

تحسين أداء منظم جهد شمسي باستخدام متحكم الإشراف الضبابي (FSC)

د. محسن داود*

د. محمد ديوب**

محمد ونوس***

(تاريخ الإيداع 14 / 7 / 2020. قَبِلَ للنشر في 11 / 1 / 2021)

□ ملخص □

يتضمن البحث دراسة أنظمة التحكم الحديثة ويركز على النظام الذي يستخدم كل من التحكم الضبابي (Fuzzy Logic Control) ونظام التحكم التناسبي التكاملية التفاضلي المعروف (PID) . والذي يدعى بنظام تحكم الإشراف الضبابي (Fuzzy Supervisory Controller) FSC ، وسيتم استخدام هذا النظام في منظم الجهد الشمسي للحصول على أفضل بارامترات استجابة.

حيث تم ضبط الجهد الناتج عن اللوح الشمسي باستخدام مقطع جهد رافع-خافض (Buck-Boost converter)، متحكم به باستخدام المتحكم (FSC). كما تمت محاكاة هذه النظام باستخدام بيئة Simulink في برنامج Matlab. تم حساب بارامترات المتحكم (PID) الابتدائية باستخدام قواعد زيغلر-نيكولس ، واستخدامه في منظم الجهد الشمسي . كما تم ضبط قواعد المتحكم الضبابي لتقوم بدورها بمعايرة بارامترات الـ(PID) بشكل آني حسب قيمة الخطأ وتغيير الخطأ . ومن ثم تمت المقارنة بين نتائج استخدام كل من المتحكم (PID) و (FSC) ، حيث أثبتت النتائج أن استخدام (FSC) يعطي نتائج أفضل من (PID) ويؤدي تحسناً واضحاً في منحنى الخرج من أجل جميع بارامترات الاستجابة .

الكلمات المفتاحية: المتحكم التناسبي التكاملية التفاضلي، المتحكم الضبابي الإشرافي، مقطع جهد رافع_خافض، التعديل النبضي العرضاني، الخلية الشمسية، الإشعاع الشمسي.

* أستاذ - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

**أستاذ - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

***طالب دراسات (ماجستير) - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

Improving the Performance of Solar Voltage Regulator Using Fuzzy Supervisory Controller (FSC)

Dr. Mohsen Daood*
Dr. Mohammad Dayoub**
Mohammad Wanous***

(Received 14 / 7 / 2020. Accepted 11 / 1 / 2021)

□ ABSTRACT □

This paper includes a study of modern control systems , and focuses on the system that uses both Fuzzy Logic Control (FLC) and Proportional Integral Differential control (PID). which called the (Fuzzy Supervisory Controller)FSC, this system will be used in the solar voltage regulator to get the best response parameters.

The voltage generated by the solar panel has been adjusted using a Buck-Boost converter , which controlled using (FSC) controller. This system is also simulated using the Simulink environment in MATLAB.

The initial PID parameters have been calculated using Ziegler-Nichols rules, and it has been used in the solar voltage regulator. Fuzzy Logic controller rules have also been set to simultaneously calibrate the PID parameters according to the error and change in error. Then the comparison has made between the results of using the both controller (PID) and (FSC). The results have proved that the using of (FSC) gives better results than (PID) and showed a clear improvement in the output curve for all response parameters .

Keywords: Proportional Integral Differential controller (PID) - Fuzzy Supervisory Controller - Buck-Boost converter – Pulse Width Modulation (PWM) – Solar panel – Solar radiance

* Professor - Department of Mechatronic Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .

** Professor - Department of Mechatronic Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .

*** Postgraduate Student, Department of Mechatronic Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

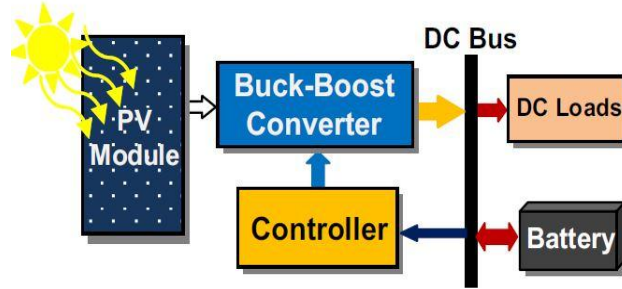
مقدمة:

تعتمد الطاقة الشمسية في انتاجيتها بشكل رئيسي على الاشعاع الشمسي، والذي يعتبر متغيراً من حين لآخر، فيؤدي إلى عدم انتظام في الجهد المولد من الخلايا الشمسية. مما يستدعي التحري عن كيفية تصميم ومحاكاة نظام تحكم لتحقيق الاستقرار في جهد الخرج للنظام الشمسي وضبطه عند قيمة مرغوبة تلائم استخدامها .

إن استخدام المتحكمات التقليدية مثل (PID) يعطي نتائج جيدة في مثل هذه الأنظمة لكنها ليست الأفضل بتحقيق بارامترات التحكم العالي الأداء خصوصاً في الحالات العابرة . كما أن مختلف التحديات الراهنة تقوم على ايجاد نظام تحكم يعطي أفضل بارامترات استجابة ، لكي يلبي مختلف التطبيقات ، خاصة تلك التي تتطلب دقة عالية ، أو التي يكون فيها عامل الزمن مهماً . [1]

طرحت العديد من الدراسات هذا الموضوع ، وركزت أغلبها على استخدام المتحكم الضبابي (Fuzzy Controller)، أو استخدام متحكمات (PID) ، وأيضاً ادخال التحكم الضبابي إلى أحد بارامترات المتحكم (PID). في هذا البحث تم استخدام متحكم (FSC) في نموذج مقطع جهد خافض- رافع . واستخدام جملة من القواعد الضبابية التي تقوم بدورها بمعايرة المتحكم (PID) عند حدوث أي تغيير على إشارة الخطأ للنظام ، وإعطاء إشارات التحكم المناسبة لمقطع الجهد المسؤول عن الحفاظ على جهد خرج ثابت للمنظم .

يبين الشكل (1) نظام متكامل مكون من خلية شمسية، منظم جهد خافض_رافع، ومتحكم، وبطارية/حمل .



الشكل (1) نظام خلية شمسية-بطارية/حمل

أهمية البحث وأهدافه:

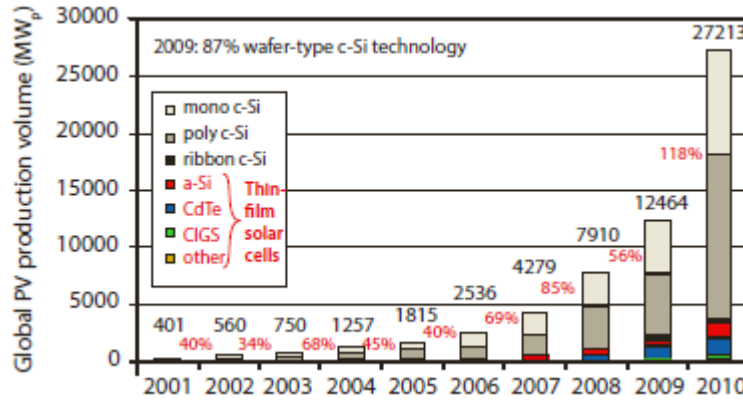
تكمن أهمية البحث في الحصول على جهد مستقر للوح الشمسي. الذي يكون متغيراً وفقاً لتغير الاشعاع الشمسي. وبالتالي استقرار وموثوقية عالية لمختلف تطبيقات الخلايا الشمسية . كما يهدف لنمذجة نظام التحكم الضبابي الإشرافي (FSC) واستخدامه في منظم الجهد الشمسي . ومقارنة النتائج التي يعطيها هذا المتحكم مع نتائج استخدام المتحكم (PID) .

طرائق البحث ومواده:

- 1- تم استخدام بيئة المحاكاة في برنامج الماتلاب لنمذجة كل من وحدة التحكم (PID) و (FSC) واستخدامها في نموذج محول الجهد (buck-boost) لخلية شمسية .
- 2- تم استخدام قواعد زيغلر_نيكولس لضبط بارامترات المتحكم (PID) .
- 3- تم استخدام المحرر (fuzzy Editor) في ماتلاب لضبط قواعد المتحكم الضبابي التي تقوم بدورها بمعايرة بارامترات المتحكم PID .

