رقم الأمر: .....

رقم تسلسلي:.....


**الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية**

**وزارة التعليم العالي والبحث العلمي**

**جامعة الشهيد حمه لخضر _ الوادي**

**كلية التكنولوجيا**

**قسم الهندسة الكهربائية**


**رسالة مقدمة تدخل ضمن متطلبات نيل شهادة**

**مـــــاســـــتـــــــر أكـــادمـــــي**

**تـخـصـص الـشـبـكـات الكـهـربـائـيـة**

**تـــحـــت عـنـــوان المـــوضـــــوع**

# تحسين أداء متحكم ضبابي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية في الخلايا الشمسية باستخدام الخوارزمية الجينية


**من اعداد الطلبة : ـ خنوفه محمد العيد - قزي صالح**


**نوقشت يوم : 17 /06 /2021**

**أمام لجنة المناقشة المكونة من :**

| | | | |
|---|---|---|---|
| الأستاذ أسامة معمري | أستاذ محاضر | جامعة الوادي | رئيس اللجنة |
| الدكتور اللبي ياسين | أستاذ محاضر | جامعة الوادي | مشرف و مقررا |
| الأستاذ بركة نور الدين | أستاذ محاضر | جامعة الوادي | مناقش |

**السنة الجامعية : 2021/2020**

# الإهـداء

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل إليه لو لا فضل الله علينا أما بعد

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أمي و أبي العزيزين حفظهما الله لي

اللّذان سهرا وتعبا على تعليمي في إتمام هذا العمل من قريب أو من بعيد

إلى الأستاذ المشرف : اللبي ياسين

وإلى أفراد أسرتي ، سندي في الدنيا ولا أحصي لهم فضل

إلى كل أقاربي و إلى كل الأصدقاء و الأحباب من دون استثناء

إلى أساتذتي الكرام و كل رفقاء الدراسة

و في الأخير أرجوا من الله تعالى أن يجعل عملي هذا نفعا يستفيد منه جميع

الطلبة المتربصين المقبلين على التخّرج .

الطلبة

# التشكرات و العرفان

نحمد الله و نشكره على أن جعلنا من طلاب العلم وعلى ما من به علينا من إنهاء هذا العمل المتواضع و انطلاقا من قول النبي صلى الله عليه وسلم : "لا يشكر الله من لا يشكر الناس".

نتقدم بالشكر الجزيل الى كل من ساعدنا لانجاز هذا العمل من قريب او بعيد وخاصة الأستاذ

" اللبي ياسين " لإشرافه على هذه المذكرة وحرصه وصبره ومتابعته لكل معلومة تسجل فيها وعلى تقديره واحترامه لنا، ولنا كل الفخر والاعتزاز لإشرافه على المذكرة راجين من المولى عز و جل أن يبارك فيه ويجازيه عنا ألف خير مع تمنياتنا له بالمزيد من التقدم و النجاح في حياته العلمية و العملية.

كما لا ننسى أن نتقدم بالشكر و الاحترام و التقدير و الامتنان إلى كل الأساتذة بدون إستثناء، و لا ننسى أن نشكر إطارات قسم الهندسة الكهربائية على سعة و رحاب صدورهم و إرشادهم المتواصل لنا أثناء قيامنا بالدراسة التطبيقية و نسأل الله أن يجزيهم عنا خير الجزاء إنه سميع مجيب الدعاء.

الطلبة

# الملخص :

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 والُمبّدل المستمر الخافض للجهد والحمل. 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 .

تحقق استقرار عال عند القيم العالية لدورة التشغيل (Duty Cycle) باستخدام مبّدلات التيار المستمر من النوع الخافض للجهد (Buck Converter).

تم تطبيق الخوارزمية الجينية من أجل تحسين أداء المتحكم الضبابي تحقيق المزيد من الاستقرار وتقليل الخطأ وزمن الاستقرار.

بينت الدراسة فعالية وجودة أداء المتحكم الضبابي Mamdani في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية وأضافت تحسينًا الخوارزمية الجينية جيداً على أدائه من ناحية سرعة الاستقرار وتقليل الخطأ وانعدام التجاوز. تمت محاكاة مكونات النظام الكهروضوئي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية باستخدام بيئة MATLAB/Simulink.

**الكلمات المفتاحية :**النظام الكهروضوئي, ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية(MPPT),المتحكم الضبابي, المبدل المستمر الخافض للجهد, معدل عرض نبضات PWM ,الخوارزمية الجينيةGA.

# 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

High stability is achieved at high values of a fixed period of Duty Cycle by using DCDC converters of the type buck converter.
A genetic algorithm used to improve the performance of the most suitable controller to achieve more stability, less error and less stability time.

This thesis shows effectiveness and quality of the performance Mamdani type-fuzzy logic controller in maximum power point tracking of path and the genetic algorithm added a good improving of them wise speed of stability , reduce error ,absence overshot and very high stability on the peak.

Photovoltaic control system is modeled and simulated for maximum power point path tracking by using MATLAB/Simulink environment.

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

# فهرس المحتويات


| العنوان | الصفحة |
|---|---|
| الإهداء | I |
| التشكرات والعرفان | II |
| الملخص | III |
| Abstract | IV |
| فهرس المحتويات | V |
| فهرس الصور | VI |
| فهرس الجداول | VII |
| قائمة المختصرات | VIII |
| قائمة المصطلحات العلمية | IX |


**المقـدمـــة العـــامـــة**


| | |
|---|---|
| 1- مقدمة | 1 |
| 2- الدراسات المرجعية | 1 |
| 3- مشكلة البحث | 4 |
| 4- فرضيات البحث | 4 |
| 5- هدف البحث | 4 |
| 6- أهمية البحث | 4 |
| 7- مبررات البحث | 4 |
| 8- منهجيات البحث | 4 |
| 9- غاية البحث | 5 |
| 10- متغيرات البحث | 5 |
| 11- أدوات البحث | 5 |
| 12- تنظيم فصول الرسالة | 5 |


**الـــفـصـــــل الأول**


| | |
|---|---|
| 1-1 مقدمة | 6 |
| 1-2 الخلية الكهروضوئية وآلية عمله (Photovoltaic cells) | 6 |
| 1-3 أنواع الخلايا الكهروضوئية | 8 |
| 1-3-1 الخلايا السليكونية أحادية التبلور(Mono-crystallin ) | 8 |
| 1-3-2 الخلايا السيليكونية متعددة البلورة(polyc-rystallin) | 8 |
| 1-3-3 الخلايا السليكونية المورفيه(Amorphous) | 8 |
| 1-4 الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية | 9 |
| 1-5 المولد الكهروضوئي (GPV) | 12 |
| 1-5-1 نمذجة المولد الكهروضوئية (GPV) | 12 |
| 1-6 العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الكهروضوئية | 13 |
| 1-6-1 تأثير درجة الحرارة على منحنيات خواص الجهد و التيار للخلية | 13 |
| 1-6-2 تأثير الظل على كفاءة الخلية الكهروضوئية | 14 |
| 1-6-3 تأثير نظم التبريد والتهوية على كفاءة الخلية الكهروضوئية | 15 |
| 1-7 كفاءة الخلايا الكهروضوئية | 15 |
| 1-8 مزايا وعيوب الطاقة الكهروضوئية | 16 |
| 1-8-1 مميزاتها | 16 |
| 1-8-2 عيوبها | 17 |
| 1-9 قطاعات التطبيق | 17 |
| 1-10 الخلاصة | 17 |

## الـــفـــصـــــل الـــــثـــــانـــــي


| | |
|---|---|
| 2-1 مقدمة: | 18 |
| 2-2 مكونات النظام الكهروضوئي | 18 |
| 2-2-1 لوح الخلايا الكهروضوئي | 19 |
| 2-2-2 تقنية الملاحقة MPPT | 19 |
| أ- تحكم MPPT | 19 |
| ب- مبدأ MPPT | 20 |
| ت- تقنيات التحكم MPPT | 21 |
| 2-2-3 معدل عرض النبضة Pulse-Width Modulation (PWM) | 21 |
| 2-2-4 مبدلات التيار المستمر DC-DC Converte | 22 |
| أ- التيار المستمر Buck Converter | 24 |
| ب- مبّدل مبّدل التيار المستمر Boost Converter | 26 |
| ت- مبّدل التيار المستمر Buck –Boost Converter | 27 |
| ث- مبدل التيار المستمر – المتناوب (Converter Continu–Alternatif) | 28 |
| 2-2-5 الحمل | 28 |
| 2-3 النتيجة والمحاكاة | 29 |
| 2-4 طريقة الاضطراب والمراقبة (*P&O*) | 31 |
| 2-5 محاكاة أمر MPPT الرقمي "P&O" | 33 |
| 2-6 طريقة تحكم MPPT أخرى | 35 |
| 2-7 الخلاصة | 35 |


## الـــفـــصـــــل الـــــثـــالـــــث


| | |
|---|---|
| 3-1 مقدمـة: | 36 |
| 3-2 مراحل عمل المتحكم الضبابي: | 36 |
| 3-2-1 مرحلة التضبيب Fuzzification: | 36 |
| 3-2-2 مرحلة القواعد الاساسية ومحرك الاستدلال Rule base & inference engine | 36 |
| 3-2-3مرحلة فك التضـبيب Defuzzification | 37 |
| أ- تابع Center Of Gravity (COG) | 37 |
| ب- تابع Mean Of Maximum Method(MOM) | 37 |
| ت- تابع ( Weighted Average method (WA) | 38 |
| 3-3 تصميم التحكم الضبابي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية: | 38 |
| 3-4 تصميم المتحكم المنطقي الضبابي المقترح لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية | 40 |
| أ- الحالة الأولى استخدام خمسة توابع انتماء | 41 |
| ب-الحالة الثانية استخدام سبعة توابع انتماء | 43 |
| 3-5 الخوارزميات الجينية | 47 |
| 3-5-1 مقدمة بيولوجية Biological Background | 47 |
| 3-5-2 بدايات التفكير في الخوارزميات الجينية | 48 |
| 3-5-3 مبدأ عمل الخوارزميات الجينية | 48 |
| 3-5-4 التجمع السكاني المبدئي population | 49 |
| *أ- الترميز الثنائي Binary encoding* | 50 |
| *ب -ترميز القيمة Value Encoding* | 50 |
| 3-5-5 الانتقاء Selection | 50 |
| *أ- انتقاء عجلة الروليت Roulette Wheel Selection* | 50 |
| *ب -الانتقاء العشوائي Stochastic Universal Sampling selection* | 51 |
| 3-5-6 العبور Crossover | 52 |
| أ- *العبور بنقطة وحيدة Single point crossover* | 52 |

| | |
|---|---|
| ب- *العبور وفق نقطتين Two point crossover* | 52 |
| ت- *العبور القياسي Uniform Crossover* | 53 |
| 3-5-7 الطفرة Mutation | 53 |
| 3-5-8 معيار التوقف Stop Criteria | 53 |
| 3-5-9 توابع اللياقة Fitness Functions | 54 |
| 3-6 الخلاصة | 54 |


**الـفـصـل الـرابـع**


| | |
|---|---|
| 4-1 مقدمة | 55 |
| 4-2 أدوات المحاكاة | 55 |
| 4-3 خصائص اللوح الكهروضوئي المستخدم | 55 |
| 4-4 نمذجة نظام ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية المقترح | 56 |
| 4-4-1 نمذجة المتحكم الضبابي | 57 |
| 4-4-2 نمذجة معدل عرض النبضة( PWM) | 57 |
| 4-4-3 نمذجة المبدل الخافض للجهد Buck Converter | 58 |
| 4-5 معدلات الانتماء | 59 |
| 4-6 انشاء الجيل الأولي | 60 |
| 4-7 دالة الهدف | 62 |
| 4-8 خصائص الخوارزمية الجينية | 62 |
| 4-9 نتائج المحاكاة | 62 |
| 4-9-1 التشغيل في ظل ظروف ثابتة | 62 |
| 4-9-2 دراسة مقارنة واختبار المتانة | 65 |
| 4-10 الخلاصة | 67 |


**الـخـلاصـة الـعـامـة**


| | |
|---|---|
| الخلاصة العامة | 68 |
| قائمة المصادر و المراجع | 69 |

# فهرس الصور


| رقم الصورة | عنوان الصورة | الصفحة |
|---|---|---|
| الصورة(1-1) | بنية الخلية الكهروضوئية. | 6 |
| الصورة(1-2) | آلية عمل الخلية الكهروضوئية | 7 |
| الصورة(1-3) | التوصيل على التوازي للخلايا الكهروضوئية | 7 |
| الصورة(1-4) | التوصيل على التوالي للخلايا الكهروضوئية | 7 |
| الصورة(1-5) | أنواع الخلايا الكهروضوئية | 8 |
| الصورة(1-6) | الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية. | 9 |
| الصورة(1-7) | منحنى الخواص لكل من$(I-V)$و(P − V)للوح الخلايا الكهروضوئية | 9 |
| الصورة(1-8) | خاصية I-V للمولد الكهروضوئي | 11 |
| الصورة(1-9) | خاصية P-V للمولد الكهروضوئي | 12 |
| الصورة(1-10) | رسم تخطيطي للمولد الكهروضوئي | 12 |
| الصورة(1-11) | تأثير درجة الحرارة على مميزة التيار بدلالة الجهد | 13 |
| الصورة(1-12) | تأثير درجة الحرارة على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد. | 13 |
| الصورة(1-13) | مقارنة بين مميزة التيار بدلالة الجهد في حال التظليل وعدمه | 14 |
| الصورة(1-14) | تأثير الظل على مميزة التيار بدلالة الجهد | 14 |
| الصورة(1-15) | تأثير الظل على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد. | 15 |
| الصورة(1-16) | الانتقال من الخلية إلى الموديول إلى لوح الخلايا الكهروضوئية | 16 |
| الصورة(2-1) | المخطط الصندوقي لمكونات النظام الكهروضوئي | 19 |
| الصورة(2-2) | إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة a) بعد تغيير في الإضاءة ،b) بعد تغير في الحمل ،c) بعد تغير في درجة الحرارة | 20 |
| الصورة(2-3) | نموذج لنبضة التحكم في مفتاح المبدل | 22 |
| الصورة(2-4) | الدارة المكافئة لمبدل التيار المستمر | 23 |
| الصورة(2-5) | موجة جهد الخرج VOلمبدل التيار المستمر | 23 |
| الصورة(2-6) | العلاقة بين القيمة المتوسطة لجهد الخرج الشكلD | 24 |
| الصورة(2-7) | الدارة المكافئة للمبدل الخافض للجهدBuck Converter | 24 |
| الصورة(2-8) | الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح | 26 |
| الصورة(2-9) | الدارة المكافئة للمبدل الرافع للجهد Boost convetor | 26 |
| الصورة(2-10) | الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح | 27 |
| الصورة(2-11) | الدارة المكافئة للمبدل الخافض-الرافع للجهد( Buck –Boost) Converter | 27 |
| الصورة(2-12) | مميزة قيم المقاومات عند كل Duty cycle | 29 |
| الصورة(2-13) | مخطط محاكاة لمحول رافع متحكم به بدون تعظيم الاستطاعة لدورة عمل تبلغ 0.3 | 29 |
| الصورة(2-14) | التيار عند أطراف $GPV$ | 30 |
| الصورة(2-15) | الجهد عند أطراف $GPV$ | 30 |
| الصورة(2-16) | الاستطاعة عند أطراف $GPV$ | 30 |
| الصورة(2-17) | التيار عند أطراف التحميل | 31 |
| الصورة(2-18) | الجهد عند أطراف التحميل | 31 |
| الصورة(2-19) | الطاقة عند أطراف التحميل | 31 |
| الصورة(2-20) | خصائص$(Ppv\ Vpv)$ وتشغيل طريقة الاضطراب والرصد | 32 |
| الصورة(2-21) | مخطط انسيابي لطريقة الاضطراب والمراقبة | 33 |
| الصورة(2-22) | رسم تخطيطي لأمر MPPT | 34 |
| الصورة(2-23) | الاستطاعة عند أطراف GPV | 34 |
| الصورة(2-24) | الجهد عند أطراف GPV | 35 |

| | | |
|---|---|---|
| الصورة(2-25) | دورة العمل المقابلة لوحدة التحكم MPPT P&O | 35 |
| الصورة(3-1) | مراحل عمل المتحكم الضبابي | 37 |
| الصورة(3-2) | مميزة عمل الخلية الكهروضوئية | 38 |
| الصورة(3-3) | المخطط التدفقي لنظام ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية باستخدام التحكم الضبابي | 39 |
| الصورة(3-4) | (FIS ) للمتحكم Mamdani | 41 |
| الصورة(3-5) | (FIS) للمتحكم Sugeno | 41 |
| الصورة(3-6) | توابع انتماء الدخل Eفي الحالة الأولى | 42 |
| الصورة(3-7) | توابع انتماء الدخل CE في الحالة الأولى | 42 |
| الصورة(3-8) | توابع انتماء الخرج للمتحكم Mamdani في الحالة الأولى | 43 |
| الصورة(3-9) | توابع الانتماء للخرج للمتحكم Sugenoفي الحالة الأولى | 43 |
| الصورة(3-10) | توابع انتماء للدخل Eفي الحالة الثانية | 44 |
| الصورة(3-11) | توابع انتماء للدخل CEفي الحالة الثانية | 44 |
| الصورة(3-12) | توابع انتماء الخرج للمتحكم Mamdaniفي الحالة الثانية | 45 |
| الصورة(3-13) | توابع الانتماء للخرج للمتحكم Sugenoفي الحالة الثانية | 45 |
| الصورة(3-14) | توابع انتماء للدخل Eعند استخدام تسعة توابع انتماء | 45 |
| الصورة(3-15) | توابع انتماء للدخل CEعند استخدام تسعة توابع انتماء | 46 |
| الصورة(3-16) | توابع الانتماء للخرج Duty ratioعند استخدام تسعة توابع انتماء | 46 |
| الصورة(3-17) | المخطط التدفقي للخوارزمية الجينية | 49 |
| الصورة(3-18) | الانتقاء بطريقة عجلة الروليت | 51 |
| الصورة(3-19) | اختيار أخذ العينات العشوائية العالمي | 52 |
| الصورة(4-1) | منهج التحسين لعنصر تحكم MPPT غامض | 56 |
| الصورة(4-2) | نموذج النظام الكهروضوئي المقترح | 56 |
| الصورة(4-3) | نموذج حساب قيمة الخطأ Eوتغير الخطأ CEللمتحكم الضبابي | 57 |
| الصورة(4-4) | نموذج معدل عرض النبضات | 58 |
| الصورة(4-5) | نموذج المبدل Buck Converter . | 58 |
| الصورة(4-6) | الصورة (4-6): واجهة التحكم FIS للمتحكم .Mamdani | 59 |
| الصورة(4-7) | الصورة (4-7): توابع انتماء المدخل E. | 59 |
| الصورة(4-8) | الصورة(4-8): توابع انتماء المدخلΔE. | 60 |
| الصورة(4-9) | الصورة (4-9): توابع انتماء الخرج للمتحكم Mamdani., | 60 |
| الصورة(4-10) | هيكل ووصف الفرد (الكروموسومات) | 61 |
| الصورة(4-11) | ترميز وظائف الانتماء (أ)(ب)(ج) E و dD,dE | 62 |
| الصورة(4-12) | تقارب الوظيفة الموضوعية عبر الأجيال. | 63 |
| الصورة(4-13) | تباين ضوء الشمس كدالة للوقت | 63 |
| الصورة(4-14) | الطاقة المقابلة لوحدة التحكم FLC-AG | 64 |
| الصورة(4-15) | الجهد المقابل لوحدة التحكم FLC-AG | 64 |
| الصورة(4-16) | التيار المقابل لوحدة التحكم FLC-AG | 64 |
| الصورة(4-17) | دورة التشغيل المقابلة لوحدة التحكم FLC-AG | 65 |
| الصورة(4-18) | تباين سطوع الشمس بدالة الوقت fuzzy Mppt-AG | 65 |
| الصورة(4-19) | التوتر الخاص باللوحة الكهروضوئي باستخدام fuzzy Mppt-AG | 66 |
| الصورة(4-20) | التيارالخاص باللوحة الكهروضوئي باستخدام fuzzy Mppt-AG | 66 |
| الصورة(4-21) | اشارة دورة العمل الخاصة باللوحة الكهروضوئي باستخدام fuzzy Mppt-AG | 66 |
| الصورة (4-22) | استجابات من وحدات التحكم (MPPT -Fuzzy و MPPT P&O) لزيادة ضوء الشمس (المستوى 700-1000-500 = E واط / م 2) عند درجة حرارة ثابتة 25 = T درجة مئوية | 67 |

