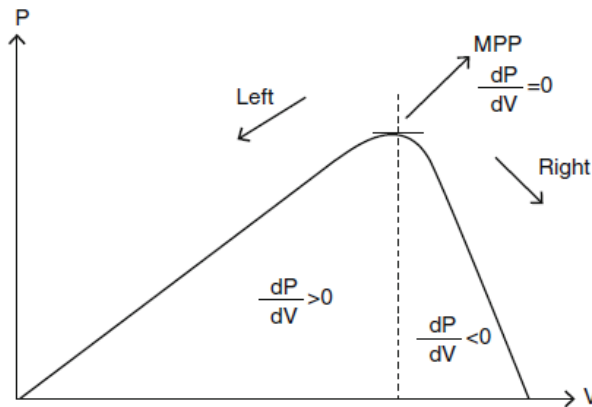
تستخدم خوارزمية الناقلية المتزايدة حساسي جهد والتيار لتحسس جهد الخرج والتيار الخرج لمصفوفة الخلايا الكهروضوئية. يُضبط جهد مصفوفة الخلايا في طريقة الناقلية المتزايدة وفقاً لجهد نقطة الاستطاعة العظمى الذي يعتمد على الناقلية المتزايدة واللحظية لوحدة الخلايا الكهروضوئية [5].

يوضح الشكل (7) أن ميل منحنى استطاعة مصفوفة الخلايا الكهروضوئية يساوي صفراً عند نقطة الاستطاعة العظمى (MPP)، يتزايد الميل على يسار MPP ويتناقص على الجهة اليمنى من MPP، تكون المعادلات الأساسية لهذه الطريقة كما يلي :

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad \text{At MPP} \quad (16)$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad \text{Left of MPP} \quad (17)$$

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad \text{Right of MPP} \quad (18)$$



الشكل (7) فكرة أساسية عن طريقة الناقلية المتزايدة لمنحنى P-V لوحدة الخلية الكهروضوئية [5]

حيث I و V هما تيار وجهد خرج مصفوفة الخلايا الكهروضوئية على التوالي. تمثل معادلة الجهة اليسرى الناقلية المتزايدة لوحدة الخلايا الكهروضوئية وتمثل معادلة الجهة اليمنى الناقلية اللحظية. عندما تكون نسبة التغيير في ناقلية الخرج تساوي ناقلية الخرج السالبة تعمل المصفوفة الكهروضوئية عند نقطة الاستطاعة الأعظمية [5]. تعتمد هذه الطريقة فرضية أن نسبة التغيير في ناقلية الخرج تكون مساوية لناقلية الخرج اللحظية السالبة. ولدينا :

$$P = VI \quad (19)$$

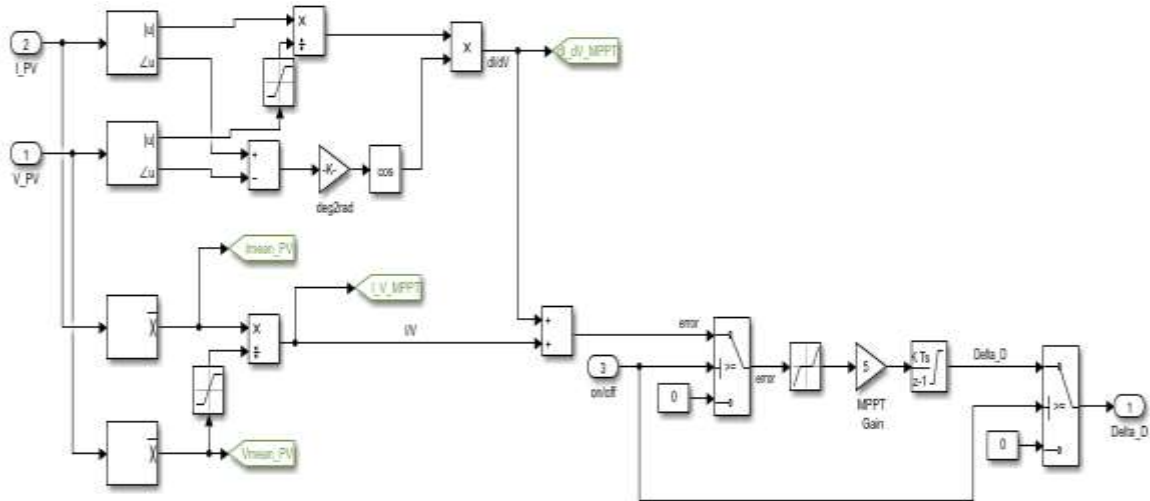
باشتقاق العلاقة السابقة بالنسبة لـ V نجد :

$$\frac{\partial P}{\partial V} = [\partial(VI)] / \partial V \quad (20)$$

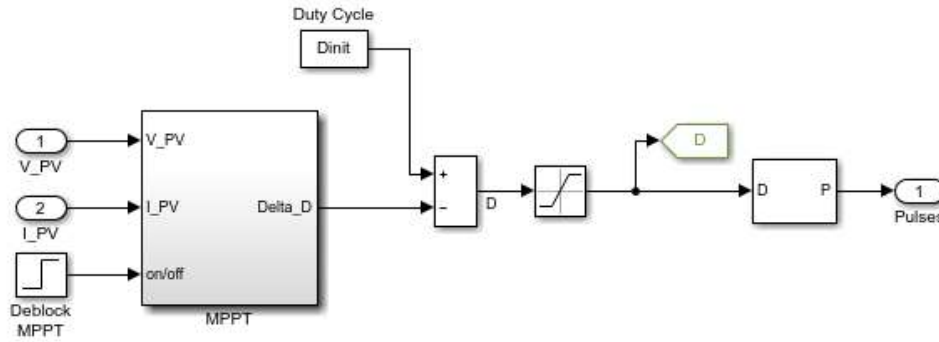
عند نقطة الاستطاعة العظمى (MPP) بما أن $\frac{\partial P}{\partial V} = 0$ يمكن كتابة المعادلة السابقة بدلالة جهد وتيار مصفوفة الخلايا الكهروضوئية كما يلي :

$$\frac{\partial I}{\partial V} = - \frac{I}{V} \quad (21)$$

تنظم خوارزمية تتبع نقطة الاستطاعة العظمى (MPPT) إشارة التحكم PWM للمبدلة الرافعة للجهد DC-DC عند تحقق الشرط $\frac{\partial I}{\partial V} + \frac{I}{V} = 0$ ، وتكون طاقة الذروة في هذه الطريقة تقع فوق 98% من ناقليتها المتزايدة [5,6]. يبين الشكل (8) نموذج Matlab/Simulink لحساب نقطة الاستطاعة العظمى (MPPT) بطريقة الناقلية المتزايدة حيث استخدمنا المنظم التكاملي في النهاية لتقليل الخطأ ($dI/dV + I/V$) ويكون الخرج النهائي لهذا النموذج هو تصحيح مدة دورة العمل (Duty Cycle) ويبين الشكل (9) نموذج Matlab / Simulink لتعديل دورة العمل (Duty Cycle).



