

## Development of a model for Fuzzy Logic Controller to Estimate the Duty Cycle of DC-DC Buck Converter to improve the efficiency of Solar Photovoltaic Energy Systems under atmospheric changes using Matlab/Simulink

Dr. Imane Dilaneh \*

(Received 8 / 2 / 2017. Accepted 17 / 10 / 2017)

### □ ABSTRACT □

The research presents a new model for Fuzzy Logic Controller to track the Maximum Power Point for Solar Photovoltaic Energy, in order to obtain the maximum power of these systems under atmospheric changes. The model for Fuzzy Logic Controller developed in Matlab/Simulink environment, depends on the use of instantaneous measurements of the solar cell temperature and solar radiation intensity, to determine the optimal duty cycle used to control the duty cycle of Buck converter to achieve the Photovoltaic system works at the maximum power point. Thus, the proposed controller in the research considered, independent in his work on the use of electrical measurements output of PV system to determine optimal duty cycle. This would improve the dynamic performance of the proposed Fuzzy Logic Controller to determine the duty cycle at fast speed proportional to the changes speed of different weather condition. We selected Generalized bell curve membership functions for fuzzification the input variables of DMPPT-FLC Controller to suit the nature of the nonlinear changes to these variables, and Triangular membership functions and other Trapezoidal membership function for the fuzzification of the output variable. The simulation results completed in Matlab /Simulink environment, showed the best performance of the proposed Fuzzy Logic Controller, in tracking the MPP point at fast speed and high accuracy, which improves the value of efficiency factor of the PV system, compared with the use of other reference models of fuzzy logic controller MPPT-FLC functioning relies on the use of a number of electrical measurements of the output of PV system, and compared with the use of the conventional Perturb and Observer technique MPPT- P&O under different atmospheric changes.

**Key words:** Fuzzy Logic Controller, DC-DC Buck Converter, Maximum Power Point tracker, Perturb and Observe technique.

---

\* Assistant Professor, Department of Mechanical Power Engineering, faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## تطوير نموذج لمتحكم عائم لتقدير نسبة التشغيل لمبدل خافض الجهد المستمر لتحسين كفاءة نظم الطاقة الشمسية الكهروضوئية عند التغيرات الجوية باستخدام Matlab/Simulink

د. إيمان ديلانة\*

(تاريخ الإيداع 8 / 2 / 2017. قُبِلَ للنشر في 17 / 10 / 2017)

### □ ملخص □

يقدم البحث نموذج جديد لمتحكم عائم لتتبع نقطة الاستطاعة العظمى لنظم الطاقة الشمسية الكهروضوئية PV، بهدف الحصول على الطاقة القصوى من هذه النظم في ظل التغيرات الجوية. يعتمد نموذج المتحكم العائم المطور في بيئة Matlab/Simulink، على استخدام القياسات اللحظية لدرجة حرارة الخلية الشمسية وشدة الإشعاع الشمسي، لتحديد نسبة التشغيل المثلى المستخدمة للتحكم في دورة عمل مبدل خافض الجهد المستمر لتحقيق عمل النظام الكهروضوئي عند نقطة الاستطاعة العظمى. بالتالي يعتبر المتحكم العائم DMPPT-FLC المقترح في البحث، مستقل في عمله عن استخدام القياسات الكهربائية لخرج نظام PV لتحديد نسبة التشغيل. هذا من شأنه تحسين الأداء الديناميكي للمتحكم العائم المقترح بتحديد نسبة التشغيل بسرعة فائقة متناسبة مع سرعة التغيرات الجوية المختلفة. تم اختيار توابع انتماء جرسية الشكل لتعويم متغيرات الدخل للمتحكم DMPPT-FLC لتلائم طبيعة التغيرات اللاخطية لهذه المتغيرات، وتوابع انتماء مثلثية وأخرى شبه منحرف لتعويم متغير الخرج. أظهرت نتائج المحاكاة المنجزة في بيئة Matlab/Simulink الأداء الأفضل للمتحكم العائم المقترح DMPPT-FLC، بتتبع نقطة MPP بسرعة فائقة وبدقة عالية مما يحسن بشكل ملحوظ من قيمة عامل كفاءة نظام PV، مقارنة مع استخدام نماذج مرجعية أخرى لمتحكم عائم MPPT-FLC يعتمد عملها على استخدام عدد من القياسات الكهربائية لخرج نظام PV، ومقارنة مع استخدام متحكم تقليدي MPPT-P&O يعتمد على تقنية الاضطراب والمراقبة عند التغيرات الجوية المختلفة.

**الكلمات المفتاحية:** متحكم عائم، مبدل خافض الجهد المستمر، متتبع نقطة الاستطاعة العظمى، تقنية الاضطراب والمراقبة.

\*مدرسة- قسم هندسة القوى الميكانيكية -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## مقدمة:

تتأثر الطاقة الكهربائية المولدة من نظم الطاقة الشمسية الكهروضوئية (Photovoltaic System, PV)، بتغير شدة الإشعاع الشمسي الساقط عليها وتغير درجة حرارة الجو المحيط. حيث تسبب هذه التغيرات الجوية انحراف نقطة عمل النظام الكهروضوئي PV عن نقطة الاستطاعة العظمى التي يعطي عنها النظام استطاعته العظمى للحمل مما ينتج عنه انخفاض الإنتاجية الطاقية الكهربائية لهذه النظم. يمكن التغلب على هذه المشكلة، باستخدام متتبع نقطة الاستطاعة العظمى (Maximum Power Point Tracker, MPPT)، الذي يمكن من عمل نظام PV عند نقطة MPP (Maximum Power Point, MPP) عند التغيرات الجوية المختلفة، مما يسهم بشكل واضح في تحسين كفاءة هذه النظم. في هذا السياق، طورت تقنيات تحكم متنوعة لتتبع نقطة MPP، منها المعتمدة على استخدام تقنيات التتبع التقليدية، كتقنية الاضطراب والمراقبة وتقنية زيادة الناقلية وغيرها. على الرغم من فعالية عمل هذه التقنيات في تحسين عامل كفاءة نظام PV، إلا أنها لا تحقق عمل نظام PV عند نقطة MPP بدقة كافية، كما أنها لا تبدي سرعة استجابة مناسبة في تتبع نقطة MPP عند الظروف الجوية السريعة التغير [1].

طورت نماذج متنوعة للمتحكم العائم (Fuzzy Logic Controller, FLC)، لتتبع نقطة MPP لنظم PV [2,3,4]. يبدي المتحكم العائم أداءً جيداً عند التحكم بالأنظمة اللاخطية كنظم PV من حيث تحقيق سرعة فائقة في الاستجابة للتغيرات الجوية ودقة عالية في تتبع نقطة MPP مقارنة مع استخدام تقنيات التتبع التقليدية [5,6]. كما يمكن المنطق العائم من الوصول لتتبع نقطة MPP بفعالية جيدة باستخدام معلومات غير دقيقة عن متغيرات دخل المتحكم. ذكر الباحث Shiau et al في المرجع [2]، إمكانية تطوير نماذج متنوعة للمتحكم العائم FLC لتتبع نقطة MPP في حال توفر قياسات لحظية لكل من توتر وتيار خرج نظام PV لتحديد نسبة التشغيل المناسبة (Duty Cycle, D) لتتبع نقطة MPP. كما أظهرت هذه الدراسة تفاوت أداء هذه النماذج المعتمدة على استخدام القياسات الكهربائية لخرج نظام PV من حيث السرعة والدقة في تتبع نقطة MPP عند التغيرات الجوية المختلفة. كما قام الباحث Garg et al في المرجع [3]، بتطوير نموذج لمتحكم FLC، يستخدم كل من تغير التوتر وتغير استطاعة خرج نظام PV، كمتغيرات دخل للمتحكم FLC لتحديد خرج المتحكم الموافق للتغير في نسبة التشغيل المستخدمة لضبط دورة عمل مبدل رافع الجهد المستمر. أظهرت هذه الدراسة أن المتحكم FLC أسهم بتحسين استجابة منحنى استطاعة خرج نظام PV، وذلك بتخفيض التذبذبات الناتجة عند الوصول لنقطة MPP بشكل واضح، بالإضافة لزيادة هذه الاستطاعة مقارنة مع حالة استخدام متحكم تتبع تقليدي مرتكز على تقنية الاضطراب والمراقبة (Perturb and Observer, P&O). كذلك قام Kumar et al في الدراسة المرجعية [4]، بتحديد الخطأ الممثل لنسبة تغير استطاعة وتغير التوتر بالإضافة لتغير هذه الخطأ، ليمثل هذان المتغيران إشارتي دخل للمتحكم FLC، ليتم بناء على هذه المتغيرات تحديد نسبة التشغيل للتحكم في دورة عمل مبدل رافع الجهد المستمر. بينت هذه الدراسة المرجعية، فعالية عمل المتحكم FLC المقترح بتخفيض قيمة خطأ الحالة الثابتة عند تتبع نقطة MPP عند سويات شدة الإشعاع الشمسي السريعة التغير مقارنة مع استخدام متحكم مرتكز على تقنية زيادة الناقلية.

