

Comparison between performances of sugeno and mamdani fuzzy logic controllers in tracking maximum power point path in photovoltaic panels.

Dr.Oulfat Jolaha *
Rabih Ali Sbera **

(Received 25 / 4 / 2017. Accepted 2 / 11 / 2017)

□ ABSTRACT □

For importance of exploiting the alternative resources in generating electrical energy ,this research shows the study, analysis and simulation of photovoltaic system to maximum power point tracking of path in solar cells system that composed of: PV panel, fuzzy controller, DC-DC converter (buck converter) and load.

A tracking technique that depend on fuzzy logic controller is used for maximum power point tracking (MPPT) for getting the maximum power from PV panels.

Two types of fuzzy controllers are used: Mamdani and Sugeno , a comparison between the performances of each them is compared to choose the most suitable controller in maximum power point tracking of path.

High stability is achieved at high values of a fixed period of Duty Cycle by using DC-DC converters of the type buck converter.

Photovoltaic system components is modeled to find maximum power point tracking of path by using MATLAB/Simulink environment.

This paper shows effectiveness and quality of the performance Sugeno type-fuzzy logic controller in maximum power point tracking of path.

Key words: photovoltaic System, Maximum Power Point Tracking (MPPT),Fuzzy Logic Controller,Buck Convertor,Pulse Wide Modulation(PWM).

*Assistant Professor, computer and control engineering , Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Postgraduate student , computer and control engineering , Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقارنة بين أدائي المتحكمين الضبابيين من نوع Mamdani و Sugeno في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية في الألواح الكهروضوئية.

الدكتورة ألفت جولحة*

ربيع علي صبيره**

(تاريخ الإيداع 25 / 4 / 2017. قُبِلَ للنشر في 2 / 11 / 2017)

□ ملخّص □

نظراً لأهمية استغلال مصادر الطاقات البديلة (ومنها الطاقة الشمسية) في توليد الطاقة الكهربائية يقدم هذا البحث دراسة وتحليل ومحاكاة نظام كهروضوئي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية في نظام الخلايا الشمسية المكون من: الألواح الكهروضوئية والمتحكم الضبابي و المُبدّل المستمر الخافض للجهد و الحمل.

بسبب أهمية ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى (MPPT) للحصول على الاستطاعة العظمى من الألواح الكهروضوئية، تم اختيار تقنية ملاحقة تعتمد على المتحكم الضبابي.

تم استخدام كل من المتحكمين الضبابيين من نوع Sugeno ونوع Mamdani والمقارنة بين أدائهما لاختيار المتحكم الأنسب في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية.

وقد تحقق استقرار عال عند القيم العالية لثابت فترة توصيل المُبدّل (Duty Cycle) باستخدام مبدلات التيار المستمر من النوع الخافض للجهد (Buck converter).

تمت نمذجة مكونات النظام الكهروضوئي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية باستخدام بيئة MATLAB/Simulink بينت الدراسة من خلال المحاكاة فعالية وجودة أداء المتحكم الضبابي Sugeno في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية.

الكلمات المفتاحية: النظام الكهروضوئي، ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية (MPPT)، المتحكم الضبابي،

المبدل المستمر الخافض للجهد، معدل عرض نبضات PWM.

*مدرس - قسم هندسة الحاسبات و التحكم الألي_ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية_ جامعة تشرين _ اللاذقية_ سورية.
**طالب ماجستير - قسم هندسة الحاسبات و التحكم الألي_ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية_ جامعة تشرين_ اللاذقية_ سورية.

مقدمة

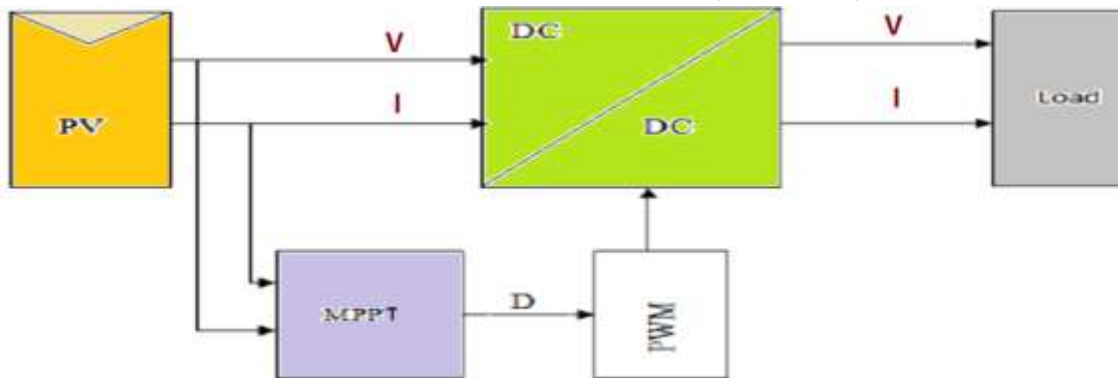
في الآونة الأخيرة، تسعى معظم البلدان بما فيها سوريا لاستخدام مصادر بديلة للطاقة الكهربائية عوضاً عن الوقود الأحفوري (النفط والغاز والفحم... الخ) الذي يساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري بسبب غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عنه، بالإضافة إلى ارتفاع أسعاره وقلة توافره فضلاً عن التلوث البيئي الذي يحدثه. وإن الحل لهذه المشاكل كان بالبحث عن مصادر للطاقات المتجددة التي تلعب دوراً هاماً في توليد الطاقة الكهربائية ومنها الطاقة الشمسية و طاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية الخ....

الطاقة الشمسية هي من أفضل أنواع الطاقات المتجددة، وتعتبر خياراً جيداً لتوليد الطاقة الكهربائية، وذلك بسبب إمكانية تحويلها مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام ألواح الخلايا الكهروضوئية [1].

يمكن استخدام أنظمة الخلايا الكهروضوئية كأنظمة قائمة بحد ذاتها لإنارة الشوارع و شحن السيارات الكهربائية، شحن المدخرات وتأمين الكهرباء للمنازل وتطبيقات الفضاء والخ. ولقد تم اقتراح العديد من الخطط التي تهدف إلى الاستغناء عن النفط بحلول عام 2050 [1,2].

المخطط الصندوقي للنظام الكهروضوئي مبين في الشكل (1) ويتألف من المكونات الآتية:

لوح الخلايا الكهروضوئية ومبدل التيار المستمر DC-DC الخافض للجهد (Buck converter) والحمل، بالإضافة إلى المكونات السابقة للنظام الكهروضوئي يتم استخدام تقنية لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية، وقد تم في هذه الدراسة الاعتماد على المتحكم المنطقي الضبابي. ويلاحظ في الشكل (1) وجود معدل عرض نبضات PWM للتحكم بثابت فترة التوصيل للمبدل (Duty cycle).



الشكل (1): المخطط الصندوقي لمكونات النظام الكهروضوئي [3].

يمكن تعقب مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية ميكانيكياً عن طريق ملاحقة مسار الشمس بتحريك الألواح الكهروضوئية ولكن أثبتت هذه الطريقة عدم فعاليتها نظراً لكلفتها العالية والأعطال في الأجهزة الكهربائية والميكانيكية المكونة لنظام الملاحقة وانخفاض دقتها في الملاحقة [4]، لذلك ويتم استخدام معها تقنيات تطبق على أنواع مختلفة من المتحكمات كالمحكمات الضبابية.

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف من هذا البحث هو تصميم متحكم ضبابي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية ، وقد تم استخدام نوعين من تلك المتحكمات الضبابية Sugeno و Mamdani ومقارنة أدائهما للوصول إلى المتحكم الأفضل.

كذلك تم دراسة تأثير تغير درجة الحرارة وتغير قيمة الإشعاع الشمسي على لوح الخلايا الكهروضوئي، وقد تم استخدام بيئة MATLAB/Simulink في إجراء محاكاة للوح الخلايا الكهروضوئية لدراسة تأثير درجة الحرارة والإشعاع الشمسي على لوح الخلايا الكهروضوئية، بالإضافة إلى إجراء محاكاة للنظام الكهروضوئي مع استخدام المتحكمين المنطقيين الضبابيين (Mamdani & Sugeno) لتحديد أيهما أفضل في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية.