الشكل (8) نموذج Matlab/Simulink لطريقة الناقلية المتزايدة



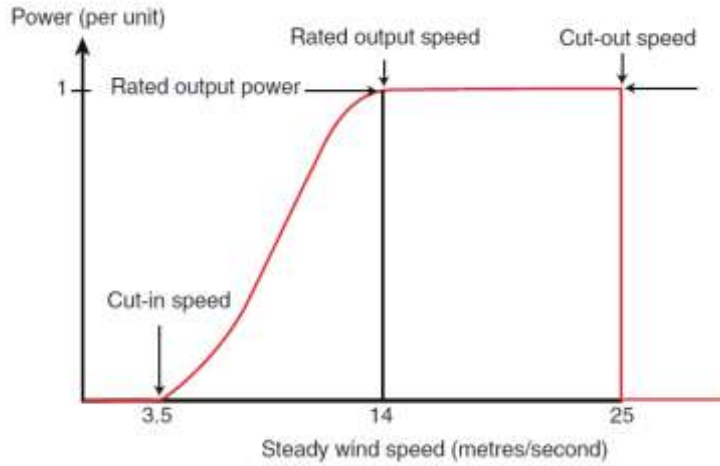
الشكل (9) نموذج Matlab/Simulink لتعديل دورة العمل (Duty Cycle)

2- العنفات الريحية:

إن مبدأ العنفات الريحية في توليد الطاقة هو تحويل الطاقة الحركية للهواء إلى طاقة ميكانيكية دورانية لشفرات العنفة الدوارة. تعد أكثر العنفات الريحية شيوعاً تلك التي تحتوي على شفرتين أو ثلاث شفرات مثبتة على محور أفقي في أعلى برج العنفة. يعد اختيار عدد شفرات العنفة خيار تصميمي غير سهل، حيث تكون الأنظمة ذات الشفرات الثلاث أعلى كلفة من الأنظمة ذات الشفرتين للعنفة، ولكن العنفات ذات الشفرتين يجب أن تعمل بسرعة دورانية أعلى من العنفات بثلاث شفرات، لذلك يجب أن تكون الشفرات للعنفة ذات الشفرتين أخف وزناً وبالتالي تكون أعلى ثمناً [7,8]. تعطى الصيغة الأساسية لطاقة الرياح في موقع عمودي على اتجاه الرياح بالعلاقة الآتية :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_p \cdot V^3 \quad (22)$$

حيث تمثل P استطاعة العنفة الريحية وتُقَدَّر بالوات [W]، ρ كثافة الهواء $[kg/m^3]$ ، A مساحة سطح الجزء الدوار للعنفة الريحية المتعامد مع الرياح $[m^2]$ ، V سرعة الرياح $[m/s]$ ، C_p معامل القدرة الذي يصف احتكاك الرياح ضمن العنفات الريحية، وتكون وفقاً لقواعد Betz قيمة معامل القدرة بحدود 59.7% [8]. يوضح الشكل (10) العلاقة بين سرعة الرياح والطاقة المولدة التي يمكن تحقيقها من عنفة ريحية بشكل عام، تكون الطاقة المولدة منخفضة جداً عند معدلات منخفضة جداً للسرعة بحيث لا يمكن الاستفادة منها، ثم تبدأ العنفة الريحية بالعمل عندما تتجاوز السرعة 3m/s أو 4m/s التي تشير لها بسرعة cut-in وتبدأ الطاقة المولدة بالزيادة حتى الوصول إلى السرعة الاسمية والتي تكون تقريباً بين 12m/s إلى 15m/s. عندما تتجاوز سرعة الرياح الحدود بين السرعتين 20-25m/s يجب العمل على إيقاف العنفة لتجنب الأحمال الميكانيكية داخل العنفة وتسمى هذه السرعة cut-out [8,9].

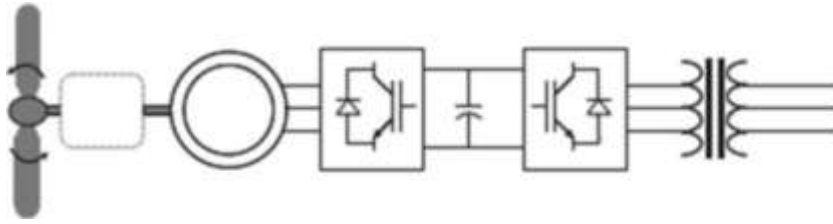


الشكل (10) منحنى الطاقة والسرعة لعنفة رياح [2]

على مدى أربعة عقود تم تطوير العديد من المولدات المختلفة للعنفات الريحية وأشهرها 5 أنماط من المولدات وقد تم استخدام مولدات النمط الرابع في هذا البحث [2].

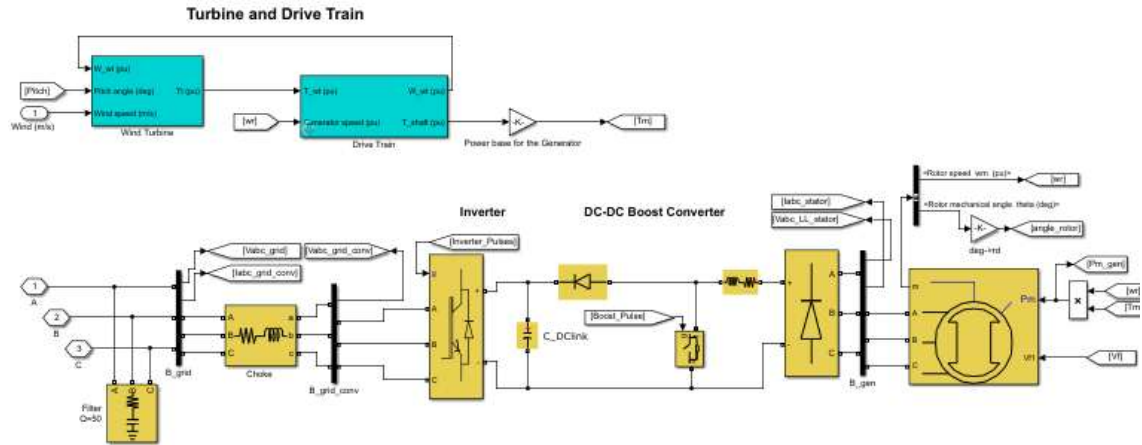
2-1- مولدات عنفات الرياح (WTG) من النمط الرابع :