# فهرس الجداول


| رقم الجدول | عنوان الجدول | الصفحة |
|---|---|---|
| الجدول(2-1) | دورة التشغيل لأنواع المبّدلات المختلفة | 22 |
| الجدول(2-2) | مقارنة لمبدلات التيار المستمر | 28 |
| الجدول(3-1) | أسماء توابع الانتماء | 41 |
| الجدول(3-2) | القواعد المطبقة على المتحكمين Sugeno &Mamdani | 42 |
| الجدول(3-3) | قيم توابع انتماء الخرجDuty ratio | 42 |
| الجدول(3-4) | أسماء توابع الانتماء | 43 |
| الجدول(3-5) | القواعد المطبقة على المتحكمين Sugeno &Mamdani. | 44 |
| الجدول(3-6) | قيم توابع انتماء الخرجDuty ratio. | 44 |
| الجدول(3-7) | أسماء توابع الانتماء | 46 |
| الجدول(3-8) | القواعد المطبقة على المتحكمSugeno. | 47 |
| الجدول(3-9) | قيم توابع انتماء الخرجDuty ratio. | 47 |
| الجدول(3-10) | الترميز الثنائي | 50 |
| الجدول(3-11) | ترميز القيمة | 50 |
| الجدول(3-12) | العبور بنقطة وحيدة | 52 |
| الجدول(3-13) | العبور بنقطتين | 53 |
| الجدول(3-14) | العبور القياسي | 53 |
| الجدول(3-15) | الطفرة | 53 |
| الجدول(4-1) | تصميم وحدة تحكم MPPT الضبابية (LFC) بواسطة الخوارزمية الجينية (AG) | 55 |

# قائمة المختصرات

| الاختصار | المعنى باللغة الانجليزية | المعنى باللغة العربية |
|---|---|---|
| A | Ampere | أمبير |
| ADC | Analog to Digital Converter | محول تشابهي رقمي |
| COG | Center Of Gravity | مركز الجاذبية |
| CE | Change in error | تغير الخطأ |
| DC | Direct Current | التيار المستمر |
| EA | Evolutionary Algorithms | الخوارزميات التطورّية |
| E | Error | الخطأ |
| FLC | Fuzzy Logic Controller | متحكم منطقي ضبابي |
| GA | Genetic algorithm | الخوارزمية الجينية |
| Hz | Hertz | هرتز |
| IC | Incremental Conductance | الناقلية المتزايدة |
| MF | Member Function | توابع الانتماء |
| MOM | Mean Of Maximum Method | تابع المتوسط الأعظمي |
| MPP | Maximum Power Point | نقطة الاستطاعة الأعظمية |
| MPPT | Maximum Power Point Tracking | ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية |
| Ms | Millesecond | ميلي ثانية |
| P&O | Perturb and Observe | الاضطراب والمراقبة |
| PWM | Pulse Width Modulation | معدل عرض النبضة |
| V | Voltage | فولت |
| W | Watt | واط |
| WA | Weighted Average | المعدل الموزون |

# قائمة المصطلحات العلمية

| المصطلح باللغة الإنكليزية | المصطلح باللغة العربية |
|---|---|
| Buck converter | مبدل خافض للجهد |
| Chromosomes | الكروموزومات |
| Duty cycle | دورة التشغيل |
| Duty ratio | نسبة التشغيل |
| Photovoltaic System | النظام الكهروضوئي |
| Fitness Function | تابع اللياقة |

# قائمة الرموز

| الرمز | دلالته |
|---|---|
| $I_{SC}$ | تيار الدائرة القصيرة لخلية أو وحدة شمسية.[A] |
| $V_{OC}$ | جهد الدائرة المفتوحة لوحدة شمسية.[V] |
| $V_{max}$ | جهد العمل الأعظمي |
| $I_{max}$ | تيار العمل الأعظمي |
| $P_{max}$ | الاستطاعة العظمى |
| A | ثابت الديود |
| $K_i$ | عامل التيار الحراري |
| $K_v$ | عامل الجهد الحراري |
| E | الخطأ في الاستطاعة |
| CE | تغير الخطأ في الاستطاعة |
| T | درجة الحرارة الحالية مقدرة بالكلفن. |
| G | شدة الإشعاع الشمسي الحالي مقدراً ب ($W\m^2$) |
| $\lambda$ | الطول الموجي بالمتر. |
| EO | الإضاءة خارج الغلاف الجوي للأرض تسمى الثابت الشمسي. |
| $Pm$ | الطاقة التي ينتجها المولد الكهروضوئي. |
| $K$ | كونستانت دي بولتزمان (1,38.10-23 J/K). |
| $q$ | شحنة الإلكترون (1,6.10-19 C). |
| $Ipv$ | التيار المتولد عن الخلية الكهروضوئية. |
| Iph | تيار الخلية الكهروضوئية (الصورة الحالية) |
| $Id$ | التيار المتدفق من خلال الصمام الثنائي. |
| I0 | تيار التشبع العكسي للديود. |
| $Vpv$ | جهد الخرج للوحة الكهروضوئية. |
| $Ip$ | التيار المتدفق من خلال المقاوم |
| $RP$ | مقاومة التحويلة للخلية الكهروضوئية. |
| $RS$ | سلسلة المقاومة للخلية الكهروضوئية. |
| $NS$ | عدد الخلايا في السلسلة. |
| NP | عدد الخلايا على التوازي. |
| A | عامل المثالية للتقاطع (الخلية الكهروضوئية p-n ) |
| $Vmpp= Vm$ | جهد الوحدة الكهروضوئية عند نقطة الطاقة القصوى [V]. |
| $Impp= Im$ | تيار الوحدة الكهروضوئية عند أقصى نقطة طاقة.[A] |
| $Imr$ | التيار المرجعي للوحدة الكهروضوئية عند نقطة الطاقة القصوى. |
| $Tréf$ | درجة الحرارة المرجعية للخلايا الكهروضوئية [درجة كلفن] |
| $RL$ | مقاومة التصفية. |
| $D$ | تقرير دوري. |
| $\Delta D$ | تغيير دورة العمل. |
| $P\&O$ | الاضطراب والملاحظة. |

# المقدمة العامة

## 1- مقدمة:

يتعرض عالمنا اليوم إلى أزمة اقتصادية مستمرة نتيجة لارتفاع أسعار الطاقة وزيادة الطلب عليها, وذلك لارتباطها بالوقود الأحفوري أو التقليدي ( النفط والغاز والفحم), إضافة إلى ما يتعرض له كوكب الأرض من تلوث بيئي نتيجة لانبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى ,والتي أدت إلى ظاهرة الاحتباس الحراري التي أدت بدورها إلى ارتفاع درجات حرارة الجو, وتساقط الأمطار الحامضية ,وذوبان الثلوج وانغمار أراضي صالحة للزراعة وانحباس الأمطار عن مناطق أخرى مما قد يؤدي إلى التصحر.

في مقابل ذلك تتوفر طاقات بديلة في كافة بقاع العالم وهي طاقة نظيفة غير ملوثة للجو ومتجددة ومستدامة.

إن أحد أهم أنواع الطاقة المتجددة هي الطاقة الشمسية ,حيث تصل إلى الأرض على شكل إشعاع شمسي, وتستقبل الطبقات العليا من الفضاء المحيط بالكرة الأرضية ما يساوي 174 بيتاواط. ينعكس منه 30% ويمتص الباقي والبالغ 122 بيتاواط من قبل الغيوم والبحار والمحيطات وسطح الأرض [1].

إن الطاقة المستلمة من الشمس خلال ساعة واحدة تعادل ما تحتاجه الكرة الأرضية من الطاقة لمدة عام تقريباً, والطاقة المستلمة من الشمس في عام واحد تعادل ضعفي المستخدم والمكتشف والمقدر من طاقة الفحم والنفط والغاز وطاقة اليورانيوم النووية [2].

من الممكن استخدام الطاقة الشمسية بطريقتين الأولى هي الطاقة الشمسية الحرارية ,وهي عملية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية بواسطة مركزات الطاقة الشمسية الحرارية, والطريقة الثانية هي الطاقة الشمسية الكهربائية وفيها يتم تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية مباشرة بواسطة الألواح أو الخلايا الشمسية [1] و [2].

لكي تتم الاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية, فيجب الاهتمام بتصاميم العمارات والدور السكنية والتجارية وتصميم الفضاء بما يسمح بتهوية واضاءة وتسخين وتبريد جيد. والاستفادة القصوى من حركة واتجاه الشمس, واستغلال أقصى ما يمكن من الإشعاع الشمسي ,وكذلك اختيار مواد البناء المناسبة.

## 2- الدراسات المرجعية

يوجد العديد من الدراسات والأبحاث التي بحثت في موضوع ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية في الخلايا الشمسية, وبينت الأبحاث التي أجريت في هذا المضمار أنواع تقنيات الملاحقة بالإضافة إلى المقارنة فيما بينها. فقد تم استخدام عناصر ميكانيكية من أجل ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية, وذلك باستخدام أربع مقاومات ضوئية (LDR (light Dependent Resistors, يتم عن طريقها تحديد مكان الشمس, وتحريك لوح الخلايا الشمسية باتجاهها عن طريق محركين, يسمح كل محرك منهما بحركتين: المحرك الأول يحرك اللوح باتجاه الشرق أو الغرب, المحرك الثاني يحرك اللوح باتجاه الشمال والجنوب, والمتحكم المستخدم عبارة عن المقاومات مع مقارن, وقد أظهرت النتائج أن ازدياد كمية الطاقة المكتسبة من الألواح بمقدار 28.11% وذلك في يوم غائم[3].

وكذلك استخدمت المتحكمات PI و PID في العديد من الدراسات حيث تم إجراء مقارنة بين أداء المتحكم PI والمتحكم PID في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية[4], واستخدم المتحكمان لتتبع حركة الشمس بوجود محول تشابهي رقمي ADC8bits.وأظهرت النتائج تفوق المتحكم PIDعلى المتحكم PI في تتبع حركة الشمس وملاحقة مسار نقطة الاستطاعة بفعالية جيدة. وقام مجموعة من الباحثين بإجراء دراسة [5] بهدف

مقارنة أداء المتحكم PID مع المتحكم الضبابي في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية, وتم استخدم مبدل من النوع boost عند درجة حرارة 25°C واشعاع $400W/m^2$ بدون وجود ضجيج كالعوامل الخارجية مثل الغبار والغيوم.

أظهرت نتائج المحاكاة باستخدام بيئة MATLAB/Simulink أن المتحكمين متماثلين في الأداء. ولكن بوجود الضجيج تفوق المتحكم الضبابي في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية. وكذلك تم تحليل أداء كل من المتحكم PID والمتحكم الضبابي في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية لنظام كهروضوئي اللوح المستخدم يعطي استطاعة 1KWموصول مع حمل مستمر(شحن بطاريتين). عدد توابع الانتماء التي استخدمت مع المتحكم الضبابي من نوع Mamdani هو خمس توابع من النوع الغاوصي .وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من محاكاة النظام الكهروضوئي باستخدام بيئة MATLAB/Simulinkتفوق المتحكم الضبابي على المتحكم PIDمن ناحية السرعة في شحن البطاريتين والدقة في ملاحقة نقطة الاستطاعة الاعظمية[6].

وأيضاً يوجد العديد من الد ارسات التي ركزت على استخدام التحكم الضبابي حيث اختيار أنواع مختلفة أو أعداد مختلفة من توابع الانتماء مع اختلاف نوع المبدل المستخدم. استخدمت الدراسة [7] متحكم ضبابي من نوع Mamdani وخمسة توابع انتماء من النوع الغاوصي مع وجود مبدل رافع للجهد Boost Converter وتمت محاكاة النظام باستخدام بيئة MATLAB/Simulink, وأظهرت النتائج أن هذه الطريقة فعالة ودقيقة في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية, ولكنها تعاني من التكلفة المرتفعة للمبدل المستخدم. وقام مجموعة من الباحثين بمحاكاة لوح من الخلايا الكهروضوئية يعطي استطاعة عظمى 1000W باستخدام بيئة MATLAB/Simulink.

استخدم متحكم ضبابي من نوع Mamdani ونوعين من توابع الانتماء التوابع المثلثية والتوابع الغاوصية, وكان عدد هذه التوابع في كل مرة خمس توابع[8].أظهرت نتائج المحاكاة تفوق التوابع المثلثية في ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية, كما تمت المقارنة بين تقنية الملاحقة باستخدام التحكم الضبابي وتقنية P&Oالتي تعتمد على إجراء اضطراب من خلال زيادة أو إنقاص قيمة جهد أو تيار خرج النظام , ومن ثم مقارنة استطاعة خرج النظام بعد الاضطراب باستطاعة النظام قبل الاضطراب, فعندما يتغير جهد النظام واستطاعته زيادةً أي عندما يكون الخطأ موجبا فإن هذه التقنية سوف تقوم بتحريك نقطة الاستطاعة الأعظمية بالاتجاه نفسه أي يجري اضطراباً بالزيادة, وفي حال كان الخطأ سالباً فإن هذه التقنية سوف تحرك نقطة الاستطاعة الأعظمية في الاتجاه المعاكس أي يجري اضطرابا بالنقصان[9]. وأظهرت النتائج تفوق تقنية الملاحقة باستخدام التحكم الضبابي. وهناك دراسة مشابهة للدراسة[9] ولكن مع اختلاف نوع المبدل واستطاعة اللوح حيث استخدم لوح ذو استطاعة عظمى 65W ومبدل من نوع Buck Converter,وذلك عند درجات حرارة مختلفة. وتبين أن تقنية التحكم الضبابي أفضل من تقنية P&Oمن ناحية زمن الاستقرار والاهتزاز حول نقطة الاستطاعة الأعظمية [10].

أما الدراسة[11], تم فيها المقارنة بين أداء تقنية الملاحقة بعد محاكاة النظام المقترح باستخدام بيئة MATLAB/Simulink على مرحلتين, في المرحلة الأولى استُخدم متحكم ضبابي من نوع Mamdani و ثلاثة توابع انتماء لكل من الدخل والخرج من النوع المثلثي, وفي المرحلة الثانية استخدم خمسة توابع انتماء لكل من الدخل والخرج من النوع المثلثي أيضاً وتم تحقيق النظام عمليا وبينت النتائج أن استخدام خمس توابع انتماء أفضل من ثلاث توابع.

وهناك دراسات اهتمت بدراسة تأثير زيادة درجة الحرارة على فعالية اللوح الكهروضوئي.

لقد استخدمت تقنية P&O لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية عند درجات حرارة مختلفة ومبدل من النوع Buck-Boost converterوتم تحقيق النظام بشكل عملي ومحاكاته باستخدام بيئة MATLAB/Simulink,وبينت النتائج أن زيادة درجة الحرارة تؤثر سلبا على أداء اللوح الكهروضوئي, وفعالية هذه التقنية جيدة إلا أن هناك صعوبة كبيرة في اختيار بارامترات المبدل وتحتاج إلى خبرة عالية بالإضافة إلى أن تصميمه معقد ومكلف من الناحية المادية[12].

كذلك تمت المقارنة أداء تقنية الناقلية المتزايدة Incremental Conductanceوتقنية الدارة القصيرة , short circuit [13] تعتمد تقنية الناقلية المتزايدة على إيجاد إشارة

حيث I هو تيار اللوح الكهروضوئي و V جهده و عند القيمة العظمى للاستطاعة تكون العلاقة مساوية للصفر, بينما عندما تقع نقطة العمل للنظام على يمين نقطة الاستطاعة الأعظمية تكون قيمة العلاقة السابقة أصغر من الصفر في حين كانت تقع نقطة العمل للنظام على يسار نقطة الاستطاعة الأعظمية تكون قيمة العلاقة السابقة أكبر من الصفر. ومن ثم تجري ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية بإجراء المقارنة, وبحسب الإشارة يتحدد الاتجاه الصحيح للاضطراب المؤدي إلى نقطة الاستطاعة الأعظمية وحالما يتم الوصول إلى القيمة العظمى للاستطاعة فإن النظام يستقر عند هذه النقطة ويتوقف الاضطراب حتى يلاحظ حدوث تغير جديد لقيمة التيار[14].

بينما تقنية الدارة القصيرة تصل إلى نقطة الاستطاعة العظمى من خلال إعطاء تيار التشغيل $Iop$ إلى مبدل للاستطاعة من أجل التحكم بقيمة التيار. إن تيار العمل الأمثل لاستطاعة خرج أعظمية في مختلف ظروف يتناسب طرداً مع تيار القصر $Isc$ وذلك عند القيم المختلفة للإشعاع الشمسي.

تستخدم هذه الطريقة متحكم تناسبي بحيث يكون كل من$Isc$ وجهد اللوح الكهروضوئي دخل للمتحكم وخرجه هو $Vref$ وهذه القيمة تمثل قيمة الاستطاعة العظمى بشكل تقريبي[15].وتمت محاكاة النظام باستخدام MATLAB/Simulinkعند درجات حرارة مختلفة واشعاع ثابت وبينت النتائج أن تقنية الناقلية المتزايدة أفضل من تقنية الدارة القصيرة في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة.

تضمنت الدراسة[16] مقارنة بين تقنية P&Oوتقنية الناقلية المتزايدة عند درجات حرارة ثابتة واشعاع ثابت ومبدل من نوع Boost converter وتبين من خلال هذه الدراسة أن تقنية الناقلية المتزايدة أفضل من تقنية P&Oفي ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية وأقل كلفة عند التحقيق العملي للنظام.

كما بينت الدراسة[17] تفوق تقنية التحكم الضبابي على تقنية الناقلية المتازيدة حيث استُخدم متحكم ضبابي من نوع Mamdani وسبعة توابع انتماء من النوع المثلي مع شبكة من الألواح الكهروضوئية وتم إجراء محاكاة للنظام المقترح باستخدام بيئة MATLAB/Simulink وذلك عند درجات حرارة مختلفة وبينت النتائج أن تقنية التحكم الضبابي أفضل من تقنية الناقلية المتزايدة من ناحية زمن الاستقرار بالإضافة إلى أن تقنية الناقلية المتزايدة تعاني من مشكلة في ملاحقة نقطة الاستطاعة الاعظمية عند درجات الحرارة العالية.

أما بالنسبة إلى البحث المقترح فقد استخدم مبدل من النوع الخافض للجهد Buck Converter ولوح كهروضوئي يعطي استطاعة عظمى60W. تم ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية باستخدام التحكم الضبابي

عند درجة حرارة ثابتة واشعاع ثابت وذلك بتطبيق سبعة توابع انتماء لكل من الدخل والخرج : خمسة من النوع المثلثي واثنان من النوع Trap,واستخدم متحكمين ضبابين الأول من نوع Sugeno والثاني من نوع Mamdani, وتم تطبيق الخوارزمية الجينية على المتحكم الذي حقق أفضل ملاحقة لنقطة الاستطاعة الأعظمية بهدف الحصول على فعالية أعلى وأفضل استقرار وأقل خطأ في الاستطاعة. تابع اللياقة المستخدم هو تكامل جداء الزمن بمربع الخطأ ودالة العبور بنقطة واحدة وانتقاء للآباء وفق دالة Stochastic Universal Sampling selectionودالة الطفرة تعتمد على تغيير بتات الكروموزوم بعد مقارنة أرقام عشوائية تخص كل بت مع رقم عشوائي مولد عند كل كروموزوم.

**3- مشكلة البحث:**

كفاءة الخلايا الشمسية تصل بأحسن الظروف إلى 30%حيث أن طاقة الشمس لا تصل إليها باستطاعتها العظمى بسبب وجود الغيوم ووجود الغبار في الجو, بالإضافة إلى تجمع الغبار فوق ألواح الخلايا الشمسية.

كما أن قيمة الإشعاع الشمسي تختلف حسب موقع الأرض من الشمس وحسب زاوية اللوح بالنسبة لأشعة الشمس.