طرائق البحث وموارده:

يقدم هذا البحث تحليلاً لمعادلات ومميزات العمل ومبدأ عمل الخلية الكهروضوئية وتحليلاً لتقنيات ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى و دراسة عمل نظام ملاحقة (MPPT) الذي يعتمد على تقنية الملاحقة باستخدام المتحكمات المنطقية الضبابية بهدف اختيار التقنية الأفضل. بالإضافة إلى إجراء مقارنة بين أنواع مبدلات التيار المستمر ونمذجة عمل المبدل الأفضل باستخدام بيئة MATLAB/Simulink و إجراء دراسة تفصيلية لعمل معدل عرض النبضات PWM للتحكم بمفتاح المبدل لإبقاء النظام يعمل في جوار نقطة الاستطاعة الأعظمية و نمذجة عمله باستخدام MATLAB/Simulink .

تم الاطلاع على أفضل الشركات المصنعة للخلايا الكهروضوئية في العالم، وأصدرت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) تصنيفاً تبين فيه أفضل عشرة شركات رائدة في هذا المجال وهي: Trina solar و Yingli gree و Canadian solar و JA Solar و Inko Solar و Sharp Solar و Renesola-First Solar و Hanwha SolarOne و KYOCERA [5,6] .

وقد تم اختيار الخلايا الكهروضوئية من شركة كيوسيرا (KYOCERA) لأنها أجرت تعديلاً على سطح اللوح وجعل الانعكاس أقل ما يمكن، مما أدى إلى زيادة الكفاءة بمقدار 16% تقريباً. وتعتبر هذه القيمة أعلى نسبة زيادة في الكفاءة تم الحصول عليها، بالإضافة إلى أن شركة (KYOCERA) قد تفوقت على عدد كبير من الشركات من ناحية الجودة والسعر والاستطاعة الذي يقدمها اللوح. إن آخر موديل أنتجته أطلقت عليه اسم KC200GT، يقدم هذا الموديل استطاعة عظمى قيمتها 200Watt تقريباً [data sheet] وقد تم اعتماد هذا الموديل في هذا البحث.

المتحكمات المنطقية الضبابية (Fuzzy logic controllers)

المنطق الضبابي هو عبارة عن طريقة لجعل الآلات أكثر ذكاءً (أكثر قرباً للتفكير البشري مقارنة مع بقية الأنظمة المنطقية) لكي تتصرف وتقرر مثل الإنسان. حيث إن التحكم المتقدم يعتمد على تقنيات ذكية تسمى المتحكمات الذكية ومنها المتحكمات المنطقية الضبابية التي استمدت من نظرية المجموعة الضبابية التي قدمها العالم (Zadeh) في العام 1965 [7]. تؤمن هذه المتحكمات خوارزمية لتحويل استراتيجيات التحكم اللغوية بالاعتماد على المعلومات المتوفرة إلى استراتيجيات تحكم آلية، وتكون فعالة جداً عندما تكون العمليات والأنظمة معقدة ومصادر المعلومات المتوفرة عن النظام المدروس غير واضحة ومتداخلة، ولكن عملية إيجاد المجموعات الضبابية الصحيحة والمتغيرات الخاصة بالنظام المدروس تستغرق وقتاً طويلاً، وقد أثبتت الدراسات تفوق هذه المتحكمات على العديد من المتحكمات التقليدية [8]. يوجد نوعين من المتحكمات المنطقية الضبابية متحكمات من النوع (Mamdani) ومتحكمات من النوع (Sugeno) وتختلف عن بعضها فقط بطريقة الحصول على الخرج الحقيقي بالاعتماد على الدخل الضبابي، حيث أن المتحكم الأول يمكن الحصول على خرجه بالاعتماد على تقنية فك التضمين (Deffuzification)، بينما

المتحكم الثاني عن طريق متوسط الأوزان (Weight average). وإن مجالات استخدام كل من المتحكمين تكون في الأنظمة التي تعتمد على التنبؤ و الأمثلية [9].

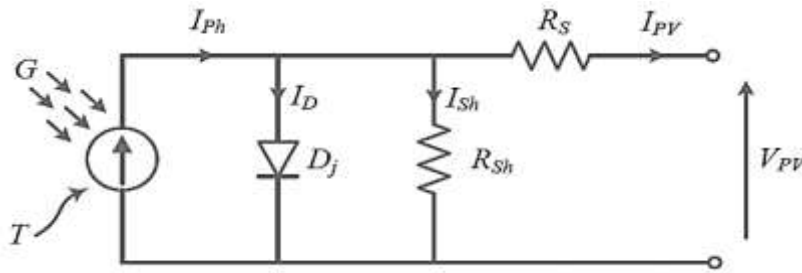
النظام الكهروضوئي

فيما يلي يتم عرض أجزاء النظام الكهروضوئي المبين في الشكل (1) بالتفصيل.

لوح الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic cells panel)

الخلايا الكهروضوئية عبارة عن عناصر الكترونية يتم فيها تجميع لمجموعة من المواد التي تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى تيار كهربائي مستمر. يتناسب التيار الكهربائي المولد من الخلية الكهروضوئية (الشمسية) مع الإشعاع الشمسي وذلك باستخدام عناصر لديها القدرة على ذلك، مثل السليكون الذي يستخرج من الرمل النقي والذي يؤدي سقوط أشعة الشمس (الضوء) عليه إلى إحداث حركة في الالكترونات التي تؤدي حركتها إلى توليد تيار كهربائي. تستطيع الخلايا الكهروضوئية توليد جهد يتراوح بين 0.5 و 0.8 فولت، ونتيجة أن قيمة الاستطاعة المولدة من الخلايا الكهروضوئية صغيرة يتم ربط هذه الخلايا مع بعضها بشكل تسلسلي لزيادة الجهد أو تفرعي لزيادة التيار مشكلة بذلك لوح الخلايا الكهروضوئية [10].

تُمثل الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية في الشكل (2)، حيث تتكون تلك الدارة من منبع تيار I_{ph} وديود على التفرع ومقاومتان: الأولى تفرعية R_{sh} والثانية تسلسلية R_s تتعلقان بصناعة اللوح [11].



الشكل (2): الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية.

$$(1) \quad I_{pvn} = \frac{R_{sh} + R_s}{R_p} I_{scn} \quad \text{يعطى تيار الخلية الكهروضوئية الاسمي } I_{pvn} \text{ بالعلاقة [9]:}$$

حيث R_s المقاومة التسلسلية و R_{sh} المقاومة التفرعية و I_{scn} تيار القصر المرجعي.

$$(2) \quad V_t = \frac{N_s \cdot K \cdot T}{q} \quad \text{يعطى الجهد الحراري } V_t \text{ بالعلاقة [12]:}$$

حيث N_s عدد الخلايا الموصولة تسلسلياً و T درجة الحرارة الحالية مقدره بالكلفن و k ثابت بولتزمان $(1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$ و q شحنة الالكترون $(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$.

$$(3) \quad I_{pv} = (I_{pvn} + K_i \cdot \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad \text{يعطى تيار الخلية الكهروضوئية } I_{pv} \text{ بالعلاقة [12]:}$$

حيث G شدة الإشعاع الشمسي الحالي $[W/m^2]$ و G_n الإشعاع الشمسي المعياري $[W/m^2]$.

$$(4) \quad I_o = \frac{I_{scn} + K_i \cdot \Delta T}{\exp\left(\frac{V_{ocn} + K_v \Delta T}{aV_t}\right) - 1} \quad \text{يعطى تيار الإشباع للخلية الكهروضوئية } I_o \text{ بالعلاقة [12]:}$$

حيث a عامل التيار الحراري $[A/C]$ و K_i معامل التيار الحراري و A/K واحدته K_v معامل الجهد الحراري و V_{ocn} جهد الدارة المفتوحة الحالي.

$$(5) \quad I = I_{pv}N_p - I_0N_p \left[\exp \left[\frac{V + R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) I}{aV_t} \right] - 1 \right] - \frac{V + R_s}{R_p}$$

حيث N_p عدد الخلايا الموصولة تفرعياً و V هو جهد الخرج للوح الكهروضوئي.

