

ملاحظة نقطة الاستطاعة العظمى باستخدام المنطق العائم

م. وسيم سعيد*

د.م. عباس صندوق**

الملخص

استُخدمَ المتحكم ذو المنطق العائم بهدف ربط النظام الكهروضوئي PV بالشبكة الكهربائية عبر مبدل ثلاثي الطور مقاد (عاكس)، إذ يقوم هذا المتحكم بملاحظة نقطة الاستطاعة العظمى وحقن أكبر استطاعة ممكنة من نظام PV إلى الشبكة؛ وذلك عن طريق تحديد زاوية القذح الواجب تطبيقها على القواطع، وقد اختيرت المتحوّلات اللغوية حتى يُحدّد مقدار التغيير في زاوية القذح للمبدل لملاحظة الاستطاعة العظمى.

الكلمات المفتاحية: المنطق العائم، النظام الكهروضوئي، العاكس، ملاحظة نقطة الاستطاعة العظمى

* معيد في قسم الطاقة الكهربائية - شعبة الطاقات المتجددة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.
** أستاذ مساعد في قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

1- المقدمة:

تعدُّ اللواقط الكهروضوئية أحد أشكال المنابع اللاخطية، ومن ثمَّ قد يؤدي العمل عند نقطة تشغيل مغلوط بها إلى ضياع في الاستطاعة المتوافرة، ولتلافي هذه الظاهرة دُرِسَتْ أنظمة تحكم وظيفتها ملاحقة نقطة العمل التي يعطي عندها النظام الكهروضوئي أعظم استطاعة متاحة. ظهرت العديد من تقنيات الملاحقة كما أوردتها المرجع [9]، ثم ظهرت على إثرها تقنيات حديثة تعتمد على طرائق الذكاء الصناعي التي منها المنطق العائم، وقد استخدم المرجع [8] هذه الطريقة في النظم الكهروضوئية المربوطة مع مبدل رافع Boost Dc/Dc Converter وذلك عن طريق التحكم في عامل الدور. في حين قام المرجع [7] باستخدام المنطق العائم في النظم المربوطة مباشرة بالشبكة عن طريق العواكس Inverters، بحيث يجري التحكم بزواوية القذح للثيرستورات، وإعتمدت هذه الطريقة في البحث إذ قمنا إضافياً بنمذجة نظام المنطق العائم المستخدم؛ وذلك في بيئة الماتلاب MATLAB والتأكد من أن الملاحقة تجري باتجاه أكبر استطاعة.

2- المنطق العائم: [5] Fuzzy Logic

يعدُّ التحكم العائم أحد أصناف الذكاء الصناعي Artificial Intelligent، لكن تطبيقاته وتاريخه بدأ قبل النظم الخبيرة Expert Systems. وبحسب جورج بول George Boole إنَّ قرارات الإنسان وتفكيره يعتمد على منطق "نعم/لا" أو منطق "0\1" وعليه ظهرت أساسيات النظم الخبيرة، لكن ظهر جدال حول أنَّ التفكير البشري لا يتبع دوماً هذا المنطق بل يكون أحياناً مبهم أو حتى غير دقيق أي عائم. واعتماداً على طرائق التفكير البشري قام العالم لطفي زادة Lotfi Zadeh من جامعة كاليفورنيا بإيجاد ما يسمى المنطق العائم أو النظرية العائمة عام 1965.

إن الآلية العامة للتفكير بالمنطق العائم أو في النظم الخبيرة

هي "إذا.....عندها"، ("If.....Then") لذلك غالباً ما يسمى

بالنظام الخبير العائم.

طبَّقَ التحكم العائم بنجاح في عمليات التحكم والنمذجة والتقييم والصيانة والعلوم الحربية والتنبؤ بسوق الأسهم.

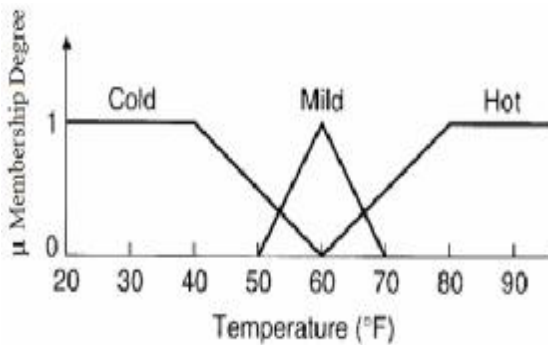
3- المجموعات العائمة: [5] Fuzzy Sets

يتعامل المنطق العائم بعكس منطق بول مع مشكلات مبهمة أو عائمة، إذ في المنطق العائم أي عرض له درجة معينة من الانتماء ضمن مجال يراوح بين "0" أي خارج المجال إلى "1" أي كامل المجال. لذلك نقول إنَّ المنطق العائم هو منطق متعدد القيم بين "0 و 1" بعكس جبر بول ذي القيمتين.

3-1- توابع الانتماء: [5] Membership Functions

يُعبَّر عن المتغيّرات في المنطق العائم بقيم لغوية وليس عددية، فمثلاً قد تأخذ درجة الحرارة القيم cold, mid, hot، وكل واحد منها يُعبَّر عنه بتابع انتماء له أشكال مختلفة. وتسمى هذه المتغيّرات اللغوية المجموعات العائمة أو المجموعات الجزئية العائمة Fuzzy Sets or Fuzzy Subsets.

وظيفة تابع الانتماء أن يحدد درجة انتماء المتحول العائم ضمن مجال معين، فلنغطي المجال كاملاً قد نحتاج إلى عدة توابع انتماء إذ قيمة المتحول الموافقة لنقطة معينة من المجال تسمى درجة الانتماء μ Membership Degree وهي التي تراوح بين "0 و 1" فمثلاً قد نعبر عن درجة الحرارة باستخدام توابع الانتماء بالشكل (1):

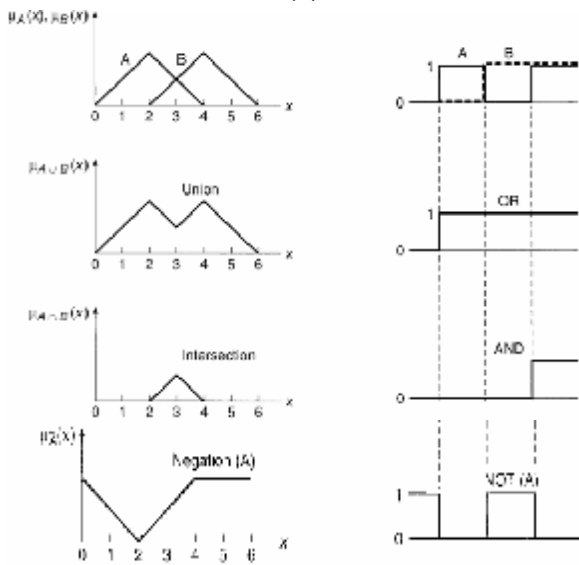


الشكل (1) شكل توابع الانتماء لدرجة الحرارة بحسب المنطق

العائم [5]

في حين بحسب بول تكون بالشكل (2):

يمكن تطبيق بعض الخصائص الأساسية لمنطق بول في المنطق العائم مثل العمليات AND, OR, NOT إذ تجري عملية AND بين A و B بأخذ القيمة الصغرى بينهما، في حين تعطي عملية OR القيمة الكبرى بينهما، أما العملية NOT لأحدهما فهي المتمم للقيمة واحد أي إن كان متزايداً يصبح متناقصاً وإن كان متناقصاً، يصبح متزايداً، وإن كان صفراً يصبح واحداً كما في الشكل (4):