## أهمية البحث وأهدافه

يقدم البحث نموذج جديد لمتحكم عائم DMPPT-FLC (Developed MPPT FLC) مطور في بيئة Matlab/Simulink لتتبع نقطة MPP لنظم PV عند التغيرات الجوية المختلفة بما يحقق الاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية المتوفرة. في هذا السياق، يعتبر المتحكم العائم DMPPT-FLC المقترح في البحث مستقل في عمله عن الحاجة لاستخدام أي من القياسات الكهربائية لخرج نظام PV لتتبع نقطة MPP، حيث يرتبط عمله مباشرة بتغيرات شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلية الشمسية، اللذين يمكن قياسهما بسهولة لاستخدامهما كمتغيرات دخل للمتحكم FLC المطور، ليتم بناء على هذه التغيرات الجوية تحديد نسبة التشغيل المثلى بسرعة فائقة لضبط دورة عمل مبدل خافض الجهد المستمر بما يحقق عمل نظام PV عند نقطة MPP. مما يسهم في تحسين الأداء الديناميكي للمتحكم في الاستجابة بسرعة للتغيرات الجوية مما ينعكس مباشرة على تحسين قيمة عامل كفاءة نظام PV، مقارنة مع استخدام نماذج مرجعية أخرى لمتحكم عائم MPPT-FLC يعتمد عملها على استخدام عدد من القياسات الكهربائية لخرج نظام PV، ومقارنة مع متحكم تقليدي MPPT-P&O يعتمد على تقنية الاضطراب والمراقبة عند التغيرات الجوية المختلفة.

## طرائق البحث ومواده

يعتمد تصميم نموذج المتحكم العائم المقترح DMPPT-FLC، على تطبيق العمليات الأساسية المعروفة في المنطق العائم باستخدام مكتبة Fuzzy Logic Toolbox الموجودة في بيئة Matlab. كما يعتمد تقييم أداء المتحكم المطور على تحليل نتائج المحاكاة المنجزة في بيئة Matlab/Simulink عند تتبع نقطة MPP لنظام PV يغذي حمل أومي عبر مبدل خافض الجهد مستمر (DC-DC Buck Converter). يتم مقارنة نتائج المحاكاة مع تلك الناتجة باستخدام نماذج مرجعية أخرى للمتحكم العائم MPPT-FLC يعتمد عمل كل منها على استخدام عدد من القياسات الكهربائية لخرج نظام PV، ومقارنة أيضا مع استخدام متحكم تتبع تقليدي MPPT-P&O.

## النموذج الرياضي للنظام الكهروضوئي PV:

تحدد الخصائص الكهربائية (تيار - توتر) لنظام PV المكون من  $N_s$  عدد من الخلايا الشمسية الموصولة

على التسلسل، بالاعتماد على العلاقات التالية:

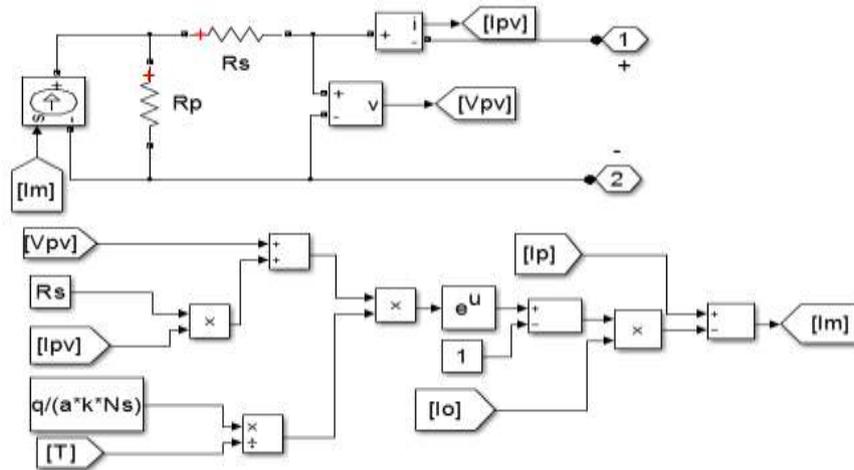
$$I_{PV} = I_p - I_o \left( e^{\left( \frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{V_t \alpha} \right)} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + R_s * I_{PV}}{R_p} \quad (1)$$

$$I_p = (I_{p,N} + K_I \Delta T) \frac{G}{G_N} \quad (2)$$

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

يمثل  $I_{PV}$  و  $V_{PV}$  تيار وتوتر خرج نظام PV على التوالي، حيث يقاس التيار بالأمبير [A] والتوتر بالفولت [V]. كما يمثل  $I_p$  [A] التيار الضوئي المتولد،  $I_{p,N}$  [A] التيار الضوئي المتولد عند الشروط القياسية الموافقة لشدة إشعاع شمسي  $G_N = 1000 [W/m^2]$  ودرجة حرارة الخلية الشمسية  $T_N = 25 [^\circ C]$ . يمثل  $I_o$  [A] تيار الإشباع العكسي،  $V_t = kT_N/q$  الجهد الحراري،  $\alpha$  عامل مثالية الديود.  $k$  ثابت بولتزمان،  $q$  شحنة الإلكترون. كما تمثل  $R_s$  والمقاومة التسلسلية و  $R_p$  المقاومة التفرعية وتقاس بالأوم. يمثل  $I_{sc,n}$  و  $V_{oc,n}$  تيار القصر وتوتر الدارة

المفتوحة المحددين عند الشروط القياسية النظامية المذكورة. يمثل  $G[W/m^2]$  شدة الإشعاع الشمسي و  $T[°C]$  درجة حرارة الخلية الشمسية،  $K_I$  المعامل الحراري للتيار و  $K_V$  المعامل الحراري للجهد.



الشكل (1) محاكاة نظام PV المطور في بيئة Matlab/Simulink .

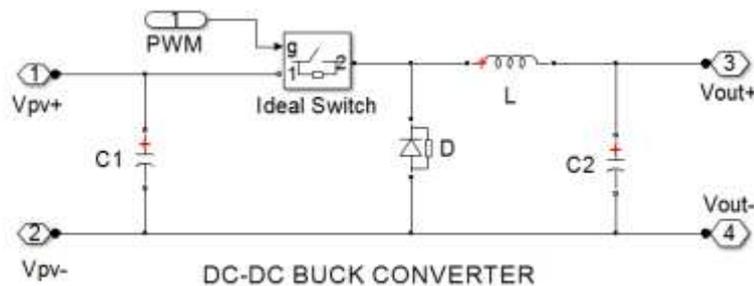
### المبدل خافض الجهد المستمر DC-DC Buck Converter

لتحقيق عمل المتحكم MPPT في تتبع نقطة MPP للنظام PV نستخدم مبدل خافض الجهد المستمر، حيث يكون توتر خرج المبدل المذكور  $V_{out}[V]$  أصغر من توتر دخل المبدل  $V_{pv}[V]$ ، بينما يكون تيار خرج المبدل  $I_{out}[A]$  أكبر من تيار دخل المبدل  $I_{pv}[A]$ . ترتبط متغيرات دخل وخرج المبدل بالعلاقات التالية:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{pv}} \quad (4)$$

$$I_{out} = \frac{I_{pv}}{D} \quad (5)$$

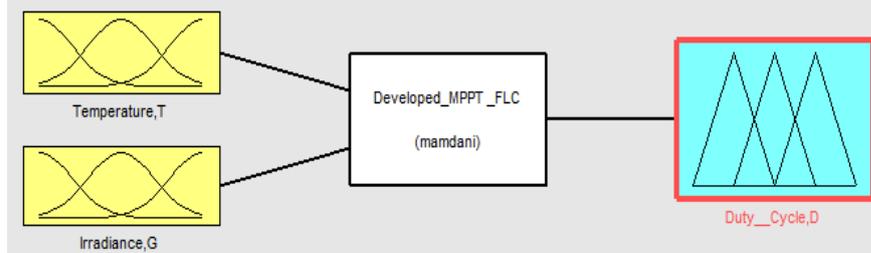
$D$  : تمثل نسبة تشغيل ترانزستور مبدل الجهد، وهي عدد لا بعدي تتراوح قيمته بين الصفر والواحد، وتساوي لنسبة الزمن الذي يكون الترانزستور فيه مغلقاً إلى زمن الدور الكلي (المساوي مجموع زمن الإغلاق والفتح للترانزستور). حيث يستخدم تغير قيمة نسبة التشغيل  $D$  لتعديل عرض النبضة (Pulse Width Modulation, PWM)، المستخدمة للتحكم في دورة عمل مبدل الجهد لضبط توازن نقطة عمل اللاقط الكهروضوئي عند نقطة MPP عند التغيرات الجوية المختلفة.