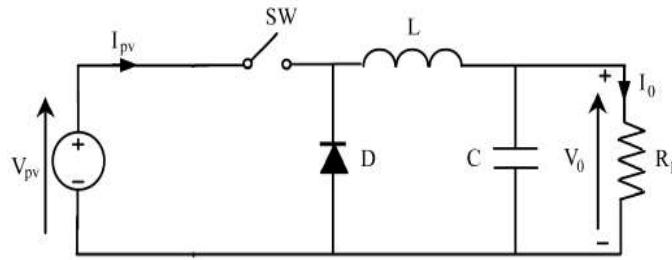
$$(6) \quad I_m = I_{pv}N_p - I_0N_p \left[\exp \left[\frac{V + R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) I}{aV_t} \right] - 1 \right]$$

: [12]

مبدلات التيار المستمر DC-DC Converter

تستخدم مبدلات التيار المستمر من أجل تنظيم الجهد القادم إليها من لوح الخلايا الكهروضوئية. بحيث يتم ضبط ثابت فترة التوصيل للمبدل (Duty cycle) لتقديم الجهد المطلوب إلى الحمل، حيث تقوم بزيادة الجهد أو إنقاظه أو الزيادة والإنقاص معاً [11]. ويوجد ثلاثة أنواع من مبدلات التيار المستمر هي : مبدلات خافضة للجهد (Converter Buck) و مبدلات رافعة للجهد Boost Converter و مبدلات خافضة-رافعة للجهد Buck-Boost [13]. Converter.

يبين الشكل (3) الدارة المكافئة للمبدل الخافض للجهد (Buck Converter).



الشكل(3): مبدل خافض للجهد Buck Converter [13].

تعتبر عملية ضبط قيم بارامترات المبدلات DC-DC وهي (سعة المكثف وتحريض الملف والمقاومة) مهمة جداً للحصول على الخرج المطلوب حيث إن المعادلات المستخدمة لحساب بارامترات المبدل (Buck Converter) هي كالتالي:

$$(7) \quad D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad \text{باستخدام العلاقة [14]:}$$

حيث D : نسبة التشغيل و V_{in} جهد الدخل للمبدل و V_{out} جهد الخرج للمبدل وواحدتهما V .

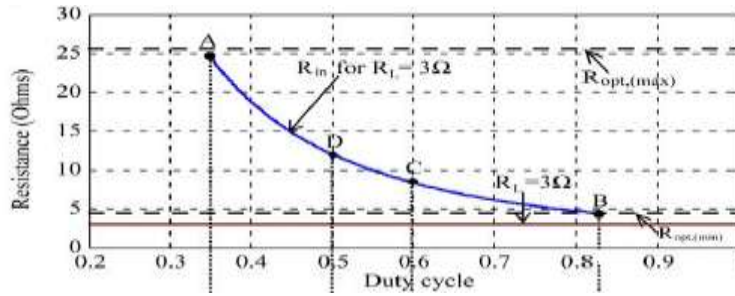
$$(8) \quad C = \frac{I_{ripple}}{8 * F_s * \Delta V} \quad \text{بحسب قيمة سعة المكثف بالعلاقة [14]:}$$

حيث C سعة المكثف و واحدتها F و F_s تردد النقطيع وواحدته هرتز : و I_{ripple} هو تيار الانحراف وواحدته A

$$(9) \quad L = \frac{D[V_{in} - V_{out}]}{I_{ripple} * F_s} \quad \text{بحسب قيمة تحريض الملف بالعلاقة [14]:}$$

حيث L تحريض الملف و واحدته H .

وتحسب قيمة مقاومة الحمل باستخدام مميزة الأحمال المبينة في الشكل (4) [13].



الشكل(4): مميزة قيم المقاومات عند كل Duty Cycle [13].

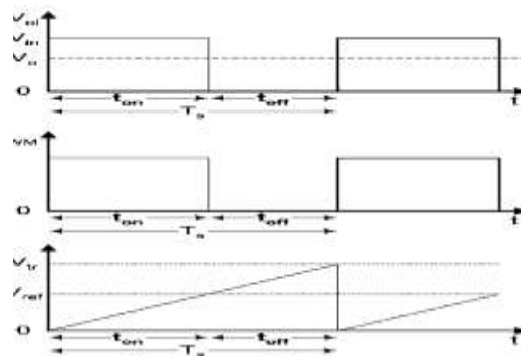
من أجل اختيار قيم البارامترات بشكل مثالي يوجد معايير تحدد قيم بعض البارامترات وهي تردد التقطيع المثالي الخاص ب Switch المبدل Buck converter هو 50 KHZ [10] و $\Delta V = 1\%$ من جهد الخرج [14]. بناءً على المقارنات بين أنواع مبدلات التيار المستمر في الدراسات [15,16,17] تم التوصل إلى النتائج المذكورة في الجدول (1). وقد وجد أن المبدل الخافض للجهد (Buck Converter) أفضل من ناحية تحقيق الاستقرار عند القيم العالية Duty Cycle، عادة يتم تجنب استخدام المبدل Buck-Boost Converter بسبب تعقيد التصميم وكلفته العالية [18].

الجدول(1): مقارنة لمبدلات التيار المستمر.

المبدل الرافع للجهد (Boost Converter)	المبدل الخافض للجهد (Buck Converter)
يستخدم عندما تكون قيم Duty Cycle أقل من 0.6 [13].	يستخدم عندما تكون قيم Duty Cycle عالية أكبر من 0.6 [13].
يمتاز بمردود 91.2% عند تكون قيمة مقاومة الحمل أقل من 5 أوم [19].	يمتاز بالبساطة والمردود العالي تقريبا 97.2% عندما تكون قيمة مقاومة حمل أقل من 5 أوم [19].

معدل عرض النبضة (Pulse Width Modulator) PWM

إن المهمة الأساسية لمعدل عرض النبضة توليد ثوابت فترة توصيل (Duty Cycle) مختلفة، ويتم الحصول على إشارة PWM (Duty Cycle) عن طريق مقارنة جهد مرجعي (V_{ref}) مع موجة مثلثية ذات مطال وتردد ثابت كما هو موضح في الشكل (5) [20]. تحسب قيمة Duty Cycle عن طريق إيجاد النسبة مئوية بين المدة الزمنية t_{on} إلى مجموع المديتين الزمنيتين t_{on} و t_{off} وفق العلاقة (10) ومجالها $0 \leq \text{Duty Cycle} \leq 1$.



الشكل(5): توليد إشارة PWM (Duty Cycle) [16].

$$(10) \quad \text{Duty Cycle} = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} * 100\% = \frac{t_{on}}{t_s} * 100\%$$

(11) حيث أن t_{on} زمن تمرير النبضة t_{off} زمن عدم تمرير النبضة. $t_s = t_{on} + t_{off}$.
 بحيث تكون مهمة ال PWM في النظام الكهروضوئي التحكم في المدة الزمنية لفتح وإغلاق قاطعة المبدل
 (Buck converter)[21].

تقنيات ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة العظمى

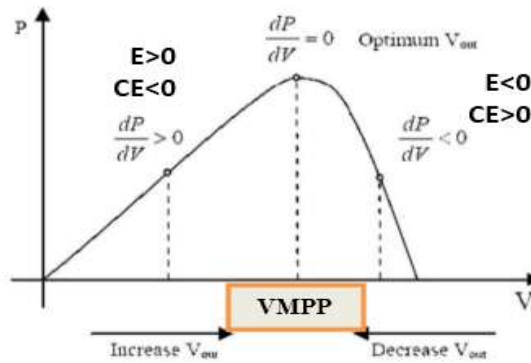
تأتي أهمية تقنيات الملاحقة في تحسين كفاءة تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية في الخلايا الكهروضوئية حيث إنها تبلغ بشكل عام حوالي (12% - 20%) في أفضل الظروف [10], وذلك بسبب عدة عوامل نذكر منها ما يلي: وجود الغيوم و زاوية اللوح بالنسبة للشمس و قيمة الإشعاع الشمسي التي تختلف حسب موقع الأرض من الشمس وكذلك وجود الغبار في الجو وعلى ألواح الخلايا الكهروضوئية. ولقد استخدمت عدة تقنيات أجل ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية بهدف زيادة الكفاءة. بعض التقنيات التي استخدمت كانت تعتمد على تحريك لوح الخلايا الكهروضوئية لملاحقة مسار الشمس للحصول على أفضل استطاعة. والتي أثبتت عدم كفاءتها لوحدها لما لها من سلبيات منها كلفتها المرتفعة و الأعطال الميكانيكية وعدم الدقة والبطء في الاستجابة للتغيرات البسيطة في درجة الحرارة والإشعاع الشمسي [4], و قد وُجدت العديد من تقنيات ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية التي استخدمت وأفضلها كانت الملاحقة باستخدام ("Pertrub&Observe"P&O) والملاحقة باستخدام المتحكمات المنطقية الضبابية [10].