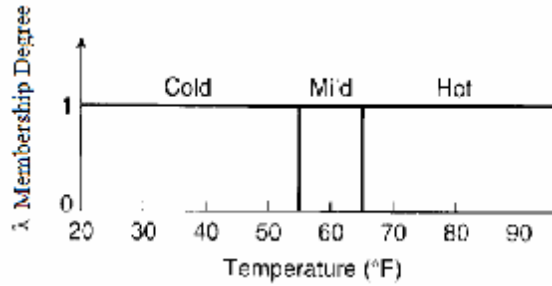
الشكل (4) العمليات على المجموعات العائمة [5]

4- النظام العائم: Fuzzy system

يتكون هذا النظام بشكل أساسي من طريقة رسم خارطة الانتقال من الدخل إلى الخرج باستخدام المنطق العائم. ومن خلال عملية Mapping Process نحصل على الغرض المطلوب.

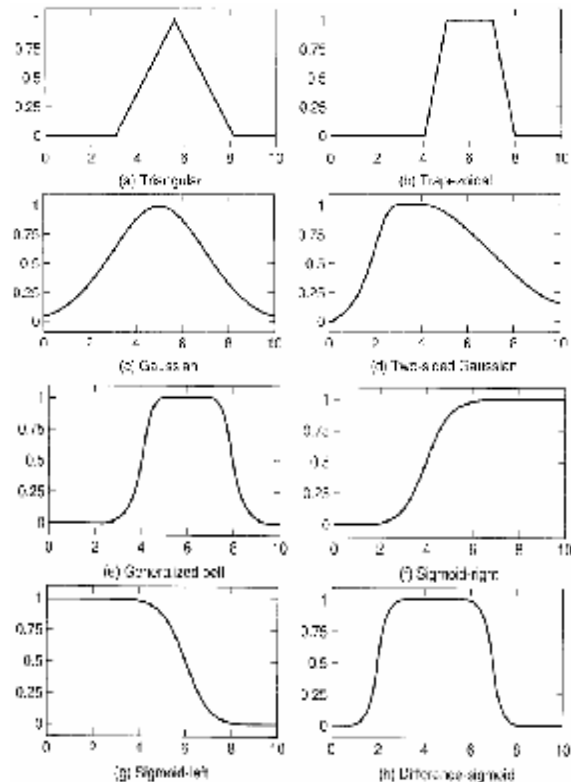
وهذا الأمر يتحقق من خلال الخطوات الآتية: [5]

- 1- تعويم متغيرات الدخل Fuzzification
- 2- تطبيق العمليات AND, OR, NOT في جزء الشرط من القاعدة
- 3- استنتاج جزء النتيجة من القاعدة Implication
- 4- تجميع النتائج لكل قاعدة Aggregation
- 5- فك التعويم Defuzzification



الشكل (2) شكل توابع الانتماء لدرجة الحرارة حسب بول [5]

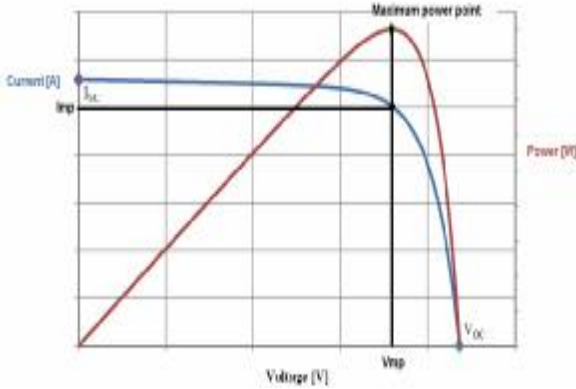
لتوابع الانتماء أشكال مختلفة فمثلاً قد تكون على شكل شبه منحرف (b-3) أو بشكل تابع غاوص (c-3) أو تابع غاوص ذي الاتجاهين (d-3) أو بشكل جرسى (e-3) أو بشكل S يميني أو يساري أو متقابل (f-3) (g-3) (h-3)، لكن الشكل المثلثي (a-3) هو الأبسط والأكثر استعمالاً، وقد تكون التوابع ذات أشكال متماثلة ومتناظرة أو غير متماثلة لا من ناحية الشكل ولا من ناحية التناظر وذلك وفق الأشكال الموجودة في الشكل (3):



الشكل (3) الأشكال المختلفة لتوابع الانتماء [5]

3-2- العمليات على المجموعات العائمة:

[5] Operations on Fuzzy Sets



الشكل (7) الشكل العام لمنحنيات (I-V)، (P-V) للاقط

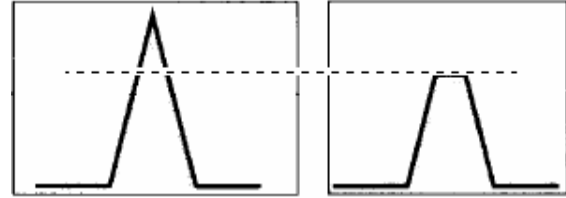
كهروضوئي [9]

فمن منحني (P-V) نلاحظ في الزاوية العليا على يمين المنحني وجود قمة حادة تمثل نقطة الاستطاعة العظمى وهي التي نسعى للوصول إليها بدقة؛ وذلك باستخدام منحني (I-V) عن طريق تغيير نقطة التشغيل.

من الناحية العملية تتغير نقطة الاستطاعة العظمى مع التغيرات الجوية المحيطة (درجة حرارة - إشعاع شمسي) كما في الأشكال (a-8)، (b-8)، إذ تختلف ظروف التشغيل عن الظروف العيارية (Standard Test Conditions - STC)، فمثلاً في الظروف الباردة جداً اللوح الكهروضوئي قادر على إعطاء استطاعة أكبر، وذلك بسبب تناقص درجة الحرارة، ومن دون ملاحظة لنقطة الاستطاعة العظمى لن نتمكن من تحصيل الاستطاعة الزائدة، ومن جهة أخرى عند ارتفاع درجة الحرارة فإن الاستطاعة ستتناقص.

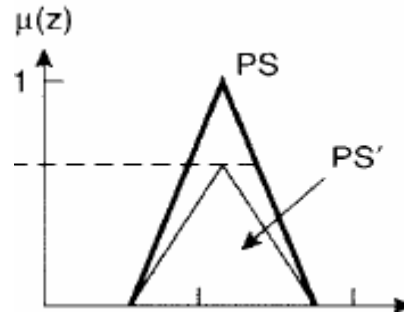
إن عملية استنتاج شكل الخرج في الخطوة 3 تتضمن أشكالاً مختلفة منها:

- بتر تابع الخرج، وتدعى هذه الطريقة Mamdani Type كما يبين الشكل (5):



الشكل (5) طريقة بتر الخرج [5]

- إعادة تعبير مجال الخرج وتدعى هذه الطريقة Lusing Larson Type كما يبين الشكل (6):



الشكل (6) طريقة تعبير مجال الخرج [5]

وغيرها من الطرائق.

وكذلك فك التعويم له آليات مختلفة منها:

- مركز المساحة Center Of Area COA

- آلية الارتفاع Height Method

- متوسط القيم الأعظمية Mean Of Maximum MOM

وغيرها.