الشكل (2) محاكاة مبدل خافض الجهد المستمر في بيئة Matlab/Simulink .

### نمذجة المتحكم العائم DMPPT-FLC المطور في بيئة Matlab

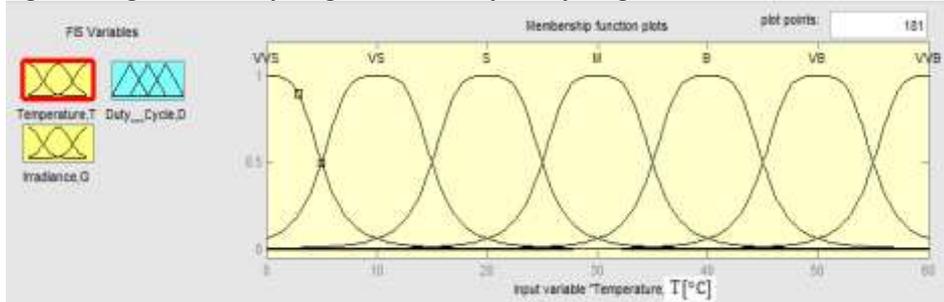
يقوم المتحكم المقترح DMPPT-FLC بتحديد نسبة التشغيل اللازمة للتحكم في دورة عمل مبدل خافض الجهد، بناء على متغيرات دخل المتحكم الممثلة لدرجة حرارة الخلية الشمسية (Temperature, T[°C]) وشدة الإشعاع الشمسي (Irradiance, G[W/m<sup>2</sup>]). يوضح الشكل (3)، بنية نموذج المتحكم DMPPT-FLC المقترح في البحث. تعتمد عملية النمذجة على استخدام العلاقات الرياضية من (1) حتى (5) لتقدير نسبة التشغيل الناتجة عند تغيرات تيار وتوتر خرج نظام PV الموافقة للتغيرات المختلفة لدرجة حرارة الخلية الشمسية ولشدة الإشعاع الشمسي.



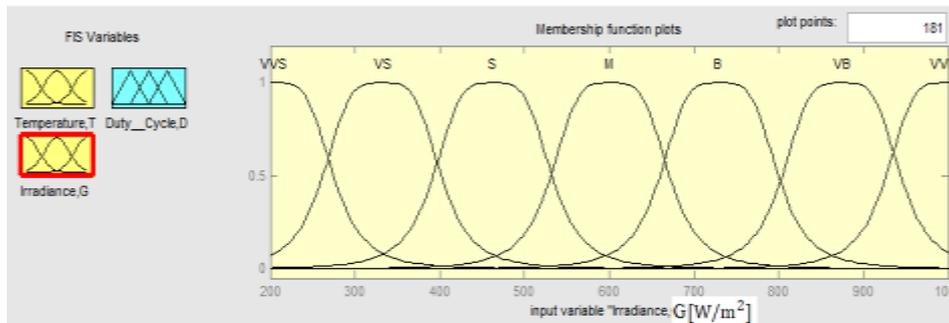
الشكل (3) النافذة الرئيسية للمتحكم العائم DMPPT-FLC المطور في بيئة Matlab/Simulink.

تتم عملية تعويم (Fuzzification) متغيرات دخل المتحكم العائم، باستخدام سبعة مجموعات عائمة جزئية تغطي المجال الكلي لتغير متغيرات الدخل، ممثلة كل منها بتابع انتماء جرسى الشكل ليلائم تمثيل طبيعة التغيرات اللاخطية لهذه المتغيرات. بينما تتم عملية تعويم متحول الخرج الممثل لنسبة التشغيل، باختيار تسعة مجموعات عائمة جزئية ممثلة كل منها بتابع انتماء مثلثي الشكل وأخرى ذات شكل شبه منحرف. حيث يتم التعبير عن توابع الانتماء بالمتغيرات اللغوية (Linguistic variables) التالية:

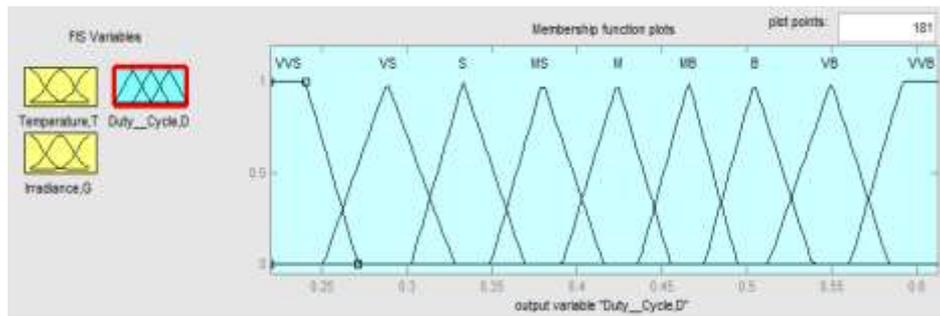
VVS: Very Very Small, VS: Very Small, MS: Medium Small, M: Medium, MB: Medium Big, B: Big, VH: Very Big, VVB: Very Very Big.



الشكل (4) توابع الانتماء لإشارة الدخل الأولى للمتحكم العائم الممثلة لدرجة حرارة الخلية الشمسية T.

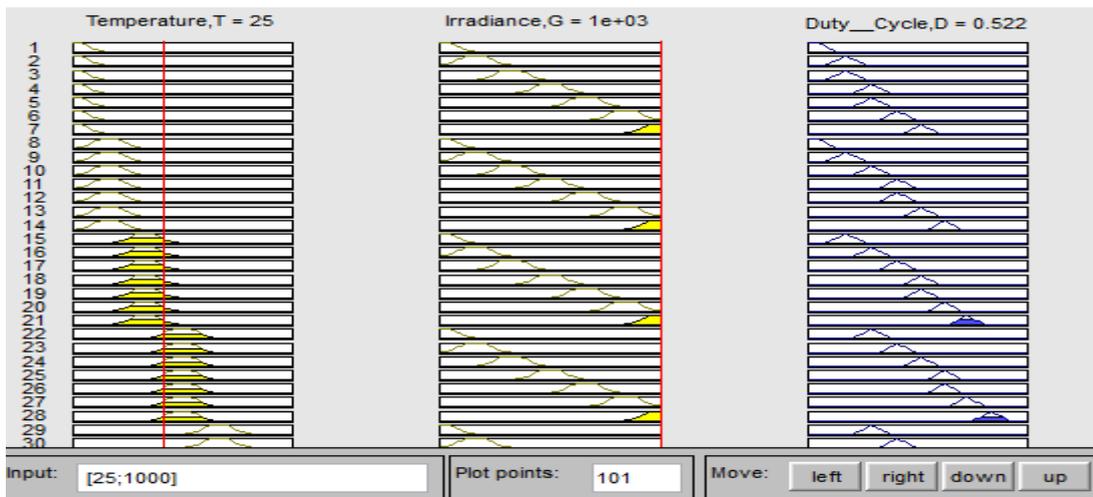


الشكل (5) توابع الانتماء لإشارة الدخل الثانية للمتحكم العائم الممثلة لشدة الإشعاع الشمسي G.



الشكل (6) توابع الانتماء لإشارة الخرج للمتحكم العائم الممثلة لنسبة التشغيل D.