1- الإشعاع الضوئي والخلايا الكهروضوئية:

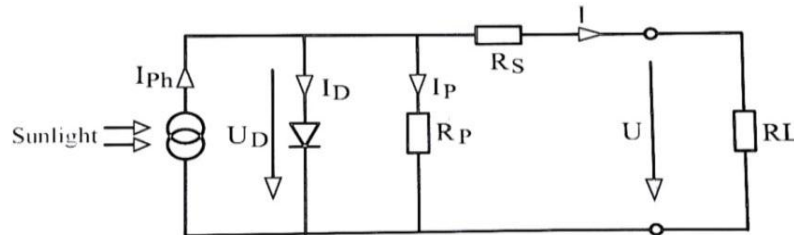
تبلغ كثافة الإشعاع الشمسي (الضوئي) الذي يصل إلى سطح الأرض " والمعروف باسم ثابت الطاقة الشمسية " 1360 w/m^2 على كرة يبلغ نصف قطرها 149,596,000 كم ، مع وجود الشمس في مركزها [2]. و حالياً أصبحت الخلايا الشمسية جزءاً هاماً من أنظمة الطاقة الكهربائية ، وتحديدًا في الشبكات الذكية. ويمكن أن تلعب التكنولوجيا الحديثة ، التي تركز على إلكترونيات الطاقة ، دوراً مهماً في حل مشكلات توليد الطاقة الشمسية. فقد تم تحسين تطبيقات إلكترونيات الطاقة مثل محول AC-DC ، محول DC-DC ، DC-AC العاكس ، وأجهزة كهربائية أخرى كأشكال جديدة من توليد الطاقة المتجددة من أجل تقليل التكلفة وزيادة كفاءة مصادر الطاقة المتجددة. يبين الشكل (2) الإنتاج العالمي من الألواح الكهروضوئية في السنوات الأخيرة. [3] يمثل المحور الرأسي الإنتاج السنوي المعبر عنه في إجمالي القدرة المنتجة للطاقة الشمسية مقدرة بـ MW . والمحور الأفقي يشير إلى السنوات ، ونرى أن إنتاج الخلايا الشمسية يتزايد بنسبة 40% كل عام ، وهذا نمو هائل .



الشكل (2)، الإنتاج العالمي من الألواح الكهروضوئية في السنوات الأخيرة [3]

2- نموذج المودول الكهروضوئي:

باعتبار أن المودول الكهروضوئي يتكون من عدد من الخلايا الكهروضوئية المتشابهة الموصولة مع بعضها على التسلسل أو التفرع ، فإنه لبناء نموذج المودول الكهروضوئي لابد من الاعتماد على الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية المبينة بالشكل (3) والمعادلات الموافقة لها .



الشكل (3) الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية

من الدارة المكافئة نجد :

$$I_{ph} - I = I_D + I_p$$

$$I_{ph} - I = I_D + \frac{U_D}{R_p}$$

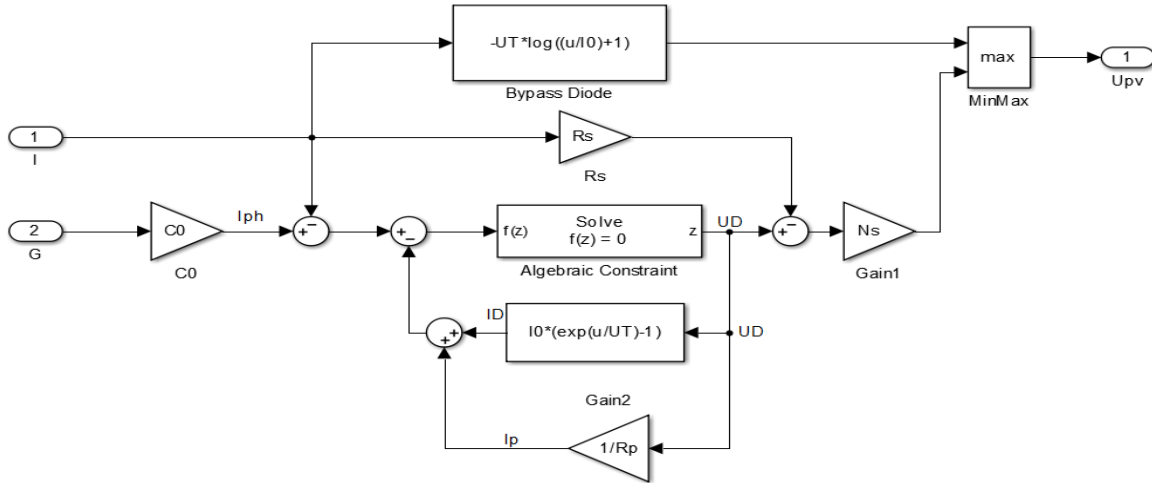
$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right)$$

$$U = U_D - R_s \cdot I$$

حيث :

- الضياعات أثناء انتقال حوامل الشحنة بين الطبقتين n و p وأقطاب الخلية .
- R_p تمثل الضياعات التسريعية أثناء انتقال بعض حوامل الشحنات ضمن الطبقة الواحدة التي لا تساهم في تكوين تيار الخلية .
- C_0 : ثابت التيار الكهروضوئي .
- I_{ph} : التيار الكهروضوئي الناتج عن الاشعاع الضوئي والذي يساوي تيار القصر للخلية .
- I : تيار الخلية الكهروضوئي .
- I_D : تيار الديود .
- U_D : الجهد على طرفي الديود .
- I_0 : تيار الاشباع عند الانحياز العكسي .
- U : توتر الخلية .
- U_T : التوتر الحراري للديود .

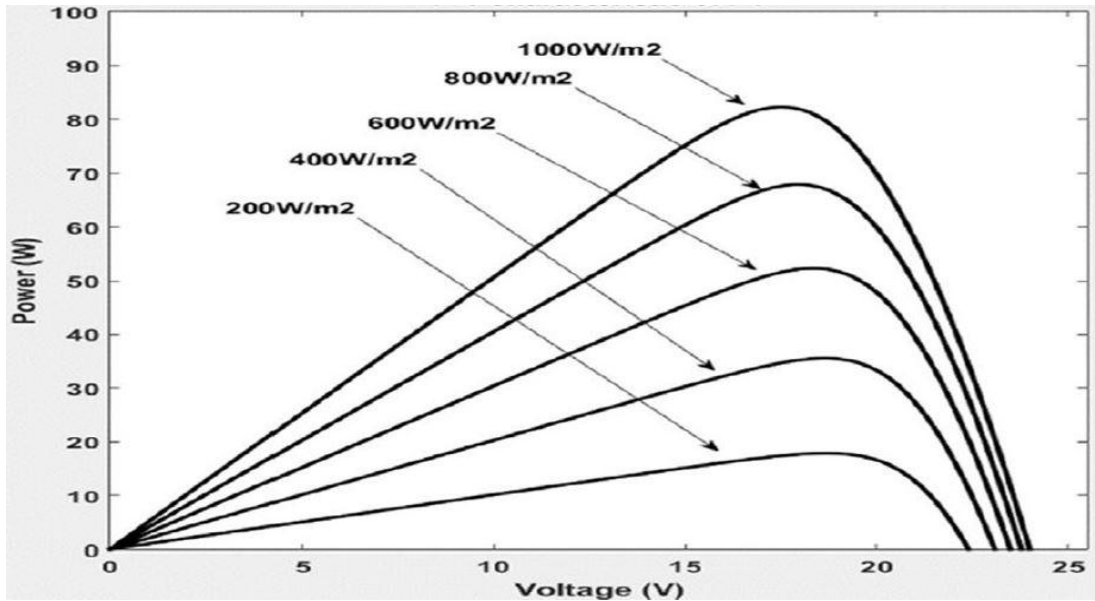
يبين الشكل (4) نموذج المودول الكهروضوئي في بيئة (Matlab/Simulink) بالاعتماد على الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية. [4]