الحمل Load

إن الحمل هو الجزء الذي يتم العمل من أجله باستمرار كي تصل إليه الطاقة الكهربائية وبأعظم قيمة وذلك حسب طبيعة الحمل ونوعه، حيث يمكن أن يكون مصدراً للإضاءة أو مدخراً يستفاد منها في الليل في تغذية الأحمال أو قد يوصل الحمل إلى مبدل من مستمر (DC-AC) إلى متناوب لتغذية الأجهزة التي تعمل بالتيار المتناوب.

كيفية عمل المتحكم للمحافظة على قيمة الاستطاعة العظمى [22,23]

يظهر الشكل (6) مميزة العمل للخلية الكهروضوئية وهي تمثل بمنحني الاستطاعة بدلالة الجهد. حتى نبين كيف يعمل المتحكم المنطقي الضبابي للحفاظ على نقطة الاستطاعة الأعظمية نلاحظ من الشكل (9) بأنه عند نقطة الاستطاعة العظمى يكون $(dp/dv)=0$.



الشكل (6): مميزة عمل الخلية الكهروضوئية.

لذلك يتم العمل باستمرار على حساب (dp/dv) في حال كانت $(dp/dv) > 0$ يقوم المتحكم باتخاذ قرار من أجل زيادة قيمة الخرج (Duty cycle) وذلك من أجل زيادة الجهد حتى يصبح القيمة $(dp/dv) = 0$. وفي حال كانت قيمة $(dp/dv) < 0$ يقوم المتحكم باتخاذ قرار من أجل إنقاص قيمة الخرج (Duty cycle) وذلك من أجل إنقاص قيمة الجهد حتى تصبح القيمة $(dp/dv) = 0$. مما سبق نجد أن قيمة الخطأ (E) تدل على مكان توضع نقطة الاستطاعة. فإذا كان الخطأ موجباً فإن نقطة الاستطاعة العظمى تقع على المنحني من جهة اليسار وإذا كان سالباً فإن نقطة الاستطاعة العظمى تقع على المنحني من جهة اليمين. وكذلك نجد أن قيمة تغير الخطأ (CE) تدل على اتجاه حركة نقطة الاستطاعة العظمى فإذا كانت قيمة التغير سالبة فإن نقطة الاستطاعة العظمى تتحرك من اليسار إلى اليمين وإذا كانت موجبة فإن نقطة الاستطاعة العظمى تتحرك من اليمين باتجاه اليسار.

إذا كان آخر تغير في إشارة المتحكم (Duty ratio "D") أدى إلى زيادة قيمة الاستطاعة عندها يجب أن تتم المتابعة في تحريك نقطة الاستطاعة في نفس الاتجاه وإلا فإنه يجب تحريكها في الاتجاه المعاكس، وبناءً على ذلك نختار القواعد الضبابية التي ستطبق على المتحكم الضبابي.

4- تصميم المتحكم المنطقي الضبابي المقترح لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية

باعتبار أن نظام الخلايا الكهروضوئية هو نظام لا خطي يمكننا استخدام المتحكمات الضبابية لتحقيق استقرار عند نقطة الاستطاعة العظمى. وللمتحكمات الضبابية عدة مزايا نذكر منها أنها مناسبة للأنظمة التقاربية اللاخطية وهي مناسبة عندما يكون ضبط بارامترات المعادلة الرياضية غير ممكن. وهي تعمل مع متغيرات دخل ذات دقة قليلة. توابع الانتماء في المتحكمات الضبابية تحتاج إلى قواعد وبيانات أقل من بقية المتحكمات اللاخطية، لذلك فهي تعتبر أكثر فاعلية من بقية المتحكمات اللاخطية، ولكن بالمقابل تتطلب من المصمم معرفة كاملة عن العمليات التي يقوم بها نظام الخلايا الكهروضوئية [17].

إن المتحكم الضبابي المستخدم من أجل ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية له دخلين هما الخطأ (E) وتغير الخطأ (CE) وخرج وحيد نسبة التشغيل هو (Duty ratio "D"). يعطى الخطأ

$$E(k) = \frac{P(K) - P(K-1)}{V(K) - V(K-1)} \quad \text{الخطأ} \quad (12)$$

بالعلاقة [18]:

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad \text{تغير الخطأ} \quad (13)$$

يعطى تغير الخطأ بالعلاقة [18]:

حيث إن P هي الاستطاعة و V الجهد و K هي اللحظة الزمنية التي تؤخذ عندها قيمة كل من الاستطاعة والجهد.

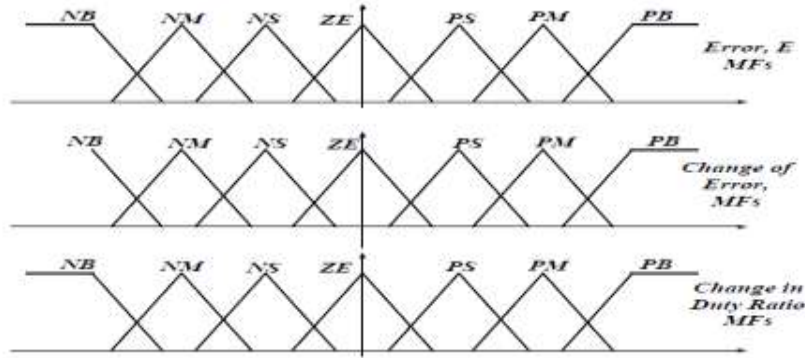
عدد توابع الانتماء المستخدمة يعتمد على الدقة المطلوبة للمتحكم الضبابي ويتراوح عددها بين خمس إلى سبع توابع انتماء [23].

في هذه الدراسة تم استخدام سبعة توابع انتماء لكل دخل (E, CE) وسبعة توابع انتماء للخرج (Duty ratio) وهذه التوابع موضحة في الجدول (2).

الجدول(2): توابع الانتماء.

اسم تابع الانتماء	دلالاته
NB	Negative Big
NM	Negative Medium
NS	Negative Small
ZE	Zero
PS	Positive Small
PM	Positive Medium
PB	Positive Big

ولقد تم استخدام من أجل الدخل خمسة توابع انتماء من النوع المثلثي وذلك لبيساطتها وتابعين من النوع trap. وكذلك تم استخدام من أجل الخرج خمسة توابع انتماء للخرج من النوع المثلثي وتابعين من النوع trap, وهذا موضح في الشكل(7)[24].



الشكل(7): توابع الانتماء المطبقة على كل من المتحكمين الضبابيين[24].

بعد أن قمنا بتطبيق عدد مختلف من القواعد على المتحكمين الضبابيين Mamdani & Sugeno حققت القواعد المذكورة في الجدول(3) أفضل نتيجة لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية، ولم يتغير أداء المتحكم الأفضل باختلاف القواعد المطبقة.

الجدول(3): القواعد المطبقة على المتحكم الضبابي.

E \ CE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NM	NS	NS	PS	PM	PB
NM	NM	NS	NS	NS	PS	PS	PM
NS	NS	ZE	NS	NS	PS	PS	PS
ZE	ZE	NS	ZE	ZE	PS	NS	NS
PS	PS	PS	PS	PS	NS	NS	NS
PM	PS	PS	PS	PS	ZE	NM	NM
PB	PB	PM	PS	PS	NM	NB	NB

5- النمذجة والمحاكاة

تم استخدام بيئة MATLAB/Simulink من أجل نمذجة ومحاكاة النظام الكهروضوئي بما فيه نظام ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية.

5-1 نمذجة اللوح الكهروضوئي:

تم الاعتماد على الموديل KC200GT الذي طرحتته شركة KYOCERA وله المواصفات الاسمية المبينة في الجدول(4). ويبين الشكل(8) نموذج اللوح الكهروضوئي باستخدام MATLAB/Simulink.