**4- فرضيات البحث:**

يفترض البحث أن استخدام الخوارزمية الجينية يحسن من أداء المتحكم الضبابي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة العظمى.

**5- هدف البحث:**

يهدف البحث إلى تحسين أداء المتحكم الضبابي باستخدام الخوارزمية الجينية من أجل تحديد نقطة الاستطاعة الأعظمية**(MPP)** وملاحقة مسارها **(MPPT)** بهدف المحافظة على أعظم قيمة لها ( أي أعظم جهد وأعظم تيار).

**6- أهمية البحث:**

الطاقة الشمسية مصدر نظيف ومتجدد لا ينضب. ويمكن تحويل ضوء الشمس إلي طاقة كهربائية مباشرة باستخدام ألواح الخلايا الكهروضوئية, بالإضافة إلى الكلفة المادية القليلة مقارنة مع الأساليب الأخرى لتوليد الطاقة.

**7- مبررات البحث:**

إن نقطة الاستطاعة الأعظمية MPPمتغيرة وغير ثابتة تتعلق بشدة الإشعاع الشمسي التي تصل إلى الألواح الكهروضوئية ودرجة الحرارة التي تتغير خلال فترات النهار وفصول السنة بالإضافة إلى تغير الحمل ونوعه, وكذلك إن توابع الانتماء المستخدمة مع المتحكم الضبابي يتم اختيارها تجريبياً وبشكل غير دقيق.

**8- منهجيات البحث:**

يتبع البحث عدة منهجيات:

- المنهج التحليلي: يتبع النظام المنهج التحليلي من خلال تحليل مكونات النظام وألية عملها والترابط بين مراحل النظام المختلفة.
- المنهج التجريبي: يتبع النظام المنهج التجريبي من خلال تجريب مجالات توابع الانتماء للمداخل والخوارج والقواعد التي تطبق على المتحكم الضبابي.

**9- غاية البحث:**

إن الغايات الأساسية من هذا البحث جعل الألواح الكهروضوئية تقدم أعظم استطاعة, وذلك بتحسين أداء المتحكم الضبابي المستخدم لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية باستخدام الخوارزمية الجينية.

**10- متغيرات البحث:**

يوجد ثلاث متغيرات لهذا البحث يتم العمل من خلالها ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية وهي:

1.استطاعة اللوح الكهروضوئي التي تتعلق بقيمة جهد وتيار اللوح المقترح.

2.الخطأ في الاستطاعة.

3.تغير الخطأ في الاستطاعة

**11-أدوات البحث**

تم استخدام بيئة MATLAB/Simulink لمحاكاة النظام المقترح. وقد استخدم MATLAB/Fuzzy Toolboxمن أجل محاكاة عمل المتحكم الضبابي Sugeno والمتحكم الضبابي Mamdani بالإضافة إلى استخدام MATLAB/Script من أجل كتابة الكود البرمجي الخاص بالخوارزمية الجينية.

**12-تنظيم فصول الرسالة**

تضمنت الرسالة أربعة فصول محتوى كل فصل كالآتي:

مقدمة عامة عبارة عن مقدمة حول البحث والدراسات التي اهتمت بموضوع ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية وكذلك تضمن هدف البحث والغاية و الفرضيات والمتغيرات. يعرض الفصل الأول دراسة و نمذجة النظام الكهروضوئي و آلية عمل الخلايا وأنواعها . يظهر الفصل الثاني مكونات النظام الكهروضوئي و طريقة ربط المولد الكهروضوئي بواسطة محول خافض للجهد (مستمر مستمر) لخوارزمية التتبع MPPT. الفصل الثالث يتضمن أنواع المتحكمات الضبابية و كيفية تصميمها لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية بالإضافة إلى استخدام أعداد مختلفة من توابع الانتماء وكذلك القواعد المطبقة عند كل عدد من التوابع عند واستخدام نوعين من المتحكمات الضبابي Sugeno و Mamdani ويقدم فكرة عامة عن الخوارزمية الجينية ومراحل عملها وآلية عمل كل مرحلة منها. أما الفصل الرابع يبين نمذجة والمحاكاة للنظام المقترح لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية بالإضافة إلى نتائج الملاحقة التي تم التوصل إليها وكذلك يعرض نتائج الملاحقة قبل وبعد تطبيق الخوارزمية الجينية ويحتوي أيضاً على الاستنتاجات .

# الفصل الأول

## دراسة و نمذجة النظام الكهروضوئي

### 1-1 مقدمة:

تسمى الطاقة الشمسية الكهربائية بالطاقة الشمسية الفوتوفولتية (Photovoltaic), وهي عملية تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية مباشرة باستخدام الخواص الالكترونية لبعض المواد مثل السيلكون ومركبات مثل تولوريد الكادميوم والكاليوم أرسينايد, والتي تصنف ضمن أشباه الموصلات. إن تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية يتم من خلال تراكيب الكترونية تسمى الخلايا الكهروضوئية[18],وفي هذا الفصل سنقوم بشرح مفهوم المولد الكهروضوئي و الخلية الكهروضوئية مع التلميح لأنواعها و الدارة المكافئة لها و العوامل المؤثرة على كفائتها .

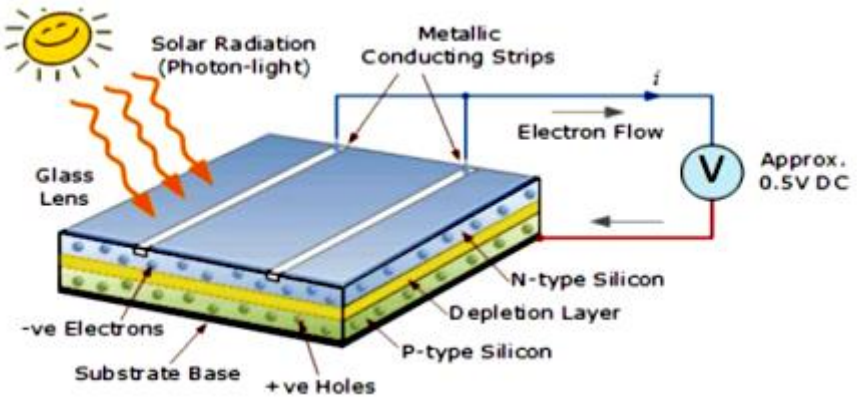
### 2-1 الخلية الكهروضوئية وآلية عملها (Photovoltaic cells):

هي عبارة عن "عنصر الكتروني" يتم فيه تجميع لمجموعة من المواد التي تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى تيار كهربائي مستمر, حيث يتناسب التيار الكهربائي المولد من الخلية الشمسية مع الإشعاع الشمسي. تتكون الخلية الكهروضوئية من الأعلى إلى الأسفل من الطبقات الآتية: طبقة زجاجية –غطاء غير عاكس للضوء –طبقة من أنصاف النواقل نوع (N) – طبقة واصلة – طبقة من أنصاف النواقل نوع (P) – غلاف سفلي, والصورة(1-1) تبين بنية الخلية الكهروضوئية[19] .توجد عدة ميزات للخلية الكهروضوئية نذكر منها:

1- لا تحتوي على أجزاء متحركة تتعرض للعطل, لهذا تعمل فوق الأقمار الصناعية بكفاءة عالية.

2- لا تحتاج لصيانة أو إصلاحات أو وقود, حيث تعمل في صمت.

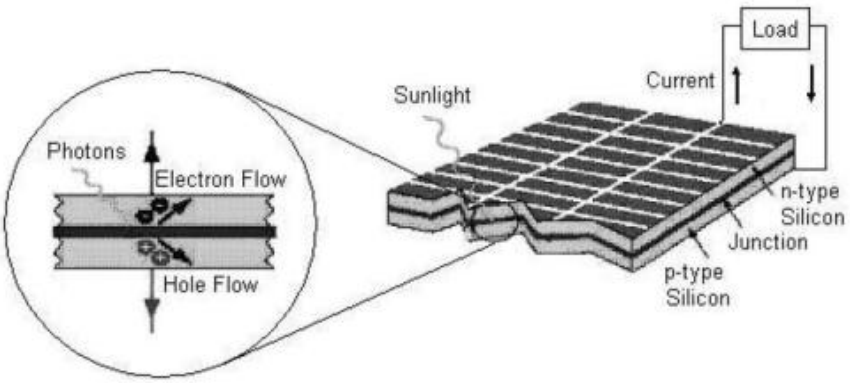
ولها بعض السيئات نذكر منها اتساخ الخلايا الضوئية نتيجة التلوث أو الغبار يؤدي إلى انخفاض من كفاءتها مما يستدعي تنظيفها على فترات محددة.




الصورة(1–1): بنية الخلية الكهروضوئية.

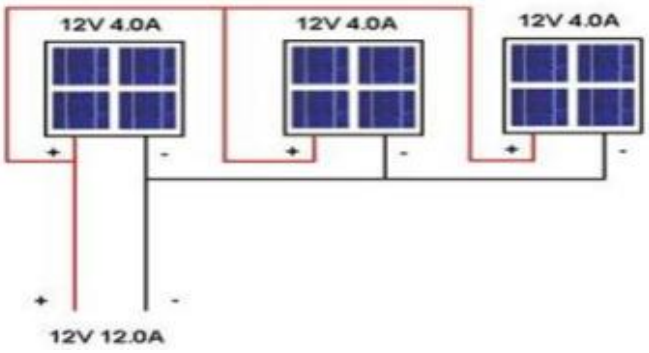
عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر من خلال سطح الخلية ويمتص جزء منه بواسطة الطبقة الأولى للخلية وهي الطبقة التي تحتوي على الفسفور أما أغلبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك وهي الطبقة التي تحتوي على خليط السيلكون بالبورون, حيث يتكون من خلال هذه العملية الكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي في أطراف الخلية, وتزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على هذه الخلية. يمكننا توصيل حمل كهربائي على أطراف هذه الخلية

والاستفادة من حركة الالكترونات الناتجة من تسليط ضوء الشمس علي الخلية والصورة(1-2) تبين آلية عمل الخلية الكهروضوئية [20].

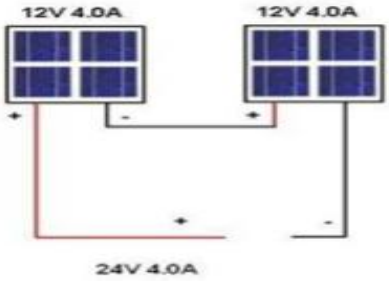



الصورة(1-2): آلية عمل الخلية الكهروضوئية.[20]

توصيل الخلايا الكهروضوئية على التوازي عن طريق توصيل البدايات مع البدايات والنهايات مع النهايات ( موجب مع موجب وسالب مع سالب ), وذلك من أجل الحفاظ على نفس الجهد, ولكن مع جمع قيم التيارات المختلفة لجميع الخلايا الشمسية من أجل زيادة التيار الكلي, وبالتالي رفع الاستطاعة الكلية كما هو مبين في الصورة (1-3). كما يمكن أيضا توصيل الخلايا الكهروضوئية على التوالي, حيث يتم توصيل النهايات مع البدايات أي موجب مع سالب وسالب مع موجب من أجل الحفاظ على نفس التيار, ولكن مع جمع قيم الجهود المختلفة لجميع الخلايا الشمسية من أجل رفع فرق الجهد الكلي [21].كما هو مبين في الصورة(1-4).




الصورة(1-3): التوصيل على التوازي للخلايا الكهروضوئية[21].




الصورة(1-4): التوصيل على التوالي للخلايا الكهروضوئية[21].

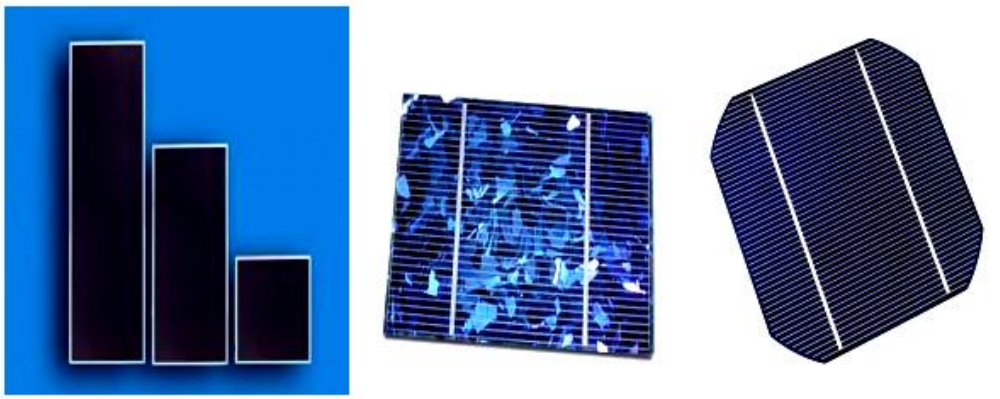
### 3-1 أنواع الخلايا الكهروضوئية:

وتصنف الخلايا الكهروضوئية إلى عدة أنواع تبعاً للمادة المستخدمة في التصنيع والكفاءة المستخلصة منها وسعرها ونذكر منها:

**1-3-1 الخلايا السليكونية أحادية التبلور(Mono-crystallin ):** وهي عبارة عن خلايا قطعت من بلورة سيليكون مفردة وتتراوح كفاءة هذه الخلايا [18%-20%]. والألواح الكهروضوئية المصنعة من هذه الخلايا تقدم استطاعة عظمى (135-170 Watts/m2) ,ويتميز هذا النوع من الخلايا بالكفاءة العالية مقارنة بالأنواع الأخرى ولكن على حساب الكلفة العالية .الصورة (1-5-أ).

**2-3-1 الخلايا السيليكونية متعددة البلورة(polyc-rystallin) :** وهي عبارة عن رقائق من السليكون كشطت من بلورات أسطوانية عولجت في أفران لزيادة خواصها الكهربائية وبعد ذلك تغطى أسطح هذه الخلايا بمضاد الانعكاس لكي تمتص الخلايا أشعة الشمس بكفاءة عالية, وكفاءة هذا النوع تتراوح بين [12%-18%]. تقدم الألواح الكهروضوئية المصنعة من هذه الخلايا استطاعة عظمى تتراوح بين ( 120-150) Watts/m, ومن ميزاتها بأنها أقل ثمنا من الخلايا السليكونية أحادية التبلور ولكنها أقل كفاءة منها. الصورة(1-5-ب).

**3-3-1 الخلايا السليكونية المورفيه(Amorphous) :** وتسمى أيضا بخلايا الفيلم الرقيقة (Thin Film)حيث يتم ترسيب مادة السليكون على هيئة طبقات رفيعة على أسطح الزجاج أو البلاستيك لذلك فإن تصنيع هذه الخلايا يتم بتقنية سهلة وكفاءتها 10%, والألواح الكهروضوئية المصنعة من هذه الخلايا تقدم استطاعة عظمى ومن ميزاتها أنها تستمر بالعمل بفعالية حتى لو كانت الخلية تتعرض للظل .الصورة (1-5-ج).

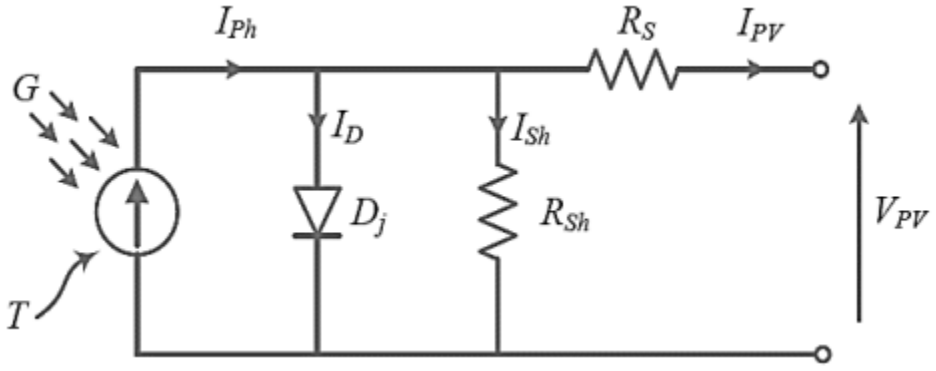


(أ) الخلايا السليكونية أحادية التبلور
(ب) الخلايا السليكونية متعددة التبلور
(ج) الخلايا السليكونية المورفيه

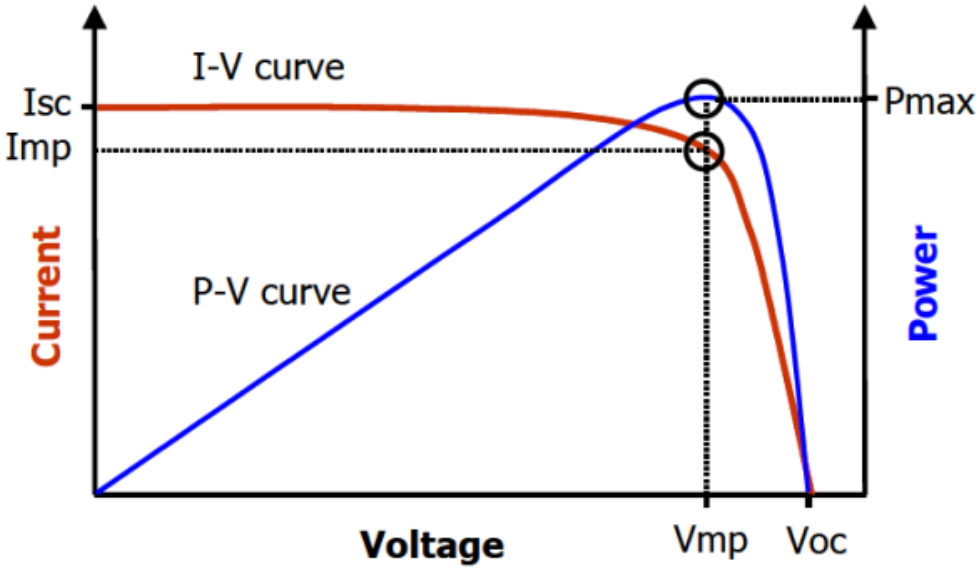
**الصورة (1-5) :أنواع الخلايا الكهروضوئية.**

**4-1 الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية:**

تُمثل الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية في الصورة(1– 6) حيث تتكون تلك الدارة من منبع تيار Iph وديود على التفرع و مقاومتان : الأولى تفرعية Rsh والثانية تسلسلية RS تتعلقان بصناعة اللوح . تبين الصورة(1–7)منحني الخواص لكل من التيار و الاستطاعة بدلالة الجهد للوح الخلايا الكهروضوئية[22].




**الصورة (1–6): الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية**[22].




الصورة (1-7): منحنى الخواص لكل من$(I - V)$و$(\mathrm{P} - \mathrm{V})$للوح الخلايا الكهروضوئية[22].

يعطى تيار الخلية الكهروضوئية الاسمي$(\mathrm{I_{pvn}})$تيار خرج اللوح الاسمي بالعلاقة[24]:

$$I_{pvn} = \frac{R_{sh}+\mathrm{R_s}}{\mathrm{R_p}} \times \mathrm{I_{scn}} \qquad (1-1)$$

حيث $RS$المقاومة التسلسلية و $Rp$ مقاومة الحمل و$Rsh$ المقاومة التفرعية و $Iscn$ تيار القصر المرجعي مقاساً بالأمبير ويعطى الجهد الحراري Vt بالعلاقة[23]:

$$V_t = \frac{N_s \times k \times T}{q} \qquad (2-1)$$

حيث $Ns$عدد الخلايا الموصولة تسلسلياً و $T$درجة الحرارة الحالية مقدرة بالكلفن و $k$ ثابت بولتزمان

$[\frac{K}{J}]1.38 \times 10^{-23}$و q شحنة الالكترون$1.6 \times 10^{-19}C$.

يعطى تيار الخلية الكهروضوئية Ipvبالعلاقة[23]:

$$I_{PV} = \left(I_{pvn} + K_i \times \Delta T\right) \times \frac{G}{G_n} \qquad (3-1)$$

حيث Gشدة الإشعاع الشمسي الحالي[ $W/m^2$]و $Gn$الإشعاع الشمسي المعياري [$W/m^2$].