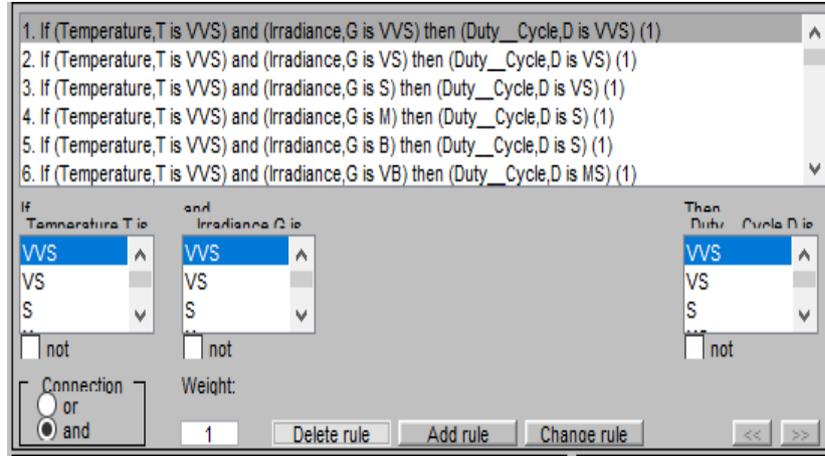
توضح الأشكال (4)، (5) و (6) عملية تعويم متغيرات دخل وخرج المتحكم DMPPT-FLC. بعد تشكيل المجموعات العائمة، تحدد مجموعة قواعد الأساس المبينة بالجدول (1) باستخدام عبارات شرطية من نوع " IF- Then"، كما هو مبين بالشكل (7) و (8). وتطبيق طريقة الاستدلال العائم Max-Min، ثم بتطبيق عملية فك التعميم (Defuzzification)، يمكن الحصول على قيمة الخرج العددية لنسبة التشغيل باستخدام طريقة مركز المساحة (Method Centroid).



الشكل (7) نافذة تطبيق قواعد الأساس للمتحكم العائم المقترح DMPPT-FLC.

الجدول (1) قواعد الأساس للمتحكم العائم المقترح DMPPT-FLC

درجة حرارة الخلية الشمسية Temperature T [°C]	شدة الإشعاع الشمسي Irradiance G [W/m <sup>2</sup> ]						
	VVS	VS	S	M	B	VB	VVB
VVS	VVS	VS	VS	S	S	MS	M
VS	VVS	VS	S	MS	MS	M	MB
S	VS	S	MS	M	M	MB	B
M	S	MS	M	MB	MB	B	VB
B	S	MS	M	MB	B	B	VB
VB	MS	M	MB	B	VB	VB	VVB
VVB	ML	M	MH	H	VH	VVH	VVH



الشكل (8) نافذة قواعد الأساس للمتحكم العائم المقترح DMPPT-FLC



الشكل (9) النموذج النهائي للمتحكم العائم المقترح DMPPT-FLC المطور باستخدام Fuzzy Logic Toolbox

## نماذج المتحكم العائم MPPT-FLC المرجعية:

نموذج المتحكم العائم MPPT-FLC1 المرجعي الأول: نعرض الآن نموذج المتحكم العائم الأول المطور في المرجع [5] المعتمد في عمله على استخدام القياسات اللحظية لتيار وتوتر خرج نظام PV لتحديد كل من تغيرات الاستطاعة  $\Delta P$  وتغيرات التيار  $\Delta I$  لخرج النظام PV، لتشكل هذه المتغيرات دخل المتحكم العائم، أما خرج المتحكم MPPT-FLC1 فيمثل تغير نسبة التشغيل  $dd(k)$ . تعرف هذه المتغيرات كما يلي:

$$\Delta P = P(k) - P(k - 1) \quad (6)$$

$$\Delta I = I(k) - I(k - 1) \quad (7)$$

$$dD(k) = D(k) - D(k - 1) \quad (8)$$

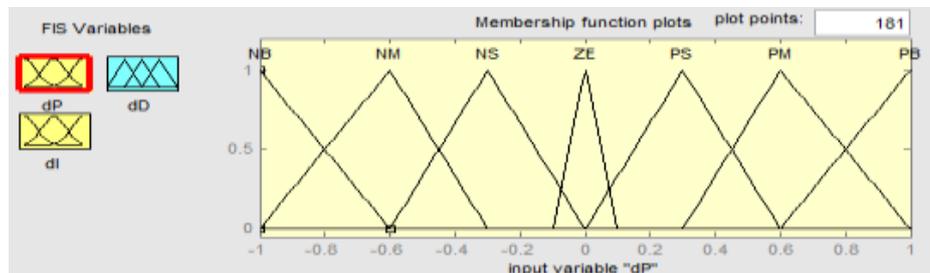
توضح الأشكال (10)، (11) و (12) عملية تعويم متغيرات دخل وخرج المتحكم العائم MPPT-FLC1

باستخدام توابع انتماء لها شكل مثلثي، وأخرى لها شكل شبه منحرف. والممثلة بالمتغيرات اللغوية التالية:

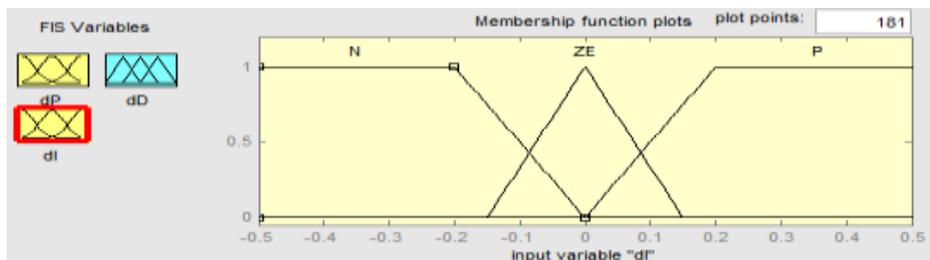
P: Positive, N: Negative, ZE: Zero, NB: Negative-Big, NS: Negative-Small, PS: Positive-Small, PB: Positive-Big.

يظهر الجدول (2) قواعد الأساس للمتحكم MPPT-FLC1 المرجعي الأول. كما يبين الشكل (13)

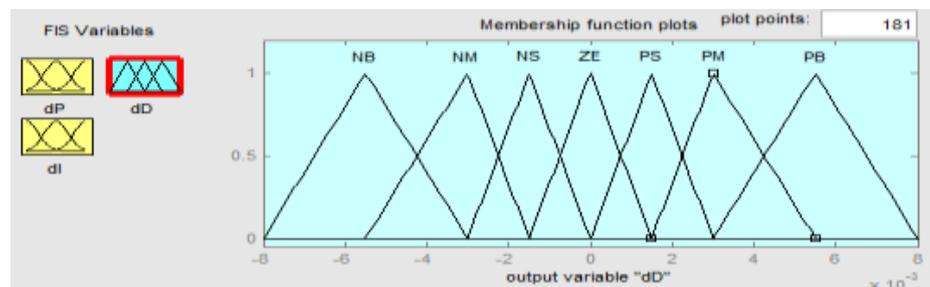
النموذج النهائي لهذا المتحكم والنتائج باستخدام Fuzzy Logic Toolbox. حيث تمثل  $K_1$  و  $K_2$  عوامل التقييس المستخدمة لضبط مجال تغير كل من  $\Delta I$  و  $\Delta P$  ضمن المجال  $[-1,1]$ .



الشكل (10) توابع الانتماء لإشارة الدخل الأول للمتحكم MPPT-FLC1 الممثلة لتغير استطاعة خرج نظام PV.



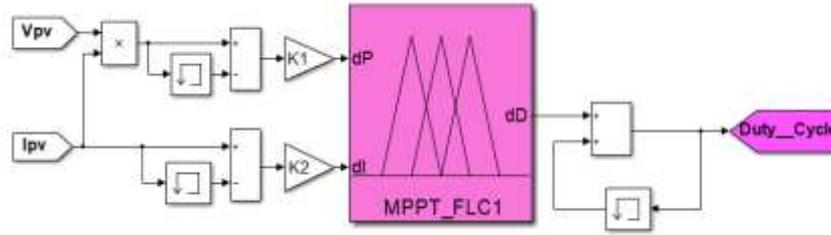
الشكل (11) توابع الانتماء لإشارة الدخل الثانية للمتحكم MPPT-FLC1 الممثلة لتغير تيار خرج نظام PV.



الشكل (12) توابع الانتماء لإشارة الخرج للمتحكم MPPT-FLC1 الممثلة لتغير نسبة التشغيل  $\Delta D$ .

الجدول (2) قواعد الأساس للمتحكم العائم للمتحكم MPPT-FLC1.