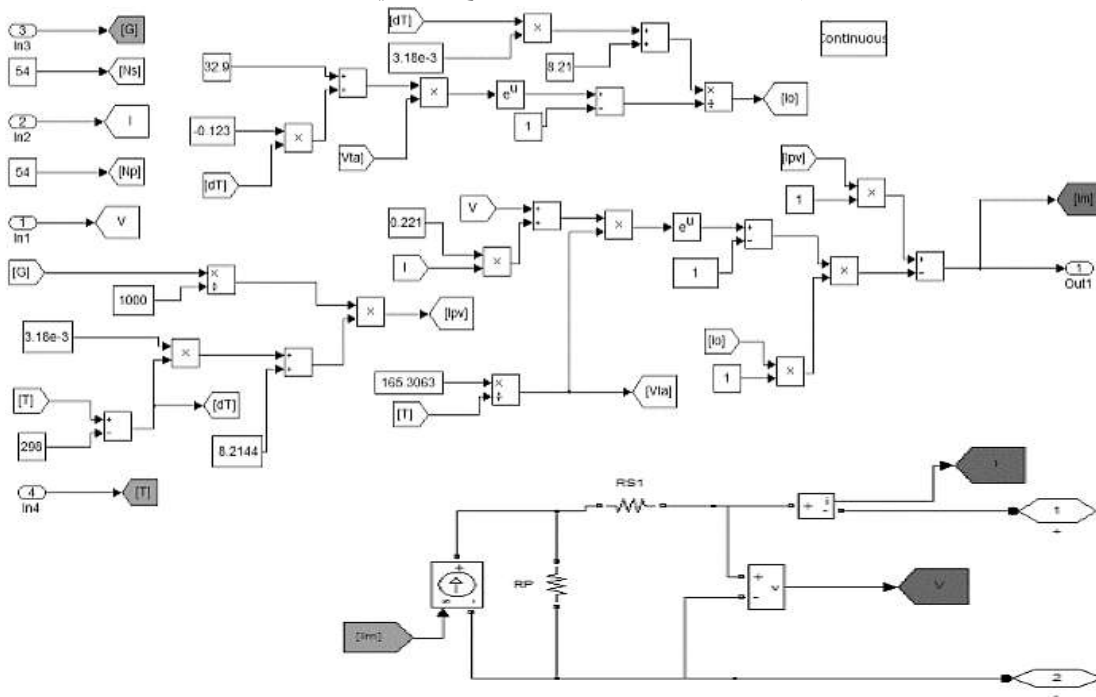
الجدول (4): المواصفات الكهربائية للوح الكهروضوئي KC200GT [25].

الوح الكهروضوئي KC200GT	
البارامتر	قيمة البارامتر
تيار القصر I_{sc}	8.21A
جهد الدارة المفتوحة V_{oc}	32.9V
تيار العمل الأعظمي V_{max}	7.61 A
جهد العمل الأعظمي I_{max}	26.3 V
الاستطاعة العظمى P_{max}	200.14 W
ثابت الديود α	1.3
المقاومة التسلسلية R_s	0.221 Ω
المقاومة التفرعية R_p	415.405 Ω
عامل التيار الحراري K_i	0.0032 A/K
عامل الجهد الحراري K_v	- 0.123 V/K
ملاحظة: هذه القيم مأخوذة عند درجة الحرارة $25C^{\circ}$ -الإشعاع $1000[W/m^2]$	

$$(14) \quad \eta_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \quad \text{وتعطى نسبة الفعالية للوح الخلايا الكهروضوئي وفق}$$

العلاقة [26]:

حيث P_{\max} هي أعظم قيمة للاستطاعة يتم الحصول عليها أثناء ملاحقة نقطة الاستطاعة الاعظمية و P_{in} هي أعظم قيمة للاستطاعة وذلك عند القيم الإسمية لكل من الحرارة والإشعاع الشمسي.



الشكل (8): نموذج اللوح الكهروضوئي.

5-1-1 دراسة تأثير تغير درجة الحرارة على خرج اللوح الكهروضوئي

تمت محاكاة اللوح الكهروضوئي عند قيمة إشعاع شمسي 1000 W/m^2 . وقد تم الحصول على قيم الجهد والتيار والاستطاعة عند درجات حرارة مختلفة وهي مبينة في الجدول (5). وكذلك تم رسم منحنيات التيار والاستطاعة بدلالة الجهد المبينة في الشكل (9) والشكل (10) على التوالي.

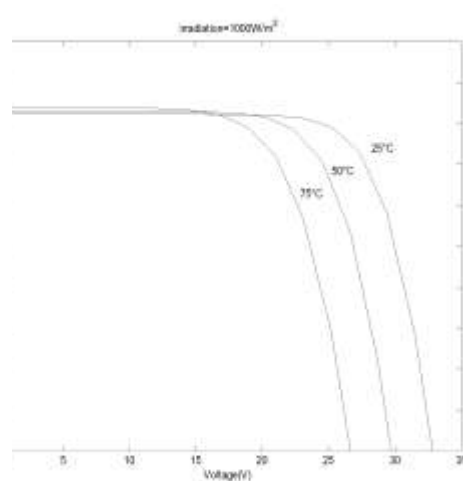
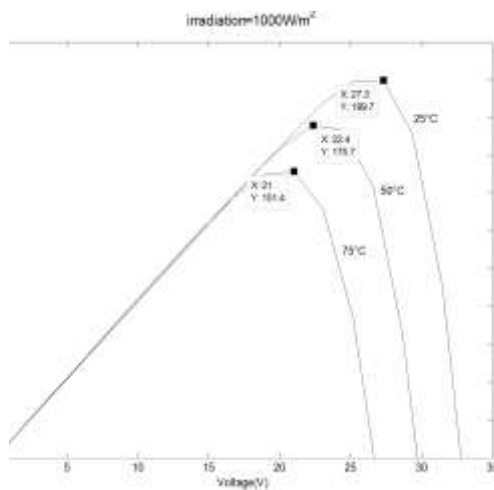
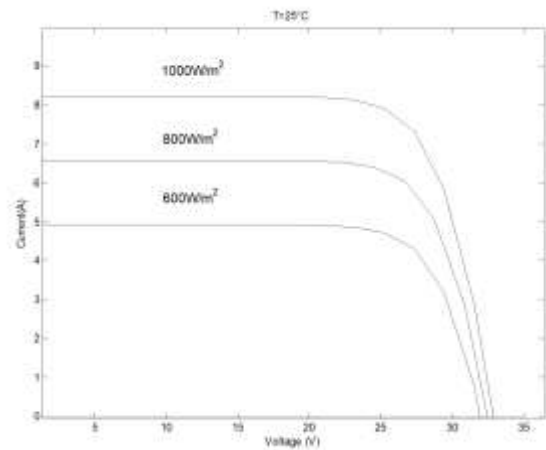
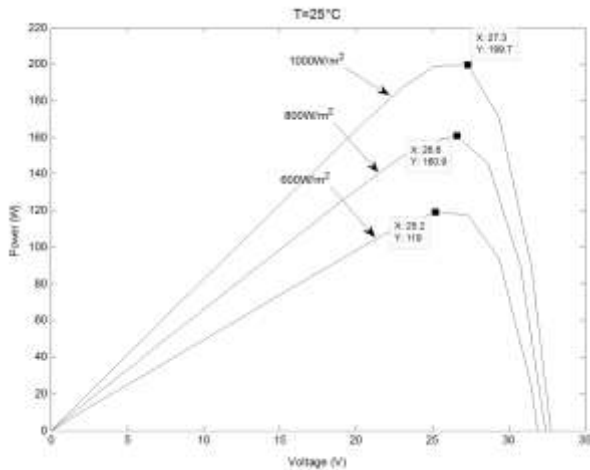
نلاحظ أنه مع ازدياد درجة الحرارة وثبات الإشعاع الشمسي تتناقص الاستطاعة التي يقدمها اللوح الكهروضوئي (أي يتناقص الجهد الناتج) وتكون قيمة التيار شبه ثابتة أي نحصل على أفضل استطاعة عند درجة الحرارة 25°C ، كما هو موضح في الجدول (5).

الجدول(5): نتائج تغير درجة الحرارة على اللوح الكهروضوئي.