تعطى عبارة تيار الإشباع للخلية الكهروضوئية $Io$بالعلاقة[23]:

$$I_o = \frac{I_{scn} + K_i \times \Delta T}{\exp^{\frac{V_{ocn} + K_v \times \Delta T}{aV_t}} - 1} \qquad (4-1)$$

حيث aعامل التيار الحراري$[A/C]$ و $Ki$معامل التيار الحراري واحدته $A/K$ و Kvمعامل الجهد الحراري واحدته $V/K$ و $Vocn$جهد الدارة المفتوحة الحالي [23].

يعطى تيار اللوح الكلي I بالعلاقة التالية:

$$I = I_{pv} \times N_p - I_o \times N_p \times \left[exp^{\left[\frac{V + R_s \times \frac{N_s}{N_p} \times I}{a \times V_t}\right]} - 1\right] - \frac{V + R_s}{R_p} \qquad (5-1)$$

حيث Npعدد الخلايا الموصولة تفرعياً و Vهو جهد الخرج للوح الكهروضوئي.

يعطى تيار اللوح الفعلي $Im$بالعلاقة[23]:

$$I_m = I_{pv} \times N_p - I_o \times N_p \times \left[exp^{\left[\frac{V + R_s \times \frac{N_s}{N_p} \times I}{a \times V_t}\right]} - 1\right] \qquad (6-1)$$

$I_{pv}$ :تيار خرج اللوح.

$V_{pv}$ :جهد خرج اللوح( volt) .

$Isc_now$ :تيار الدارة القصيرة عند درجة الحرارةT.

$Isc$ :تيار القصر المرجعي (الموافق لدرجة الحرارة المعيارية و لشدة الإشعاع الشمسي المعياري)(A) (يؤخذ من ال datasheet للوح.

$Isc_T$ :تيار القصر عند درجة الحرارةT (A).

$Isc_G$ :تيار القصر عند الإشعاع G.

$Voc - now$: جهد الدارة المفتوحة الحالي(VOLT).

Voc: جهد الدارة المفتوحة المرجعي (الموافق لدرجة الحرارة المعيارية و لشدة الإشعاع الشمسي المعياري) (A) (تؤخذ قيمته من ال datasheet للوح).

$Vmpp$:جهد نقطة عمل الاستطاعة العظمى.

$Impp$:تيار نقطة عمل الاستطاعة العظمى.

$T$ : درجة الحرارة الحالية مقدرة بالكلفن.

$Tref$ : درجة الحرارة المرجعية مقدرة بالكلفن.

$G$:شدة الإشعاع الشمسي الحالي مقدراً ب(W/m2).

$Gref$:الإشعاع الشمسي المعياري مقدراً ب(W/m2) ( تؤخذ قيمته من datasheetاللوح).

$\alpha$:عامل التيار الحراري مقدراً بالواحدة (A/C) ( ويتبع نوع الخلايا المصنع منها اللوح) (تؤخذ قيمته من ال datasheet للوح).

$\beta$:عامل الجهد الحراري مقدراً ب( VOLT/C) ( ويتبع نوع الخلايا المصنع منها اللوح) (تؤخذ قيمته من ال datasheet للوح).

$I_o$: تيار التسريب العكسي للديود عند درجة الحرارةT.

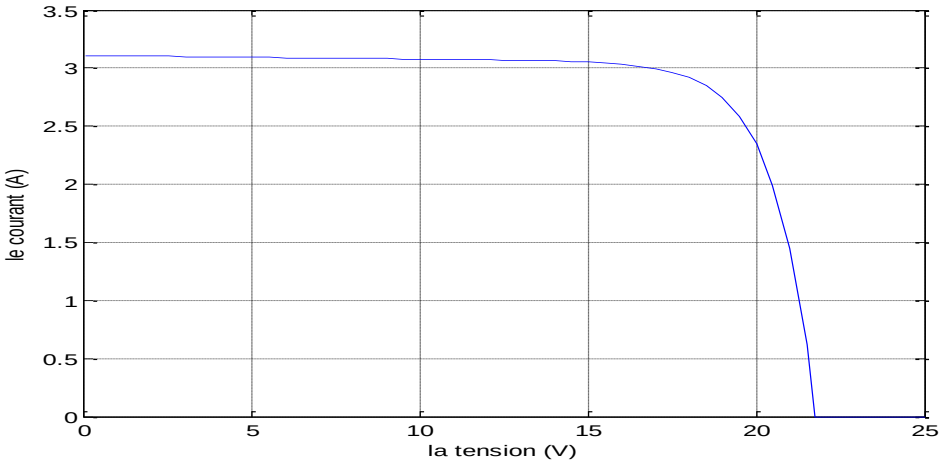
$q$:شحنة الالكترون$1.6 \times 10^{-19}C$

Res:المقاومة التسلسلية.

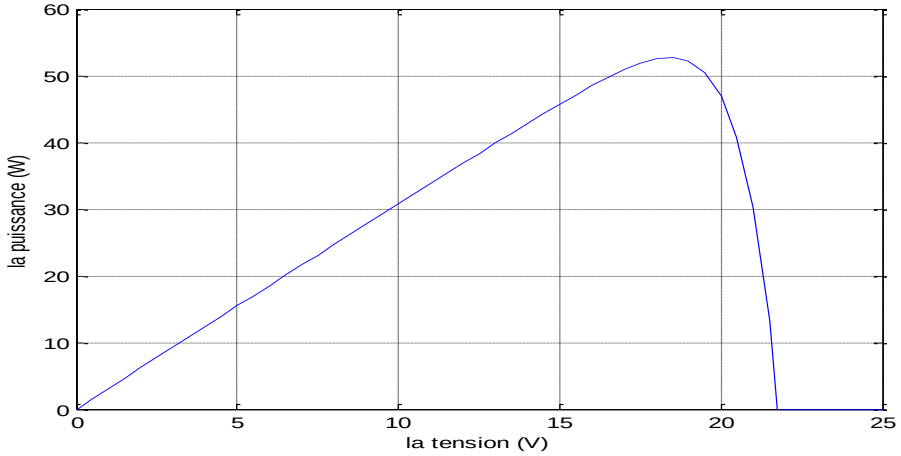
A:معامل كفاءة الديود اعتماداً على التكنولوجيا الضوئية.

$dR_Voc$:انحراف المنحني$I - V$.

$En$: طاقة الفجوة وتتعلق بنوع اللوح.




الصورة(1-8) : خاصية I-V للمولد الكهروضوئي




الصورة(1-9) :خاصية P-V للمولد الكهروضوئي

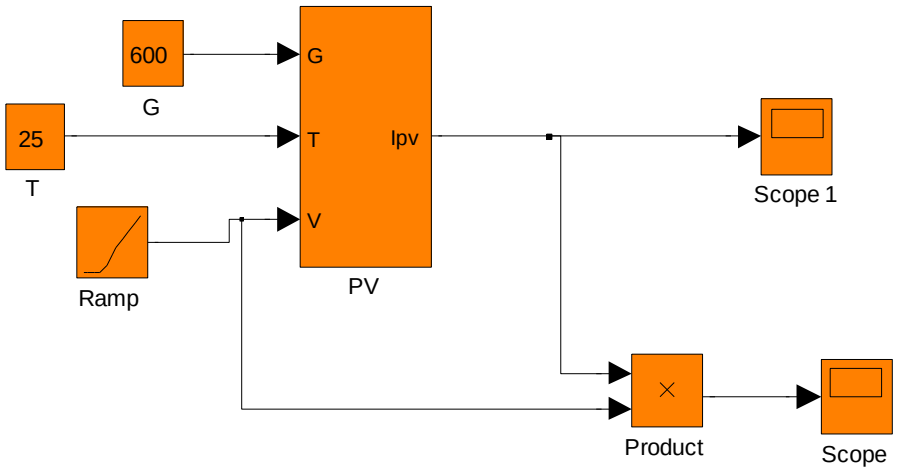
### 5-1 المولد الكهروضوئي (GPV):

يتكون المولد الكهروضوئي (GPV) من مجموعة من الخلايا الكهروضوئية الأولية المتصلة على شكل( تسلسلي أو توازي أو تسلسلي وتوازي) من أجل الحصول على الخصائص الكهربائية المرغوبة مثل الطاقة أو تيار الدائرة القصيرة أو جهد الدائرة المفتوحة. للعثور على طراز المولد الكهروضوئي (GPV) ، يجب أولاً العثور على الدائرة الكهربائية المكافئة لهذا المصدر. تم تطوير العديد من النماذج الرياضية [24] لتمثيل سلوكهم اللاخطي بقوة شديدة والذي ينتج عن سلوك تقاطعات أشباه الموصلات التي تشكل أساس تحقيقها. تم العثور على العديد من نماذج المولد الكهروضوئي والتي تختلف عن بعضها البعض من خلال الإجراء وعدد المعاملات المشاركة في حساب الجهد والتيار النهائي للمولد الكهروضوئي.

#### 1-5-1 نمذجة المولد الكهروضوئي (GPV)

يتم تمثيل الرسم التخطيطي الكهربائي المكافئ للمولد الكهروضوئي على شكل كتلة بسيط بواسطة برنامج الماتلاب كما في الصورة (1-10):

بمدخلين (G: الإضاءة و T: درجة حرارة الخلية) ومخرجين (I: التيار و V: الجهد) .




الصورة(1-10): رسم تخطيطي للمولد الكهروضوئي

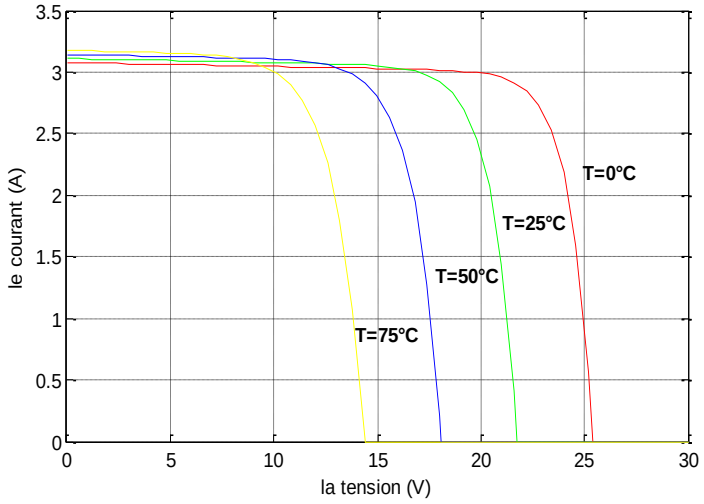
### 6-1 العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الكهروضوئية:

إن كفاءة الخلية الكهروضوئية تتأثر ببعض العوامل والتي منها زوايا ميل الخلية بالنسبة للشمس, الاختلافات اليومية والسنوية في الطاقة الشمسية التي تسقط على الخلية. وهناك عوامل أخرى تؤثر على الكفاءة مثل الظل ونظم التبريد والتهوية .

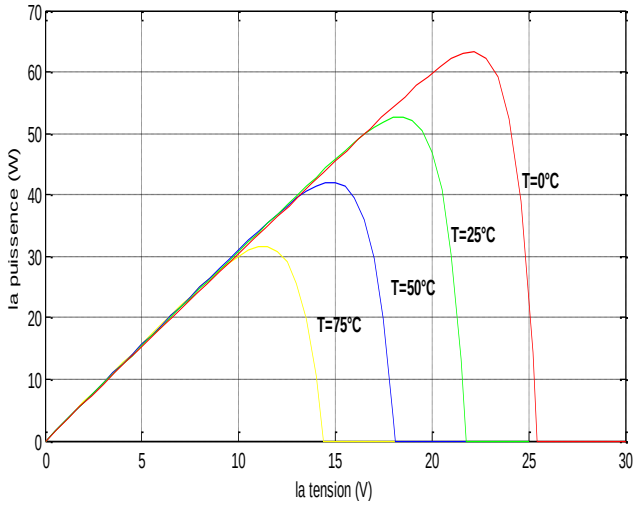
#### 1-6-1 تأثير درجة الحرارة على منحنيات خواص الجهد و التيار للخلية:

تتفاوت كفاءة أداء الخلية الكهروضوئية عادة عكسياً بدرجة حرارة التشغيل معنى آخر ينخفض أداء الخلية بارتفاع درجة حرارة الجو المحيط بالخلية, وهذا يعني أن الاستطاعة الناتجة من الخلية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة.

الصورة(1-11) تبين تأثير درجة الحرارة على مميزة خواص الجهد والتيار[25,26]. والصورة (1-12) تبين تأثير درجة الحرارة على منحني كمية الطاقة المتولدة بدلالة الجهد



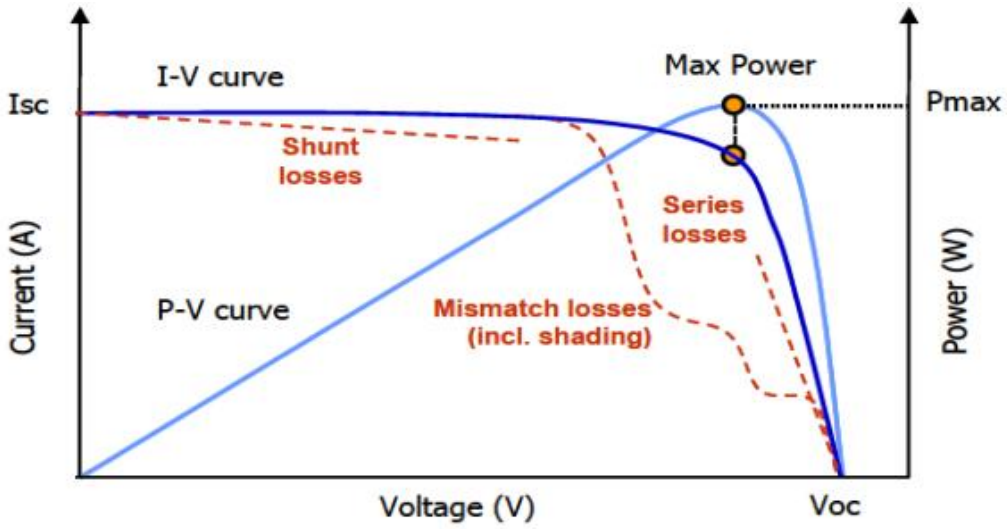

الصورة (1-11) : تأثير درجة الحرارة على مميزة التيار بدلالة الجهد



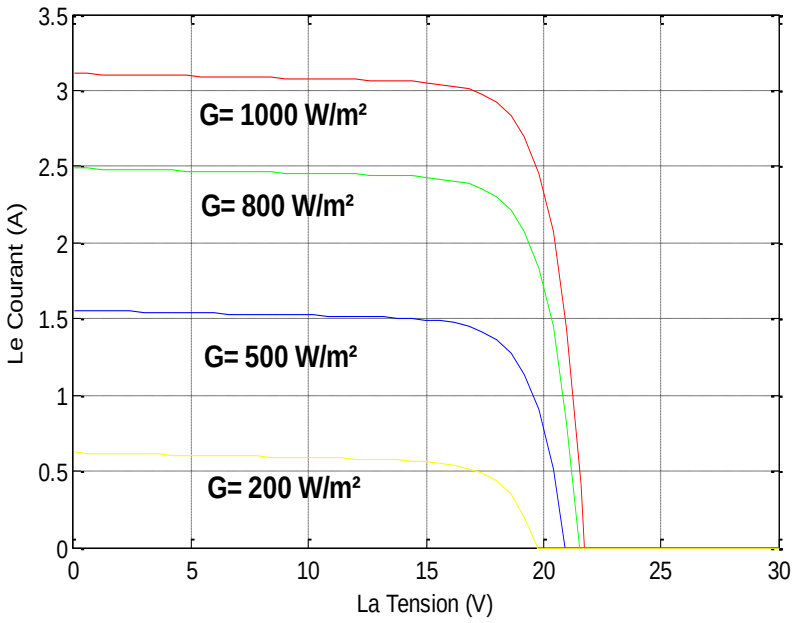

الصورة (1-12): تأثير درجة الحرارة على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد.

### 2-6-1 تأثير الظل على كفاءة الخلية الكهروضوئية:

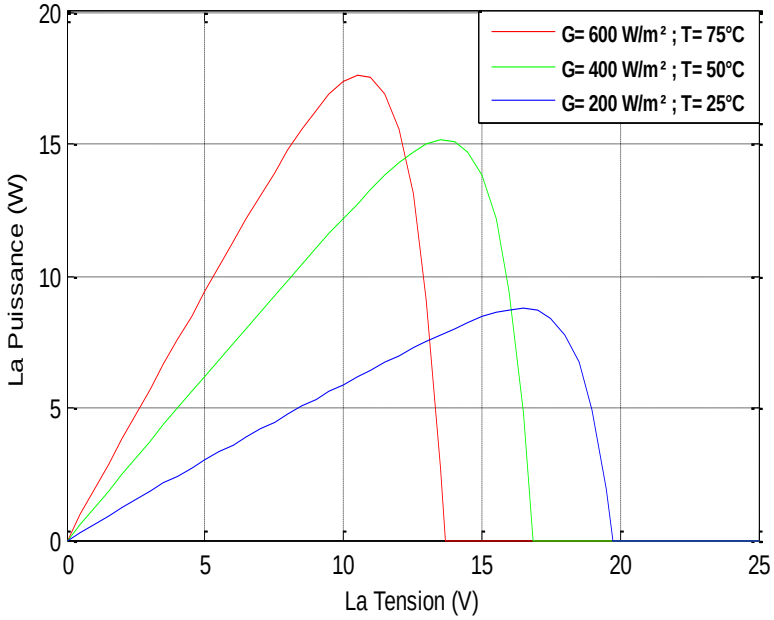
تؤثر الظلال بشكل مباشر على كمية الكهرباء المنتجة من الخلية الكهروضوئية, كذلك الأتربة حيث يمكن أن تظلل أجزًاء من الخلية مما يؤثر على كمية الطاقة الشمسية الساقطة عليها. لذلك من الضروري التأكد من أن نظم الخلايا خالية من الظلال التي تؤثر على إنتاج الطاقة, ولكن التأثير يكون أقل بالنسبة للخلايا ذات الشرائح الرقيقة. فعند إسقاط الظل على خلية واحدة داخل الوحدة الكهروضوئية وهذا ما تظهره الصورة (1-13) نلاحظ التأثير الكبير على كفاءة الوحدة الكهروضوئية ككل.




الصورة (1-13): مقارنة بين مميزة التيار بدلالة الجهد في حال التظليل وعدمه[77].




الصورة (1-14): تأثير الظل على مميزة التيار بدلالة الجهد.



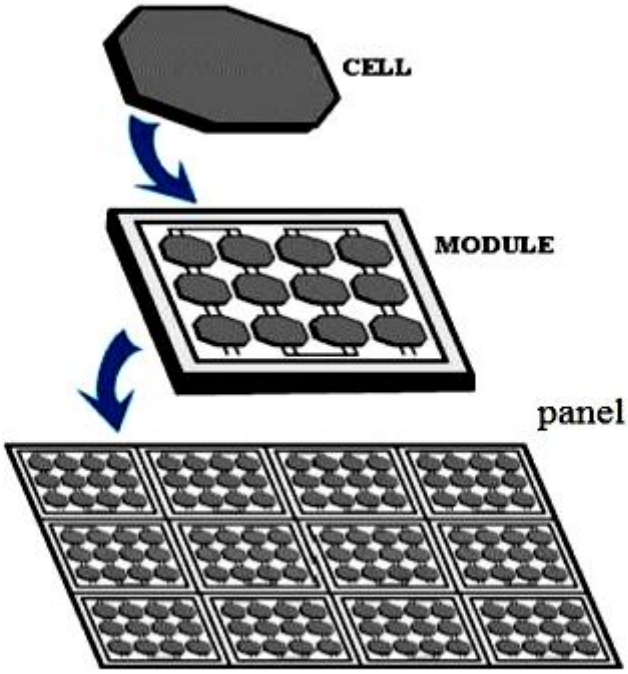

الصورة(1-15): تأثير الظل على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد.

### 1-6-3 تأثير نظم التبريد والتهوية على كفاءة الخلية الكهروضوئية:

تعتبر نظم التهوية بالنسبة للخلايا المصنوعة من السليكون البلوري مهمة جداً حيث تؤثر نظم التهوية والتبريد بشكل فعال على الكفاءة الإنتاجية للطاقة, حيث تتعلق بزيادة درجة الحرارة. ولكن بالنسبة للخلايا الغير متبلورة والخلايا ذات الشرائح الرقيقة فإن نظم التهوية لا تمثل أهمية حيث لا تتأثر كفاءة توليد الطاقة بزيادة درجة الحرارة بنسبة كبيرة.