تغير تيار خرج نظام PV $\Delta I$ [A]	تغير استطاعة خرج نظام PV $\Delta P$ [W]						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
N	PB	PM	PS	NS	NS	NM	NB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
P	NB	NM	NS	PS	PS	PM	PB



الشكل (13) النموذج النهائي للمتحكم العائم المرجعي MPPT-FLC1 باستخدام Fuzzy Logic Toolbox.

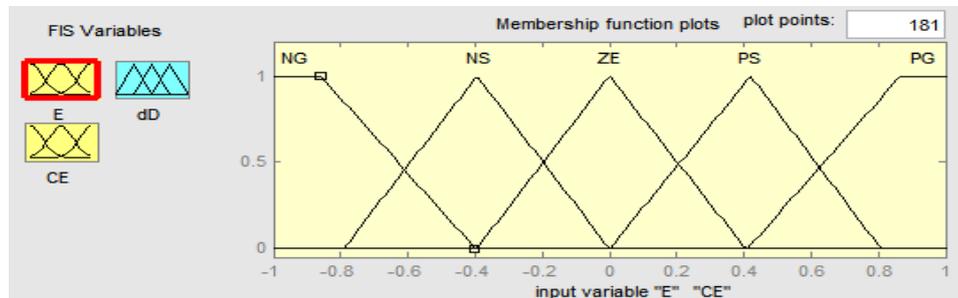
نموذج المتحكم العائم MPPT-FLC2 المرجعي الثاني [6]: يمثل متغير الخطأ  $E(k)$  الممثل لنسبة تغير استطاعة وتغير توتر خرج نظام PV، وتغير هذا الخطأ  $CE(k)$  متغيرات دخل المتحكم، أما متغير خرجه فهو تغير نسبة التشغيل  $dD(k)$  والمعرفين كما يلي:

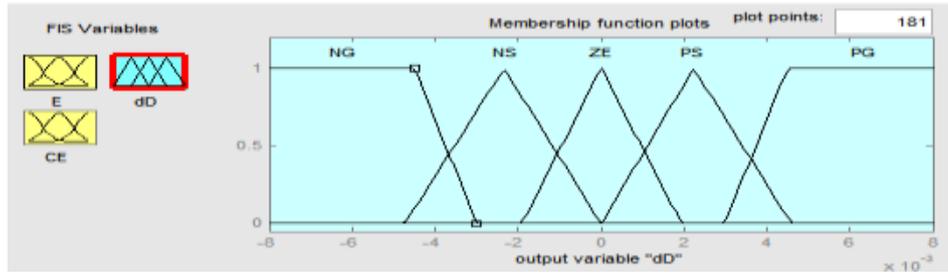
$$P(k) = V_{pv}(k) * I_{pv}(k)E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1)} \quad (9)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (10)$$

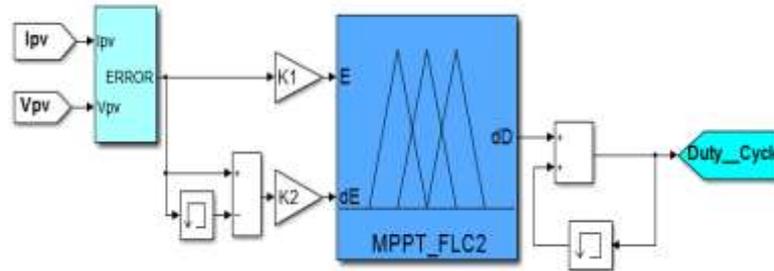
$$dD(k) = D(k) - D(k-1) \quad (11)$$

توضح الأشكال (14)، (15) عملية تعويم متغيرات دخل وخرج المتحكم MPPT-FLC2. كما يظهر الجدول (3) قواعد الأساس للمتحكم المذكور. كما يبين الشكل (16) النموذج النهائي لهذا المتحكم والنتائج باستخدام Fuzzy Logic Toolbox. حيث تمثل  $K_1$  و  $K_2$  عوامل التقييس المستخدمة لضبط مجال تغير كل من  $E$  و  $CE$  ضمن المجال  $[-1,1]$ .

الشكل (14) توابع الانتماء لإشارة الدخل الأول والثاني للمتحكم MPPT-FLC2 الممثلة  $E(k)$  و  $CE(k)$ .



الشكل (15) توابع الانتماء لإشارة الخرج للمتحكم MPPT-FLC2 الممثلة لتغير نسبة التشغيل  $\Delta D$ .



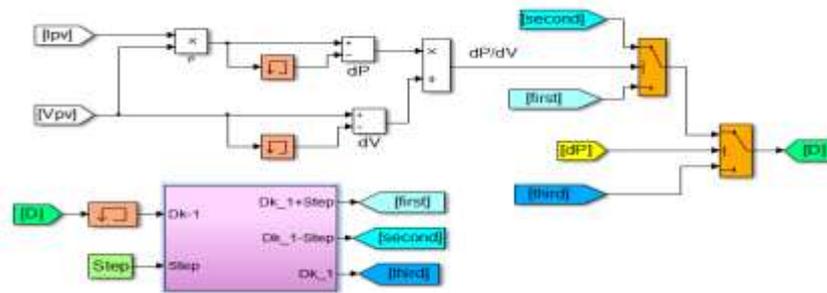
الشكل (16) النموذج النهائي للمتحكم العائم المرجعي MPPT-FLC2 باستخدام Fuzzy Logic Toolbox.

الجدول (3) قواعد الأساس للمتحكم العائم للمتحكم MPPT-FLC2.

الخطأ E	تغير الخطأ CE				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	ZE	PB	PB	PB
NS	ZE	ZE	PS	PS	PS
ZE	PS	ZE	ZE	ZE	NS
PS	NS	NS	NS	ZE	ZE
PB	NB	NB	NB	ZE	ZE

### محاكاة المتحكم P&O في بيئة Matlab/Simulink

تعتبر تقنية الاضطراب والمراقبة P&O من أكثر تقنيات MPPT انتشاراً وذلك لبساطتها وسهولتها في التنفيذ. تعتمد تقنية P&O المباشرة على تحديد نسبة التشغيل اللحظية  $D$ ، بالاعتماد على تحديد نوع إشارة كل من تغيرات الاستطاعة  $\Delta P$  وتغيرات التوتر  $\Delta V$  لخرج النظام PV، ليتم تحديد زيادة أو تخفيض قيمة نسبة التشغيل في الخطوة السابقة بمقدار محدد ثابت Step كما هو موضح بالشكل (17)، الذي يبين محاكاة المتحكم MPPT-P&O المرتكز على تقنية P&O التقليدية.

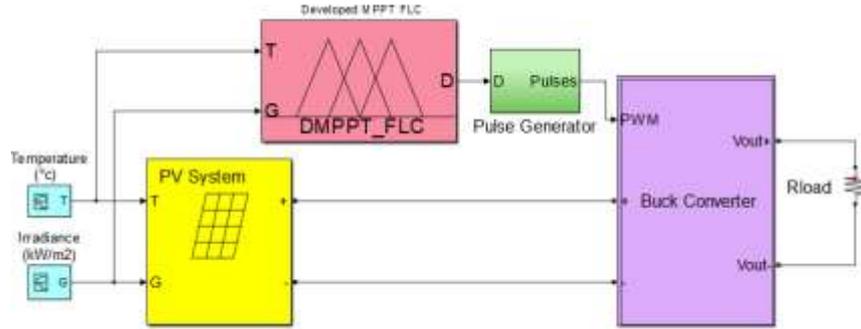


الشكل (17) محاكاة المتحكم MPPT-P&O في بيئة Matlab/Simulink.