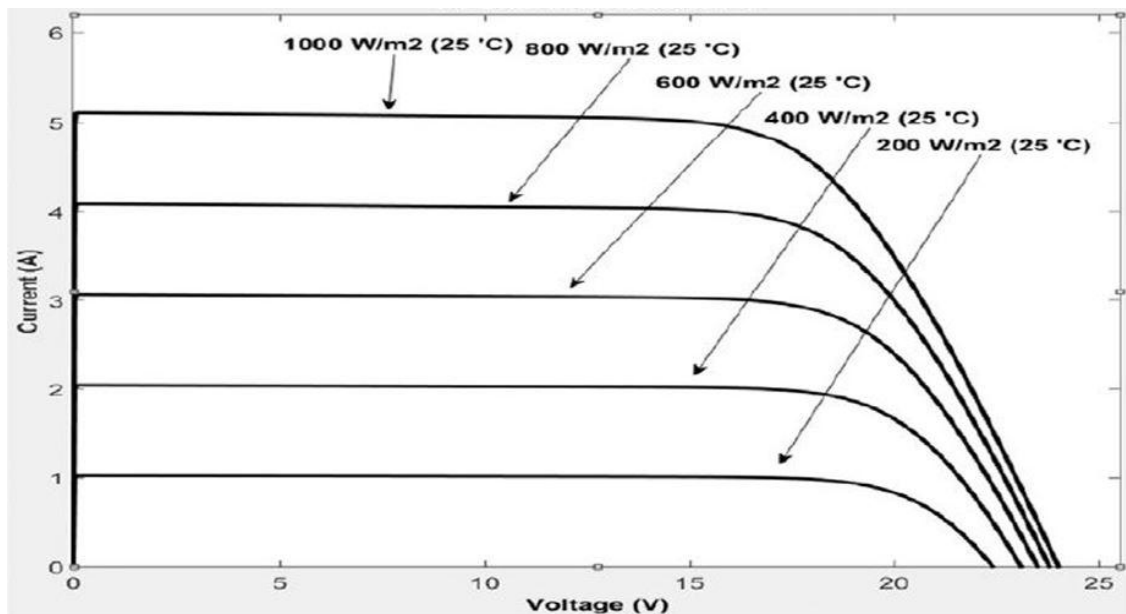
الشكل (4) نموذج المودول الكهروضوئي في ماتلاب

3- العوامل المؤثرة في خرج الخلايا الكهروضوئية :

تعتمد الخلايا الشمسية بشكل اساسي في انتاج الطاقة على كمية الضوء الوارد إلى اللوح الشمسي ، وهذه الكمية من الضوء تختلف من حين لآخر حسب الظروف الجوية المحيطة وحسب اوقات النهار . ويبين الشكل (5-a) خواص الطاقة مع الجهد (P-V) ، والشكل (5-b) خواص الطاقة مع التيار (I-V) عند تغير شدة الاشعاع الوارد إلى اللوح الشمسي من 200 w/m^2 إلى 1000 w/m^2 . [5]



الشكل (5-أ) خواص الطاقة مع الجهد (P-V) عند تغير الاشعاع [5]



الشكل (5-ب) خواص التيار مع الجهد (I-V) عند تغير الاشعاع [5]

4- مقاطعات الجهد المستمر:

تعتبر المقطعات إحدى تجهيزات الكترونيايات القدرة الكهربائية التي تؤمن التغذية بجهود والتيارات قابلة للتحكم . وعادة يتم تنظيم الخرج بواسطة تقنية التعديل النبضي العرضاني (Pulse-Width Modulation) للتحكم بفتح واغلاق العنصر الالكتروني المستخدم في دارة المقطع والذي يكون احد ترانزستورات Mosfet , IGBT , BJT . وبالتالي يجب تحديد قيمة عرض نبضة التشغيل (Duty Cycle) التي تعطى بالعلاقة :

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \text{ sec}$$

يتم استخدام مرشحات LC لإزالة التوافقيات المشوهة لإشارة الخرج .
تمتاز التجهيزات الكهربائية التي تستخدم مقطعات الجهد المستمر بإمكانية التحكم بالتسارع بشكل سلس وبكفاءة عالية
واستجابة ديناميكية سريعة. [6]
وتقسم المقطعات إلى :

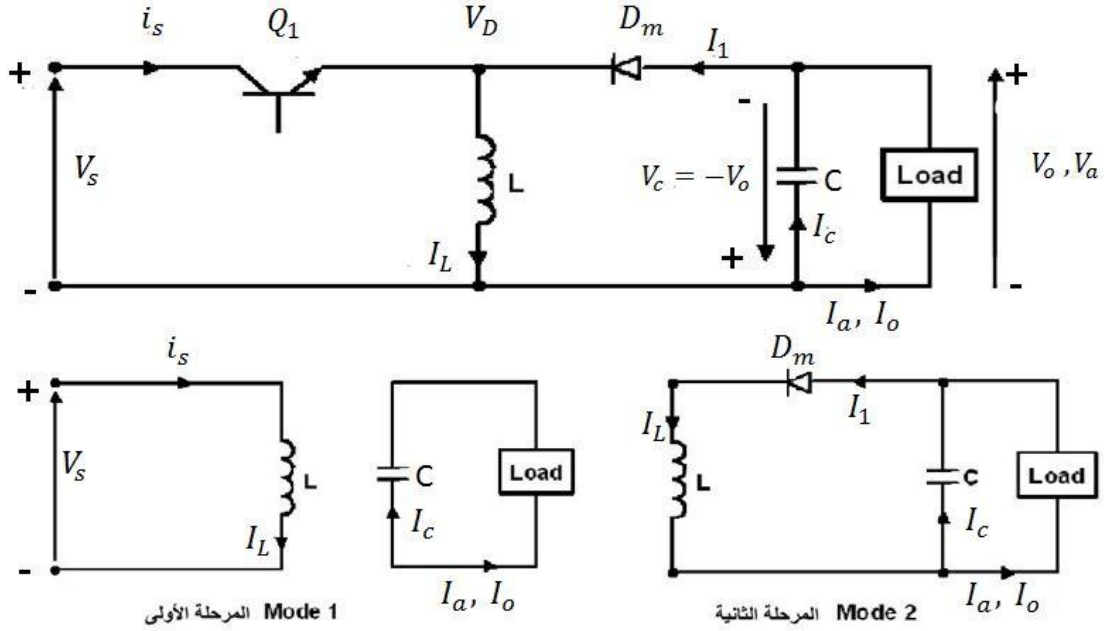
-مقطع خافض (Buck converter).

-مقطع رافع (Boost converter).

-مقطع خافض رافع (Buck- Boost converter)

4-1- نموذج المقطع الخافض- الرافع (Buck-Boost Converter) :

يمكن أن تكون القيمة المتوسطة للجهد على الحمل في مثل هذه المقطعات أكبر أو أصغر من جهد الدخل، وتكون قطبية جهد الحمل معاكسة لقطبية جهد الدخل، لذلك يمكننا اعتباره كمقطع قالب. ويبين الشكل(6) الدارة المكافئة لهذا المقطع.



الشكل(6) الدارة المكافئة للمقطع الرافع_الخافض [6]

حيث :

- V_s جهد الدخل
- V_a جهد الخرج
- I_L تيار المحارضة (الملف)
- I_s تيار الدخل
- I_c التيار المار بالمكثف c .
- V_c الجهد بين طرفي المكثف c
- I_a, I_o يمثل تيار الخرج

إن تيار المحارضة I_L يزداد خطياً من القيمة I_1 إلى I_2 في المرحلة الأولى (t_1) ، ويتناقص خطياً من القيمة I_2 إلى I_1 في المرحلة الثانية t_2 من العمل :

$$V_s = L \cdot \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \dots \dots \dots t_1 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_s}$$

$$V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \dots \dots \dots t_2 = \frac{-\Delta I \cdot L}{V_a}$$

يحدد تغير تيار المحارضة بالعلاقة : $\Delta I = I_2 - I_1$

كما يمكن تحديد تغير تيار المحارضة من العلاقات السابقة كما يلي :

$$\Delta I = -\frac{V_s \cdot d}{1 - d}$$

حيث d تمثل زمن دورة التشغيل (duty cycle)

بإهمال الضياعات في الدارة نجد :

$$V_s \cdot I_s = -V_a \cdot I_a = \frac{V_s \cdot I_a \cdot d}{1 - d}$$

وبالتالي فإن القيمة المتوسطة لتيار الدخل تتحدد بالعلاقة التالية :

$$I_s = \frac{I_a \cdot d}{1 - d}$$

تعطى القيمة المتوسطة لجهد الخرج بالعلاقة :

$$V_a = V_s \frac{d}{1 - d}$$

يمكننا تحديد دور المقطع (T) كما يلي :

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_s} - \frac{\Delta I \cdot L}{V_a} = \frac{\Delta I \cdot L (V_a - V_s)}{V_s \cdot V_a}$$

وبالتالي فإن :

$$\Delta I = \frac{V_a \cdot V_s}{f \cdot L (V_a - V_s)} = \frac{V_s \cdot d}{f \cdot L}$$

في المرحلة الأولى عندما يكون الترانزستور Q1 موصلًا يقوم المكثف المشحون بتغذية الحمل حتى نهاية هذه المرحلة [7] .