### 1-7 كفاءة الخلايا الكهروضوئية:

تعرف كفاءة الخلايا الكهروضوئية بأنها نسبة القدرة الخارجة من الخلية على القدرة الداخلة اليها, بحيث يتراوح الجهد الذي تولده الخلية الكهروضوئية [0.8- 0.5] فولت. وتختلف قيمة التيار المستخلص تبعا للمساحة السطحية للخلية . فالتيار الكهربائي يزداد كلما زادت المساحة السطحية ولكن زيادة المساحة بشكل كبير يؤدى إلى زيادة المقاومة المتتالية (Series resistance) التي تؤدي إلى تقليل كفاءه الخلية. وقد تم تصنيع خلايا لمساحات مختلفة للحصول على تيار يتراوح بين [2.5-3.5] أمبير للخلية الواحدة. وعادة يتم ربط الخلايا الشمسية على التوازي والتوالي لتشكل وحدات توليد طاقة كهربائية تسمي موديول(module).تربط هذه الموديول مع بعضها لتشكل ما يسمى بلوح الخلايا الكهروضوئية كما هو موضح في الصورة (1-16) فعند ربط الخلايا على التوالي يزداد الجهد بينما يزداد التيار عند ربط الخلايا على التوازي. وعند ربط الخلايا على التوازي والتوالي في وحدات كبيرة يتم الحصول على الطاقة المطلوبة.




الصورة (1-16): الانتقال من الخلية إلى الموديول إلى لوح الخلايا الكهروضوئية[78].

وتعطى نسبة الفعالية للوح الخلايا الكهروضوئي وفق العلاقة(1-7) :

$$\eta = \frac{P_{mqx}}{P_{in}} \qquad (7-1)$$

حيث pmaxهي أعظم قيمة للاستطاعة يتم الحصول عليها أثناء ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية وpin هي أعظم قيمة للاستطاعة وذلك عند القيم الإسمية لكل من الحرارة والإشعاع الشمسي.

**8-1 مزايا وعيوب الطاقة الكهروضوئية:**

**1-8-1 مميزاتها:**

- ✓ يمكن استخدامه عمليًا في أي مكان ، مع توفر ضوء الشمس في جميع أنحاء العالم.
- ✓ موثوقية عالية. لا يحتوي التثبيت على أي أجزاء متحركة تجعله.
- ✓ مناسبة بشكل خاص للمناطق المعزولة. هذا هو سبب استخدامه على المركبات الفضائية.
- ✓ يمكن دائمًا تركيب معدات الإنتاج بالقرب من نقطة الاستهلاك ، وبالتالي تجنب خسائر الخط.
- ✓ تسمح الطبيعة المعيارية للألواح الكهروضوئية بتجميع بسيط وقابل للتكيف مع احتياجات الطاقة المختلفة.يمكن ضبط حجم الأنظمة لتطبيقات الطاقة التي تتراوح من ألف واط إلى ميغا واط.
- ✓ لا توجد حركة ، لا تلوث مباشر أو غير مباشر (عوامل جوية أو سائلة ، منتجات التنظيف ، خطر التعرض لحوادث جسدية ، ...) لا نفايات ، لا يوجد اضطراب للبيئة المحلية ، إنها طاقة نظيفة وبيئية بحتة.

- ✓ تكلفة التشغيل منخفضة جدًا نظرًا لقلة الصيانة ولا تتطلب مواد غير قابلة للاحتراق ولا النقل ولا تتطلب موظفين متخصصين للغاية.
- ✓ السيليكون مادة مستخدمة في أكثر الألواح الشمسية انتشارًا ، وهي متوفرة بكثرة وليست سامة.
- ✓ يبلغ عمر الألواح الشمسية 20 إلى أكثر من 30 عامًا ويمكن إعادة تدويرها بالكامل تقريبًا.

### 1-8-2 عيوبها :

- ✓ كفاءة التحويل الفعلية للوحدة منخفضة ، حوالي 10-15٪ [27] مع حد نظري لخلية من 28٪ [27]. المولدات الكهروضوئية قادرة على المنافسة فقط مع مولدات الديزل لمتطلبات الطاقة المنخفضة في المناطق المعزولة.
- ✓ عندما يكون تخزين الطاقة الكهربائية في شكل كيميائي (بطارية) ضروريًا ، تزداد تكلفة المولد. لا يزال تخزين الطاقة الكهربائية يطرح العديد من المشاكل.
- ✓ يعتبر تصنيع الوحدة الكهروضوئية تقنية عالية ويتطلب تصفية استثمارات عالية التكلفة.
- ✓ التأثير البيئي وتأثير الطاقة لتصنيع ألواح السيليكون ليس صفراً. يجب أن تعمل الخلية الكهروضوئية ما بين سنة ونصف وخمس سنوات لتعويض الطاقة المستخدمة في تصنيعها.

## 1-9 قطاعات التطبيق:

- ✓ قطاع الفضاء: هذا هو أقدم قطاع إلى حد بعيد منذ الاستخدامات الأولى للخلايا الشمسية للمركبات الفضائية (الأقمار الصناعية ، والمكوكات ، وما إلى ذلك) التي يعود تاريخها إلى الستينيات.
- ✓ الاتصالات السلكية واللاسلكية: المهاتفة الريفية ، والمهاتفة الراديوية ، وما إلى ذلك ،المواقع المعزولة: المتنزهات الوطنية ، خدمات المياه والغابات ، المناطق المعزولة ، البلدان النامية. ضخ المياه والري والمنازل والقرى ...
- ✓ الحصول على البيانات: تلعب الطاقة الكهروضوئية دورًا مهمًا للغاية في محطات الحصول على البيانات المعزولة ، نظرًا لموثوقية التشغيل العالية ، والاستقلالية ، والحساسية المنخفضة للبرق ، والمقاومة الشديدة للظروف الطبيعية ، وصيانة الإضاءة وطول عمر المعدات (25 عامًا).
- ✓ قطاع النقل: أعمدة الإنارة ، وإشارات الرسائل المتغيرة ، وإشارات الإنارة ، وإشارات الطرق والسكك الحديدية.

## 1-10 الخلاصة:

هذا الفصل مخصص لعرض المكونات المختلفة للنظام الكهروضوئي. درسنا مبدأ التأثير الكهروضوئي والخلية الكهروضوئية وخضائصها. من ناحية أخرى ، رأينا في هذا الفصل مفهوم الطاقة الشمسية الفولتية . في الفصل التالي ، سوف نقدم دراسة حول محولات DC-DC (المرحلات) وعناصر تحكم MPPT الخاصة بهم للعثور على النقطة التي تكون فيها طاقة المولد الكهروضوئي هي الحد الأقصى.

# الفصل الثاني

## ربط المولد PV عن طريق DC/DC لخوارزمي التتبع MPPT

**2-1 مقدمة:**

تعمل الأنظمة المستخدمة في الهندسة الكهربائية على تحويل طبيعة الطاقة الكهربائية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة (ميكانيكية ، حرارية ، كيميائية ، ضوئية ، إلخ). تهتم الإلكترونيات والمتحكمات الآلية وعلوم الكمبيوتر بشكل أساسي بمعالجة الإشارات (أو المعلومات).

لا يمكن دائمًا توصيل أنظمة الهندسة الكهربائية التقليدية (الآلات الدوارة ، والإضاءة ، والتدفئة ، وتكييف الهواء ، وما إلى ذلك) التي تسمح بتحويل الطاقة الكهربائية مباشرةً بمصدر كهربائي. من الضروري إذن اللجوء إلى جهاز يلعب دور الواجهة ، مما يجعل من الممكن تكييف (تحويل) خصائص المصدر من أجل ضمان التشغيل الصحيح (وإدخال وسائل لتنظيم نقل الطاقة).[28].

رأينا في الفصل السابق أن خصائص المولد الكهروضوئي تعتمد على الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. هذه الاختلافات المناخية تؤدي إلى تقلبات باور بوينت القصوى.

من أجل استخراج ، في جميع الأوقات ، الطاقة القصوى المتاحة في محطات GPV و لنقلها إلى الحمل ، يتم استخدام مرحلة التكيف. تلعب هذه المرحلة دور الواجهة بين الحمل و GPV. يضمن ، من خلال إجراء تحكم ، نقل الطاقة القصوى التي يوفرها المولد.

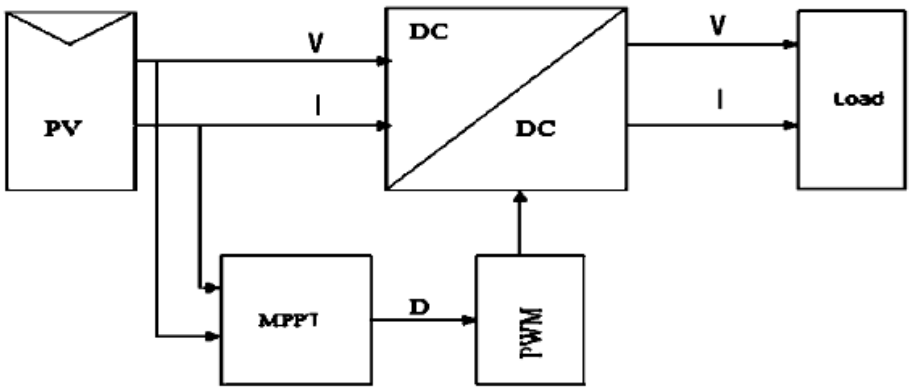
المحول المستخدم بشكل شائع في PV هو المحول المستمر (محول طاقة DC / DC). يتم اختيار هيكل التحويل وفقًا للحمل المراد توفيره.

في هذا الفصل سوف ندرس العلاقة المباشرة بين المولد الكهروضوئي والحمل. محول DC-DC المستخدم في نظامنا الكهروضوئي هو من النوع Boost. وهكذا ، يتم وصف التحكم MPPT لمحولات DC-DC من خلال خوارزمية الاضطراب والمراقبة (P&O) وخوارزمية P&O المحسّنة بمنطق ضبابي بالإضافة إلى خوارزمية MPPT التي تعتمد بالكامل على المنطق الضبابي [29].

**2-2 مكونات النظام الكهروضوئي:**

يتكون النظام الكهروضوئي كما هو مبين في المخطط الصندوقي في الصورة (2-1) من المكونات الأتية:

لوح الخلايا الكهروضوئية ومبدل التيار المستمر DC-DCالخافض للجهد (Buck converter) والحمل (مثل البطاريات), 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 الصورة (2-1) وجود معدل عرض نبضات PWMللتحكم بدورة التشغيلDuty Cycle.




الصورة(2-1): المخطط الصندوقي لمكونات النظام الكهروضوئي[41].

### 2-2-1 لوح الخلايا الكهروضوئي:

عبارة عن خلايا شمسية مجمعة مع بعضها البعض تنتج كهرباء تيار مستمر DC يمكن أن تستخدم لتشغيل بعض المعدات أو تخزينها في بطاريات يعاد شحنها واستخدامها أكثر من مرة. وتقاس قوة تلك الخلايا بوحدة الواط, فهناك لوحات صغيرة تبدأ من 5 واط أو 15واط حتى تصل إلي بلايين من الواطات للأبنية الكبيرة والمصانع[79].

### 2-2-2 تقنية الملاحقة MPPT:

تصل كفاءة التحويل لألواح الخلايا الكهروضوئية بأحسن حالتها إلى [30%-40%] حيث أنه لا يتم تحويل كامل ضوء الشمس الساقط عليها إلى استطاعة[ 30], بسبب عدة عوامل منها درجة الحرارة وقيمة الإشعاع الشمسي ووجود الغبار في الجو وعلى سطح الألواح الكهروضوئية ووجود الغيوم بالإضافة إلى زاوية اللوح بالنسبة للشمس. لذلك تم اتباع عدة تقنيات لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية بهدف المحافظة على أعلى قيمة لها. بعض التقنيات اعتمدت على طرق ميكانيكية وبعضها الآخر اعتمد على متحكمات. الطرق الميكانيكية تقوم بملاحقة مسار الشمس بدلاً من ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية وذلك عن طرق تحريك الألواح الكهروضوئية ولكن أثبتت هذه الطريقة عدم فعاليتها نظرا لكلفتها العالية والأعطال في الأجهزة الكهربائية والميكانيكية المكونة لنظام الملاحقة وانخفاض دقتها في الملاحقة [31]. أما الطرق التي اعتمدت على المتحكمات تقوم بملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية من خلال خوارزميات تخص كل تقنية وأثبت فعاليتها وكفاءتها العالية في الحصول على أعظم استطاعة من لوح الخلايا الكهروضوئية ونذكر من هذه التقنيات: Perturb and Observe, Incremental Conductance, Fuzzy Logic, Artificial Neural Network... الخ [14,32].

**أ- <u>تحكم MPPT</u>**

(Maximum Power Point Tracker ،MPPT) هو مبدأ يسمح باتباع ، كما يوحي اسمه ، أقصى نقطة للطاقة لمولد كهربائي غير خطي. ترتبط أنظمة MPPT عمومًا بالمولدات الكهروضوئية.

يعد تتبع نقطة الطاقة القصوى (MPPT) جزءًا أساسيًا في الأنظمة الكهروضوئية. تم تطوير العديد من التقنيات منذ عام 1968 ، عندما تم نشر أول قانون تحكم من هذا النوع ، تم تكييفه مع مصدر للطاقة المتجددة مثل الكهروضوئية. تختلف هذه التقنيات عن بعضها البعض في تعقيدها ، وعدد المستشعرات المطلوبة ، وسرعة التقارب ، والتكلفة ، والكفاءة ، ومجال التطبيق [33].

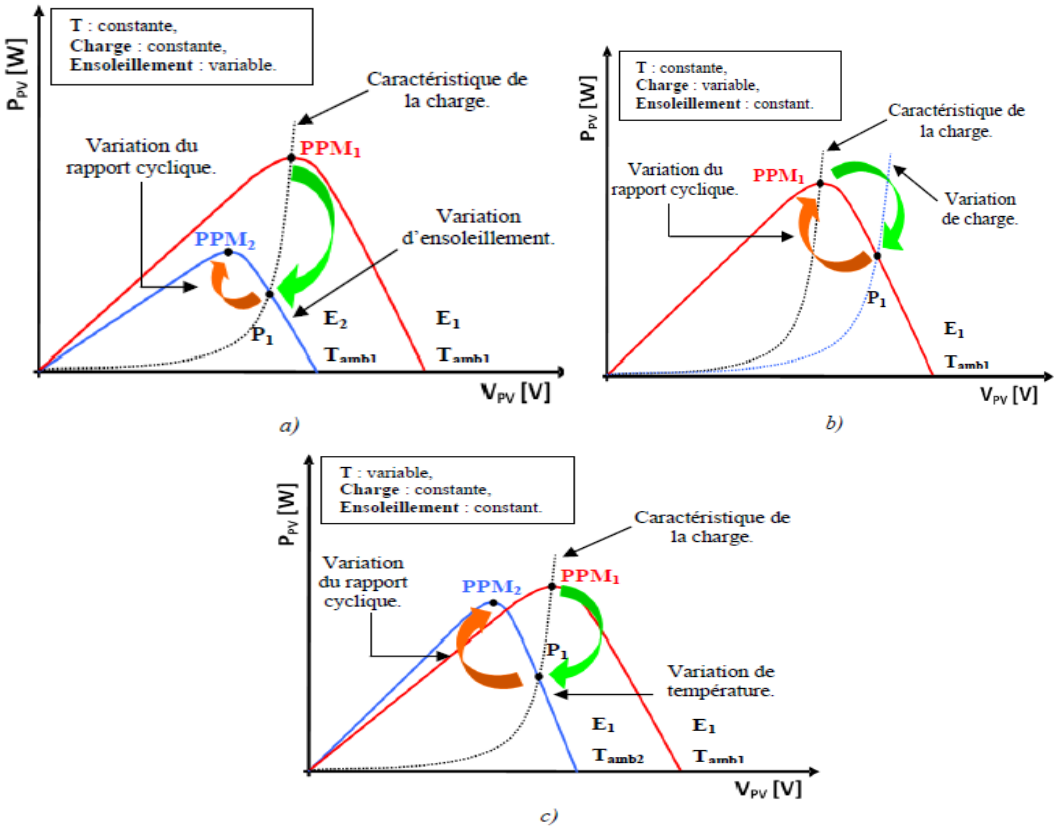
### ب- مبدأ MPPT:

بحكم التعريف ، فإن عنصر تحكم MPPT ، المرتبط بمرحلة تكيف وسيطة ، يجعل من الممكن تشغيل مولد PV بطريقة تنتج باستمرار أقصى طاقته. وبالتالي ، مهما كانت الظروف الجوية (درجة الحرارة والإضاءة) ، فإن التحكم في المحول يضع النظام في أقصى نقطة تشغيل ($Impp$ ،$Vmpp$) [33].

غالبًا ما تكون مطابقة المعاوقة في شكل محول DC - DC كما هو موضح في الصورة (2-1).

تتكون تقنية التحكم الشائعة الاستخدام من العمل على دورة التشغيل تلقائيًا لإحضار المولد إلى قيمة التشغيل المثلى ، بغض النظر عن عدم استقرار الأرصاد الجوية أو تغيرات الحمل المفاجئة التي قد تحدث.

توضح الصورة (2-2) ثلاث حالات من الاضطرابات. اعتمادًا على نوع الاضطراب ، تنتقل نقطة التشغيل من نقطة الطاقة القصوى PPM1 إلى نقطة تشغيل جديدة P1 أكثر أو أقل بعدًا عن المستوى الأمثل.




الصورة (2-2): إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة a) بعد تغيير في الإضاءة، b) بعد تغير في الحمل c، بعد تغير في درجة الحرارة [35].

- ❖ للحصول على تباين في ضوء الشمس (الحالة a) ، يكفي إعادة ضبط قيمة دورة العمل لتتقارب نحو النقطة الجديدة لأقصى طاقة PPM2.
- ❖ التغيرات في درجة حرارة التشغيل لـ GPV (الحالة c) بالرغم من أنه من الضروري أيضًا العمل على عنصر التحكم.
- ❖ لتغيير الحمل (الحالة b).

يمكننا أيضًا أن نرى تغييرًا في نقطة التشغيل التي يمكن أن تجد موضعًا أمثل جديدًا بفضل عمل الأمر باختصار ، متابعة الاجتماع.

يتم تنفيذها عن طريق أمر محدد يسمى MPPT يعمل بشكل أساسي على دورة عمل المحول الثابت (CS) للعثور على PPM والوصول إليه من GPV. توجد عدة مبادئ تشغيل لأوامر MPPT أكثر أو أقل كفاءة بناءً على خصائص GPV [34].

**ت- تقنيات التحكم MPPT**

على مدى العقود الماضية ، تم تطوير العديد من الطرق للعثور على MPP. تختلف هذه التقنيات في العديد من الجوانب مثل المستشعرات المطلوبة ، والتعقيد ، والتكلفة ، ومدى الكفاءة ، وسرعة التقارب ، والتتبع الصحيح أثناء التشعيع أوتغيير درجة الحرارة ، والأجهزة المطلوبة التنفيذ ، من بين أمور أخرى.
قد يعتمد تصنيف خوارزميات التابعين على وظيفة التقنيات أو استراتيجيات التحكم المستخدمة. وبالتالي ، يمكن تقديم فئتين: الطرق المباشرة وغير المباشرة [36].