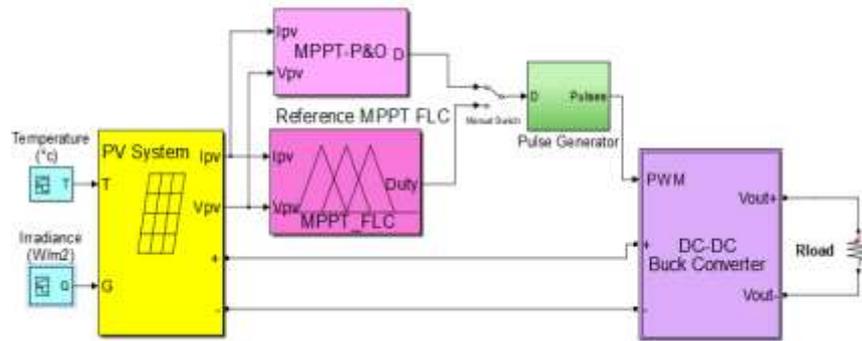
## محاكاة نظام تتبع نقطة MPP لنظام PV باستخدام المتحكم DMPPT-FLC في بيئة

### Matlab/Simulink

يعتمد فحص أداء وفعالية نموذج متتبع نقطة MPP المرتكز على المتحكم العائم المطور DMPPT-FLC، على نتائج المحاكاة المنجزة في بيئة Matlab/Simulink، لنظام توليد طاقة مكون من النظام الكهروضوئي PV، والمبدل خافض الجهد مستمر (DC-DC Buck Converter)، وحمل أومي كما يوضحه الشكل (18). يبين الشكل (19)، نموذج المحاكاة لنظام PV الممكن استخدامه مع كل من المتحكمات العائمة المرجعية MPPT-FLC1 و MPPT-FLC2 والمتحكم MPPT-P&O. حيث يتم استخدام قياسات خرج النظام PV، لتحديد متغيرات دخل كل من هذه المتحكمات المرجعية. يتكون نظام PV المستخدم في البحث من سلسلتين موصولتين على التفرع، تحوي السلسلة الواحدة على أربعة ألواح كهروضوئية موصولة على التسلسل باستطاعة [W] 150 للوح الواحد، ومنه الاستطاعة الكلية لنظام PV [W] 1200.



الشكل (18) محاكاة نظام تتبع نقطة MPP المرتكز على المتحكم المقترح DMPPT-FLC في بيئة Matlab/Simulink.

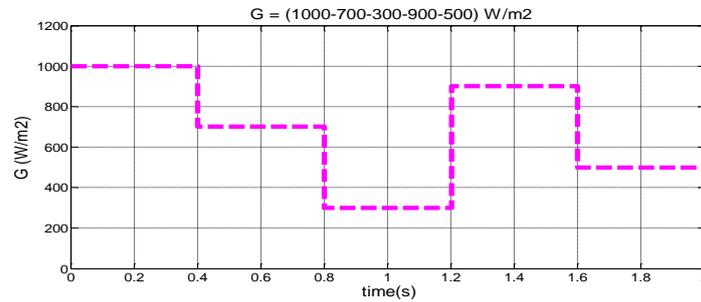


الشكل (19) محاكاة نظام تتبع نقطة MPP مع MPPT-FLC و MPPT-P&O في بيئة Matlab/Simulink.

## النتائج والمناقشة

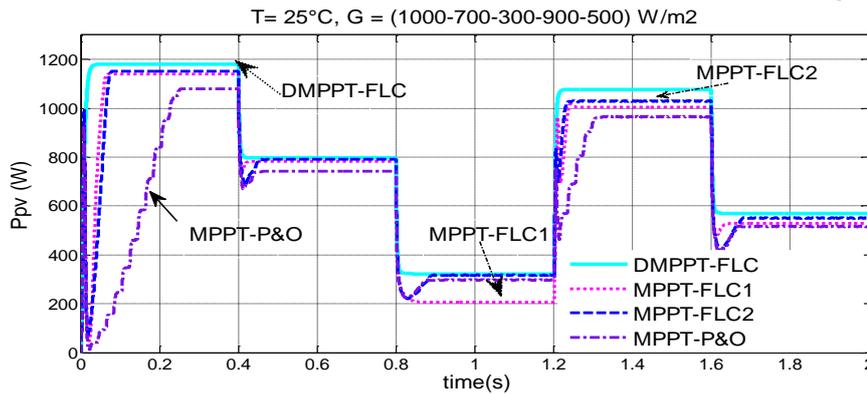
نعرض فيما يلي نتائج محاكاة تتبع نقطة لنظام PV باستخدام كل من المتحكمات DMPPT-FLC و MPPT-FLC والمتحكم MPPT-P&O المنجزة في بيئة Matlab/Simulink. لذلك نفرض تغيرات فجائية سريعة لشدة الإشعاع الشمسي (Irradiance, G) خلال زمن مقداره ثانيتين كما هو موضح بالشكل (20) :

مع اعتبار أن درجة حرارة الخلية الشمسية ثابتة  $G = 1000 - 700 - 300 - 900 - 500 [W/m^2]$  ،  $T = 25 [^{\circ}C]$

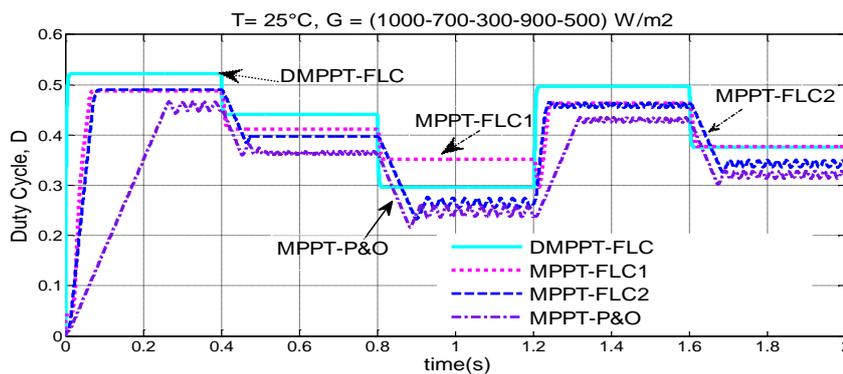


الشكل (20) تغيرات شدة الإشعاع الشمسي.

تتغير استطاعة خرج نظام PV تبعاً لتغير شدة الإشعاع الشمسي مع ثبات درجة الحرارة، كما هو موضح بالشكل (21) ، حيث يلاحظ أن قيمة استطاعة خرج نظام PV المستحصل عليها باستخدام المتحكم العائم المطور DMPPT-FLC، هي أكبر من تلك الناتجة باستخدام المتحكم MPPT-FLC1 و MPPT-FLC2 ومن تلك الناتجة باستخدام متحكم التتبع التقليدي MPPT-P&O.



الشكل (21) استطاعة خرج نظام PV عند شروط تغير شدة الإشعاع الشمسي مع ثبات درجة الحرارة.

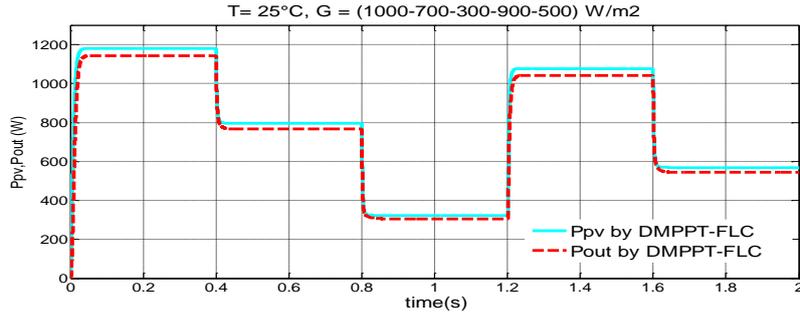


الشكل (22) تغير نسبة التشغيل D عند شروط تغير شدة الإشعاع الشمسي مع ثبات درجة الحرارة.

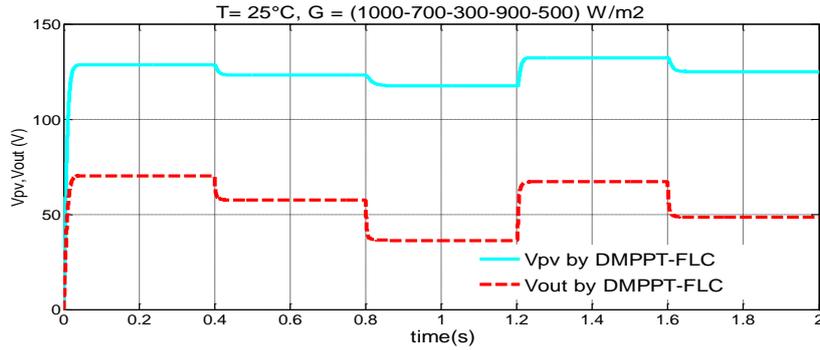
كما يلاحظ من الشكل (22)، يقوم المتحكم DMPPT-FLC بتحديد بدقة كبيرة قيم نسبة التشغيل المثلى المستخدمة لضبط عمل مبدل خافض الجهد المستمر مما نتج عنه عمل نظام PV عند الاستطاعة العظمى عند تغيرات سويات شدة الإشعاع الشمسي المختلفة. كما يلاحظ أيضاً سرعة استجابة المتحكم DMPPT-FLC لتحديد

قيم نسبة التشغيل المثلى مما نتج عنه سرعة تحسين سلوك الحالة العابرة وذلك بالوصول بسرعة أفضل للاستطاعة الموافقة لنقطة MPP عند كل سوية اشعاع شمسي.