5- نقطة الاستطاعة العظمى في النظم الكهروضوئية:

Maximum Power Point (MPP)

تُعرف نقطة الاستطاعة العظمى من خلال منحنيات (I-V)،

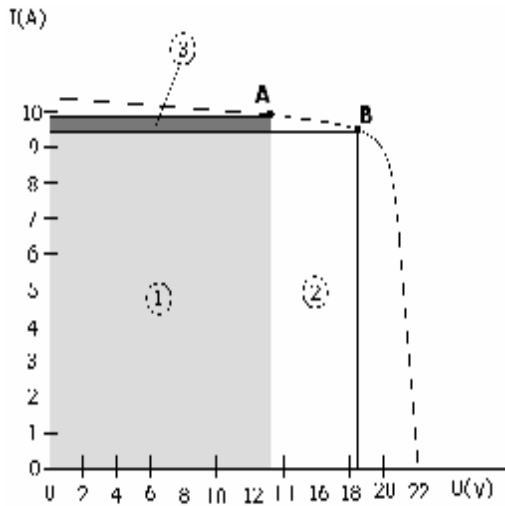
(P-V) للاقط معين كما في الشكل (7):

نفسها، فهو يحدد أعلى منحني متاحاً عن طريق تغيير زاوية ميل الألواح.

أما النظام الثاني فهو MPPT وهو جهاز ملاحقة ليس له علاقة بالتحريك الميكانيكي للألواح، إنما هو جهاز وسيط بين الألواح والحمل يقوم بمراقبة جهد الخرج للألواح الشمسية التي تعمل عند منحني معين (إذ نبحت على المنحني نفسه عن أفضل نقطة عمل وليس أفضل منحني عمل) مع جهد الحمل بحيث تتقلُّ أكبر استطاعة ممكنة للحمل؛ وذلك باستخدام المبدلات الالكترونية التي تقوم بتحديد أفضل جهد يجري عنده إعطاء أكبر تيار. يراوح مردود هذا الجهاز بين (92% إلى 97%) ونحصل على زيادة في الاستطاعة شتاءً وكذلك صيفاً لكن بنسبة أقل نظراً إلى تغيير درجة الحرارة؛ وذلك لأنَّ الاستطاعة المولدة تتناقص مع زيادة درجة الحرارة.

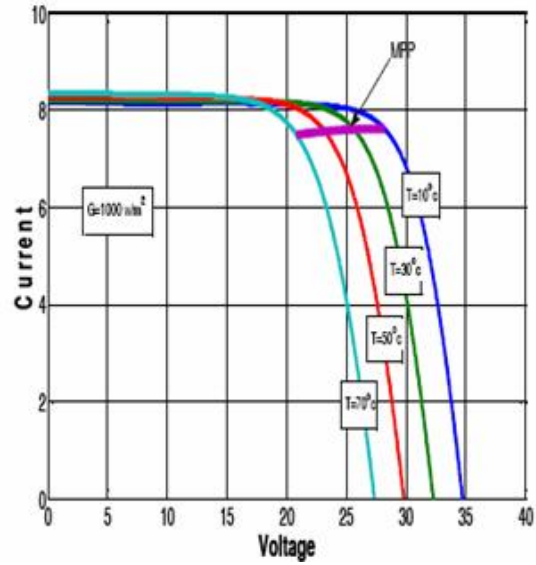
7- أهمية جهاز الملاحقة MPPT:

ولبيان مقدار الزيادة في الاستطاعة المحققة مع وجود الجهاز أخذَ نظام PV مستخدم لشحن بطارية يعمل عند حالتين الحالة العامة Normal (A) وحالة (B) مع وجود MPPT كما في الشكل (9):

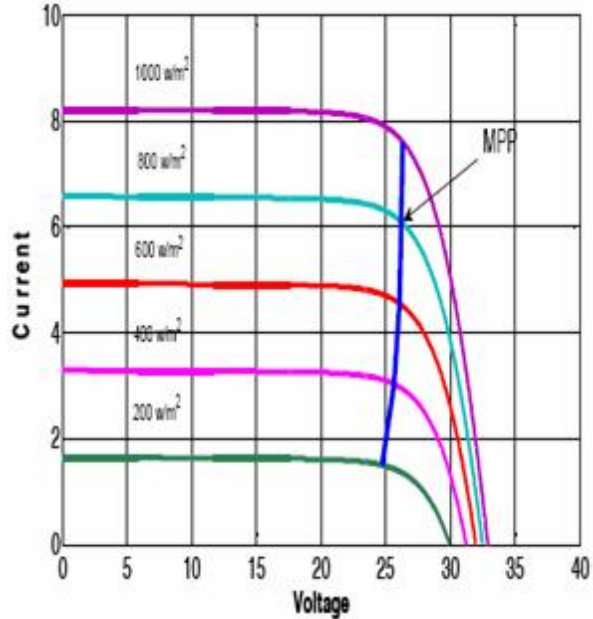


الشكل (9) الزيادة في الاستطاعة مع وجود MPPT [6]

1- ففي حالة العمل عند النقطة A، أي حالة وصل اللاقط



الشكل (8-a) تغيير مكان نقطة الاستطاعة العظمى مع تغيير درجة الحرارة [8]



الشكل (8-b) تغيير مكان نقطة الاستطاعة العظمى مع تغيير الإشعاع الشمسي [8]

6- ملاحقة الألواح وملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى: [4] لتجنب الالتباس في مصطلح الملاحقة لا بدَّ من التفريق بين ملاحقة الألواح (Panel tracking) أي تحريكها بواسطة نظام تحريك ميكانيكي يقوم بملاحقة للشمس

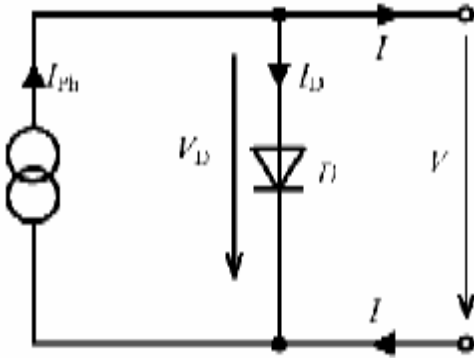
كهربائية تُحَقَّنُ في جسر ثيرستوري مكوّن من ستة ثيرستورات، تُربطُ عبر محارضة (وشيعَة) ضمن حلقة (DC) إذ تقوم بتتعيم النّيار، أمّا المبدل فيقوم بنقل الاستطاعة من الألواح الكهروضوئية إلى الشبكة عبر المحوّل.

أمّا المتحكم (FLC) فهو نظام يتكوّن من دخلين هما: الاستطاعة الحقيقيّة على خرج النظام الكهروضوئي، واستطاعة مرجعيّة عظمى تُحَسَّبُ بالاعتماد على جهد اللاحم (V_{oc}) ونّيار القصر للخلايا الشمسيّة (I_{sc})، مع الأخذ بالحسبان أنّ V_{oc} يتغيّر مع تغيّر درجة الحرارة، وأنّ I_{sc} يتغيّر مع تغيّر الإشعاع. يُستفاد من الخطأ بين الاستطاعة الحقيقيّة والمرجعيّة لتغيير زاوية القدح للمبدل، بحيث تُحَقَّنُ أكبر استطاعة ممكنة في الشبكة.