إن القيمة المتوسطة لتيار المكثف خلال t_1 تساوي القيمة المتوسطة لتيار الحمل ($I_c = I_a$) .

يمكننا تحديد مجال تغير الجهد على الحمل أو المكثف C بالعلاقة التالية :

$$\Delta V_c = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_a dt = \frac{I_a \cdot t_1}{C} \dots \dots \dots t_1 = \frac{V_a}{f (V_a - V_s)}$$

$$\Delta V_c = \frac{I_a V_a}{(V_a - V_s) f \cdot C} = \frac{I_a d}{f \cdot C}$$

من علاقة القيمة المتوسطة لجهد الخرج نجد أن قيمة d (التي تشير هنا إلى قيمة الـ Duty Cycle) هي العامل

الأساسي الذي يربط جهد الخرج بالدخل . ونميز فيها عدة حالات :

• $d=0$ فإن خرج المقطع يساوي الصفر .

• $d=1$ فإن خرج المقطع لانهائي .

- $d=0.5$ جهد الخرج للمقطع يساوي جهد الدخل.
- $d < 0.5$ المقطع يعمل كمقطع خافض (Buck).
- $d > 0.5$ المقطع يعمل كمقطع رافع (Boost).

4-2- حساب بارامترات منظم الجهد الشمسي وفق متطلبات العملية:

أصبح الآن بالإمكان حساب بارامترات مقطع الجهد ، بفرض جهد التغذية $V_s=20$ والجهد المطلوب (للخرج) $V_0=12$ لشحن بطارية ، وقيمة الحمل $R=60$ ، وتردد تقطيع 20KHz .
بالتالي تكون قيمة d :

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{d}{1-d} \dots \dots \dots d = 0.375$$

فتكون القيمة المتوسطة لتيار الخرج :

$$I_a = \frac{V_o}{R} = \frac{12}{60} = 0.2 \text{ A}$$

ولحساب سعة المكثف :

$$\Delta V_c = \frac{I_a d}{f \cdot C}$$

أي أن سعة المكثف تكون :

$$C = \frac{I_a d}{\Delta V_c \cdot f} = \frac{0.2 \cdot 0.375}{0.05 \cdot 20000} = 75 \mu f$$

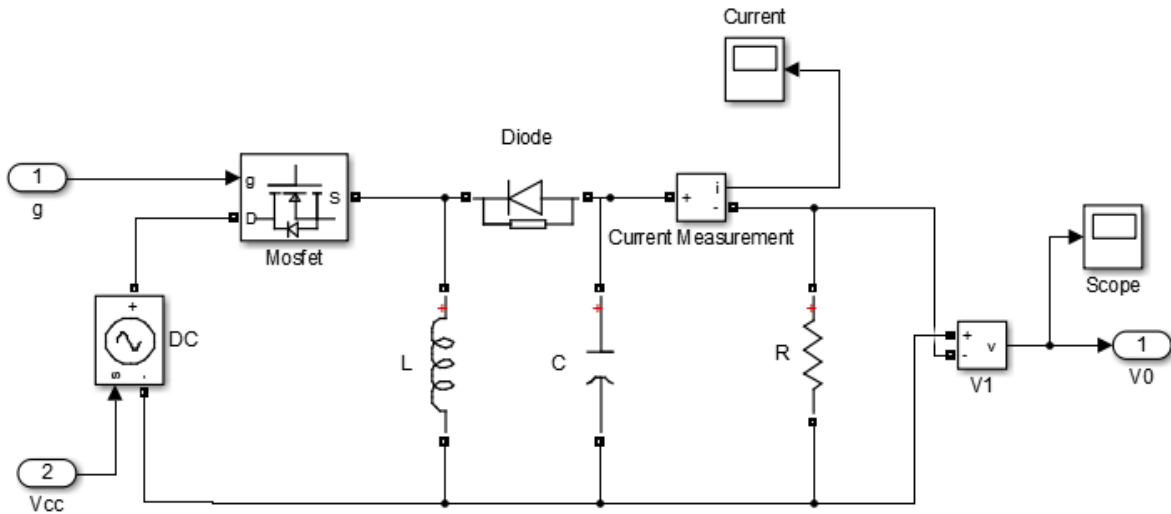
لحساب قيمة المحارضة نستخدم العلاقة :

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot d}{f \cdot L}$$

أي أن قيمة المحارضة تكون :

$$L = \frac{V_s \cdot d}{\Delta I \cdot f} = \frac{20 \cdot 0.375}{2 \cdot 20000} = 0.18 \text{ mH}$$

يبين الشكل (7) نموذج (Buck- Boost converter) في بيئة (Matlab/Simulink) بالاعتماد على الدارة المكافئة الخاصة به.



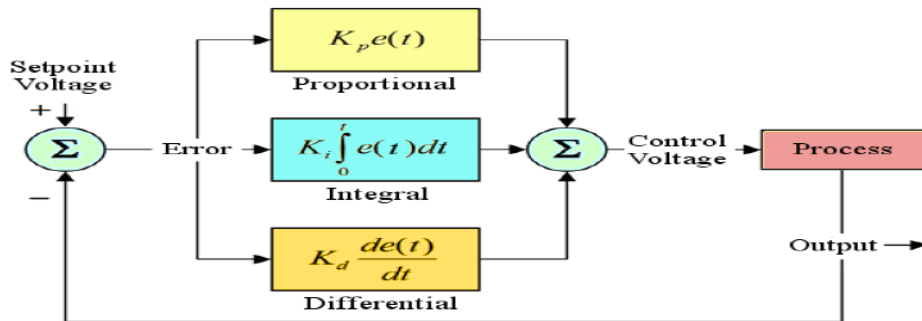
الشكل (7) نموذج (Buck- Boost converter) في بيئة (Matlab/Simulink)

حيث تتكون الدارة من منبع مستمر DC ، ترانزستور من نوع Mosfet ، ملف L ومكثفة C ومقاومة R ، و ديود موصول بشكل عكسي . وقد تم استخدام مقياس تيار (Current Measurement) موصول مع راسم إشارة ، وكذلك مقياس جهد لقياس الجهد بين طرفي المقاومة وموصول مع راسم إشارة Scope في بيئة Simulink لعرض جهد الخرج .

5- متحكمات الـ PID:

تستخدم الكثير من الأنظمة الصناعية المتحكمات التقليدية المعروفة (PID) والتي أثبتت فعاليتها في أنظمة التحكم الخطية ولعل العاملين الأساسيين اللذين يؤديان إلى الاستمرار في استخدام وحدات التحكم PID في التطبيقات الصناعية هي:

- سهولة فهم وإعداد وحدة تحكم PID
- توافر وظيفة تحكم PID في برمجيات SCADA وأجهزة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) . [8]
- لكنها لم تثبت فعاليتها في تلك الأنظمة التي تحتوي على درجات من اللاخطية وتغير البارامترات وعدم الدقة في النموذج الرياضي للنظام . [1]
- ويمكن تلخيص قواعد توليف المتحكم كما يلي:
- اختيار قيمة Kp للوصول إلى السرعة المطلوبة للاستجابة .
- اختيار قيمة Ki للحصول على أداء الحالة المستقرة المرغوب (وهنا يمكن أن نحتاج إلى إعادة ضبط Kp)
- إضافة العامل التفاضلي Kd للإقلال من التجاوزات وتحسين زمن التخماد . [9]
- ويمثل الشكل(8) وحدة تحكم PID من أجل أي نظام بإشارة تغذية عكسية ومقارنتها مع المرجعية لإعطاء إشارة خطأ تمثل دخل المتحكم.