**3-2-2 معدل عرض النبضة (Pulse-Width Modulation (PWM:**

من أجل تغيير القيمة المتوسطة لجهد خرج مبدل التيار المستمر يتم استخدام طريقة تعديل عرض النبضة حيث يتم تغيير عرض النبضة TONمع ثبات قيمة الزمن الدوري للفصل والوصل T.تبين الصورة (2-3) نموذج لنبضة التحكم في مفتاح المبدل[37]. تعرف دورة التشغيل Duty Cycle بأنها عبارة عن النسبة بين زمن غلق TONوالزمن الدوري لنبضة التحكم T,حيث تعطى العلاقة الرياضية لدورة التشغيل وفق العلاقة (8-2) :

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T} \qquad (8-2)$$

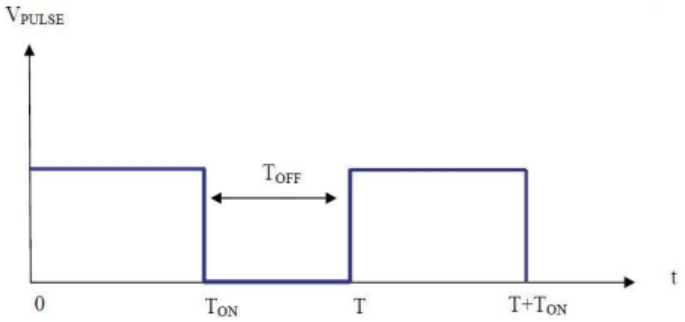
حيث أن:

D : النسبة بين زمن غلق المفتاح والزمن الدوريT .

TON : زمن إغلاق المفتاح الإلكتروني (زمن التشغيل).

$TOFF$ : زمن فصل المفتاح الإلكتروني(زمن الفصل).

ويمكن الحصول على القيمة المطلوبة لجهد الخرج المستمر عن طريق التحكم في زمن الفصل $T_{OFF}$ وزمن الإغلاق $T_{ON}$ لمفتاح المبدل و يتم التحكم في إغلاق وفتح المفتاح عن طريق إعطاء نبضة كهربائية لدارة التحكم الخاصة بهذا المفتاح[38].




الصورة (2-3): نموذج لنبضة التحكم في مفتاح المبدل[37].

نلاحظ من العلاقة (2-8) بأن قيم دورة التشغيل تتراوح ما بين الصفر والواحد($0 \leq D \leq 1$) حيث دورة التشغيل تساوي الصفر عندما يكون زمن إغلاق المفتاح يساوي صف أَر وهذا يحدث عندما يكون المفتاح مفصولاً كلياً ودورة التشغيل تساوي الواحد.

ويتم تحديد دورة التشغيل المطلوبة لتحقيق أفضل ملاحقة لمسار نقطة الاستطاعة الأعظمية حسب نوع المبدل وفق العلاقات المبينة في الجدول(2-1).

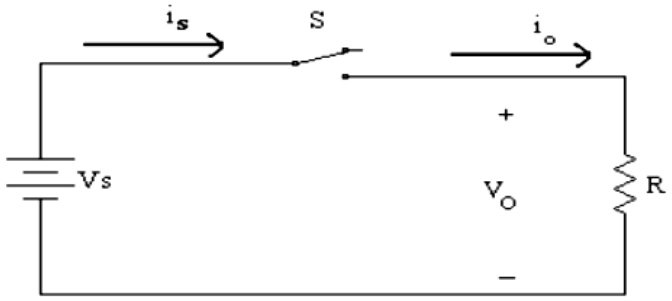
| المبدل | دورة التشغيل Duty Cycle |
|---|---|
| Buck Converter [39] | $D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ |
| Boost Converter [40] | $D = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}}$ |
| Buck- Boost Converter[41] | $D = \frac{V_{out}}{V_{out} + V_{in}}$ |

الجدول(2-1): دورة التشغيل لأنواع المبّدلات المختلفة

كما يقوم معدل عرض النبضات بجعل التموجات الموجودة في موجة تيار خرج مبدل التيار المستمر قليلة, وهذا يستدعي استخدام مرشحات صغيرة الحجم وبالتالي إلى تقليل تكلفة هذه المرشحات.

### 4-2-2 مبِدلات التيار المستمر DC-DC Converte:

هي عبارة عن أجهزة إلكترونية مهمتها تحويل قيمة الجهد المستمر إلى قيم جهد مستمر متغير القيمة إما بزيادة الجهد أو إنقاصه أو الزيادة والإنقاص معاً وذلك عن طريق التحكم بدورة التشغيل للمبّدل Duty cycle لتقديم الجهد المطلوب إلى الحمل, أي أنها تستخدم كواجهة ربط بين الألواح الكهروضوئية والأحمال[22]. والصورة (2-4) تبين الدارة المكافئة لمبدل التيار المستمر.




الصورة(2-4): الدارة المكافئة لمبدل التيار المستمر.

حيث أن:

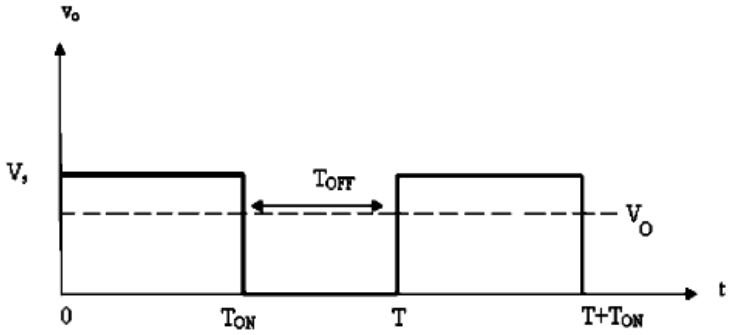
$V_s$:قيمة جهد الدخل المستمر.

$V_O$:القيمة المتوسطة لجهد الخرج.

$I_S$ :القيمة المتوسطة لتيار الدخل.

$I_O$:القيمة المتوسطة لتيار الخرج.

يمكن التحكم في قيمة جهد الخرج لمبدل التيار $V_O$ المستمر والمبين في الصورة (2-4) بحيث تقع قيمته في المجال من صفر إلى قيمة جهد الدخل $V_S$ $(0 \leq V_O \leq V_S)$ .ويتم ذلك عن طريق التحكم في زمن فتح واغلاق المفتاح الإلكتروني S أي عن طريق التحكم في دروة التشغيل, حيث تكون قيمة جهد الخرج $V_O$ للمبدل مساوية للصفر عندما يكون المفتاح الإلكتروني $S$ في وضع الفصل, وذلك عندما تكون قيمة دورة التشغيل لها قيمة صفرية بينما تكون قيمة جهد خرج المبدل $V_O$ لها قيمة مساوية لقيمة جهد الدخل $V_S$عندما يكون المفتاح الإلكتروني S في وضع الفصل وذلك عندما تكون قيمة دورة التشغيل لها مساوية الواحد. والصورة (2-5) تبين شكل موجة جهد الخرج[10].




الصورة(2-5): موجة جهد الخرج VOلمبدل التيار المستمر[10]

يمكن الحصول على القيمة المتوسطة لجهد الخرج VOكالآتي:

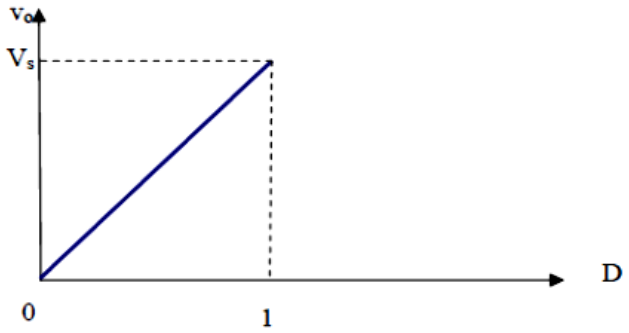
$$V_O = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} \times V_S = \frac{T_{ON}}{T} \times V_S \qquad (9-2)$$

بعد تعويض العلاقة (1-10) في العلاقة نحصل على علاقة أخرى للقيمة المتوسطة للخرج:

$$V_O = D \times V_S \qquad (10-2)$$

ومن العلاقة السابقة نجد أن العلاقة بين القيمة المتوسطة لجهد الخرج $V_O$ ودورة التشغيل $D$ عبارة عن علاقة خطية. وتبين الصورة (2-6) العلاقة بينهما حيث تتراوح قيمة $V_O$ ما بين الصفر وقيمة جهد الدخل $V_S$ أي أن $(0 \leq V_O \leq V_S)$ يمكن أيضاً إيجاد العلاقة الرياضية للقيمة المتوسطة لتيار الخرج $Io$عبارة عن القيمة المتوسطة لجهد الخرج مقسومة على قيمة الحمل [11].ويمكن تمثيل العلاقة الرياضية لتيار الخرج كالتالي.

$$I_O = \frac{V_O}{R} = \frac{D}{R} \times V_S \qquad (11-2)$$



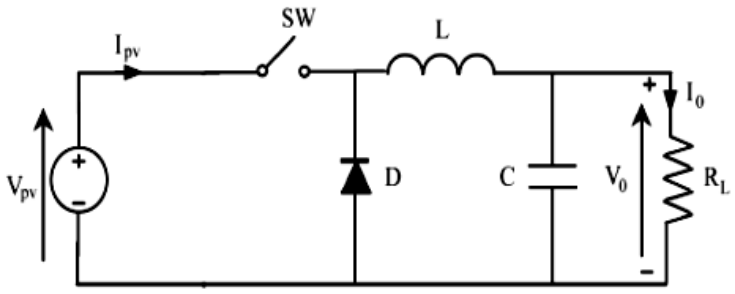

الصورة(2-6): العلاقة بين القيمة المتوسطة لجهد الخرج الشكلD[10].

تعتبر عملية ضبط قيم بارامترات المبدلات DC-DCوهي (سعة المكثف وتحريض الملف والمقاومة) مهمة جداً للحصول على الخرج المطلوب حيث إن المعادلات المستخدمة لحساب البارامترات تختلف باختلاف نوع المبدل.

يوجد ثلاثة أنواع من مبّدلات التيار المستمر هي : مبّدلات خافضة للجهد(Converter Buck) ومبّدلات رافعة للجهد ( Buck-Boost Converter)[39].ومبّدلات خافضة-رافعة للجهد (Boost Converter).

أ- **<u>مبّدل التيار المستمرBuck Converter:</u>**

في المبدلات الخافضة للجهد يكون الجهد المتوسط على الحمل الخرج (في مثل هذه المبدلات أقل من جهد الدخل $V_{out} < V_{in}$ لذلك تدعى بمبدلات خافضة للجهد. تبين الصورة (2-7) الدارة المكافئة للمبدل الخافض للجهد (Buck Converter).




الصورة(2-7): الدارة المكافئة للمبدل الخافض للجهدBuck Converter [39].

يتم ضبط جهد الخرج عن طريق تغير D وهي نسبة التشغيل (Duty Cycle), ويحسب باستخدام العلاقة التالية[40].

$$D = \frac{V_O}{V_{PV}} \qquad (12-2)$$

وبالتالي يعطى جهد خرج المبدل بالعلاقة:

$$V_O = D \times V_{PV} \qquad (13-2)$$

حيث D :نسبة التشغيل و $V_{PV}$ جهد الدخل للمبدل و $V_O$ جهد الخرج للمبدل وواحدتهما الفولت.
تحسب قيمة سعة المكثف بالعلاقة [40].

$$C = \frac{I_{ripple}}{8 \times F_S \times \Delta V} \qquad (14-2)$$

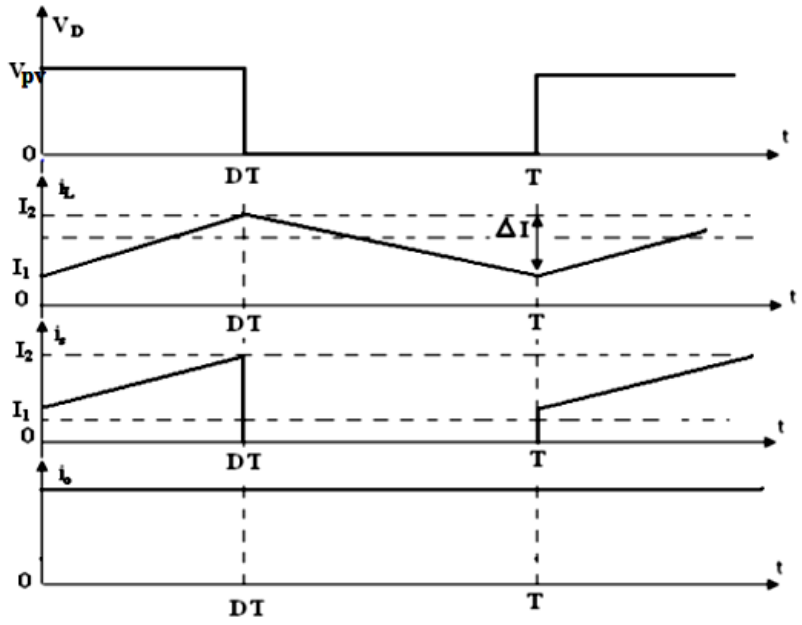
حيث $C$ سعة المكثف و واحدتها $F$ و $F_S$ تردد التقطيع واحدته هرتز و $I_{ripple}$ هو تيار الانحراف واحدته أمبير.
تحسب قيمة تحريض الملف بالعلاقة[40]:

$$L = \frac{(1-D) \times R_L}{2 \times F_S} \qquad (15-2)$$

حيث L تحريض الملف و واحدته $H$.
دارات المبدل Buck هي الوحيدة القادرة على تخفيض جهد الدخل وجعل مقاومة الحمل أكبر مما هي عليه فعليا على أطراف المنظومة الكهروضوئية.

تطبيق الدارة بسيط لكن تيار منظومة $PV$ المستمر متموج وسيتطلب مكثف ذا سعة كبيرة على أطراف المنظومة الكهروضوئية لُينّعم تيار الدخل. وتبين الصورة (2-8) الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح في المبدل Buck.
عند تخفيض الجهد, إذا كانMPPT ( دارة الملاحقة لنقطة الاستطاعة العظمى) متكاملة مع المنظومة, فان جهد الخرج يجب أن يكون أقل من جهد اللوح ليحقق ملاحقة لنقطة الاستطاعة الاعظمية. أيضاً يجب أن توصل الألواح بشكل تسلسلي لتحقق أكبر جهد دخل ممكن.[42,41].

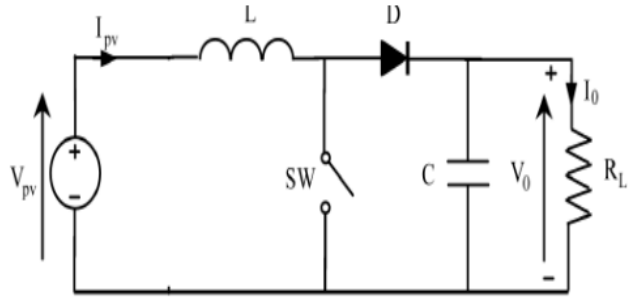
إن هذا المبدل قادر على ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية بشكل فعال وملاحقة مسار ميزات $IV$ للوح $PV$ في معظم الشروط. لهذه الأسباب ما زال Buck يستخدم كدارة متكاملة مع دارة ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية MPPT.




الصورة(2-8): الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح[42].

ب- **مبّدل التيار المستمرBoost Converter:**

في المبدلات الرافعة للجهد يكون الجهد المتوسط على الحمل(الخرج) في مثل هذه المبدلات أكبر من جهد الدخل $V_O > V_{PV}$ لذلك تدعى بمبّدلات رافعة للجهد. يبين الصورة(2 -9) الدارة المكافئة للمبدل الرافع للجهد (Boost Converter).




الصورة(2-9): الدارة المكافئة للمبدل الرافع للجهد Boost convetor [39].

يعطى جهد خرج المبدل بالعلاقة[40]:

$$V_O = \frac{V_{PV}}{(1-D)} \qquad (16-2)$$

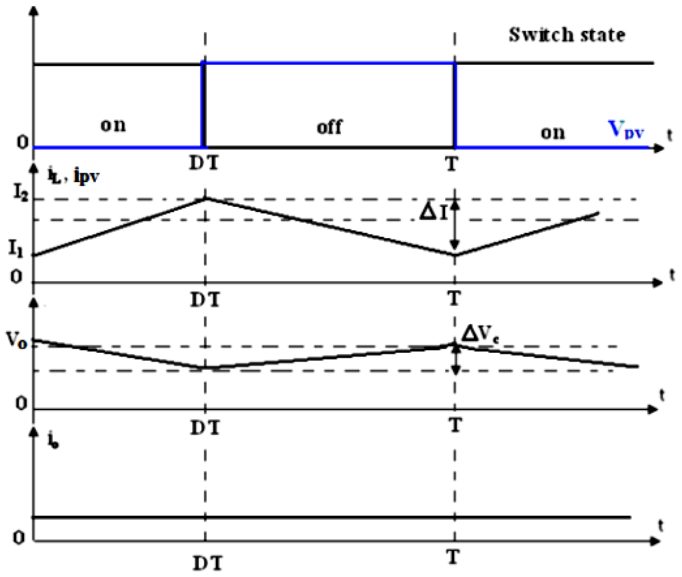
تحسب قيمة سعة المكثف بالعلاقة[40]:

$$C = \frac{V_{out}}{R_L \times F_S \times \Delta V} \qquad (17-2)$$

تحسب قيمة تحريض الملف بالعلاقة[40]:

$$L = \frac{D \times R_L \times (1-D)^2}{2 \times F_S} \qquad (18-2)$$

بما أن الجهد المطلوب من قبل الحمل أكبر من جهد منظومة الـPV , فإن مبدل Boost يمكن أن يعمل مع دارة MPPT بشكل ناجح كما هو مبين في الصورة (2-10).

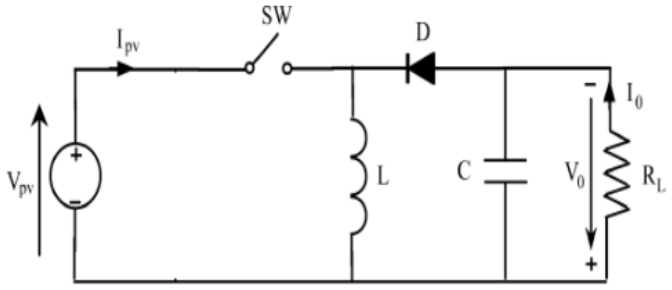



الصورة(2-10): الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح[41].

مبدل الـ Boost يستقر تياراً مستمراً ثابت المطال بمعظمه محتفظاً بتموج صغير, ويكون ذو فعالية عند استقرار الاستطاعة من المنظومة الكهروضوئية.

ت- **مبّدل التيار المستمر Buck –Boost Converter:**

إن مبدلات Buck – Boost قادرة على زيادة أو إنقاص جهد الدخل. تبين الصورة(2-11) الدارة المكافئة للمبدل الخافض-الرافع للجهد( BUCK –Boost Converter).




الصورة(2-11): الدارة المكافئة للمبدل الخافض-الرافع للجهد( Buck –Boost Converter)[39].

يعطى جهد خرج المبدل بالعلاقة:

$$V_O = \frac{D}{(1-D)} \times V_{PV} \qquad (19-2)$$

تحسب قيمة سعة المكثف بالعلاقة [40]:

$$C = \frac{D \times V_O}{R_L \times F_S \times \Delta V} \qquad (20-2)$$

تحسب قيمة تحريض الملف بالعلاقة[40]:

$$L = \frac{R_L \times (1-D)^2}{2 \times F_S} \qquad (21-2)$$

يكون تيار المنظومة مستمر اً وثابتاً تقريباً مع تموج بسيط كما في حالة المبدلة Boost والذي يمكن ترشيحه. هذه المبدلات أكثر تعقيداً وتكلفة .بناءً على المقارنات بين أنواع مبدلات التيار المستمر في الدراسات [45.44.43] .

تم بناء الجدول (2-2) والتوصل إلى أن المبدل الخافض للجهد Buck Converter أفضل من ناحية تحقيق الاستقرار عند القيم العالية لدورة التشغيل Duty Cycle.ولابد من الذكر بأنه يتم تجنب استخدام المبدل Buck-Boost Converter بسبب تعقيد التصميم وكلفته العالية[46].

| **Buck Converterالمبدل الخافض للجهد** | **Boost Converterالمبدل الرافع للجهد** |
|---|---|
| تمتاز بالبساطة والمردود العالي الذي يزيد عن 90% [45] | يمتاز بمردود عالي[47]. |
| تغيرات تيار الحمل مهملة نظرا لوجود المرشح (L-C) [45] | جهد الخرج حساس جدا لتغيرات Duty Cycle [48]. |
| من السهل تحقيق استقرار المبدل عند قيم العالية Duty Cycle [45]. | هناك صعوبة في تحقيق استقرار المبدل عند قيمDuty Cycle العالية.[47,48] |

الجدول (2-2): مقارنة لمبدلات التيار المستمر.