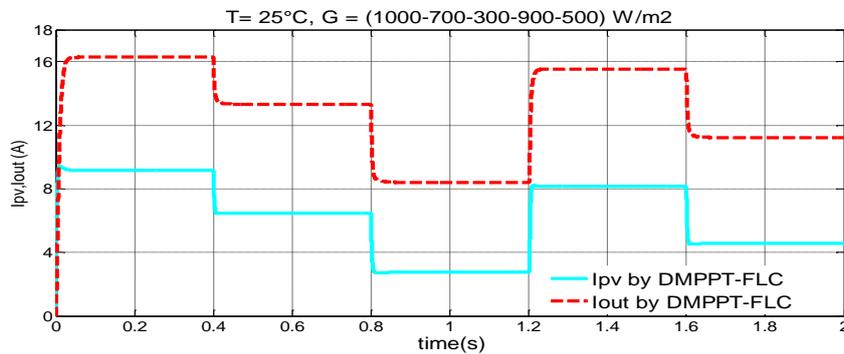
يوضح الشكل (23)، مقارنة بين استطاعة خرج الحمل و  $P_{pv}$  استطاعة خرج نظام PV، عند تغير شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة ثابتة، عند استخدام المتحكم DMPPT-FLC. حيث يلاحظ أن استطاعة خرج الحمل  $P_{out}$  هي أقل بقليل من استطاعة خرج نظام  $P_{pv}$ ، وذلك نتيجة الضياعات الناتجة في مبدل الجهد. أما الشكل (24)، يبين أن توتر خرج الحمل أقل من  $V_{pv}$  توتر خرج النظام PV، بينما يظهر في الشكل (25)، أن  $I_{out}$  تيار خرج الحمل أكبر من  $I_{pv}$ . وذلك يفسر بكون المبدل المستخدم خافض الجهد المستمر.



الشكل (23) تغيرات استطاعة  $P_{out}$  و  $P_{pv}$  عند تغير شدة الإشعاع الشمسي مع ثبات درجة الحرارة.

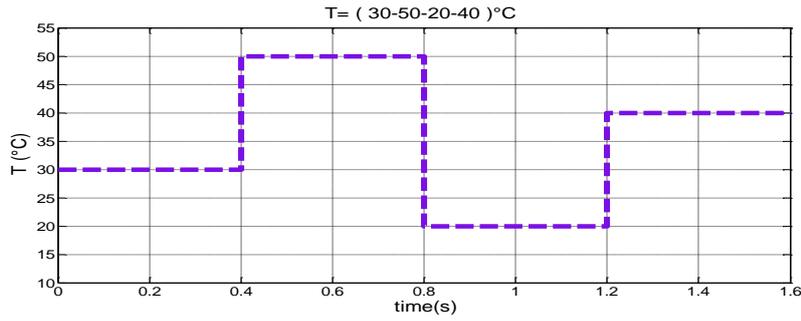


الشكل (24) تغير توتر  $V_{out}$  و  $V_{pv}$  عند تغير شدة الإشعاع الشمسي مع ثبات درجة الحرارة.

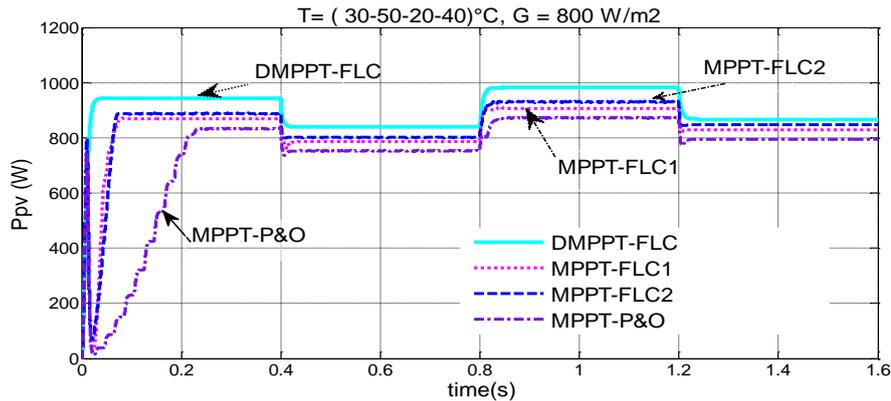


الشكل (25) تغير تيار  $I_{out}$  و  $I_{pv}$  عند تغير شدة الإشعاع الشمسي مع ثبات درجة الحرارة.

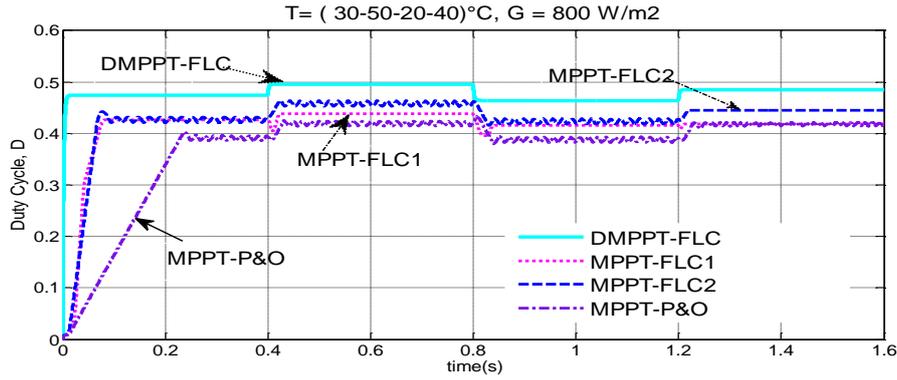
ترتبط تغيرات درجة حرارة الخلية الشمسية  $T$  بعلاقة خطية مباشرة مع تغير درجة حرارة الجو المحيط، حيث تؤدي زيادة درجة حرارة الجو المحيط إلى ارتفاع في درجة حرارة الخلية الشمسية والعكس بالعكس. لذلك يمكن فيما يلي دراسة أثر تغير درجة حرارة الجو المحيط على استطاعة خرج نظام PV، من خلال افتراض تغيرات مختلفة وفجائية لدرجة حرارة الخلية الشمسية  $T$  نظراً لعدم توفر قياسات حقيقية تجريبية. يظهر الشكل (27) تغير استطاعة خرج نظام PV عند تطبيق تغيرات افتراضية لدرجة الحرارة  $T$  واقعة ضمن المجالات الحرارية التالية:  $T = 30 - 50 - 20 - 40$  [°C] كما هو موضح بالشكل (26) الذي يظهر تغيرات لدرجة حرارة الخلية الشمسية  $T$  المأخوذة خلال فواصل زمنية متساوية، مع افتراض ثبات شدة الإشعاع الشمسي  $G = 800$  [W/m<sup>2</sup>]. حيث يظهر الشكل (27)، أنه عند زيادة درجة الحرارة  $T$  من  $30$  [°C] إلى  $50$  [°C]، تتخفض استطاعة خرج نظام PV، وبالعكس بانخفاض درجة الحرارة  $T$  من  $50$  [°C] إلى  $20$  [°C]، تزداد الاستطاعة  $P_{pv}$ ، وهذا يظهر العلاقة العكسية بين تغير درجة حرارة الخلية الشمسية وتغير استطاعة نظام PV. كما يظهر الشكل (27) أن استطاعة نظام PV المستحصل عليها باستخدام المتحكم المطور في البحث DMPPT-FLC، هي أكبر من تلك الناتجة باستخدام كل من MPPT-FLC2، MPPT-FLC1 و MPPT-P&O، ويعتبر ذلك نتيجة الأداء الأفضل للمتحكم DMPPT-FLC، بتحديد القيم المثلى لنسبة التشغيل بدقة كبيرة مقارنة باستخدام كل من المتحكمات الأخرى كما هو مبين بالشكل (28).



الشكل (26) تغيرات درجة حرارة الخلية الشمسية



الشكل (27) استطاعة خرج نظام PV عند تغير درجة الحرارة وشدة إشعاع شمسي ثابتة.



الشكل (28) تغير نسبة التشغيل  $D$  عند تغير درجة الحرارة وشدة إشعاع شمسي ثابتة.