أمّا المحوّل فيُستخدم لتعبير مستوى جهد خرج المبدل بحيث يتطابق مع الشبكة، بهدف التشغيل الأمثل.

8-1-1- النظام الكهروضوئي: PV system

يبين الشكل (11) الدارة المكافئة لخلية شمسية مضاءة، إذ تحوي على منبع نيار موصول على التفرع مع الديود:



الشكل (11) الدارة المكافئة المبسطة للخلية الشمسية [1]

وتُعطي العلاقة (1) [1] تيار الخلية الذي يعتمد اعتماداً أساسياً على جهد الخلية وتيار الإشباع I_0 الذي يعتمد بدوره على درجة الحرارة وجودة المادة المصنّعة منها الخلية.

مباشرةً مع البطارية التي تُشحن عند جهد 13.2 V كان تيار الشحن المار 9.8 A، ومن ثمّ الاستطاعة تغطي المساحتين 1+3.

$$PA = 13.2 * 9.8 = 129.36 \text{ W}$$

2- أمّا العمل عند النقطة B، أي مع وجود MPPT الذي يُعطي جهد شحن ثابتاً للبطارية والذي يكافئ عمل اللاقط عند نقطة الاستطاعة العظمى ذات الجهد 18.4 V وكان التيار المستخرج من اللاقط 9.3 A ومن ثمّ الاستطاعة تغطي المساحتين 1+2.

$$PB = 18.4 * 9.3 = 171.12 \text{ W}$$

ومن ثمّ الاستطاعة عند العمل في النقطة B أكبر منها في النقطة A ومقدار الزيادة يُقدّر بنحو:

$$\Delta P / PA = (PB - PA) / PA = 32.3\%$$

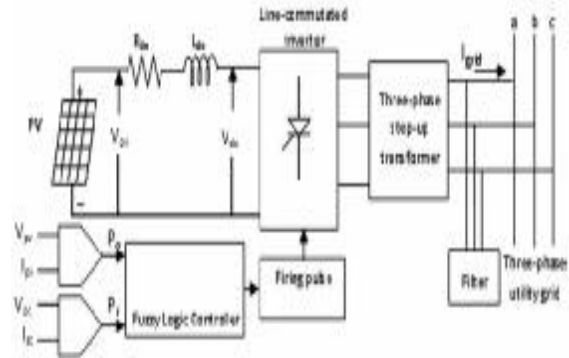
ومن ثمّ نلاحظ مقدار التزايد في الاستطاعة مع وجود MPPT.

8- نظام الملاحظة باستخدام المنطق العائم:

Tracking System Using Fuzzy Logic Control

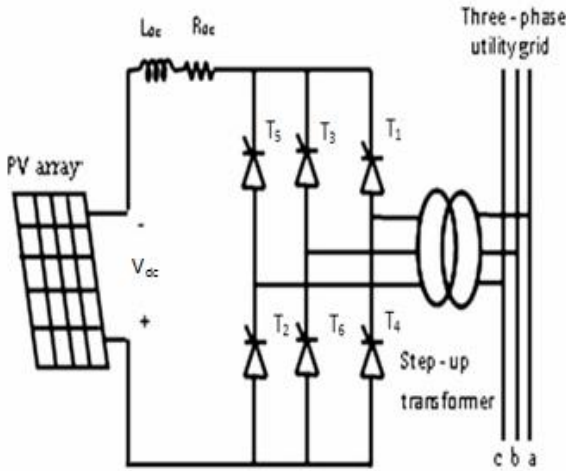
System Description : 1-8

يبين الشكل (10) المخطّط الصندوقي للنظام المقترح:



الشكل (10) نظام كهروضوئي موصول مع الشبكة [7]

إذ يتضمّن النظام الألواح الكهروضوئية والمبدل ومحوّلاً لرفع الجهد والمتحكم ذا المنطق العائم (FLC)، إذ تقوم الألواح الكهروضوئية بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة



الشكل (12) مبدل ثلاثي الطور موصول إلى الشبكة [7]

إذ عندما يكون حمل المبدل فعالاً (أي يعطي طاقة كما في نظامنا الكهروضوئي)، فإن اتجاه جريان الاستطاعة يمكن أن ينعكس عن طريق عكس قطبية V_{dc} ، في حين يبقى اتجاه التيار كما هو، أي ستكون زاوية القدح أكبر من 90° ، ولن نحتاج إلى أي إضافات لتحقيق التزامن مع الشبكة، وهذا طبعاً فقط في هذا النوع من المقومات الثيرستورية [3].

تُعطى القيمة الوسطية للجهد المستمر بالعلاقة (4) [7][2]:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos \alpha \quad \text{العلاقة (4)}$$

إذ V_m هو القيمة العظمى لجهد الشبكة و α هي زاوية قدح الثايرستورات، ويمكن رؤية العلاقة المباشرة بين الجهد المستمر وزاوية القدح.

لكن مشكلة هذا النوع من المقومات التوافقية في موجة التيار المار في الشبكة، وحيث تُعطى القيمة الفعالة للتوافقية رقم n بالعلاقة (5) [7][3][2]:

$$I_{a_n} = \frac{2\sqrt{2}}{n\pi} I_{dc} \sin \frac{n\pi}{3} \quad \text{العلاقة (5)}$$

إذ I_{dc} هو التيار المستمر المار عبر النظام الكهروضوئي. على سبيل المثال القيمة الفعالة للمركبة الأساسية ($n=1$):

$$I_{a_1} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_{dc} = 0.7797 I_{dc}$$

إذ: k هو ثابت بولتزمان

q شحنة الإلكترون

T درجة الحرارة المطلقة للخلاية

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{v}{mV_T} \right) - 1 \right\} \quad \text{العلاقة (1)}$$

إذ إن V_T هو الجهد الحراري (Thermal voltage) ويعطى بالعلاقة (2) [1]:

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad \text{العلاقة (2) } \dots$$

وعند درجة حرارة ($t=25^\circ\text{C}$) تكون قيمة الجهد الحراري (257 [mV])

I_0 تيار الإشباع يراوح بين 10^{-10} إلى 10^{-15} أمبير m هو معامل المثالية (معامل الديود) ويأخذ القيم بين (1÷5)

ويولد منبع التيار تياراً يدعى بالتيار الضوئي I_{ph} ، الذي يُعطى بالعلاقة (3) [1]:

$$I_{ph} = C_0 \cdot E \quad \text{العلاقة (3)}$$

إذ E الإشعاع الشمسي و C_0 ثابت تناسب

8-1-2- المبدل Inverter

إن المبدل المقاد بشكل كامل المبين بالشكل (12) يمكن أن يعمل إما مقوماً أو عاكساً، وذلك بحسب مجال زاوية القدح:

8-1-3-1-1- التعويم : Fuzzification [7]

أي تحويل قيم الدخل من قيم حقيقية معروفة إلى قيم معومة ودرجات انتماء، ويجري ذلك باستخدام توابع الانتماء Membership Functions التي يمثل كل تابع منها إحدى المتحولات اللغوية السبع الآتية:

- Nb: negative – big
- Nm: negative – medium
- Ns: negative – small
- Zr: zero
- Ps: positive – small
- Pm: positive – medium
- Pb: positive – big

وتم اختيارت e و de كمتحولات دخل، إذ:

(e): هي الخطأ بين الاستطاعة الحقيقية P_o والاستطاعة المرجعية P_r

$$e(k) = P_r - P_o$$

لذلك $e(k)=0$ عندما تُقدّم أعظم استطاعة ممكنة ($P_o=P_r$).