استخدم نموذج عنفة ريحية من النمط الرابع في النظام المقترح لأن العنفات من النمط الرابع توفر قدرًا كبيرًا من المرونة في التصميم والأسلوب والتشغيل. يوصل خرج العنفة مع الشبكة عبر مبدلات تغيير التردد كما هو موضح في الشكل (11). يسمح للعنفة بالدوران بسرعتها المثالية مما يؤدي إلى إنتاج تيار متناوب كبير من العنفة، بالإضافة لذلك فإنه غالباً ما يتم الاستغناء عن علبة المسننات (مثل الحالات التي تدور فيها الآلات بسرعات منخفضة) وبالتالي تولد تردد كهربائي أقل. صُممت آلات هذا النمط كآلات دائر ملفوف تزامنية (Wound rotor) واستخدمت المبدلات للتحكم بتدفق الطاقة الفعالة والردية [10].



الشكل (11) مكونات مولدات عنفات الرياح من النمط الرابع [10]

إن التقدم في الأجهزة الكهربائية والالكترونية، وكذلك التقدم الحاصل في مجال التحكم في العقود الأخيرة أدى إلى تصميم مبدلات ذات استجابة جيدة، وتؤدي الوظيفة المطلوبة بشكل مفيد على حد سواء، كما يجب تحديد استطاعة هذه المبدلات من أجل تمرير طاقة خرج الآلة الدوارة بالكامل وإضافة أي نوع من السعات لتأمين تعويض الطاقة الرديئة [10,11]. يبين الشكل (12) نموذج عنفة ريحية في برنامج Matlab/Simulink حيث يتألف من نموذج لعنفة ريحية مع مجموعة قيادة لمسننات هذه العنفة مع قالبة ومبدلة رافعة للجهد ومولد ونظام تحكم .



الشكل (12) نموذج عنفة الرياح في برنامج Matlab/Simulink

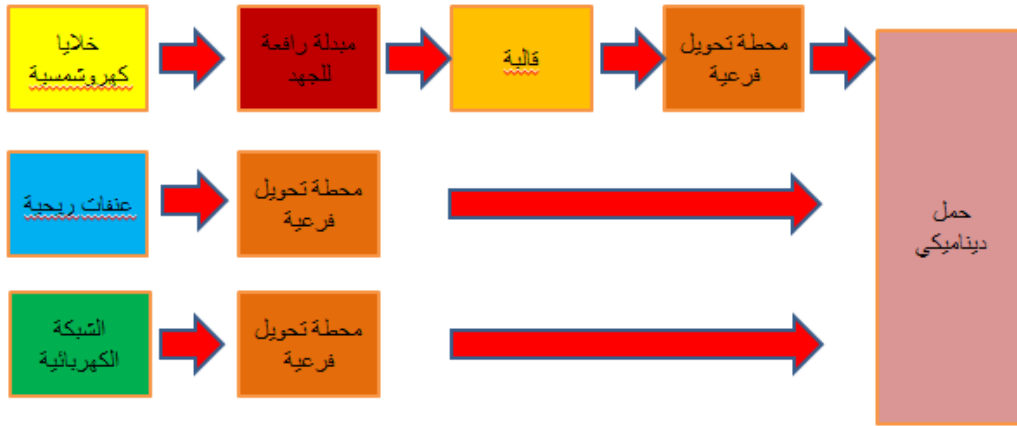
3- شروط عملية ربط الخلايا الكهروضوئية وعنفات الرياح مع الشبكة الكهربائية :

تسمى عملية الربط بعملية التزامن (Synchronization)، وتعرف علمياً بأنها عملية ربط كهربائي بين عدة شبكات أو مولدات بعد أن تتحقق شروط التزامن. يسمى الجهاز المستخدم لإتمام هذه العملية بـ (Synchroscope) [12] ، فعلى سبيل المثال عند ربط المولد G2 على التوازي مع المولد G1 فإن هذا الجهاز يقوم بالتأكد من تحقق شروط التزامن قبل أن يغلق مفتاح الربط ، وهذه الشروط هي :

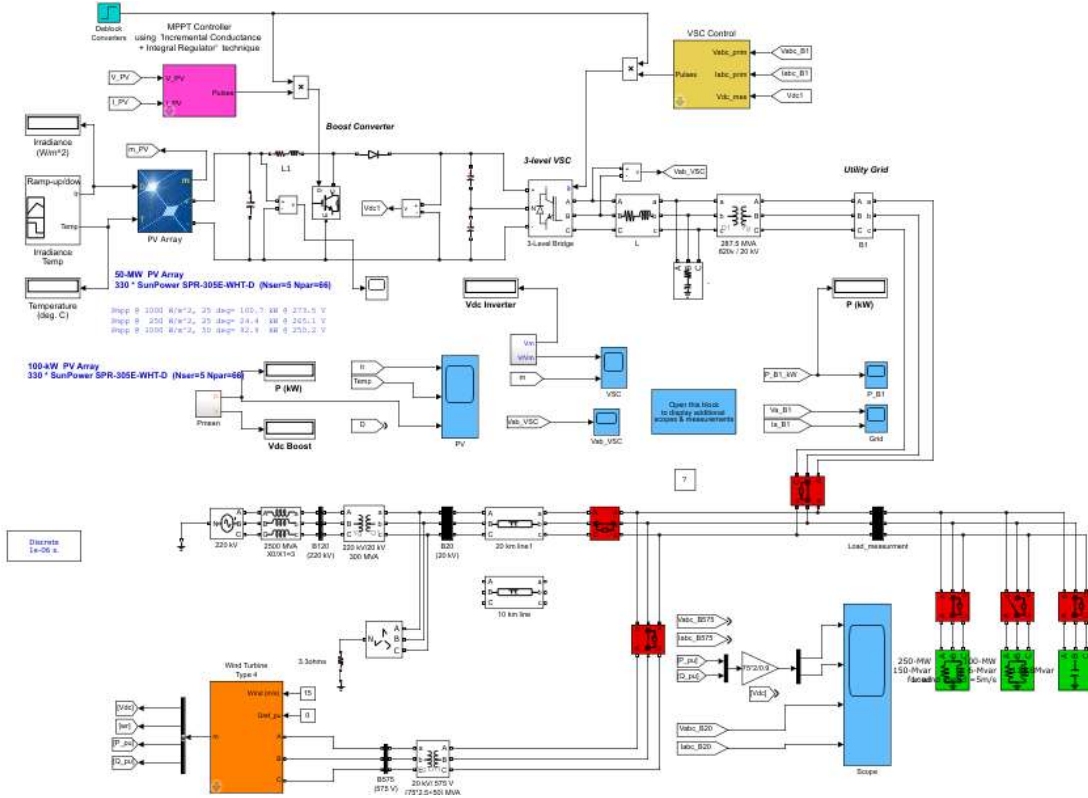
- 1- تساوي الجهد بين جميع الشبكات أو المولدات المراد ربطها مع بعضها .
- 2- تساوي التردد بين جميع الشبكات أو المولدات المراد ربطها مع بعضها .
- 3- تطابق ترتيب الأطوار بين جميع الشبكات أو المولدات.
- 4- تطابق زاوية الطور بين جميع الشبكات أو المولدات [12].