الإشعاع الشمسي $1000\text{W}/\text{m}^2$			
الاستطاعة P_{max} [W]	التيار I_{mpp} [A]	الجهد V_{mpp} [V]	درجات الحرارة
199.7	7.31	27.3	25°C
175.7	7.8	22.4	50°C
151.4	7.2	21	75°C

5-1-2 دراسة تأثير تغير الإشعاع الشمسي على خرج اللوح الكهروضوئي

تمت محاكاة اللوح الكهروضوئي عند درجة حرارة ثابتة $T = 25^{\circ}\text{C}$ وقيمة اشعاع شمسي متغيرة. وقد تم الحصول على القيم المبينة في الجدول (6). وقد تم رسم منحنيات التيار والاستطاعة بدلالة الجهد كما هو مبين في



الشكل

الشكل (10): منحنيات الاستطاعة بدلالة الجهد.

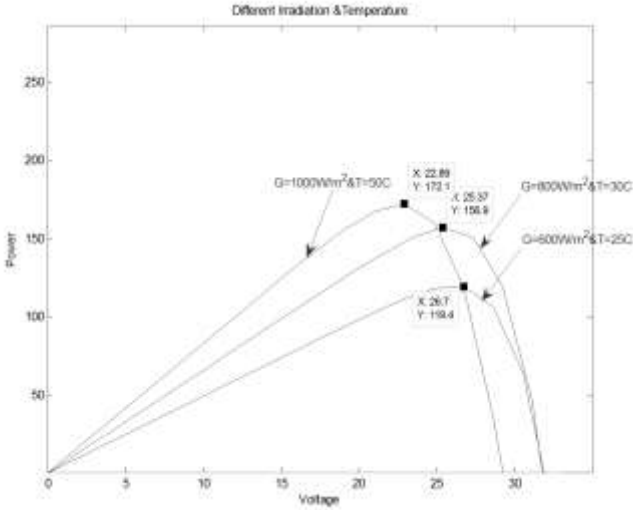
الشكل (9): منحنيات التيار بدلالة الجهد.

الشكل (11) والشكل (12) على التوالي.

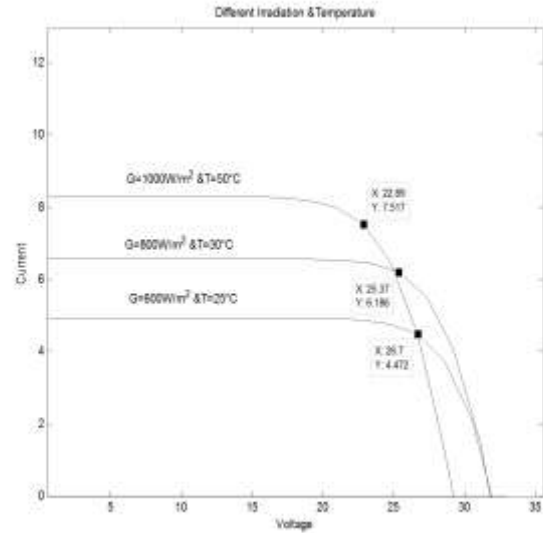
الجدول(6): نتائج تغير الإشعاع على اللوح الكهروضوئي.

درجة الحرارة 25°C			
الإشعاع الشمسي	الجهد V_{mpp} [V]	التيار I_{mpp} [A]	الاستطاعة P_{max} [w]
1000W/m ²	27.3	7.31	199.7
800W/m ²	26.6	6.04	160.9
600W/m ²	25.2	4.71	119

نلاحظ أنه مع تناقص الإشعاع الشمسي وثبات درجة الحرارة تتناقص الاستطاعة التي يقدمها اللوح الكهروضوئي (أي يتناقص الجهد والتيار) أي نحصل على أفضل استطاعة عند إشعاع شمسي 1000W/m².



الشكل (14): منحنيات الاستطاعة بدلالة الجهد.



الشكل (13): منحنيات التيار بدلالة الجهد.

3-1-5 دراسة تأثير تغير الإشعاع الشمسي وتغير درجة الحرارة على خرج اللوح

الكهروضوئي

تمت محاكاة اللوح الكهروضوئي بعد تغيير كل من الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، وقد تم الحصول على قيم الجهد والتيار والاستطاعة عند إشعاع شمسي متغير ودرجات حرارة متغيرة، كما هو مبين في الجدول(7). كما تم رسم منحنيات التيار والاستطاعة بدلالة الجهد و هو مبين في الشكل(13) والشكل(14)على التوالي.

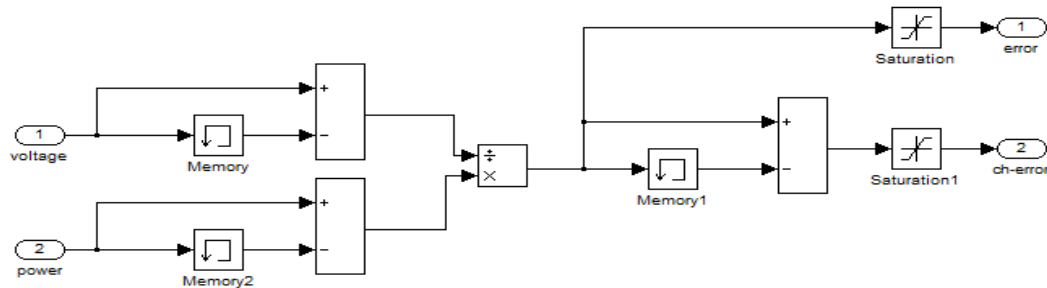
الجدول(7): نتائج تغير درجة الحرارة والإشعاع على اللوح الكهروضوئي.

الإشعاع الشمسي	درجة الحرارة	الجهد [V]	التيار [A]	الاستطاعة [W]
1000W/m ²	50°C	22.89	7.51	172.1
800W/m ²	30°C	25.37	6.18	156.9
600W/m ²	25°C	26.7	4.47	119.4

نلاحظ أنه مع تناقص الإشعاع الشمسي وتناقص درجة الحرارة تتناقص الاستطاعة التي يقدمها اللوح الكهروضوئي (أي يتناقص التيار ويزداد الجهد) أي نحصل على أفضل استطاعة عند إشعاع شمسي 1000W/m² ودرجة حرارة 50°C، ولكن نلاحظ أن قيمة الاستطاعة تناقصت بشكل ملحوظ .

5-2 نمذجة مداخل المتحكم الضبابي (الخطأ E وتغير الخطأ CE)

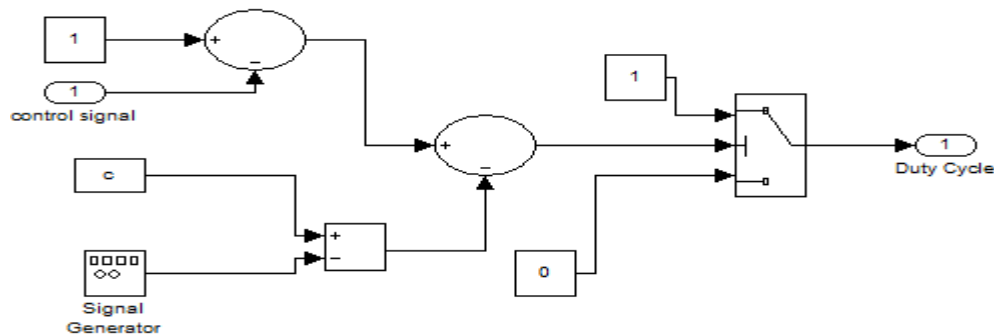
قمنا بربط خرج اللوح الكهروضوئي (Power-Voltage) مع بلوك حساب كل من الخطأ وتغير الخطأ للحصول باستمرار على قيمة الخطأ وتغيره كما هو مبين في الشكل (15).



الشكل (15): نموذج حساب قيمة الخطأ E وتغير الخطأ CE.