(de): هي التغير في إشارة الخطأ

$$de(k) = e(k) - e(k-1)$$

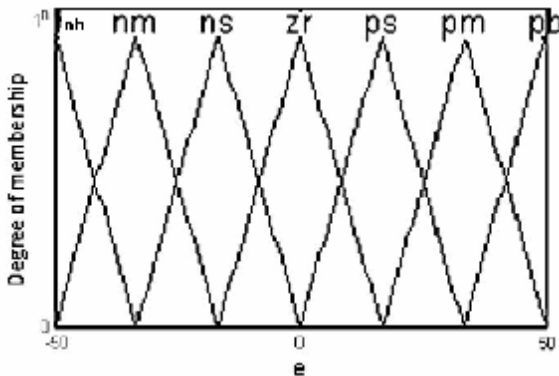
أما الخرج فهو da الذي يمثل تغير زاوية القدح.

استُخدمت توابع انتماء ذات شكل مثلثي للتبسيط

(Triangular membership function TRIMF)

أشكال توابع الانتماء للمتحولات e , de , da مبيّنة في

الأشكال (1-14)(2-14)(3-14).



الشكل (1-14) توابع الانتماء لإشارة الخطأ e [7]

ومن ثمّ القيمة الفعّالة الكليّة للتيار مع توافقيّاته تُعطى بالعلاقة (6) [7][2]:

$$I_a = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} I_{dc}^2 d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$= I_{dc} \sqrt{\frac{2}{3}} = 0.8165 I_{dc} \quad (6) \text{العلاقة}$$

أمّا عامل التوافقيّات (Harmonic Factor HF) أو الانحراف الكليّ للتوافقيّات (Total Harmonic Distortion THD) فيعطى بالعلاقة (7) [2]:

$$HF = \left[\left(\frac{I_a}{I_{a1}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} = 0.3108$$

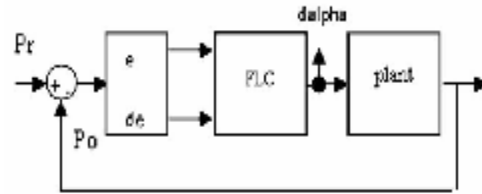
فيكون:

$$THD = 31.08\%$$

ويمكن التخلص من هذه التوافقيات باستخدام المرشحات المناسبة.

8-1-3- المتحكم ذو المنطق العائم: Fuzzy Logic Controller

يبين الشكل (13) المخطط الصندوقي للمتحكم ذي المنطق العائم:



الشكل (13) المخطط الصندوقي للمتحكم ذي المنطق

العائم [7]

إذ يتكون النظام من ثلاثة أجزاء:

التعويم : Fuzzification

محرك الاستدلال : Inference engine

فك التعويم : Defuzzification

الجدول (1) قواعد الأساس التي تعطي الخرج بالشكل العائم [7]

إشارة الخطأ e	تغير إشارة الخطأ de						
	nb	nm	ns	zr	ps	pm	pb
nb	nb	nb	nb	nb	nm	ns	zr
nm	nb	nb	nm	ns	zr	ps	pm
ns	nb	nm	ns	zr	ps	pm	pb
zr	nm	ns	zr	ps	pm	pb	pb
ps	nm	ns	zr	ps	pm	pb	pb
pm	ns	zr	ps	pm	pb	pb	pb
pb	zr	ps	pm	pb	pb	pb	pb

2- التضمين العائم: Fuzzy implication [7]

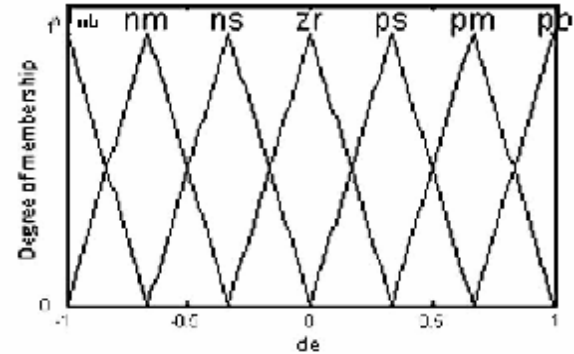
فبعد أن أُخِذَتِ القيم وعُوِّمَتُ تُسَقَطُ هذه القيم على الجدول (1) ويُؤخَذُ التقاطع بين الدخيلين de, e بحيث نحصل على المجموعة المشتركة (الفعالة) بينهما، ثم من خلال عملية الاستدلال تُسْتَنْجَجُ القيمة المُعوِّمة للخرج.

هناك عدّة طرائق للاستدلال كما ذكرنا، الطريقة الأكثر بساطة تعتمد على أخذ أصغر قيمة مُعوِّمة بين إشارات الدخل وإسنادها إلى الخرج، أمّا الطريقة الأكثر دقة فهي الطريقة التي تعتمد على حساب الجذر التربيعي لمجموع مربعات قيم الخرج، ومن ثمَّ تُحدَّدُ القيمة المُعوِّمة للخرج.

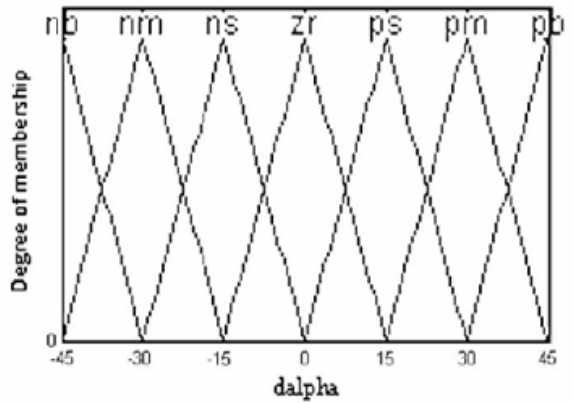
8-3-3-1- فك التعميم: Defuzzification [7]

لا بُدَّ من تحويل إشارة الخرج من قيمة مُعوِّمة إلى قيمة حقيقية حتى يُمكن إدخالها إلى المتحكم للقيام بالعملية التحكّمية. يجري ذلك بواسطة توابع الانتماء الممثلة للخرج، إذ تُسَقَطُ القيم المُعوِّمة (المحور الشاقولي) على المحور الأفقي (القيم الحقيقية)؛ وذلك بعد أن تُحدَّدَ قيم الخرج من عملية التضمين.

وباعتماد طريقة مركز المساحة Center of Area COA للحصول على قيمة الخرج الحقيقية التي تجري بأخذ القيمة المُعوِّمة لقاعدة من القواعد وضربها بالقيمة المركزيّة لتابع الانتماء المقابل لها، ثمَّ تُجمَعُ نواتج



الشكل (14-2) توابع الانتماء لتغير إشارة الخطأ [7] de



الشكل (14-3) توابع الانتماء لتغير الزاوية da [7]

إذ حُدِّدَ مجال كل تابع من خلال المعرفة المُسبقة لمحددات النظام وآلية تغييرها، وقد وُجِدَ أنَّ مجال الخطأ يقع بين (50 → -50) W، لأنَّ الفرق بين أعظم استطاعة مرجعيّة والاستطاعة الحقيقيّة يقع ضمن هذا المجال.