الشكل(8) وحدة تحكم PID . [8]

5-1- قواعد (Ziegler-Nichols) لتوليف متحكمات PID :

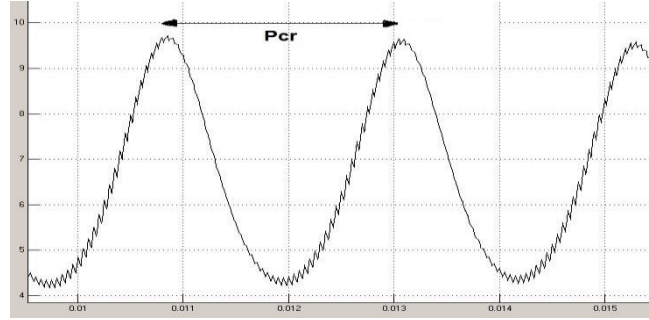
تعتمد قواعد زيغلر- نيكولس المقترحة لتحديد قيم الريح التناسبي Kp ، الزمن التكاملي Ti والزمن التفاضلي Td على مواصفات الاستجابة لموضوع التحكم . ويوجد طريقتين لتوليف المتحكمات ، وقد تم اعتماد الطريقة الثانية نظراً لأن النظام يبدي اهتزازات مستقرة لدى الوصول إلى القيمة الحرجة K_{cr} والتي يتلخص شرحها فيما يلي:

نضع أولاً $T_i = \infty$ و $T_d = 0$ ، ونزيد فعل التحكم التناسبي فقط بإعطاء الريح K_p قيمة من 0 حتى القيمة الحرجة K_{cr} حيث يظهر الخرج اهتزازات مستقرة. وبذلك فإن الريح الحرج K_{cr} والفترة الزمنية الموافقة P_{cr} يحددان تجريبياً. واقترح زيغلر نيكولس في هذه الحالة أن تأخذ بارامترات المتحكم قيمةً موافقة للمعادلات الواردة في الجدول (1) . [9]

الجدول (1) قواعد توليف زيغلر - نيكولس المعتمدة على الريح الحرج K_{cr} والزمن الحرج P_{cr} (الطريقة الثانية)

Type of controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

وحسب قاعدة زيغلر-نيكولس كانت قيمة الريح الحرج تجريبياً $K_{cr} = 0.08$ والقيمة الزمنية الموافقة له $P_{cr} = 0.002$. يظهر الشكل (9) الاهتزازات المستقرة والقيمة الزمنية الموافقة للريح الحرج.



الشكل (9) القيمة الزمنية الموافقة للريح الحرج

بالتالي يمكن استنتاج البارامترات الثلاثة للمتحكم (K_p, K_i, K_d) :

$$K_p = 0.6K_{cr} = 0.6 * 0.08 = 0.048$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{K_p}{P_{cr}/2} = \frac{2 * 0.048}{0.002} = 48$$

$$K_d = K_p T_d = K_p \cdot \frac{P_{cr}}{8} = 0.048 * \frac{0.002}{8} = 12 * 10^{-6}$$

6- المنطق الضبابي Fuzzy Logic :

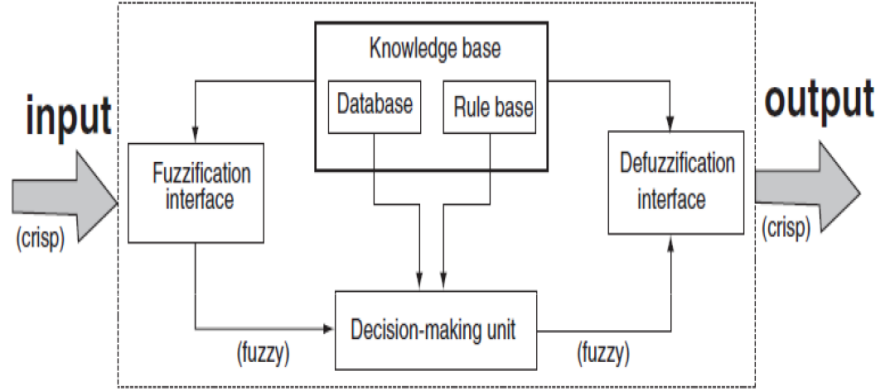
فرع من فروع الذكاء الصناعي يهدف إلى تقليد عملية اتخاذ القرار عند الانسان . مبني على نظرية المجموعات الضبابية والتي تسمح لعنصر ما بالانتماء الجزئي ،على خلاف المجموعات الكلاسيكية التي تأخذ قيمتين فقط (0,1) هناك خمسة أنواع من الأنظمة التي يكون فيها الغموض ضرورياً أو مفيداً : [10]

- الأنظمة المعقدة التي يصعب نمذجتها .
- الأنظمة التي يسيطر عليها الخبراء البشريين كونه يستخدم الكلمات بدلاً من الأرقام بالتالي يسمح بتمثيل المتغيرات اللغوية.
- الأنظمة ذات المدخلات والمخرجات المعقدة والمستمرة كونه يسمح بالانتماء الجزئي لعنصر ما، بخلاف المنطق الثنائي أو الكلاسيكي الذي يعتمد على قيمتين فقط هما (0,1).
- الأنظمة التي تستخدم الملاحظة البشرية كمدخلات أو كأساس للقواعد.
- الأنظمة التي تكون غامضة بشكل طبيعي ، مثل تلك الموجودة في العلوم السلوكية والاجتماعية.

6-1- نظام الاستدلال الضبابي (Fuzzy Inference System):

وهو العملية الكاملة لاتخاذ القرارات باستخدام المنطق الغامض ، والذي يشمل [11]:

- التغميض (Fuzzification)
- قاعدة المعرفة (Knowledge Base)
- اتخاذ القرار (Decision Making)
- ازالة التغميض (Defuzzification)



الشكل (10) نظام الاستدلال الضبابي [11]

Rule base : تحتوي على قواعد if-then الغامضة .

Database : تحدد توابع الانتماء للمجموعات الغامضة المستخدمة في القواعد .

Decision-making unit : تجري عمليات الاستدلال على القواعد .

Fuzzification interface : تحول المدخلات العددية إلى قيم ضبابية .

Defuzzification interface : تحول النتائج الضبابية لعملية الاستدلال إلى خرج عددي . [11].

6-2- تصميم المتحكم الضبابي للنظام الشمسي :

إن تصميم المتحكم الضبابي يحتاج معرفة جيدة لعمليات النظام ، حيث أن المتحكم له مدخلين هما :

- قيمة الخطأ (e)

- قيمة تغير الخطأ (Δe)

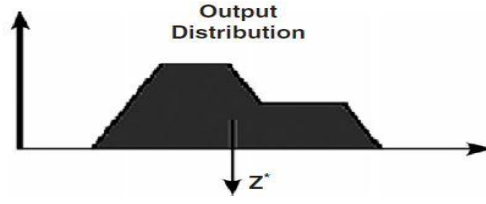
تم استخدام نمط الاستدلال مامداني (Mamdani) ، ومجموعات توابع الانتماء من النوع المثلي .

في عملية فك التغميض (Defuzzification) تم استخدام طريقة مركز الكتلة (center of mass) : حيث تأخذ هذه

التقنية توزيع الخرج وتجد مركز كتلته ليأتي برقم واحد واضح . ويتم حساب هذا على النحو التالي:

$$z = \frac{\sum_{j=1}^q Z_j u_c(Z_j)}{\sum_{j=1}^q u_c(Z_j)}$$

حيث z هي مركز الكتلة و u_c هي العضوية في الفئة c عند القيمة Z_j .



الشكل (11): إزالة التغميض باستخدام center of mass [11]

مجموعة القواعد الضبابية تم وضعها وفقاً لقيمة الخطأ وتغير الخطأ ، وتم استخدام 7 مجموعات ضبابية لكل منهما وهي (PB,PM,PS,Z,NS,NM,NB) حيث أن P هي اختصار Positive و Negative ، Z:Zero ،

. B:Big , M: Medium , S: Small

الجدول التالية تبين قواعد اتخاذ القرار لكل من البارامترات الثلاثة (K_p , K_i , K_d) .