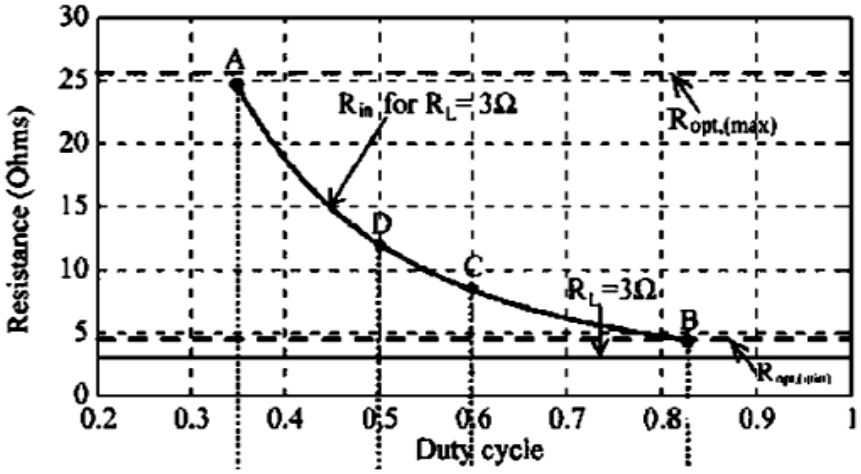
ث- **<u>مبدل التيار المستمر – المتناوب (Converter Continu–Alternatif):</u>**

إنه جهاز يهدف إلى تحويل التيار المباشر إلى تيار متردد. استند التطور القوي لهذا النوع من المحولات إلى تطوير مكونات أشباه موصلات يمكن التحكم فيها بشكل كامل وقوي وسريع ، ومن ناحية أخرى ، على الاستخدام العام تقريبًا لما يسمى "تعديل عرض النبض" (PWM ). وهي تستند إلى أداء تردد تبديل أشباه الموصلات.

**5-2-2 الحمل:**

هي الوحدة المسئولة عن تخزين الطاقة وتفريغها عند الحاجة أي أن لها وظيفة مزدوجة. وهناك العديد من أنواع البطاريات ولكن غالبية البطاريات المستخدمة مع الأنظمة الكهروضوئية تكون من النوعية ذات الحمض,

لبطاريات المستخدمة لهذا الغرض تكون في حدود 12فولت أو 24فولت [24].وتحسب قيمة مقاومة الحمل باستخدام مميزة الأحمال المبينة في الصورة(2-12).

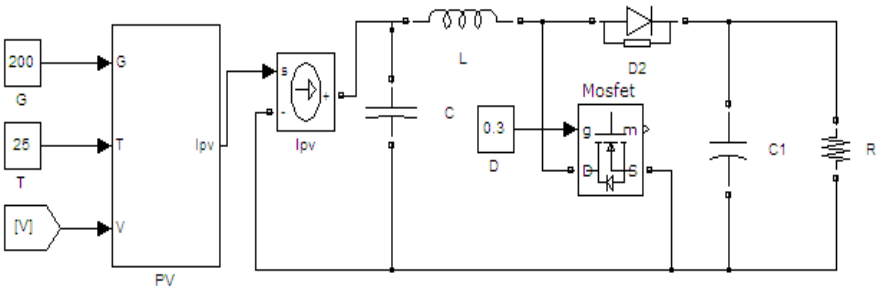



الصورة(2-12): مميزة قيم المقاومات عند كل Duty cycle [42].

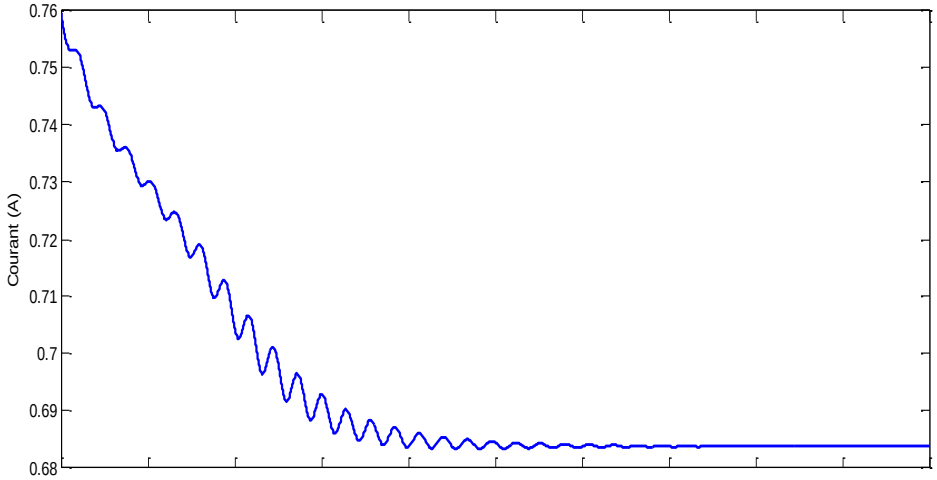
من أجل اختيار قيم البارامترات بشكل مثالي يوجد معايير تحدد قيم بعض البارامترات وهي تردد التقطيع المثالي الخاص بمفتاح المبدل Buck converterهو 50 KHZ [10] و $\Delta V = 1\%$ من جهد الخرج[40].

### 3-2 النتيجة والمحاكاة:

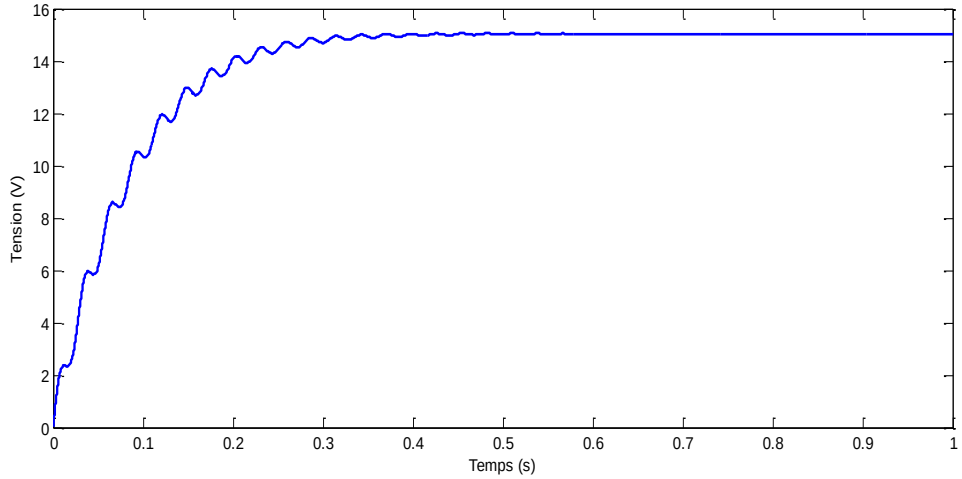
يتم التحكم في المحول الرافع بحلقة مفتوحة مع دورة عمل ثابتة ($D = 0.3$) ويوضح الشكل أدناه مخطط محاكاة المروحية في بيئة *Matlab / Simulink*.



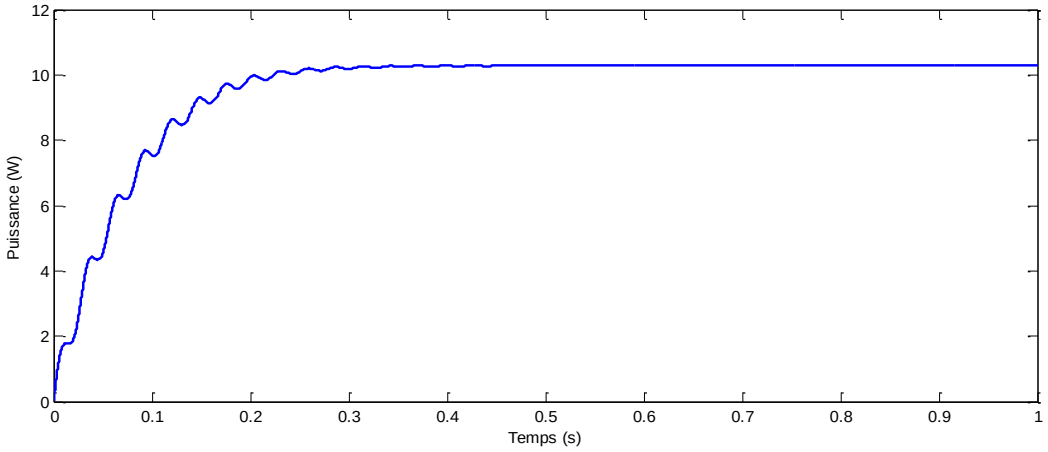

الصورة(2-13): مخطط محاكاة لمحول رافع متحكمة بدون تعظيم الاستطاعة لدورة عمل تبلغ 0.3.



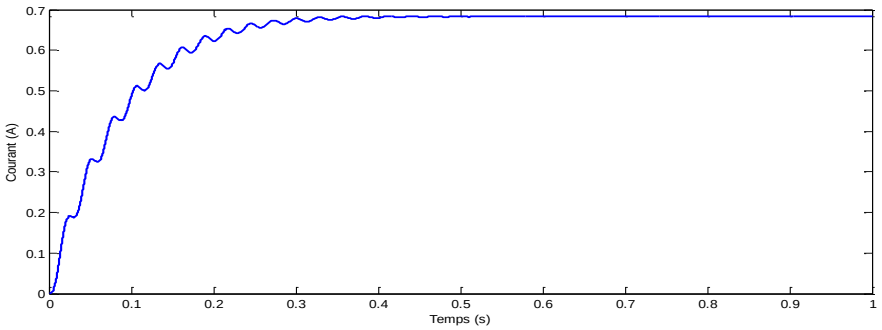

الصورة(2-14) : التيار عند أطراف *GPV*



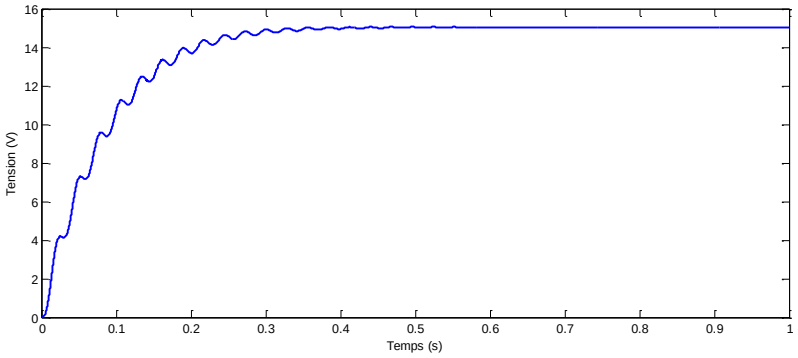

الصورة(2-15): الجهد عند أطراف *GPV*



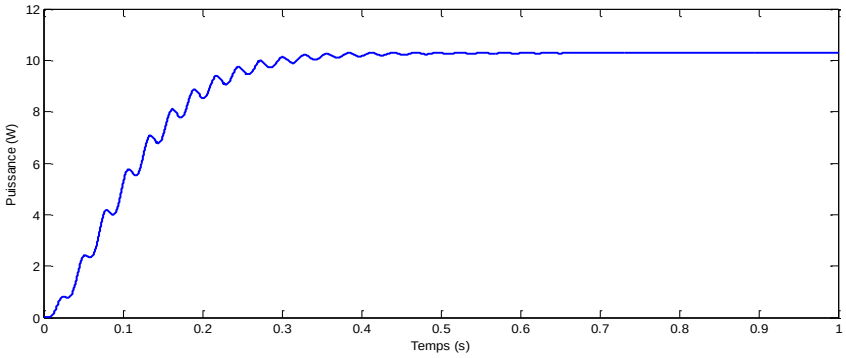

الصورة(2-16): الاستطاعة عند أطراف *GPV*




الصورة(2-17): التيار عند أطراف التحميل




الصورة(2-18): الجهد عند أطراف التحميل

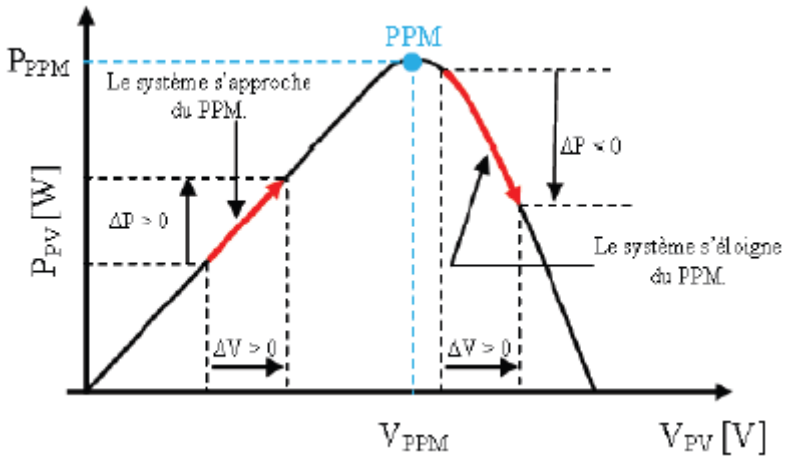



الصورة(2-19) : الطاقة عند أطراف التحميل

### 4-2 طريقة الاضطراب والمراقبة (*P&O*):

هذه هي الطريقة الأكثر استخدامًا نظرًا لبساطتها. تعتمد على حلقة رجعية وقليل من القياسات. يتم إزعاج الجهد عند أطراف الألواح عن عمد من خلال سعة صغيرة (زيادة أو نقصان) ثم تتم مقارنة القدرة مع تلك التي تم الحصول عليها قبل الاضطراب. على وجه التحديد ، إذا زادت الطاقة عند أطراف الألواح بسبب الاضطراب

، يتم إجراء المرحلة التالية في نفس الاتجاه (وهذا يعني أن نقطة التشغيل تقع على يسار *MPP*). على العكس من ذلك ، إذا انخفضت الطاقة ، يتم تنفيذ الاضطراب الجديد في الاتجاه المعاكس.

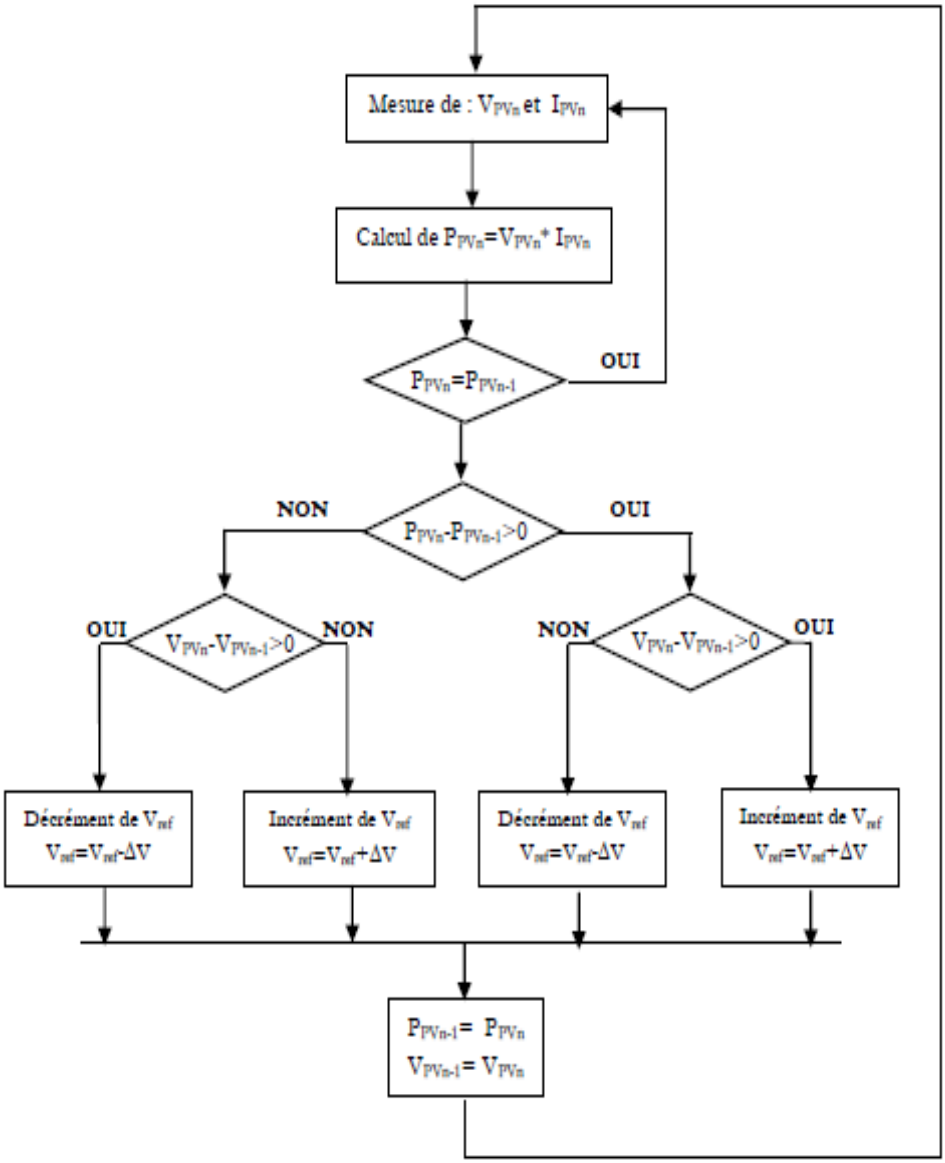



الصورة(2-20): خصائص($Ppv\ Vpv$ ) وتشغيل طريقة الاضطراب والرصد [34]

من خلال هذه التحليلات المختلفة حول عواقب اختلاف الجهد على خاصية( Ppv Vpv) ، يكون من السهل تحديد نقطة التشغيل فيما يتعلق بـ MPP ، وجعل الأخير يتقارب نحو الحد الأقصى للطاقة الصورة (2-20).

باختصار ، في حالة حدوث اضطراب في الجهد ، تزداد الطاقة الكهروضوئية ، ويتم الحفاظ على اتجاه الاضطراب. خلاف ذلك ، يتم عكسها لاستئناف التقارب نحو MPP الجديد. يظهر مخطط انسيابي لتشغيل هذه الطريقة في الصورة(2-21) .

يمكن تلخيص مزايا هذه الطريقة على النحو التالي: المعرفة بخصائص المولد الكهروضوئي غير مطلوبة ، إنها طريقة بسيطة نسبيًا. ومع ذلك ، في حالة الثبات ، تتأرجح نقطة التشغيل حول MPP ، مما يتسبب في فقد الطاقة [49].