5-3 نمذجة معدل عرض النبضة (PWM)

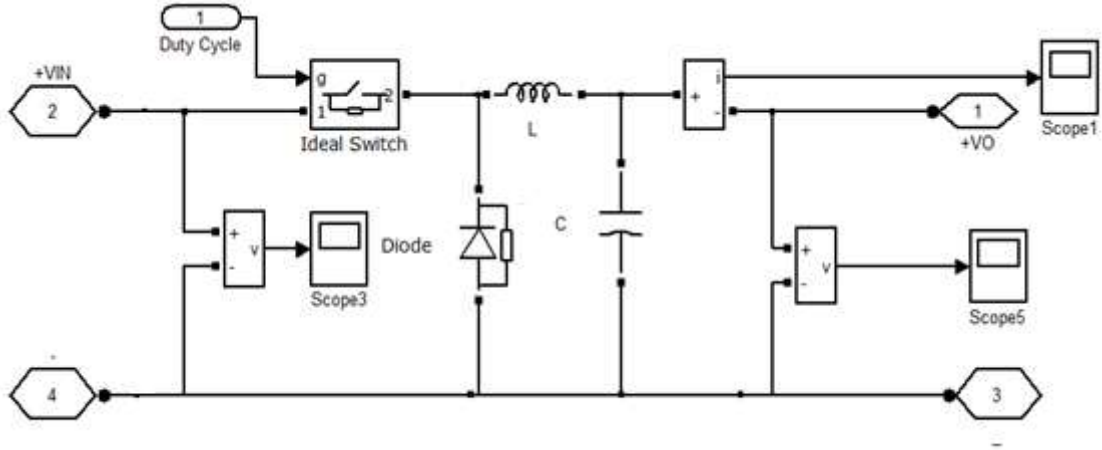
تم ربط خرج المتحكم الضبابي (Duty ratio) مع معدل عرض النبضات للحصول على نبضات مربعة بفترات زمنية مختلفة (Duty Cycle) بعد مقارنة إشارة المتحكم مع إشارة مرجعية بتردد 50KHZ ومطال 1V من أجل التحكم بفترات عمل المبدل الخافض للجهد كما هو مبين في الشكل(16).



الشكل(16): معدل عرض النبضات (PWM).

5-4 نمذجة المبدل الخافض للجهد Buck Converter

تم ربط خرج PWM (Duty Cycle) مع المبدل الخافض للجهد بواسطة ال ideal switch من أجل التحكم بفترات تمرير وعدم تمرير التيار من أجل التحكم بجهد الخرج كما هو مبين في الشكل(17).



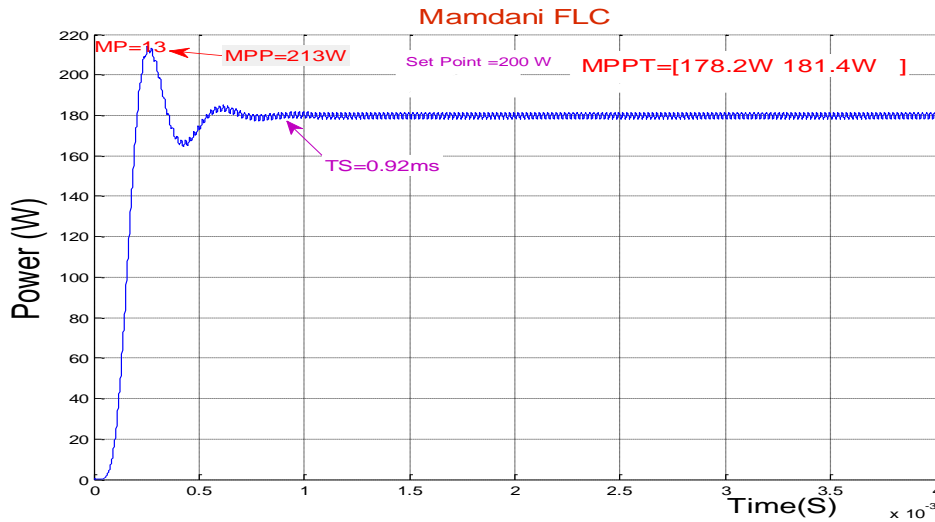
الشكل(17): نموذج المبدل Buck Converter.

النتائج والمناقشة

تمت نمذجة ومحاكاة النظام باستخدام بيئة MATLAB/Simulink, وقد تم استخدام متحكمين ضبابيين من نوع Mamdani ومن نوع Sugeno ومقارنة أداء كل منهما وسوف يعرض فيما يلي المخططات والجدول التي تم الحصول عليها نتيجة هذه الدراسة.

نتائج ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى باستخدام المتحكم Mamdani المقترح

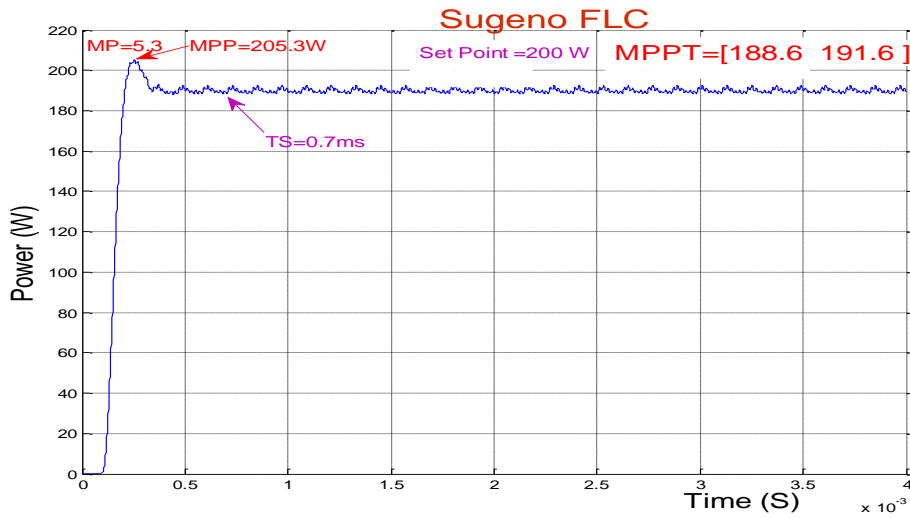
تم تطبيق القواعد الضبابية المبينة في الجدول(3) على المتحكم الضبابي Mamdani من أجل ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية وتم الحصول على منحنى الاستطاعة المبين بالشكل(18).



الشكل(18): منحنى الاستطاعة بدلالة الزمن.

نتائج ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى باستخدام المتحكم Sugeno المقترح

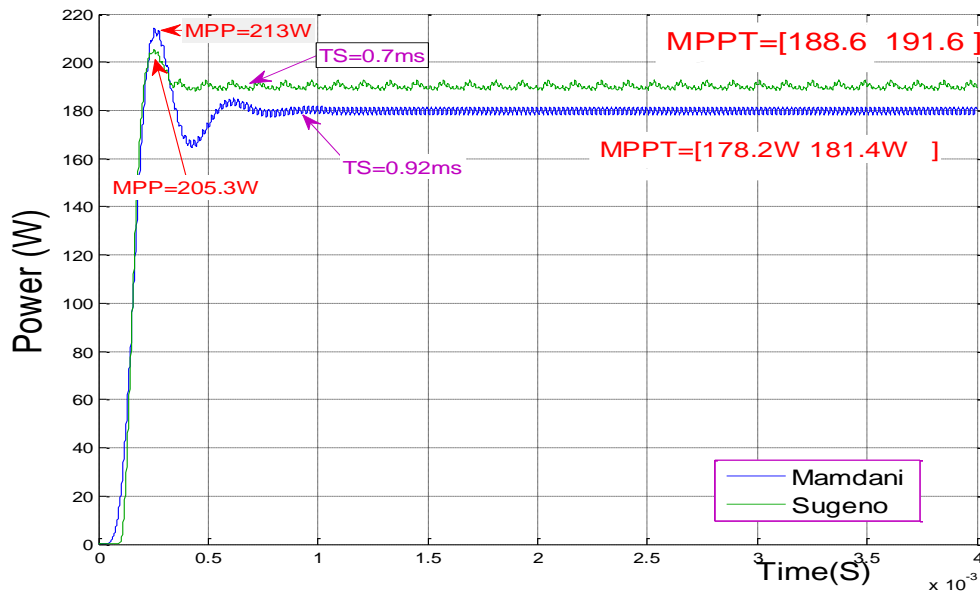
تم تطبيق القواعد الضبابية المبينة في الجدول (3) على المتحكم الضبابي Sugeno من أجل ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية والحصول على منحنى الاستطاعة المبين بالشكل(19).



الشكل(19): منحنى الاستطاعة بدلالة الزمن.

المقارنة بين أداء المتحكمين (Mamdani & Sugeno) المقترحين لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة العظمى

من أجل المقارنة بين أداء كل من المتحكمين الضبابيين Mamdani & Sugeno, تم رسم منحنى الاستطاعة بدلالة الزمن لكل منهما في المخطط المبين في الشكل (20). وقد تم قياس بارامترات الأداء وهي قمة التجاوز وزمن الاستقرار والاستطاعة العظمى ومجال استقرار الاستطاعة لكل منهما و وضعها في الجدول (8) لتوضيح الاختلاف في أداء كل من المتحكمين المقترحين.