4- نموذج Matlab/Simulink للنظام الهجين المقترح:

يبين الشكل (13) مخطط صندوق يوضح مكونات النظام الهجين ، ويبين الشكل (14) نموذج Matlab/Simulink لهذا النظام المقترح، حيث يتألف النظام من العناصر الآتية : مصفوفة خلايا شمسية يكون فيها عدد الخلايا 810 سلسلة تفرعية وفي كل سلسلة 200 خلية لتولد استطاعة مقدارها الأعظمي 50MW تقريباً وذلك تبعاً لعاملين هما مقدار الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، ومجموعة من عنفات الرياح عددها 75 عنفة كل عنفة تولد استطاعة 2MW باستطاعة أعظمية 150MW حسب سرعات الرياح، وشبكة التغذية الرئيسية بمنبع 220KV وتردد 50HZ الذي يُخفّض في محطات التحويل عن طريق المحولات إلى 20KV مع المحافظة على قيمة التردد، وأحمال تحريضية حيث تكون الطاقة الفعالة للحمل هي 250MW والطاقة الردية التي تولد هي 150Mvar .



الشكل (13) مخطط صندوقي يوضح مكونات النظام الهجين



الشكل (14) نموذج Matlab Simulink للنظام الهجين كاملاً

وُضعت مجموعة مكثفات لموازنة عامل الاستطاعة حيث تحسب قيمة عامل الاستطاعة قبل وضع مجموعة المكثفات بالعلاقة الآتية :

$$[12] \text{ عامل الاستطاعة} = \frac{\text{الاستطاعة الحقيقية (الفعالة)}}{\text{الاستطاعة الظاهرية}} \quad (23)$$

$$PF = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{250}{250^2 + 150^2} = 0.857 \quad (24)$$

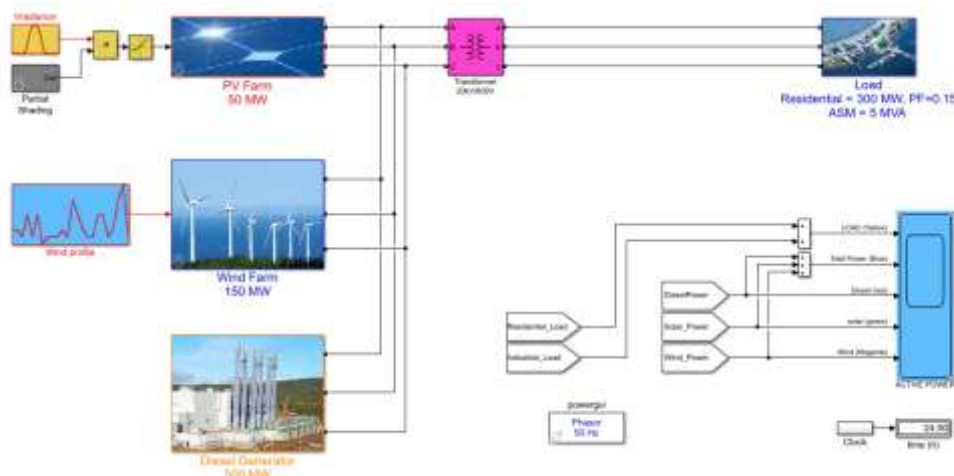
تحسب الاستطاعة الردية لمجموعة المكثفات المطلوبة لتحسين عامل الاستطاعة وجعله يساوي 0.995 بالعلاقة الآتية:

$$Q = p * \tan(\text{actual PF angle} - \text{required PF angle}) \quad [12] \quad (25)$$

$$Q = 250 * \tan[\text{acos}(0.857) - \text{acos}(0.995)] = 118.1 \text{ Mvar} \quad (26)$$

5- طريقة حل الطور (phasor) :

إذا كان الاهتمام فقط بالتغيرات في المطال والطور لجميع الجهود والتيارات عند إغلاق المفاتيح أو فتحها، فلن نحتاج إلى حل جميع المعادلات التفاضلية (نموذج فضاء الحالة) الناتجة عن تفاعل عناصر R و L و C، بل يمكننا بدلاً من ذلك حل مجموعة أبسط من المعادلات الجبرية المتعلقة بأطوار الجهود والتيار، هذا ما تفعله طريقة حل الطور كما يوحي اسمها حيث تحسب هذه الطريقة الجهود والتيارات كأطوار وتكون الأطوار عبارة عن أعداد عقدية تمثل الجهود والتيارات الجيبية بتردد معين، والتي يمكن التعبير عنها إما في الإحداثيات الديكارتية (الحقيقية والتخيلية) أو في الإحداثيات القطبية (المطال والطور). نظراً لتجاهل بعض الحالات الكهربائية لذلك تكون المحاكاة أسرع بكثير في التنفيذ، ولكن يجب أن نضع في الاعتبار أن تقنية الحل الأسرع هذه تعطي الحل بتردد واحد فقط [13]. يبين الشكل (15) نموذج Matlab/Simulink للنظام الهجين بطريقة حل الطور .