الجدول(2) : قواعد اتخاذ القرار للبارامتر (K_p) اعتماداً على إشارة الخطأ وتغير الخطأ

K_p	Δe							
		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
e		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
	PB	NB	NB	NM	NM	NM	NS	Z
	PM	NB	NM	NM	NM	NS	Z	PS
	PS	NM	NM	NM	NS	Z	PS	PM
	Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
	NS	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PM
	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PM	PB
	NB	Z	PS	PM	PM	PM	PB	PB

الجدول(3): قواعد اتخاذ القرار للبارامتر (K_i) اعتماداً على إشارة الخطأ وتغير الخطأ

K_i	Δe							
		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
e		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
	PB	PB	PB	PM	PM	PM	PS	Z
	PM	PB	PM	PM	PM	PS	Z	NS
	PS	PM	PM	PM	PS	Z	NS	NM
	Z	PM	PM	PS	Z	NS	NM	NM
	NS	PM	PS	Z	NS	NM	NM	NM
	NM	PS	Z	NS	NM	NM	NM	NB
	NB	Z	NS	NM	NM	NM	NB	NB

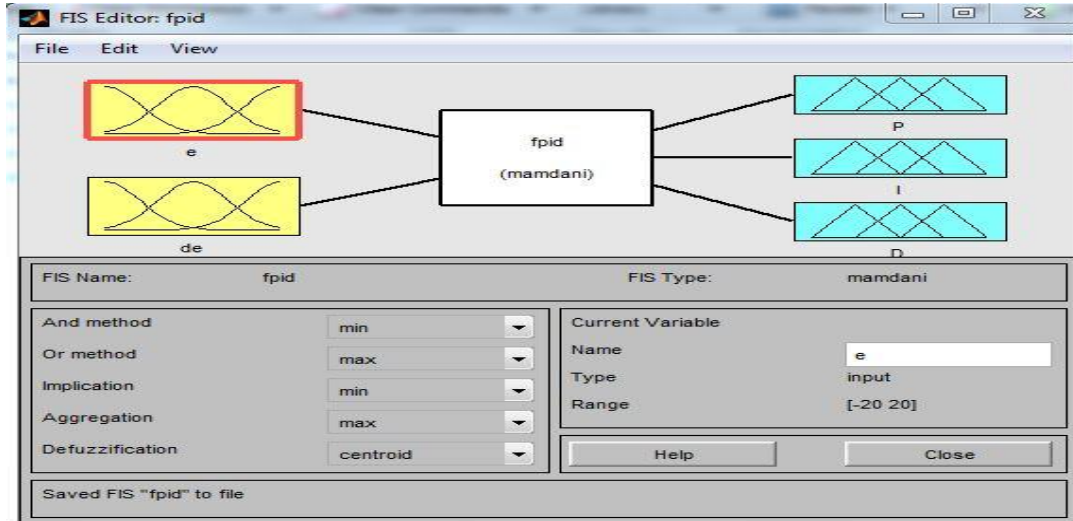
الجدول(4): قواعد اتخاذ القرار للبارامتر (K_d) اعتماداً على إشارة الخطأ وتغير الخطأ

K_d	Δe							
		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
e		PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
	PB	PB	PB	PM	PM	PM	PS	Z
	PM	PB	PM	PM	PM	PS	Z	NS
	PS	PM	PM	PM	PS	Z	NS	NM
	Z	PM	PM	PS	Z	NS	NM	NM
	NS	PM	PS	Z	NS	NM	NM	NM
	NM	PS	Z	NS	NM	NM	NM	NB
	NB	Z	NS	NM	NM	NM	NB	NB

وكمثال على شكل القواعد الضبابية if..Then وفق الجداول السابقة يكون شكل هذه القواعد كما يلي:

If e is PB (Positive Big) and Δe is PB (Positive Big) **Then** K_p is NB (Negative Big)
If e is PB (Positive Big) and Δe is PM (Positive Medium) **Then** K_p is NB (Negative Big)

يبين الشكل (12) محرر نظام الاستدلال الضبابي في ماتلاب .

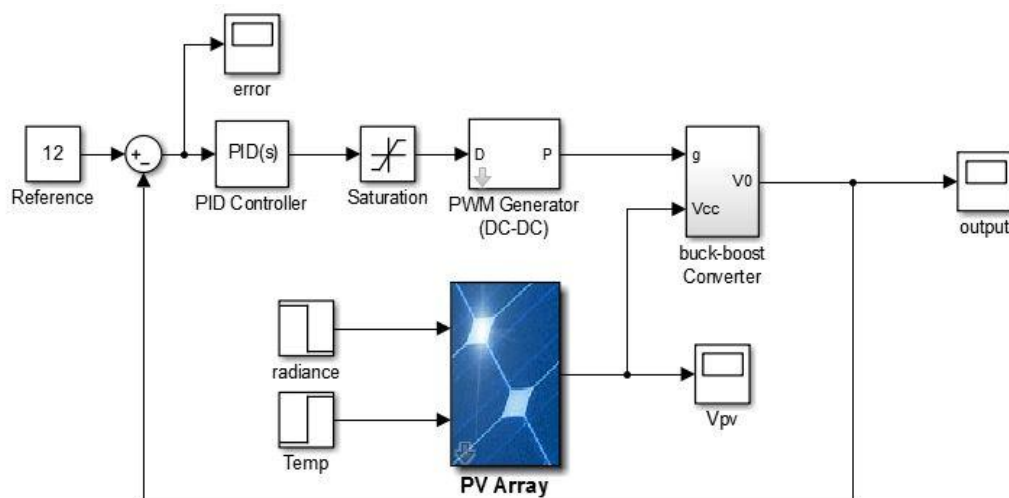


الشكل(12) محرر نظام الاستدلال الضبابي في ماتلاب

7- نموذج النظام في ماتلاب:

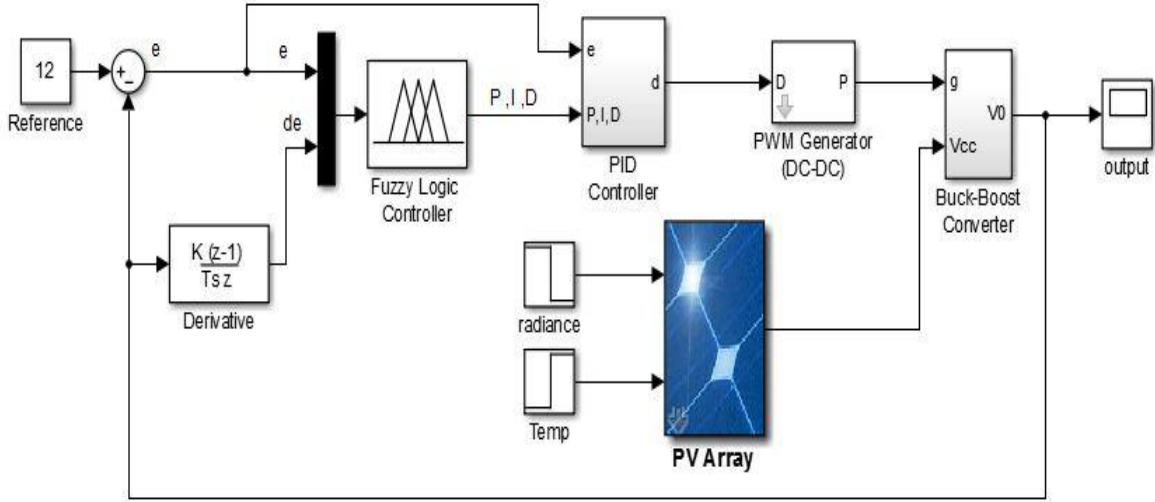
يبين الشكل (13) نموذج منظم الجهد باستخدام متحكم PID كمتحكم رئيسي. حيث أن بارامترات المتحكم (K_p, K_i, K_d) تمت معايرتها مسبقاً باستخدام قواعد زيغلر - نيكولس .

تم وضع قيمة مرجعية 12 v ومقارنتها مع جهد الخرج للحصول على إشارة الخطأ error وادخالها إلى المتحكم PID الذي بدوره يعطي إشارة التحكم لمولد النبضات (PWM generator) . مقطع الجهد له مدخلين اساسيين هما مدخل نبضات التشغيل g ، ومدخل جهد التغذية الناتج عن اللوح الشمسي. وخرج المقطع يمثل جهد الخرج لمنظم الجهد والذي تؤخذ منه إشارة التغذية العكسية .