أمّا تغير الخطأ de محدد بين (1 → -1) W، وتغير زاوية القدر da من (45 → -45)؛ وذلك لأنَّ مجال زاوية القدر للمبدل المطلوب هو 90°. [7]

8-3-1-2- محرك الاستدلال: Inference engine

يتألف هذا العنصر من عنصرين:

1- أساس قاعدة التعميم: Fuzzy rule base

التي من خلالها يُربطُ المدخلان ويُحدَّدُ الخرج العائم، ويبين الجدول (1) قواعد الأساس التي تربط بين الدخل والخرج:

إذ إشارة الخطأ الموافقة $e=+16.667$ يقابلها درجة انتماء مع التابع ps فقط بدرجة $\mu=1$. وإشارة التغير في الخطأ الموافقة $de=+0.5$ يقابلها درجة انتماء مع التابع pb بدرجة $\mu=0.5$ ومع التابع pm بدرجة $\mu=0.5$ أيضاً.

2- تحديد العلاقات بين الدخلين؛ وذلك باتباع طريقة اختيار القيمة الأصغر، إذ تجري المقاطعة بين مجالات الخطأ وتغيره، كما في الجدول (2):

الجدول (2) مقاطعة المداخل للحصول على الخرج

إشارة الخطأ e	تغير إشارة الخطأ de						
	nb	nm	ns	zr	ps	pm	pb
nb	nb	nb	nb	nb	nm	ns	zr
nm	nb	nb	nb	nm	ns	zr	ps
ns	nb	nb	nm	ns	zr	ps	pm
zr	nb	nm	ns	zr	ps	pm	pb
ps	nm	ns	zr	ps	pm	pb	pb
pm	ns	zr	ps	pm	pb	pb	pb
pb	zr	ps	pm	pb	pb	pb	pb

كما نرى من المقاطعة الخرج ينتمي للتابعين pm , pb فقط ويأخذ درجة الانتماء لكل منها بأخذ القيمة الصغرى بين الدخلين أي:

If (e =ps) AND (de = pm) then the output is member with pb, with degree $1.00 \wedge 0.50 = 0.5$

If (e = ps) AND (de = ps) then the output is member with pm, with degree $1.00 \wedge 0.50 = 0.50$

وما دون ذلك درجة الانتماء لبقية التوابع تساوي الصفر
فيأخذ التقاطعات الآتية:

1. If (e =nb) AND (de =pm) then, ns, $0.00 \& 0.5 = 0.0$
 2. If (e =nb) AND (de =nm) then, nb, $0.00 \& 0.00 = 0.0$
 3. If (e =ps) AND (de =ns) then, zr, $1.00 \& 0.00 = 0.0$
- 3- تحديد شكل الخرج، فباعتماد طريقة البتر تسقط قيم الخرج على كل تابع وتبتر عندها.

الضرب لكل قاعدة من القواعد، ومن ثم تقسم على مجموع القيم المعومة لكل قاعدة، إذ تحسب وفق العلاقة (8):

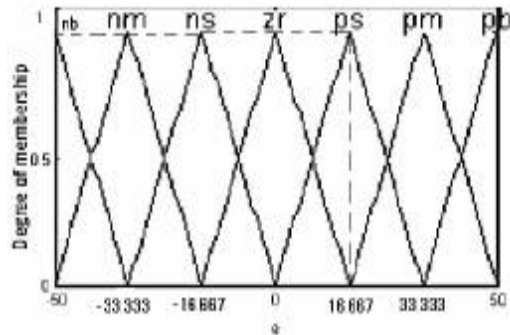
$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i \mu_{out}(Z_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{out}(Z_i)}$$

العلاقة (8).....

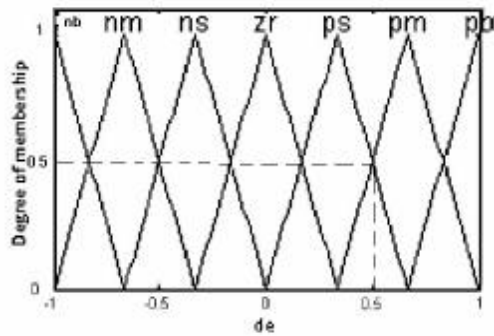
8-2- مثال تطبيقي على عمل المتحكم FLC:

على فرض أن الفرق بين الاستطاعتين الفعلية والمرجعية هو $e=+16.667[w]$ ، وأن الفرق بين إشارتي خطأ متتاليتين هو $de=+0.5[w]$ ، يمكن أن تكون أي قيم أخرى لكن اختيرت هذه القيم للتبسيط بحيث نحصل على قيم درجات انتماء 1 و 0.5 بدلاً من أرقام كسرية.

1- نقوم بتعويم قيم الدخل، فمن خلال أشكال توابع الانتماء للإشارتين نحصل على القيمة المعومة لها، كما في الأشكال (1-15) (2-15):

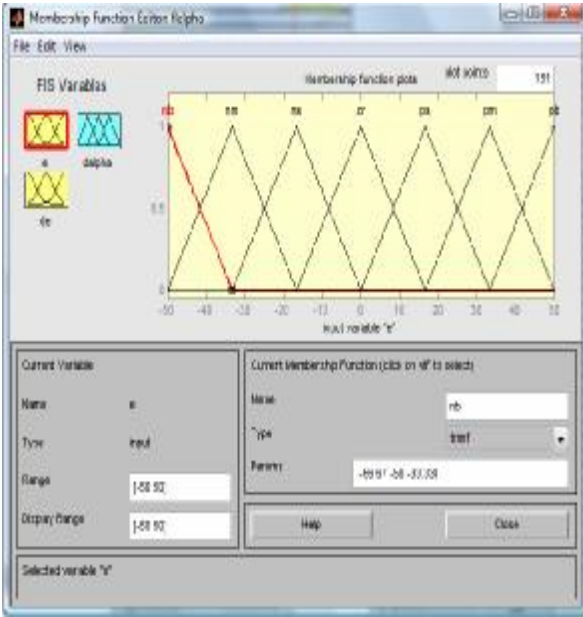


الشكل (1-15) تعويم إشارة الدخل e

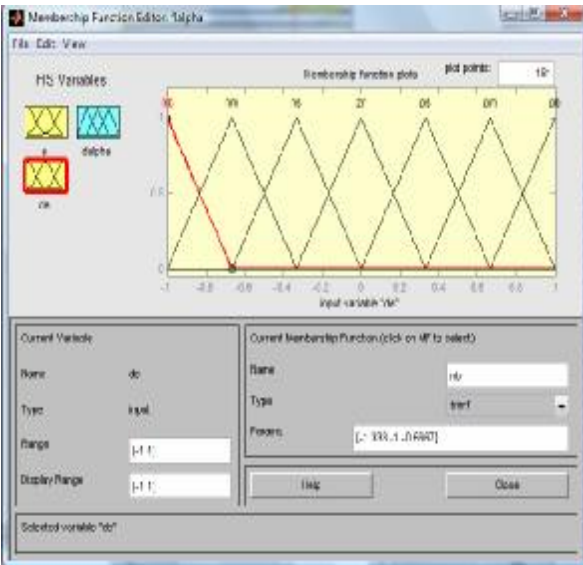


الشكل (2-15) تعويم إشارة الدخل de

أخذ المدخلان e و de والخرج da ورُسمت توابع الانتماء المثلثية لكل منها وفق المجال الذي دُرِسَ عليه بحيث كل منها يمثل بسبعة توابع كل تابع يمثل متحولاً لغوياً كما في الأشكال (1-17)، (2-17)، (3-17):