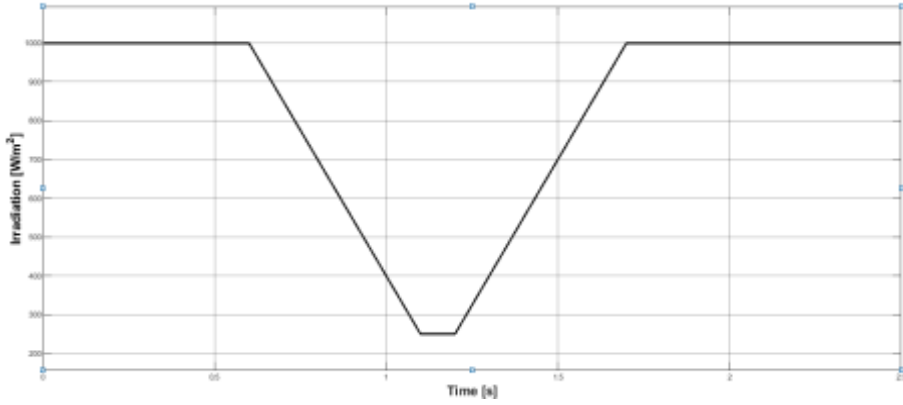


الشكل (15) نموذج Matlab Simulink للنظام الهجين بطريقة حل الطور

النتائج والمناقشة:

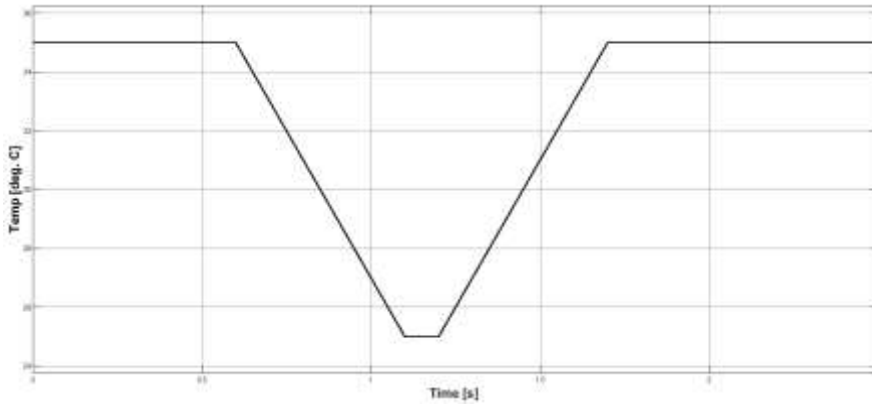
1- السيناريو الأول :

أجريت عملية محاكاة للنموذج في الشكل (14) وذلك من أجل إشعاع شمسي متغير ودرجة حرارة متغيرة وسرعة رياح عند 15[m/s] حيث يبين لنا الشكل (16) الإشعاع الشمسي الداخل إلى مجموعة الخلايا الكهروضوئية وتكون قيمته في البداية $1000[w/m^2]$ الذي يمثل الإشعاع في ساعات الذروة من النهار ثم تنخفض تدريجياً إلى القيمة $250[w/m^2]$ ممثلاً الأوقات الليلية ثم يزداد مرة أخرى تدريجياً إلى القيمة $1000[w/m^2]$ ليتمثل نهار جديد .



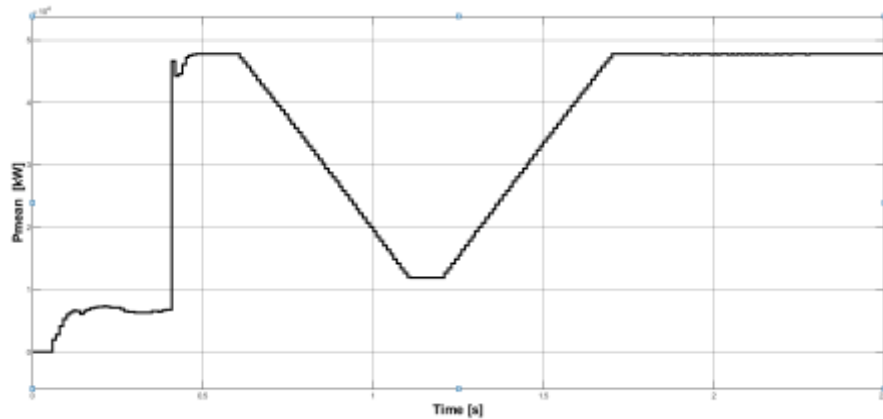
الشكل (16) الإشعاع الشمسي الداخل إلى الخلايا الكهروضوئية

أما درجات الحرارة فقد أخذت قيمتها عندما يكون الإشعاع الشمسي أعظمي في ساعات النهار 35°C وعندما ينخفض الإشعاع الشمسي إلى القيمة $250[\text{w}/\text{m}^2]$ قللت درجة الحرارة لتصبح 25°C لتمثل الأوقات الليلية ثم تعود مرة أخرى لترتفع إلى الدرجة 35°C كما يبين الشكل (17) :



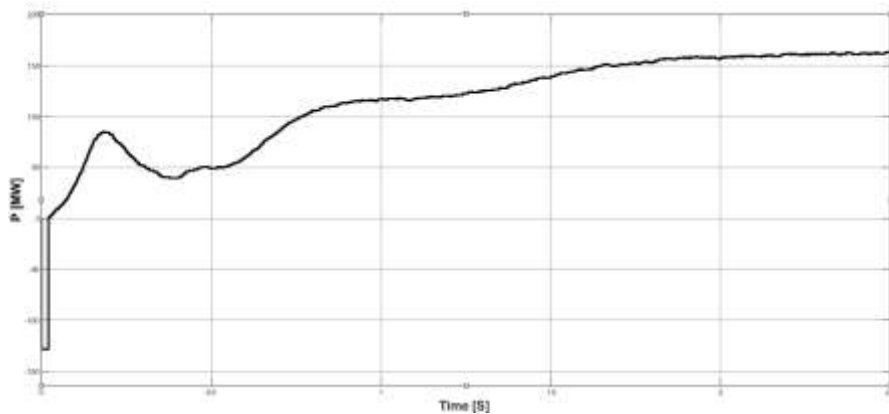
الشكل (17) تغير درجات الحرارة المؤثرة على الخلايا الكهروضوئية

ويبين الشكل (18) مقدار الطاقة المولدة من مجموعة الخلايا الكهروضوئية حيث يبين أنه بعد زمن طفيف تصل الطاقة المولدة إلى $48[\text{MW}]$ حيث لم تصل إلى الـ $50[\text{MW}]$ بسبب أثر زيادة الحرارة إلى الدرجة 35°C مما يؤثر بشكل سلبي على الخلايا الكهروضوئية لذلك تنخفض الطاقة المولدة عندها لتصبح $48[\text{MW}]$ ثم عند الزمن $0.6[\text{s}]$ تقريباً تبدأ الطاقة تدريجياً في الهبوط نتيجة انخفاض الإشعاع الشمسي لتصل إلى القيمة $12[\text{MW}]$ عندما يكون الإشعاع الشمسي $250[\text{w}/\text{m}^2]$ وتكون درجة الحرارة 25°C وهي درجة مثالية بالنسبة للخلايا الكهروضوئية وبزيادة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة مرة أخرى تزداد الطاقة لتصل إلى القيمة $48[\text{MW}]$.