الشكل (20): منحنى الاستطاعة بدلالة الزمن.

جدول(8): مقارنة النتائج.

قيم البارامترات	المتحكم الضبابي Mamdani	المتحكم الضبابي Sugeno
قمة التجاوز (Mp)	13	5.3
زمن الاستقرار (Ts)	0.92(mS)	0.7(mS)
الاستطاعة العظمى (MPP)	213	205.3
مجال استقرار الاستطاعة (MPPT)	[178.2W 181.4W]	[188.6W 191.6W]
نسبة الفعالية (η_{max})	[89 % 90%]	[94.3 % 95.8%]

مناقشة النتائج

- تبين نتيجة المحاكاة أن أداء المتحكم Sugeno في ملاحظة نقطة الاستطاعة الاعظمية من ناحية قيمة قمة التجاوز و زمن الاستقرار والفعالية ووثبات نقطة الاستطاعة العظمى أفضل من أداء المتحكم Mamdani.
- تم الحصول على فعالية تتراوح بين قيمتين [95.8% 94.3 %].
- تم الحصول على استطاعة تتراوح بين قيمتين [188.6W 191.6W].
- مما سبق نستنتج بأنه تمت ملاحظة نقطة الاستطاعة الأعظمية وتم الحصول على أعظم قيمة للاستطاعة 191.6W وفعاليتها 95.8%.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

- بعد أن تمت نمذجة ومحاكاة النظام الكهروضوئي تم التوصل إلى الآتي:
- يتأثر خرج اللوح الكهروضوئي بتغير درجة الحرارة وتغير الإشعاع الشمسي.
- تتناقص الإشعاع يؤثر على تيار اللوح الكهروضوئي (أي يتناقص) وإن زيادة درجة الحرارة يؤثر على جهد اللوح الكهروضوئي (أي يتناقص).
- يعطي اللوح الكهروضوئي أعظم استطاعة عند درجة الحرارة 25°C وإشعاع شمسي $1000\text{W}/\text{m}^2$.
- أداء المتحكم الضبابي Sugeno أفضل من المتحكم الضبابي Mamdani.
- زيادة الاستقرار يحسن من ثبات نقطة الاستطاعة العظمى وبالتالي الوصول إلى فعالية شبه ثابتة.
- أداء المتحكم الأفضل لا يتغير عند تطبيق قواعد ضبابية مختلفة.

التوصيات

- استخدام الخوارزميات التطويرية من أجل تحسين الأداء.
- مقارنة أداء المتحكم الضبابي مع متحكم غير ضبابي مثل المتحكم PID.
- دراسة أداء المتحكمات في ملاحظة نقطة الاستطاعة الأعظمية بعد الأخذ بعين الاعتبار العوامل الخارجية كالغبار والغيوم والخ.

المراجع

- [1] ALLATAIFEH,A.A; BATAINEH,K; AL-KHEDHER, M.*Maximum Power Point Tracking Using Fuzzy Logic Controller under Partial Conditions*, Smart Grid and Renewable Energy, 2015, 6, 1-13.
- [2] FAIZAL,A; SUTOYO; MULYONO; YENDRA,R; FUDHOLI,A.*Design Maximum Power Point Tracking (MPPT) on Photovoltaic Panels using Fuzzy Logic Method*. American Journal of Engineering and Applied Sciences ,2016.
- [3] ABOUDA,S; NOLLET, F; ESSOUNBOULI,N; CHAARIA,KOUBAA,Y. *Design, Simulation and Voltage Control of Standalone Photovoltaic System Based MPPT* .international journal of renewable energy research, Vol.3, No.3, 2013.
- [4] ONAT, N. *Recent Developments in Maximum Power Point Tracking Technologies for Photovoltaic Systems*. International Journal of Photoenergy,2010.
- [5] IRENA. *Solar Photovoltaics*.International Renewable Energy Agency, Vol. 1, Issue 4/5,june,2012.
- [6] <http://news.energysage.com/best-solar-panel-manufacturers-usa>.
- [7] MONICKA, J. G; SEKHAR,N.O.G; K. KUMAR, R. *Performance Evaluation of Membership Functions on Fuzzy Logic Controlled AC Voltage Controller for Speed Control of Induction Motor Drive* . International Journal of Computer Applications ,Volu. 13– No.5, January 2011.
- [8] LEE,C,C.*fuzzy logic in control systems :fuzzy logic controller part-I*.IEEE transactions on systems .man and cybernetics.vol.20,No,2,march/april,1990,404-418.
- [9] KAUR,A; KAUR,A .*Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System*. International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Vol.2, Issue-2, May 2012.
- [10] VARSHNEY,G; CHAUHAN,D.S; DAVE, M.P. *Simscape Based Modelling & Simulation of MPPT Controller for PV Systems*. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 9, Issue 6 ,Nov – Dec. 2014, 41-46.
- [11] ASHOOR,F. *Maximum power point tracking techniques for photovoltaic water pumping system*. University of Bath, May, 2015.
- [12] PARK, J; KIM,H;CHO,Y; SHIN,C *Simple Modeling and Simulation of Photovoltaic Panels Using Matlab/Simulink*. Advanced Science and Technology Letters, Vol.73 ,2014,147-155.
- [13] KOLSI, S; SAMET ,H; AMAR ,M. B. *Design Analysis of DC-DC Converters Connected to a Photovoltaic Generator and Controlled by MPPT for Optimal Energy Transfer throughout a Clear Day*. Journal of Power and Energy Engineering ,vol.2 , 2014,27-34.
- [14] GOWDA, M; KIRAN ,Y; PARTHASARTHY,S S.*Modelling of Buck DC-DC Converter Using Simulink*.International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.Vol. 3, 7, July 2014.
- [15] ZADEY,S; DUTT,S. *design of converter for low power photovoltaic conversionsystem*. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering,Vol.2, 6, June, 2013.
- [16] MUTHURAMALINGAM ,M. MANOHARAN, P. S. *Energy comparative analysis of MPPT techniques for PV system using interleaved soft-switching boost converter*, World Journal of Modelling and Simulation ,England,UK,Vol. 11 , No. 2 2015, 83-93.
- [17] IBRAHIM,M. *Comparison Between Fuzzy and P&O Control for MPPT for Photovoltaic System Using Boost Converter*. Journal of Energy Technologies and Policy, No.6, 2012.
- [18] TAGHVAEE, M.H; RADZI, M.A.M; MOOSAVAIN, S.M; HIZAM,H; MARHABAN, M. H. A current and future study on non-isolated DC–DC converters for photovoltaic applications. ScienceDirect, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17 (2013), 216–227.
- [19] KOTAK,V.C; TYAGI,P. *DC To DC Converter in Maximum Power Point Tracker* International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineerin, Vol. 2, Issue 12, DECEMBER 2013.

- [20] APARNA, K. P; PRIYA ,R; SURYANARAYANAN ,S. *Modeling and Simulation of a PV System using DC-DC Converter*. International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET), Vol. 1 ,issue 2 July 2015 , 09-16.
- [21] MASOUM, M. A. S; SARVI, M. *A new fuzzy-based maximum power point tracker for photovoltaic applications* .Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, Vol.1, January, 2005.
- [22] SOUFI,Y; BECHOUAT,M; KAHLA,S. *Maximum power point tracking using fuzzy logic control for photovoltaic system*. The International Conference on Renewable Energy Research and Applications USA, Oct 2014, 19-22.
- [23] Soufi,y; Bechaouet,m; Boukadoum,a; Bahi, Tahar. *Fuzzy logic control of Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic system*. Vol.2,2014.
- [24] MORALES,D.S; *Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications*.Aalto university school of science and technology,14.12.2010.
- [25] PANDA,A; PATHAK, M.K; SRIVASTAVA, S.P. *Fuzzy Intelligent Controller for the Maximum Power Point Tracking of a Photovoltaic Module at Varying Atmospheric Conditions*. Journal of Energy Technologies and Policy, Vol.1, No.2, 2011, 2224-3232.
- [26] ONAT,N; *Recent Developments in Maximum Power Point Tracking Technologies for Photovoltaic Systems*. International Journal of Photoenergy,2010