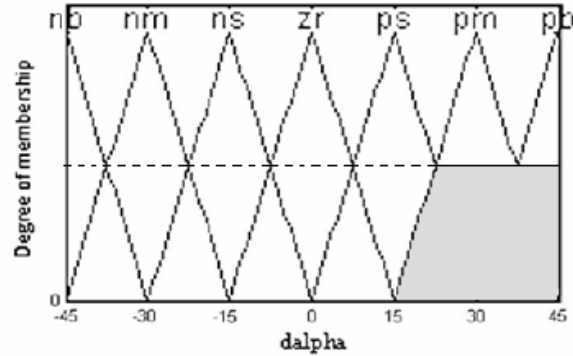


الشكل (1-17) توابع الانتماء للدخل e



الشكل (2-17) توابع الانتماء للدخل de

4- تجميع النتائج للتوابع كلها؛ فيكون لدينا الشكل (16):



الشكل (16) تحديد شكل الخرج النهائي

5- فك التعويم للخرج وحساب القيمة المطلوبة لتغيّر الزاوية α وذلك بتقسيم مجموع جداءات مطال كل قاعدة بقيمة المركز الموافق لها (من تابع الانتماء) على مجموع تلك المطالات أي:

$$\text{output} = \frac{\sum \text{weighted strengths} \times \text{output membership function center points}}{\sum \text{weighted strengths}}$$

$$\text{output} = \frac{\sum \text{weighted strengths}}{\sum \text{weighted strengths}}$$

ومنه يكون الخرج:

$$\text{output} = \frac{nb(-45) + nm(-30) + ns(-15) + zr(0) + ps(15) + pm(30) + pb(45)}{ns + nm + nb + zr + ps + pm + pb}$$

وبالتعويض:

$$\text{output} = \frac{0 \times (-45) + 0 \times (-30) + 0 \times (-15) + 0 \times 0 + 0 \times 15 + 0.5 \times 30 + 0.5 \times 45}{0 + 0 + 0 + 0 + 0.5 + 0.5}$$

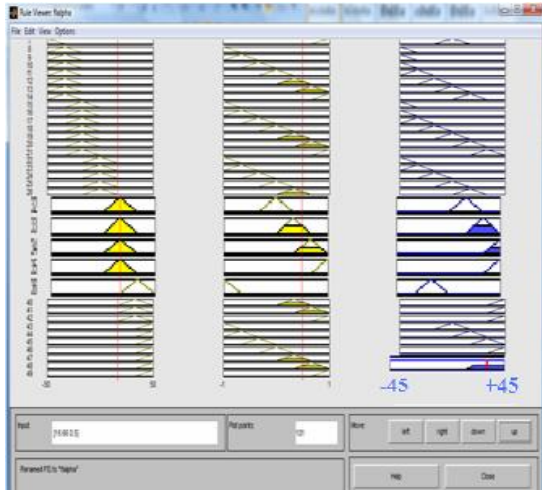
ومنه:

$$da = \text{output} = +37.5^\circ$$

وهو مقدار الزيادة الواجب إضافته إلى قيمة α الأصلية لتلافي التغيّر في الاستطاعة، إذ تعني زيادة الاستطاعة وجوب زيادة جهد اللواقط بحيث نكون عند نقطة الاستطاعة العظمى أي زيادة زاوية القدح؛ وذلك وفق العلاقة (4)، مع الأخذ بالحسبان أن α بين 90 إلى 180 درجة.

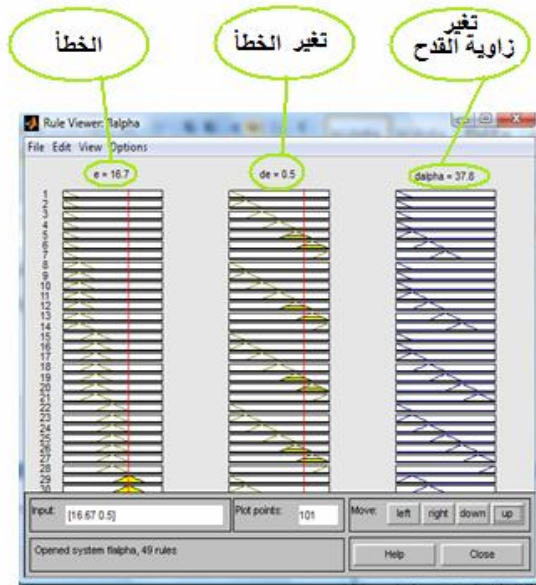
9- التنفيذ في بيئة الماتلاب MATLAB:

الدخل de يوافق قيمتين بدرجة انتماء 0.5 مع التابعين pm و ps ، ومن ثمَّ الخرج تقاطع فقط مع التابعين pm و pb وفق درجة الانتماء الصغرى بين التابعين، كما في الشكل (19) الذي يبيِّن تمثيل الدخل ونتيجة الخرج وفق القواعد التسع والأربعين إذ إنَّهما يتقاطعان فقط في القاعدتين 33 و 34 ويكون الخرج المعوم هو تراكمًا لهاتين القاعدتين:

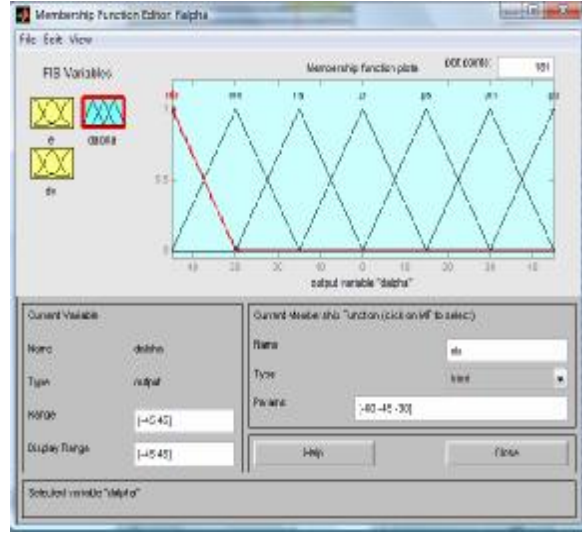


الشكل (19) إسقاط الدخلين للحصول على الخرج

وبالاعتماد على طريقة مركز المساحة لفك تعويم الخرج كانت النتيجة كما في الشكل (20):

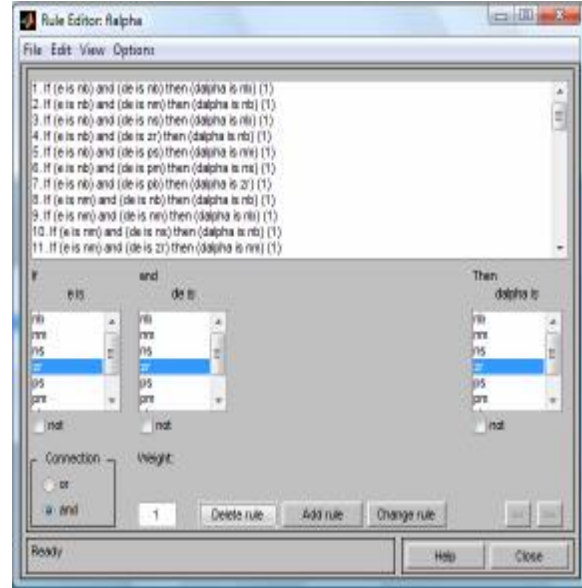


الشكل (20) قيمة الخرج بعد فك التعويم



الشكل (17-3) توابع الانتماء للخرج α

بعدها أُدخِلت القواعد التي تربط المدخلين بالخرج كما وجدنا في الجدول (1) فكان لدينا 49 قاعدة، كما في الشكل (18):



الشكل (18) القواعد بين الدخل والخرج

إذٍ اعتمدت قاعدة القيمة الصغرى للربط بين المدخلين وقيمة الخرج تكون القيمة الصغرى بين الدخلين بحيث تُبَيِّنُ إشارة الخرج عندها.