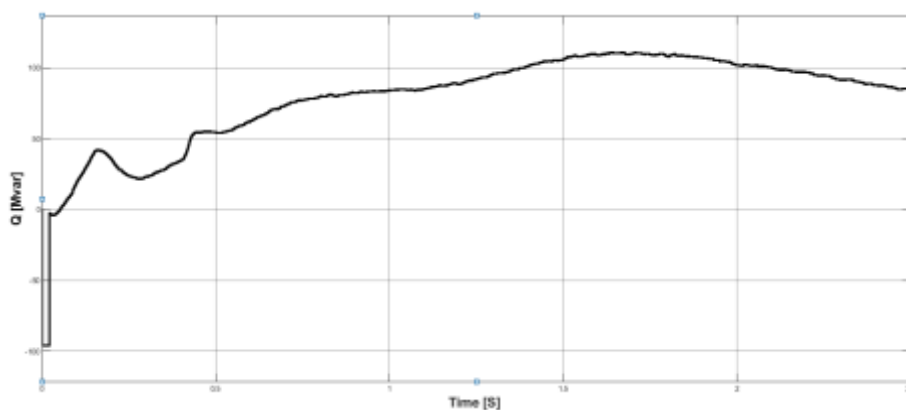


الشكل (18) الطاقة المولدة من مجموعة الخلايا الكهروضوئية

والآن سنقوم بعرض مقدار الطاقة المولدة من مجموعة عنفات الرياح حيث يبين الشكل (19) الطاقة الفعالة مقدرة بالـ MW، نلاحظ أن الطاقة تزداد تدريجياً حتى وصلت إلى القيمة 150[MW] بعد الزمن 1.75[S] تقريباً، بينما يبين الشكل (20) الطاقة الردية مقدرة بالـ Mvar التي يعمل نظام التحكم على تقليلها حيث تبدأ بالانخفاض تدريجياً بعد الزمن 1.75[S].



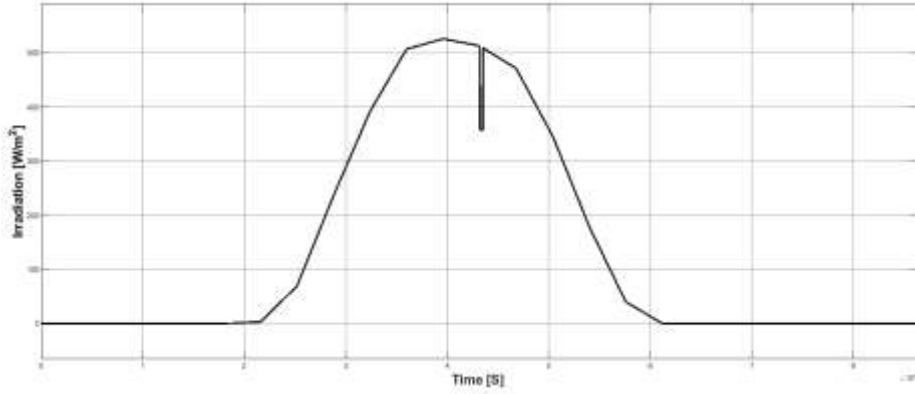
الشكل(19) الطاقة الفعالة المولدة من مجموعة العنفات الريحية



الشكل(20) الطاقة الردية المولدة من مجموعة العنفات الريحية

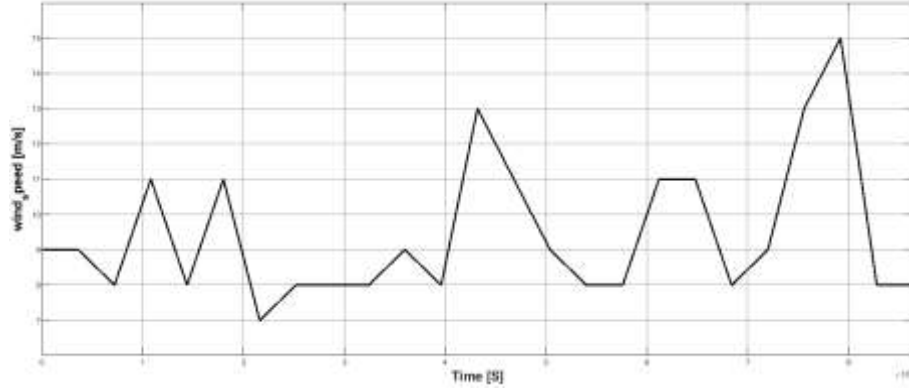
2- السيناريو الثاني :

أجريت عملية المحاكاة للنموذج في الشكل (15) لمدة يوم كامل (24 ساعة) حيث أخذ زمن بدء المحاكاة عند الساعة 12 منتصف الليل باستطاعة أعظمية للخلايا الكهروضوئية تساوي $50[MW]$ واستطاعة أعظمية للنفات الريحية تساوي $150[MW]$ ، يبين الشكل (21) الإشعاع الشمسي الداخل إلى الخلايا الكهروضوئية حيث نلاحظ أن الإشعاع الشمسي يتراوح بين القيمتين صفر والقيمة العظمى $500[W/m^2]$ وفق تابع غوسي ونلاحظ عند منتصف المحاكاة عند الساعة الثانية عشرة ظهراً تقريباً وجود لما يسمى عامل الظل (وجود غيوم في السماء) لذلك انخفضت قيمة الإشعاع الشمسي فجأة لمدة قصيرة .



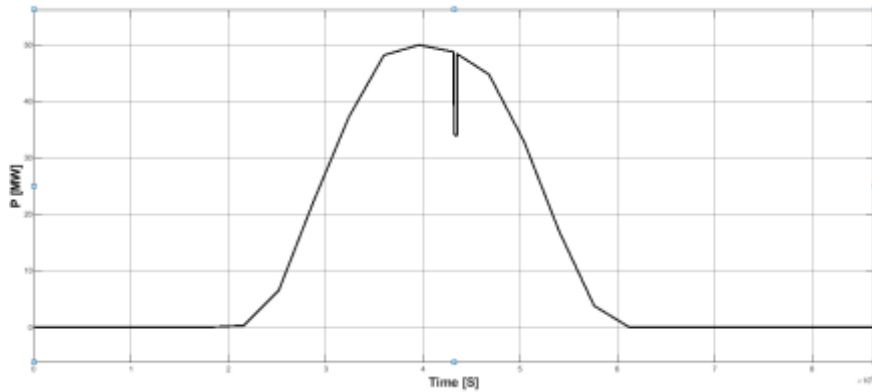
الشكل (21) الإشعاع الشمسي الداخل إلى الخلايا الكهروضوئية بطريقة حل الطور

يبين الشكل (22) سرعة الرياح التي تمثل دخل مجموعة النفات الريحية في هذا اليوم والتي تتراوح بين القيمتين $7-15[m/s]$.