الشكل(13) نموذج منظم الجهد الشمسي باستخدام متحكم(PID) كمتحكم رئيسي

الشكل (14) يبين استخدام كل من وحدتي التحكم (FLC) و (PID) في منظم الجهد. دخل المتحكم الضبابي هو كل من قيمة الخطأ e وتغير الخطأ Δe ، ليعطي على خرجه البارامترات الثلاثة لـ (PID) والذي بدوره يعطي الأمر المناسب لمولد النبضات (PWM). قواعد المتحكم الضبابي تم ضبطها مسبقاً حسب الجداول (2، 3، 4)



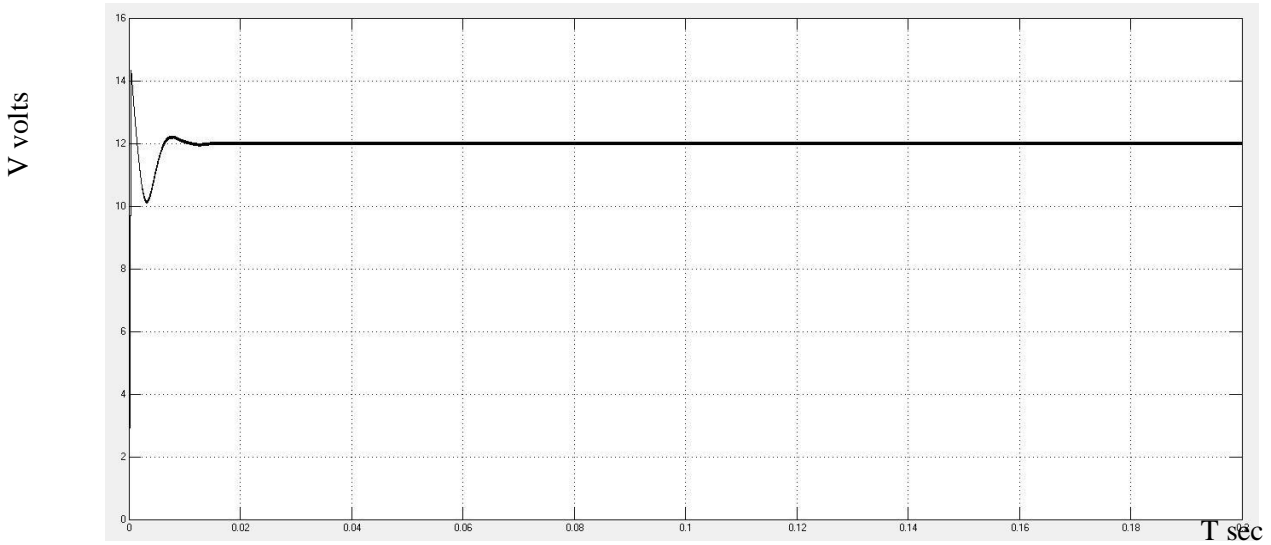
الشكل (14) استخدام متحكم (FSC) في منظم الجهد الشمسي

النتائج والمناقشة:

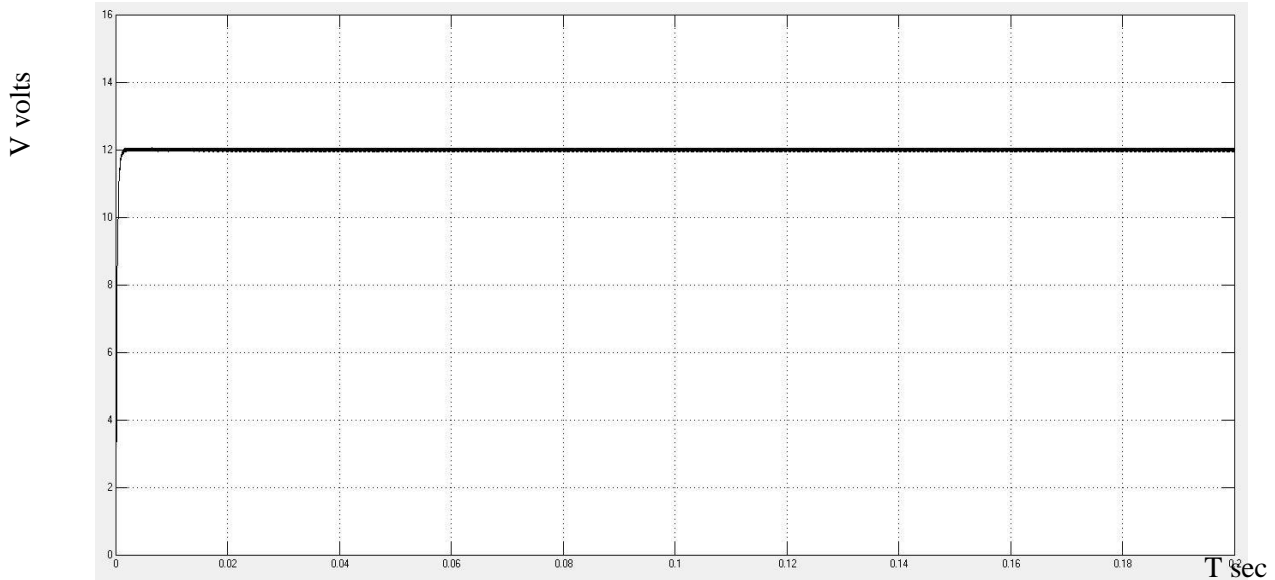
بعد معايرة المتحكم (PID) باستخدام قواعد زيغلر-نيكولس، ولدى استخدام جهد مرجعي 12 V. تم عرض نتائج تطبيق كل من (PID) و (FSC) على منظم الجهد الشمسي. ومقارنة هذه النتائج ضمن جدول.

يبين الشكل (15) جهد خرج المنظم نتيجة استخدام المتحكم (PID).

يبين الشكل (16) جهد خرج المنظم نتيجة استخدام المتحكم (FSC).



الشكل (15) يبين جهد خرج المنظم عند استخدام المتحكم (PID)



الشكل (16) يبين جهد خرج المنظم عند استخدام المتحكم (FSC)

الجدول (5) يبين المقارنة بين كل من PID و FSC

المتحكم FSC	المتحكم PID	بارامترات الاستجابة
لا يوجد	2.2 V أي حوالي 18.3%	تجاوز الهدف
حوالي 1.8 ms	حوالي 12 ms	زمن الاستقرار
لا يوجد	لا يوجد	خطأ الحالة الثابتة

حيث نلاحظ من الجدول (5) أن استخدام المتحكم FSC يعطي تحسن واضح في زمن الاستقرار، ويعمل على إلغاء تجاوز الهدف ودون وجود أي خطأ للحالة الثابتة. بينما اعطت نتائج استخدام المتحكم PID قيمة تجاوز للهدف حوالي 18.3% من القيمة المرغوبة والتي هي 12 V وقد بلغ التجاوز 2.2 V ، وزمن الاستقرار حوالي 12 ms وهو كبير مقارنة مع 1.8 ms التي اعطاها المتحكم FSC .

❖ تم اجراء بعض الاختبارات على النظام وذلك بهدف اختبار ثبات النظام واستجابته لبعض التغييرات.

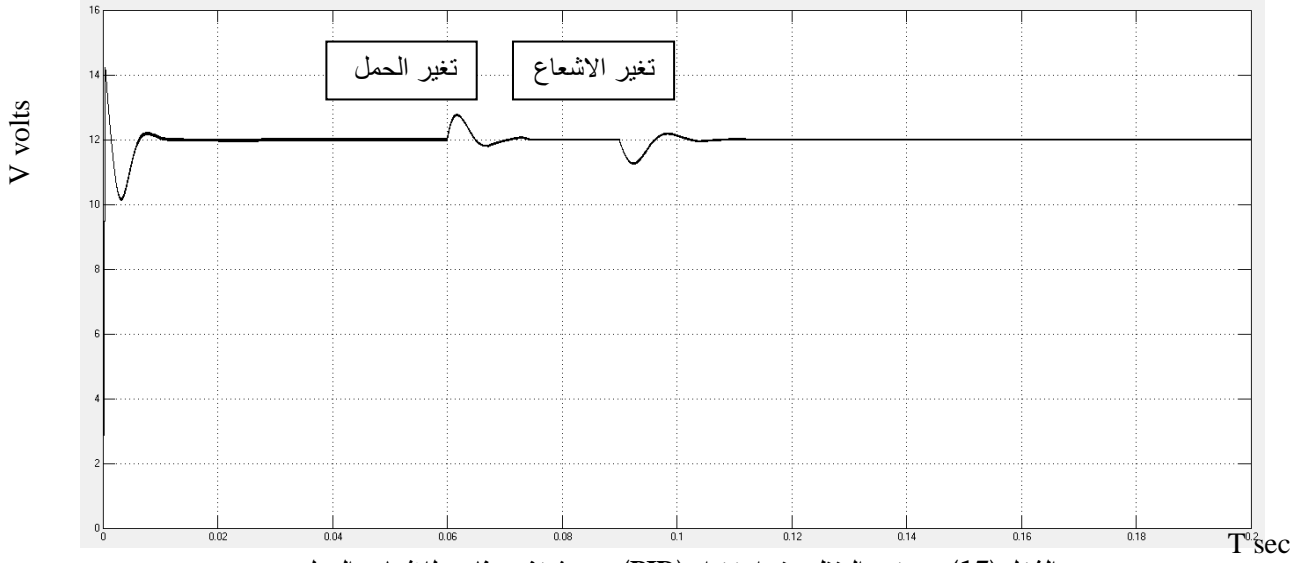
حيث تم اختبار حالتين عابرتين هما:

(1) تغيير قيمة الحمل من 60 أوم إلى 120 أوم عند اللحظة $t=0.06$ sec

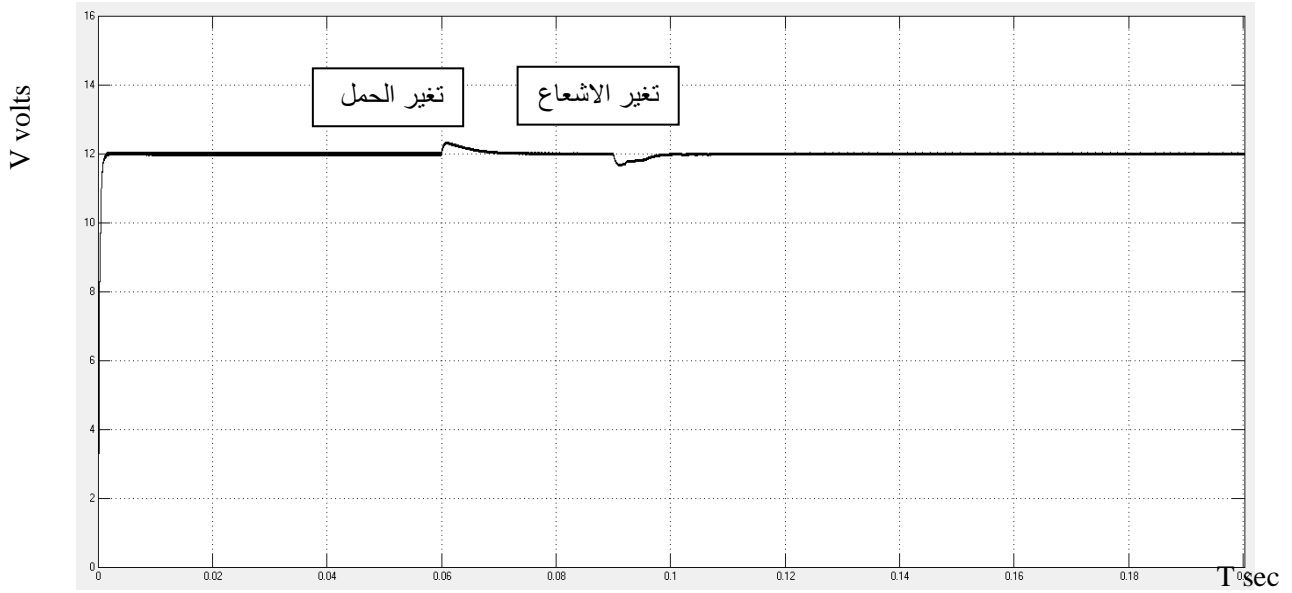
(2) تغيير قيمة الإشعاع الشمسي من $850 W/m^2$ إلى $550 W/m^2$ في اللحظة $t=0.09$ sec أي ما يقابلها من تغيير في جهد خرج اللوح الشمسي من 15.3 v إلى 9.9 v وذلك حسب قيمة القراءة التجريبية لهذه القيم .

يبين الشكل (17) جهد خرج المنظم عند استخدام متحكم (PID) وحدث تغيير مفاجئ للحمل $t=0.06$ sec والإشعاع $t=0.09$ sec .

يبين الشكل (18) جهد خرج المنظم عند استخدام متحكم (FSC) وحدث تغيير مفاجئ للحمل $t=0.06$ sec والإشعاع $t=0.09$ sec .



الشكل (17) جهد خرج المنظم عند استخدام (PID) وحدث تغيير مفاجئ للاشعاع والحمل



الشكل (18) جهد خرج المنظم عند استخدام (FSC) وحدث تغيير مفاجئ للاشعاع والحمل

الجدول (6) يبين المقارنة نتائج اختبار النظام عند تغيير الاشعاع والحمل.

وحدة التحكم FSC	وحدة التحكم PID		
0.3 v	0.8 v	تجاوز الهدف	تغير الحمل
10 ms	14 ms	زمن الاستقرار	
0.3 v	0.8 v	تجاوز الهدف	تغير الاشعاع
10 ms	18 ms	زمن الاستقرار	

من الجدول (6) نجد أنه من أجل الحالات العابرة أيضاً فإن استخدام المتحكم FSC يعطي تحسناً من حيث قيمة الانحراف عن الهدف ، وأيضاً زمن أقل للعودة إلى الاستقرار عند القيمة المرغوبة. وذلك في كلا الحالتين عند تغير الحمل أو تغير في الاشعاع.

من خلال النتائج السابقة يمكن القول إن استخدام المتحكم FSC يعطي تحسناً واضحاً من اجل جميع بارامترات الاستجابة وبالتالي خرج أكثر استقراراً وأكثر سرعة خصوصاً في الحالات العابرة .

الاستنتاجات والتوصيات:

- متحكمات الـ(PID) ذات أداء جيد في مختلف أنظمة التحكم الصناعية، لكن ثبات بارامترات المتحكم خلال العملية تخفض من كفاءتها خاصة في الأنظمة التي تتطلب سرعة واستقرار عالي.
- ادخال المنطق الضبابي إلى متحكمات الـ(PID) جعلت بارامترات المتحكم أكثر ديناميكية تبعاً لتغيرات العملية. استخدام نظام التحكم(Fuzzy-PID) في منظم الجهد الشمسي يعطي نتائج أفضل من حيث جميع بارامترات الاستجابة.
- كما يوصى باستخدام طرق أخرى في عملية التحكم . مثل استخدام الشبكات العصبونية مع التحكم الضبابي Nero-Fuzzy ، واستخدام التحكم الضبابي من النمط الثاني Fuzzy Type-2 ، أو استخدام الخوارزميات الجينية Genetic Algorithm أيضاً مع التحكم الضبابي نظراً لدورها الكبير في إيجاد الحل الأمثل.

References:

1. Upalanchiwar,T ; Sakhare,A . "Design and implementation of the fuzzy PID controller using MATLAB/SIMULINK model" . International Journal of Research in Computer and Communication Technology, Vol 3, Issue 3, March- 2014 ,p369-372.
2. Indsey,R. (2009, January 14)" Incoming sunlight ".[online]. <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page2.php>
3. Jäger,K ; Isabella,O ; Smets,A ; Swaaij,R ; Zeman,M ." Solar Energy :Fundamentals, Technology, and Systems " Delft University of Technology, 2014.
4. Mohammad,Murheg ; Rania,Raiess."Simulation and Modeling 2" Tishreen university, faculty of mechanical and electrical engineering ,2014-2015.
5. Yilmaz, U ; Kircay, A ; Borekci ,S ." PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller". ELSEVIER , Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 (2018) 994–1001.
6. Bassam,Atieah. "Power electronics 1 " Tishreen university ,faculty of mechanical and electrical engineering ,2009-2010. Page 395-445.
7. Hart,D ."Power Electronics", 11th ed. New York, New York: McGraw-Hill, 2010.
8. Boiko,I ." Non-Parametric Tuning of PID Controllers: A Modified Relay-Feedback- Test Approach". New York, NY: Springer, 2013.
9. Muhsen,Daood. "Automatic control 1" Tishreen university ,faculty of mechanical and electrical engineering.2010-2011
10. McNeill, M ; Thro,E . "FUZZY LOGIC, A PRACTICAL APPROACH " by Academic Press, Inc. 1994 ,p15-17.
11. Sivanandam,S.N ; Deepa,S.N ; Sumathi,S ." Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB" Springer Berlin Heidelberg New York,2007 . p118-119
12. Amine,M ; Abdelkrim ,A ; Benrejeb,M . " On the design of process fuzzy PID controller " IEEE , 2014 ,p.483 -487 .

13. Abbas, G ; Abouchi,N ; Sani, A ;and Condemine, C . "*Design and analysis of fuzzy logic based robust PID controller for PWM-based switching converter*" in 2011 , *IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS)*, Rio de Janeiro, 2011, pp. 777-780.