تحدد نسبة التشغيل الأمثل النظرية  $D_{opt}$  بالاعتماد على معرفة ممانعة الحمل  $R_{load}$  وممانعة نظام

PV الناتجة عند تيار  $I_{mpp}$  وتوتر  $V_{mpp}$  لنقطة الاستطاعة العظمى MPP، كما يلي:

$$D_{opt} = \sqrt{\frac{R_{load}}{R_{pv}}} ; R_{pv} = \frac{V_{mpp}}{I_{mpp}} \quad (12)$$

يبين الجدول (4) و(5)، التقارب الكبير بين قيم نسبة التشغيل الناتجة باستخدام المتحكم المطور DMPPT-FLC وبين تلك القيم المقابلة النظرية  $D_{opt}$ ، مقارنة مع قيم نسبة التشغيل الناتجة باستخدام كل من المتحكمات العائمة المرجعية MPPT-FLC1، MPPT-FLC2، والمتحكم MPPT-P&O عند تغيرات جوية مختلفة.

الجدول (4) قيم نسبة التشغيل النظرية ونسبة التشغيل خرج متحكمات DMPPT-FLC، MPPT-FLC1، MPPT-FLC2، MPPT-P&O

و MPPT-P&O عند تغيرات مختلفة لشدة الإشعاع الشمسي مع ثبات درجة حرارة الخلية الشمسية  $T = 25[^\circ\text{C}]$ .

شدة الإشعاع الشمسي [W/m <sup>2</sup> ]	نسبة التشغيل الأمثل النظرية	نسبة التشغيل خرج DMPPT-FLC	نسبة التشغيل خرج MPPT-FLC1	نسبة التشغيل خرج MPPT-FLC2	نسبة التشغيل خرج MPPT-P&O
1000	0.5220	0.5219	0.4900	0.4900	0.4572
900	0.4964	0.4963	0.4626	0.4581	0.4300
700	0.4405	0.44045	0.4122	0.3977	0.3658
500	0.3758	0.3767	0.3767	0.3428	0.3229
300	0.2959	0.2959	0.3517	0.2688	0.2467

تتضمن كل من الجداول (6)، (7) قيم  $\eta_{pv}$  عامل كفاءة نظام PV، الناتج بقسمة  $P_{pv}$  الممثلة لاستطاعة

خرج نظام PV، على الاستطاعة النظرية العظمى  $P_{MPP}$  المحددة عند نفس الشروط الجوية. بمقارنة نتائج الجداول،

نلاحظ أن المتحكم DMPPT-FLC، ساهم بتحسين عامل كفاءة نظام PV بشكل أفضل مقارنة مع كل من

المتحكمات العائمة المرجعية MPPT-FLC1، MPPT-FLC2، و MPPT-P&O عند تغيرات جوية مختلفة.

الجدول (5) قيم نسبة التشغيل النظرية ونسبة التشغيل خرج متحكمات MPPT-FLC2، MPPT-FLC1، DMPPT-FLC و MPPT-P&O عند تغيرات مختلفة لدرجة الحرارة مع ثبات شدة الإشعاع الشمسي  $G = 800 [W/m^2]$ .

درجة حرارة الخلية الشمسية [°C]	نسبة التشغيل الأمثل النظرية	نسبة التشغيل خرج DMPPT-FLC	نسبة التشغيل خرج MPPT-FLC1	نسبة التشغيل خرج MPPT-FLC2	نسبة التشغيل خرج MPPT-P&O
20	0.4643	0.4642	0.4208	0.4249	0.3869
30	0.4744	0.4743	0.4257	0.4302	0.3943
40	0.4849	0.4849	0.4185	0.4448	0.4180
50	0.4960	0.4960	0.4379	0.4595	0.4222

الجدول (6) عامل كفاءة نظام PV الناتج باستخدام كل من المتحكمات MPPT-FLC2، MPPT-FLC1، DMPPT-FLC و MPPT-P&O عند سويات مختلفة للإشعاع الشمسي

شدة الإشعاع الشمسي $[W/m^2]$	$\eta_{pv}$ DMPPT-FLC	$\eta_{pv}$ MPPT-FLC1	$\eta_{pv}$ MPPT-FLC2	$\eta_{pv}$ MPPT-P&O
1000	0.9821	0.9585	0.9585	0.8985
900	0.9996	0.9323	0.9566	0.8974
700	0.9627	0.9564	0.9564	0.8966
500	0.9842	0.9163	0.9531	0.8931
300	0.9646	0.6152	0.9429	0.8892

الجدول (7) عامل كفاءة نظام PV الناتج باستخدام كل من المتحكمات MPPT-FLC2، MPPT-FLC1، DMPPT-FLC و MPPT-P&O عند  $G = 800 [W/m^2]$  و عند تغير درجة الحرارة.

درجة الحرارة [°C]	$\eta_{pv}$ DMPPT-FLC	$\eta_{pv}$ MPPT-FLC1	$\eta_{pv}$ MPPT-FLC2	$\eta_{pv}$ MPPT-P&O
50	0.9884	0.9255	0.9472	0.8875
40	0.9748	0.9314	0.9513	0.8918
30	0.9992	0.9336	0.9545	0.8939
20	0.9992	0.9311	0.9582	0.8983

### الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث العمل على تطوير نموذج جديد لمتحكم عائم DMPPT-FLC في بيئة Matlab/Simulink، لتتبع نقطة MPP لنظم PV، وذلك باعتبار أن متغيرات الدخل للمتحكم تمثل تغيرات درجة حرارة الخلية الشمسية وشدة الإشعاع الشمسي، المستخدمة لتحديد خرج المتحكم الموافق لنسبة التشغيل المثلى المستخدمة لضبط دورة عمل مبدل خافض الجهد المستمر لتحقيق عمل نظام PV عند نقطة MPP. تم اختبار فعالية وأداء المتحكم المقترح في بيئة Matlab/Simulink، مع أداء نماذج مرجعية أخرى لمتحكم MPPT-FLC يعتمد

عملها على استخدام عدد من القياسات الكهربائية لخرج نظام PV، ومقارنة مع متحكم تقليدي MPPT-P&O عند التغيرات الجوية المختلفة، بناء على ذلك تم الوصول إلى الاستنتاجات التالية:

- شكل المتحكم المطور في البحث، نموذج حاسوبي مكن من تحديد بسرعة فائقة ودقة عالية قيم نسبة التشغيل المثلى مباشرة بشكل مستقل عن استخدام النموذج الرياضي لنظام PV، مما حقق بشكل واضح تحسين عامل كفاءة نظام PV مقارنة مع استخدام كل من المتحكمات المرجعية المستخدمة.
- حقق المتحكم DMPPT-FLC انتقال سلس وسريع من نقطة MPP إلى أخرى استجابة للتغيرات الجوية السريعة، بالإضافة للتخلص بشكل نهائي من التذبذبات الدائمة في استجابة الحالة المستقرة لمنحني استطاعة نظام PV، وهذا ما لم يمكن تحقيقه بكفاءة عالية باستخدام كل من المتحكمات المرجعية المستخدمة.

يمكن استكمال العمل بدراسة استخدام تقنية الخوارزميات الجينية أو الشبكات العصبونية مع التحكم المعتمد على المنطق العائم للحصول على نظام تحكم هجين ذو أداء أفضل يتمتع بمزايا كل من تقنيات التحكم المدمجة فيه، مما يحسن من كفاءة أداء متتبع نقطة MPP عند التغيرات الجوية المختلفة.

### المراجع:

- [1] SARAVANA, S.; PRATAP, N.; UMayAL .A Review on Photovoltaic MPPT Algorithms. International Journal of Electrical and Computer Engineering 6, 2016, 567-582.
- [2] SHIAU, J.; WEI, Y.; CHEN, B. A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables. Algorithms 2015, 100- 127.
- [3] GARG, A.; NAYAK, R.; GUPTA, S. Comparison of P&O and Fuzzy Logic Controller in MPPT for Photo Voltaic (PV) Applications by Using MATLAB/Simulink. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering 10, 2015, 53-62.
- [4] KUMAR, M.; Kapoor, S. R.; NAGAR, R.; VERMA, A. Comparison between IC and Fuzzy Logic MPPT Algorithm Based Solar PV System using Boost Converter. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering 4, 2015, 4927- 4939.
- [5] MALIK, S.; SWARUP, A. Fuzzy Logic Based adaptive perturbation and Observation MPPT for Photovoltaic System. International Seminar on Renewable Energy and Sustainable Development 2, 2015, 47- 53.
- [6] ASSEM, H, BOUCHAFA, F, HADJ, A, BOUZIDI, B. Fuzzy logic controller in optimizing of power management in stand-alone photovoltaic system. Revue des Energies Renouvelables Siernr 14, 2014, 41- 48.