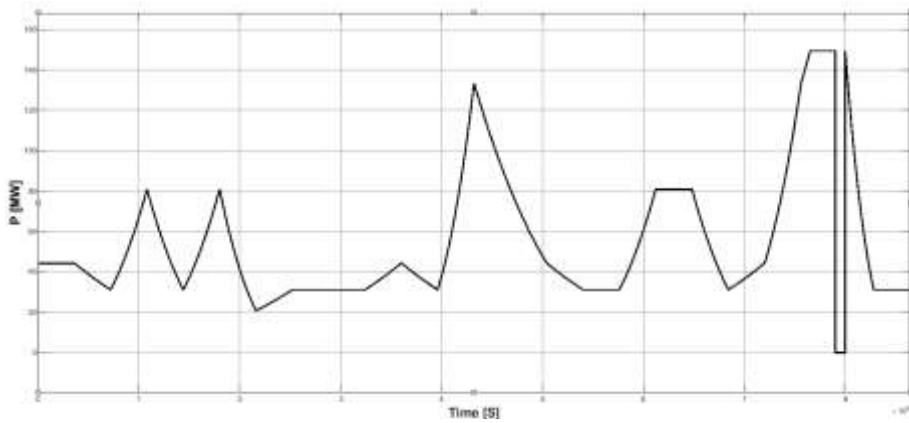
الشكل (22) سرعة الرياح المدخلة إلى مجموعة نفات الرياح

يبين الشكل (23) الطاقة الناتجة عن مجموعة الخلايا الكهروضوئية وفقاً للإشعاع الشمسي حيث تزداد الطاقة المولدة من الخلايا الكهروضوئية بازدياد الإشعاع الشمسي وتتنقص بنقصانه .



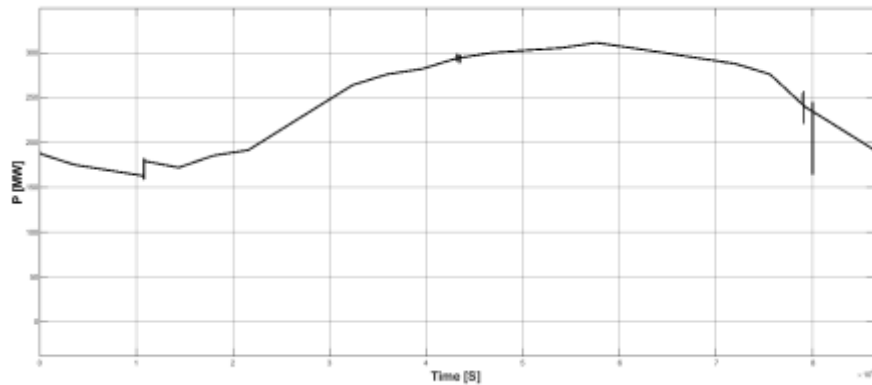
الشكل (23) طاقة مجموعة الخلايا الكهروضوئية

يبين الشكل (24) الطاقة الناتجة عن مجموعة العنفات الريحية وفقاً لسرعة الرياح الداخلة إليها وكذلك تزداد الطاقة المولدة من عنفات الرياح بازدياد سرعة الرياح وتنقص بنقصانها .

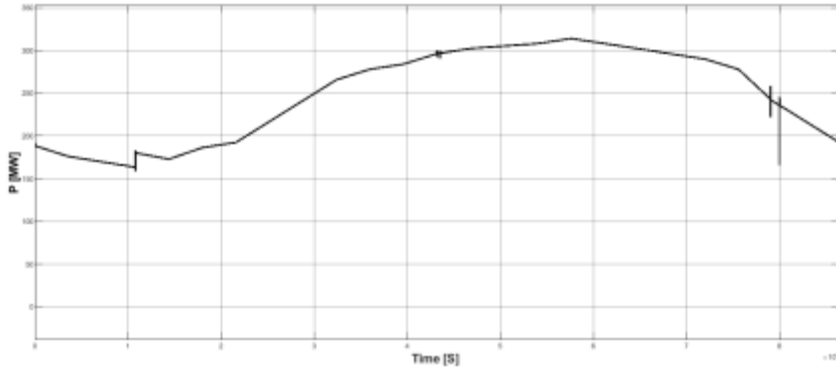


الشكل (24) طاقة مجموعة العنفات الريحية

يبين الشكل (25) الطاقة التي يحتاجها الحمل، ويبين الشكل (26) الطاقة الكلية الناتجة عن مجموع طاقات الخلايا الكهروضوئية والعنفات الريحية وطاقة الوقود الأحفوري ويظهر التطابق بينهما، أي استطعنا تأمين طاقة الحمل التي هي عبارة عن أحمال ناتجة عن مناطق سكنية بمقدار 300 ميغاوات وأحمال ناتجة عن محركات تحريضية بمقدار 5 ميغا فولت أمبير تمثل عمل المعامل التي أضفناها عند الساعة الثالثة صباحاً

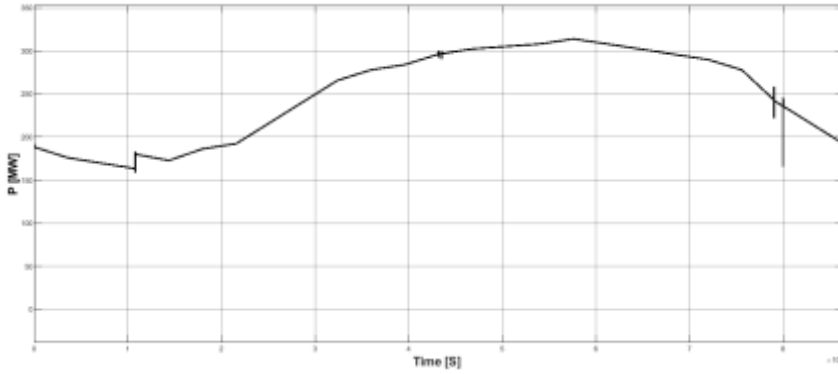


الشكل (25) الطاقة التي يحتاجها الحمل



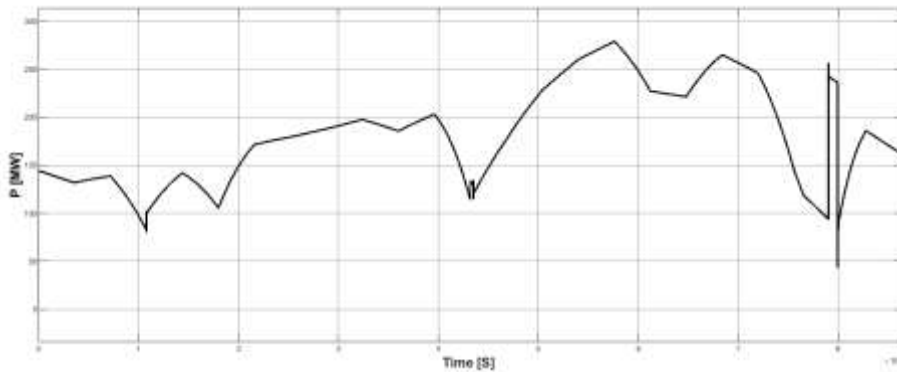
الشكل (26) مجموع الطاقات المولدة (الشمسية-الريحية-الأحفورية)

يبين الشكل (27) الطاقة الناتجة عن الوقود الأحفوري قبل إضافة مجموعة الخلايا الكهروضمسية ومجموعة العنفات الريحية أي قبل إدخال النظام الهجين حيث كانت الشبكة تعتمد فقط على طاقة الوقود الأحفوري .