ففي مثالنا $e=+16.667$ و $de=+0.5$ وجدنا أنَّ الدخل e يوافق قيمة وحيدة بدرجة انتماء 1 مع التابع ps ، في حين

لتحديد حجم المكثفات الواجب وضعها.

- بسبب الضياعات في مفاعلة (وشيعية) DC-link وكذلك الضياعات في المحول بين المبدل والشبكة فإن الاستطاعة المقدمة للشبكة ستكون أقل. يمكن تقليل هذه الضياعات من خلال استخدام ملف ذي ضياعات منخفضة، وبتشغيل المحول عند الحمل الاسمي؛ وذلك بزيادة استطاعة النظام الكهروضوئي، وتخفيف هذه الضياعات يحتاج إلى دراسة خاصة، إذ يعتمد تحميل المحولة على الاستطاعة المتاحة من النظام الكهروضوئي التي لا تكون اسمية دوماً فهي تعتمد على الظروف المناخية من إشعاع وحرارة.

- النموذج في بيئة الماتلاب قادر على تغيير شكل توابع الانتماء، وكذلك طرائق فك التعويم لتحديد قيمة الخرج المطلوبة، ومن ثمّ يمكن الاستفادة من هذا النموذج لتحديد القيم المثلى بما يتوافق مع طبيعة الإشعاع وتغيراته.

- بغض النظر عن محاسن التحكم العائم، هناك صعوبات تواجه استخدامه منها:

- الضعف في اكتمال قاعدة الأساس إذ لا بُد ان يقوم المتحكم بإعطاء استجابة تحكمية ذات معنى لكل شرط من شروط القاعدة.

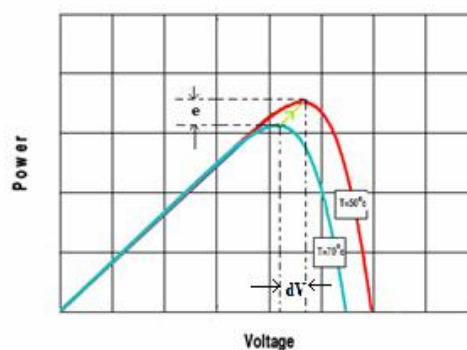
- ليس هناك معيار معين لاختيار شكل توابع الانتماء، فقد يؤدي تغيير شكل توابع الانتماء إلى الحصول على نتائج أدق، ويمكن لاحقاً دراسة أثر شكل التوابع في دقة الخرج.

- لا بُد من وجود الخبرة والمعرفة الكاملة بالنظام وأدائه حتى نستطيع التطبيق بالشكل الصحيح.

11- الخاتمة:

ناقشنا نظاماً كهروضوئياً متصلاً بالشبكة عن طريق عاكس ومحول رفع، إذ حُدِّدَ التغيّر في زاوية القدح للمبدل الواجب تطبيقها لملاحقة أكبر استطاعة متاحة من النظام الكهروضوئي، وذلك باستخدام إحدى طرائق الذكاء الصناعي وهي المنطق العائم، وإستُعرضَ مثال عددي عن أداء النظام، ونمذجته باستخدام برنامج الماتلاب MATLAB وتبيّن التوافق في النتائج.

نلاحظ قيمة الخرج هي $\alpha = 37.8^\circ$ ، وهي كما وجدناها بالحساب العددي، إذ ازداد الخطأ أي الاستطاعة المتاحة أصبحت أكبر، أي نحتاج إلى زيادة الجهد ومن ثمّ التحرك نحو يمين منحني الاستطاعة؛ وذلك لزيادة جهد النظام الكهروضوئي، ويجري ذلك بزيادة زاوية القدح فحسب العلاقة (4) الجهد يتناسب طردياً مع $\cos \alpha$ ، ومن ثمّ لزيادة الجهد نحتاج إلى زيادة زاوية القدح مع الأخذ بالحسبان أنّ α تراوح بين 90 إلى 180 درجة، وهذا الأمر موضّح بالشكل (21):



الشكل (21) ملاحقة الاستطاعة العظمى

10- النتائج والتوصيات:

- تبيّن أنّ المنطق العائم هو أداة فعّالة لملاحقة أكبر استطاعة من النظام الكهروضوئي واستحصالها وتقديمها للشبكة، إذ لم نعد نحتاج إلى معادلات توصف النظام، وإنما فقط حُدِّدَت آلية التحكم من خلال المعرفة المسبقة للنظام وسلوكه.

- إنّ استخدام المقومات الثيرستورية كعواكس قلّ التعقيد في الدارة إذ لم نعد نحتاج إلى دارات تحقيق التزامن مع الشبكة، وكذلك قلّ ضياع الاستطاعة نتيجة الفصل والوصل عمّا كانت عليه في المبدلات ذات التبديل القسري مثل IGBT و MOSFET، لكن ظهرت توافقيات على موجة تيار الخرج، وبوضع مكثفات ثلاثية عبر الشبكة يمكن التقليل من التوافقيات الناتجة عن المبدل الأمر الذي يحسّن موجة التيار في الشبكة ويقلّل تشوّه التوافقيات الكلي، وتحتاج هذه المرشحات إلى دراسة خاصة للتخلص من هذه التوافقيات إذ نحتاج إلى تحليل طيف التوافقيات الناتجة

المراجع*

- 1- حمزة، علي. (2009). هندسة النظم الكهروشمسية. دمشق: منشورات جامعة دمشق.
- 2- ورقوزق، هاشم. (2006). الكترونيات القدرة الكهربائية 1. دمشق: منشورات جامعة دمشق.
- 3- ورقوزق، هاشم. (2013). الكترونيات القدرة المتقدمة. جامعة دمشق.
- 4- All about Maximum Power Point Tracking MPPT. Retrieved June 1, 2013 from <http://www.star-electric.com/mppt-solar-charger-controller.html>
- 5- Bose, B. K. (2002). Modern Power Electronics and Ac Drives. USA: Prentice Hall PRH.
- 6- Goland Century. Mppt-10 Model User's Manual. Technical Data Sheet.
- 7- Gounden, N. A, Peter, S. A, Nallandula, H, & Krithiga, S. (2008, 11, July). Fuzzy logic controller with MPPT using line-commutated inverter for three-phase grid-connected photovoltaic systems. Renewable Energy Journal. 34, 909-915.
- 8- Ibrahim, H. E, & Ibrahim, M. (2012) Comparison Between Fuzzy and P&O Control for MPPT for Photovoltaic System Using Boost Converter. Journal of Energy Technologies and Policy, vol.2 No.6.
- 9- Morales, D. S. (2010). Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Application. Master of Science, Aalto University.