الشكل (27) طاقة الوقود الأحفوري قبل إضافة النظام الهجين

يبين الشكل (28) الطاقة الناتجة عن الشبكة العامة أي طاقة الوقود الأحفوري فقط ولكن مع وجود مجموعات الخلايا الشمسية والعنفات الريحية أي بعد تركيب النظام الهجين، حيث تقوم بتغطية الطاقة التي يحتاجها الحمل عند نقصان الطاقة الناتجة عن مجموعة الخلايا الكهروضمسية والعنفات الريحية عن متطلبات الحمل .



الشكل (28) الطاقة الناتجة عن الشبكة (طاقة الوقود الأحفوري) بعد إضافة النظام الهجين

بمقارنة الشكلين (27) و (28) نجد أن طاقة الوقود الأحفوري بعد إضافة مجموعة الخلايا الكهروضمسية والعنفات الريحية قد نقصت بشكل جيد لأن مجموع الطاقنتين الناتجتين عن العنفات الريحية والخلايا الكهروضمسية قامتا بتغطية

جزء كبير من الطاقة التي يحتاجها الحمل أثناء فترة الذروة، وبالتالي نكون قد وفرنا كمية كبيرة من الوقود الأحفوري الذي يؤدي إلى توفير في الكلفة المادية لهذا الوقود من دون حدوث انقطاع في الطاقة للحمل عند انخفاض قيمة الطاقة المقدمة من الخلايا الكهروضوئية وعنفات الرياح وهنا تكمن أهمية هذا النموذج وأهمية الأنظمة الهجينة .

الاستنتاجات والتوصيات:

- إن مصادر الطاقة المتجددة هي مصادر نظيفة مستدامة ولكنها غير ثابتة لأنها تعتمد على الظروف الجوية وتختلف بين الليل والنهار وبالتالي لا تلبى متطلبات الحمل في كل الأوقات .
- أثبتت الدراسة أن الانتقال إلى الأنظمة الهجينة يفيد في استثمار محاسن كل نوع من الطاقة والانتقال إلى نظام موثوق قادر على تلبية متطلبات الحمل وبأقل التكاليف .
- تزداد كفاءة الأنظمة الهجينة إذا استطعنا إدارة الموارد بشكل أمثل .
- بينت نتائج المحاكاة للنظام الهجين المقترح كمية التوفير في طاقة الوقود الأحفوري وما له من دور اقتصادي كبير في حال تم إدارة الموارد بشكل أمثل .
- نوصي بدراسة وتصميم نظام تنبؤي لتحديد كمية الطاقة المنتجة من الشبكة العامة التي تعمل على الطاقة الأحفورية من أجل أمثلة إدارة الموارد مع تحديد كمية الوقود الأحفوري التي تم توفيرها والتي يمكن أن تكون موضوع لبحث قادم، كما نوصي باستخدام الأنظمة الهجينة في سورية لما لها من دور اقتصادي هام في تقليل استهلاك الوقود الأحفوري وتأمين متطلبات الحمل الديناميكية والحفاظ على البيئة .

References:

1. Obaidullah Lodin.et al. *Modeling and Simulation of Wind Solar Hybrid System using Matlab/Simulink*. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering , Vol.8,No.9, 2019. 218-224.
2. Ngang, N.B, EzekielNamere Aneke. *A Step-By-Step Technique for using Simulink and MATLAB to model a PV-Wind hybrid system*, International Journal of Engineering Science , Vol.9,No.3,2020,81-90.
3. Hassas, M. Pourhossein, K. *Control and Management of Hybrid Renewable Energy Systems: Review and Comparison of Methods*. Journal of Operation and Automation in Power Engineering, Vol. 5, No. 2,2017,131-138.
4. Goyal, S .et al. *Optimization Strategies for Hybrid Energy System: A Review* . International Journal of Applied Engineering Research ,vol.2, No.3 ,2018, 110-118.
5. Althubaiti ,M. *Fuzzy Logic Controller for Hybrid Renewable Energy System with Multiple Types of Storage* . Master's thesis, Department of Electrical and Computer Engineering University of Alberta, 2018,67-100.
6. Rout, K . Sahu, J. *Various Optimization Techniques of Hybrid Renewable Energy Systems for Power Generation: A Review* . International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET),vol.4,2018,1173-1176 .
7. Fellah, B . Benyoucef, B . et al. *Optimal Sizing of A Hybrid Photovoltaic/Wind System Supplying A Desalination Unit* . Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 13, No. 6. 2018,1816 – 1833.
8. Bueno, L . *New Hybrid Neuro-Evolutionary Algorithms For Renewable Energy And Facilities Management Problems* . phd's thesis, universidad de Alcalá , 2018,96-140.

9. Dieulot, J. et al. *Economic supervisory predictive control of a hybrid power generation plant*. Electric Power Systems Research, 2018, 221-229.
10. Rajesh, K. et al. *Modeling and Simulation of Solar PV and DFIG Based Wind*, Science Direct, Vol.21,2015,667-675.
11. J.K. Shiau, Y.-C. Wei, and B.-C. Chen, *A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables*, Algorithms, Vol. 8, No. 2, 2015, 100–127.
12. S. Renewables, L. Voltage, G. Jos, and E. Monney. *Integration of Renewable Sources into Hybrid Renewable Energy Systems*. Journal of Engineering and Technology, vol.3, No.2, 2011, 1-30.
13. L. K. Gan, J. K. H. Shek, and M. A. Mueller. *Hybrid wind-photovoltaic-diesel-battery system sizing tool development using empirical approach, life-cycle cost and performance analysis: A case study in Scotland*, Energy Convers. Manag, vol. 106, No.1, 2015, 479–494.