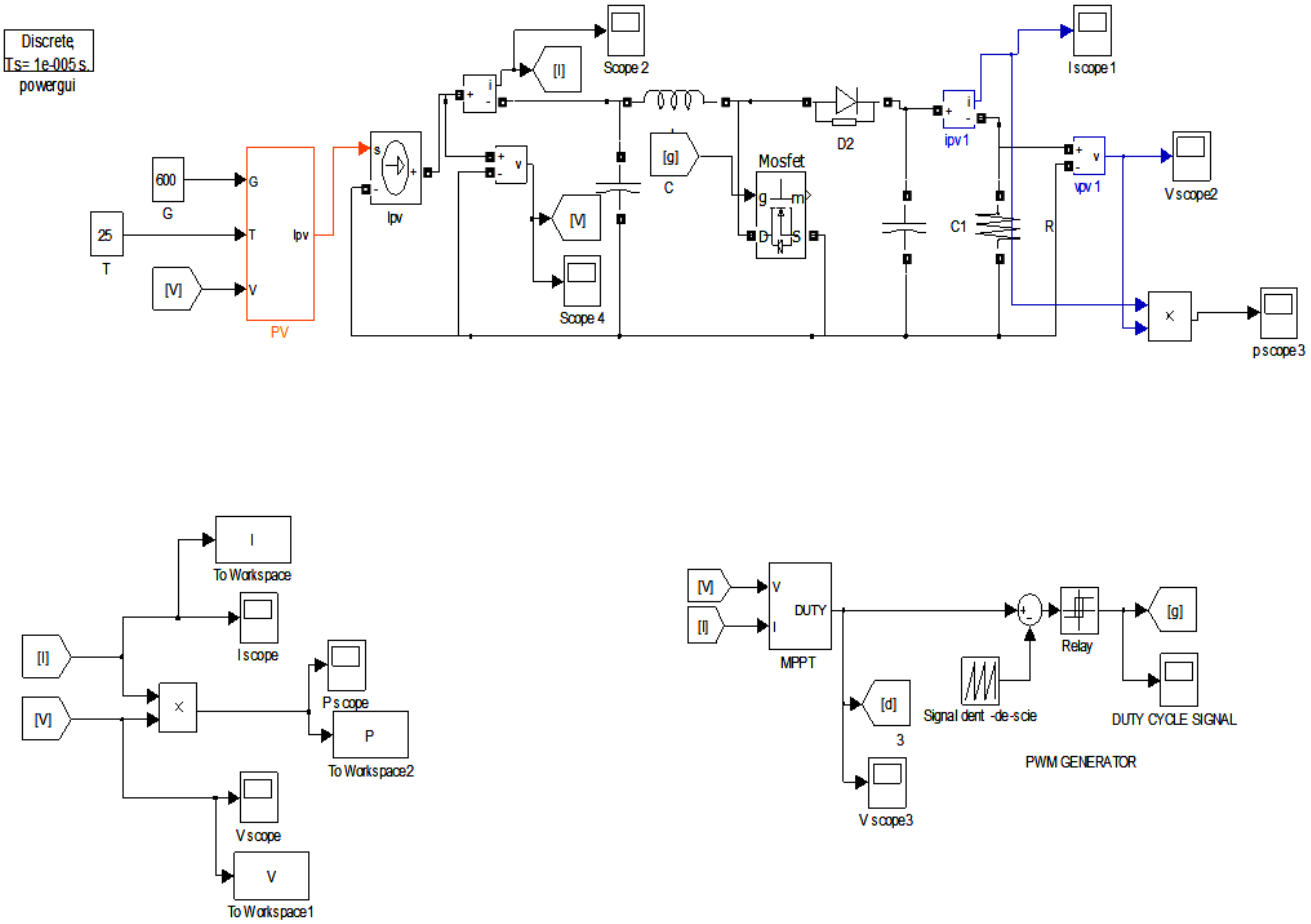

الصورة(2-21): مخطط انسيابي لطريقة الاضطراب والمراقبة [50].

### 5-2 محاكاة أمر MPPT الرقمي "P&O":

للحصول على أفضل اتصال بين "GPV" مصدر غير خطي وحمل لإنتاج أفضل طاقة ، تم تطوير (Maximum Power Point Tracking) (MPPT). سوف يجبر المولد على العمل عند نقطة الطاقة القصوى (MPP) ، مما يؤدي إلى تحسين شامل في كفاءة النظام. يتم تحديد نقطة التشغيل من خلال تقاطع خصائصها الكهربائية (I-V) مع تلك الخاصة بالحمل.

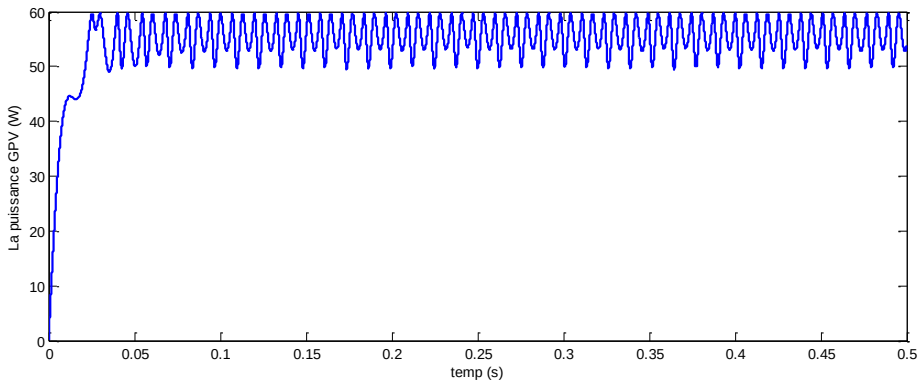
تختلف نقطة التشغيل هذه لأن ظروف العمل تختلف و يختلف الحمل في أي وقت. هذا هو السبب في كثير من الأحيان لا يتم تشغيل MPP ، والطاقة التي يتم توفيرها للحمل أقل من الطاقة القصوى [51].

طريقة الاضطراب والمراقبة "P&O" هي طريقة مستخدمة على نطاق واسع في أبحاث MPPT لأنها بسيطة وتتطلب فقط نوع اللوح الشمسي وقياسات تيار و التوتر $(Ipv)$ و $(Vpv)$ على التوالي.

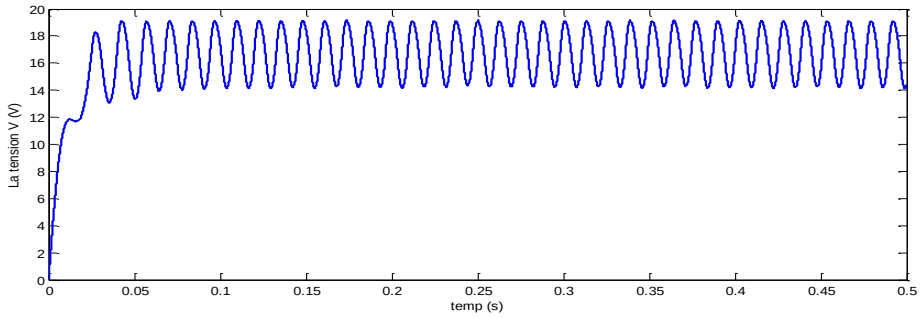



الصورة(2-22): رسم تخطيطي لأمر MPPT

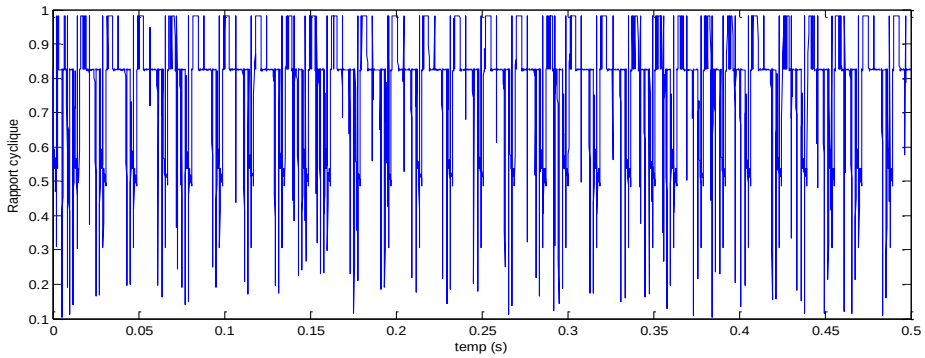
❖ **نتائج المحاكاة بأمر MPPT:**




الصورة(2-23): الاستطاعة عند أطراف GPV




الصورة(2-24): الجهد عند أطراف GPV




الصورة(2-25): دورة العمل المقابلة لوحدة التحكم MPPT P&O

### 6-2 طريقة تحكم MPPT أخرى:

في السنوات الأخيرة ، تم استخدام وحدات التحكم المنطقية الضبابية (FLC) على نطاق واسع لأبحاث MPP. وهي مستقلة عن نموذج العملية ، وتتميز بقدرتها على التعامل مع المشكلات غير الخطية وتظهر أداءً قويًا فيما يتعلق بالتغيرات الظروف الجوية والحمل. نجد أيضًا طرقًا تعتمد على الخوارزميات الجينية وشبكات الخلايا العصبية [50].

### 7-2 الخلاصة:

يتطلب تشغيل المولد الكهروضوئي بكفاءة مثالية إدخال المحولات الثابتة (المروحية) بين المولد والمستقبل (الحمل) بجهد ثابت يمكن تحسينه عن طريق ضبط دورة العمل. المحول بحيث يمكن تشغيله عند PPM من الضروري إدخال أمر MPPT.

# الفصل الثالث

## التحكم الضبابي و الخوارزميات الجينية

### 1-3 مقدمة:

المنطق الضبابي هو عبارة عن طريقة لجعل الآلات أكثر ذكاءاً (أكثر قربا 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 [52].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 وقتا طويلاً, وقد أثبتت الدراسات تفوق هذه المتحكمات على العديد من المتحكمات التقليدية[53]. 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 التضبيب ( Defuzzification) بينما المتحكم الثاني عن طريق متوسط الأوزان(Weight average) وان مجالات استخدام كل من المتحكمين تكون في الأنظمة التي تعتمد على التنبؤ و الأمثلية[24].

و باعتبار أن نظام الخلايا الكهروضوئية هو نظام لا خطي فقد تم استخدام التحكم الضبابي بسبب مناسبته للأنظمة التقاربية اللاخطية عندما يكون ضبط بارامترات المعادلة الرياضية غير ممكن وتعمل مع متغيرات دخل ذات دقة قليلة ولا تحتاج إلى معالجات سريعة, بالإضافة إلى أن توابع الانتماء تحتاج إلى قواعد وبيانات أقل من بقية المتحكمات اللاخطية. وتعتبر أكثر قوة من بقية المتحكمات اللاخطية. وفي هذا الفصل سنقوم بشرح مراحل عمل المتحكم الضبابي و تصميمه لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية مع ذكر التصميم المقترح لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية. ، و نصف مبدأ تشغيل الخوارزمية الجينية ، وهي طريقة للتحسين الشامل والبحث المتوازي [54].

### 2-3 مراحل عمل المتحكم الضبابي:

كل متحكم ضبابي كما هو مبين في الصورة(3-1) يتكون من ثلاث مراحل عمل وهذه المراحل هي:

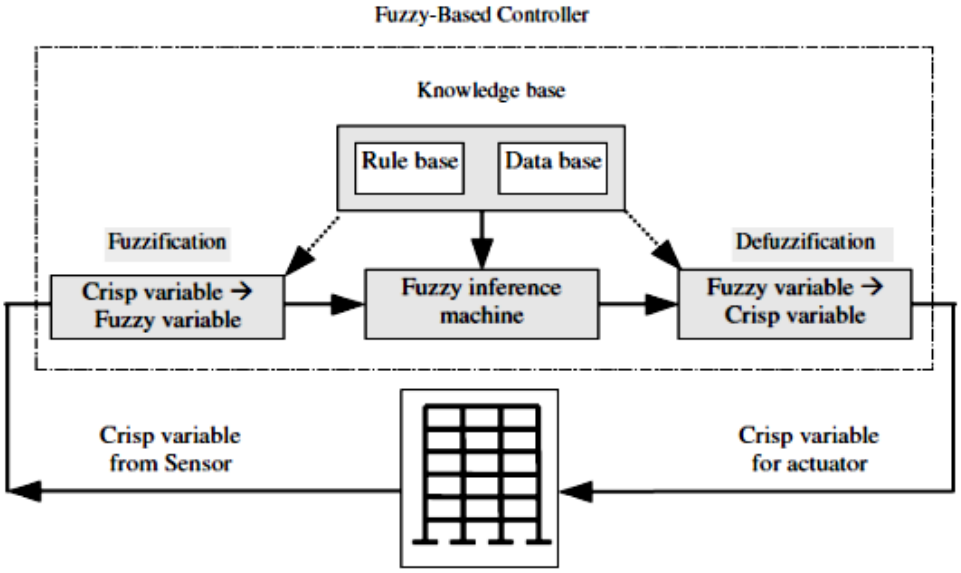
**3-2-1- مرحلة التضبيب Fuzzification:**هي أول مرحلة تتم فيها بتحويل قيم الدخل العددية ( Crisp)المطبقة على المتحكم الضبابي إلى قيم ضبابية تقع ضمن المجال[1 0] وذلك من خلال نسب كل قيمة مدخلة إلى أي مجموعة تنتمي وإعطائها القيمة الضبابية المقابلة لها

**3-2-2 مرحلة القواعد الاساسية ومحرك الاستدلال Rule base & inference engine:** القواعد الأساسية هي مجموعة من القواعد لها الصيغة if-then وتحتوي على معلومات عن البارامترات المتحكم بها والتي تضبط بناءً على تجربة خبيرة وما يقوم به النظام المتحكم به, مثلا:

$$: Rule\ 1: If\ E\ is\ BN\ and\ CE\ is\ ZE\ then\ duty_ratio\ is\ S$$

الخطأ في الاستطاعة E وتغير الخطأ في الاستطاعة CE هما دخلا المتحكم الضبابي و duty_ratio خرج المتحكم و BN,ZE,SN توابع الانتماء الممثلة للدخل والخرج.

أما محرك الاستدلال يقوم بتنفيذ سلوك يعطي قرارات منطقية بالاعتماد على ضبط قواعد الاستدلال ويقوم بتحويل القواعد إلى خرج ضبابي[55].




الصورة(3-1): مراحل عمل المتحكم الضبابي [55]

**3-2-3مرحلة فك التضبيب Defuzzification:** وهي آخر مرحلة في عملية الاستدلال الضبابي حيث تقوم بتحويل القيم الناتجة عن مرحلة الاستدلال من ضبابية إلى عددية ,من خلال مجموعة من التوابع وأشهرها تابع مركز الجاذبية COG وتابع المتوسط الأعظمي MOM وتابع المعدل الموزون WA.

***أ- تابع (Center Of Gravity (COG:*** هو حاصل قسمة مجموع جداء الأوزان بالقيم الضبابية المقابلة لكل وزن على مجموع الأوزان[55] ويعطى وفق العلاقة:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \times u_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (1-3)$$

حيث $u^*$ : خرج المتحكم الضبابي n ,عدد القواعد المطبقة $u_i$ القيمة الضبابية المقابلة للوزن $w_i$ المحسوب عند كل قاعدة . ويتميز هذا التابع بالدقة حيث يكون خرج المتحكم الضبابي قريبا من القيمة الفعلية بالإضافة إلى السهولة والسرعة في حساب قيمة الخرج[55].

***ب - تابع (Mean Of Maximum Method(MOM:*** عند استخدام هذا التابع يقوم المتحكم الضبابي بتحديد أعظم قيم تم اختيارها من توابع الانتماء ومن ثم يتم إيجاد المتوسط الحسابي لها[56] وفق العلاقة:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu(x)}{n} \qquad (2-3)$$

حيث $u^*$ : خرج المتحكم الضبابي $\mu(x)$ ,القيم الضبابية لتوابع الانتماء التي لها أعظم قيم $n$ ,عدد التوابع التي لها قيم عظمى.

***ت- تابع (WA) Weighted Average method:*** يتم الحصول على الخرج الحقيقي بعد إيجاد مجموع جداء كل وزن مع قيمته الضبابية الموافقة مقسوماً على مجموع الأوزان ويستخدم هذا التابع عادة مع المتحكم من نوع Sugeno[55].

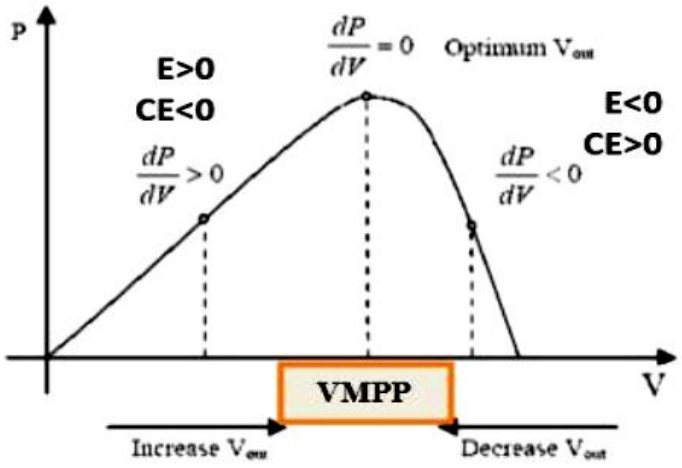
ويوجد العديد من التوابع الأخرى المختصة بإيجاد الخرج الحقيقي من الخرج الضبابي مثل , som, lom. bisector وفي هذا البحث استخدم التابع COGمع المتحكم الضبابي Mamdani والتابع WA مع المتحكم الضبابي Sugeno.

**3-3 تصميم التحكم الضبابي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية:**

تظهر في الصورة(3-2) مميزة العمل للخلية الكهروضوئية وهي تمثل بمنحني الاستطاعة بدلالة الجهد. حتى يعمل المتحكم الضبابي من أجل الحفاظ على نقطة الاستطاعة الأعظمية, حيث نلاحظ من الصورة(3-2) بأنه عند نقطة الاستطاعة الأعظمية يكون تغير الاستطاعة بالنسبة للجهد مساويا للصفر $dp/dv = 0$ لذلك يتم العمل باستمرار على حساب قيمة الجهد والتيار من أجل حساب قيمة الخطأ والذي يعطى وفق العلاقة (3-3) :[57]

$$E(K) = \frac{p(K)-P(K-1)}{V(K)-V(K-1)} \qquad (3-3)$$

حيث إن P هي الاستطاعة و v الجهد و $k$ هي اللحظة الزمنية التي تؤخذ عندها قيمة كل من الاستطاعة الجهد.




الصورة(3-2): مميزة عمل الخلية الكهروضوئية.[58].

عند نقطة الاستطاعة العظمى يكون الخطأ في الاستطاعة مساوياً للصفر. وفي حال كانت قيمته $E > 0$ يقوم المتحكم باتخاذ قرار من أجل زيادة قيمة الخرج Duty ratio وذلك من أجل زيادة الجهد حتى يصبح الخطأ مساوياً للصفر.

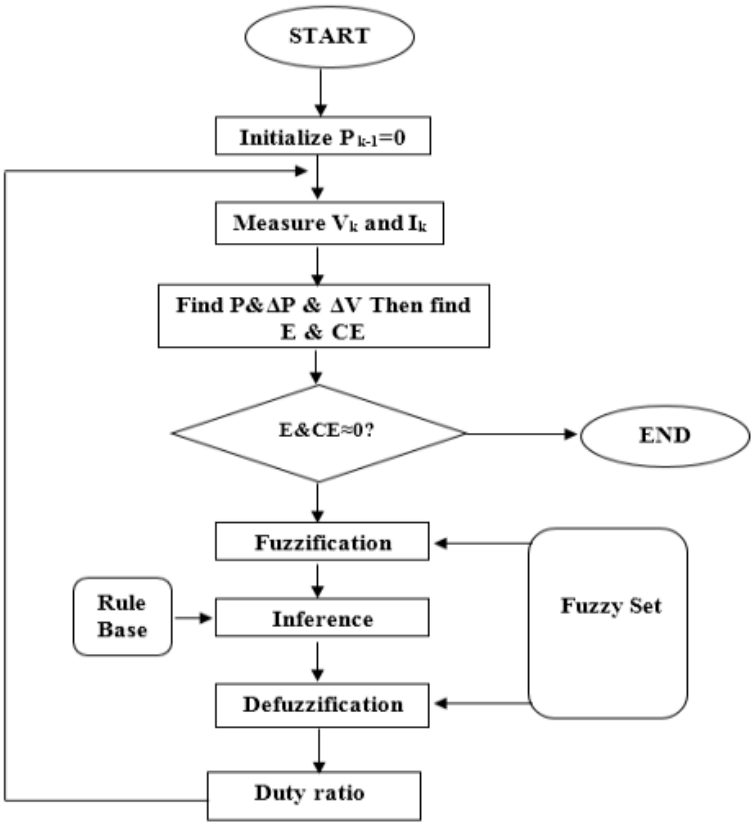
وفي حال كانت قيمة $E < 0$ يقوم المتحكم باتخاذ قرار من أجل إنقاص قيمة الخرج Duty ratio وذلك من أجل إنقاص قيمة الجهد حتى تصبح قيمة الخطأ مساوية للصفر.

مما سبق نجد أن قيمة الخطأ في الاستطاعة تدل على مكان توضع نقطة الاستطاعة. فإذا كان الخطأ موجباً فإن نقطة الاستطاعة العظمى تقع على المنحني من جهة اليسار واذا كان سالباً فإن نقطة الاستطاعة العظمى تقع على المنحني من جهة اليمين.[58].

والبارامتر الثاني الذي تتعامل معه تقنية التحكم الضبابي هو تغير الخطأ في الاستطاعة CE والذي يعطى وفق العلاقة(3-4)[57]:

$$CE(k) = E(K) - E(K-1) \qquad (4-3)$$

تدل قيمة تغير الخطأ على اتجاه حركة نقطة الاستطاعة العظمى فإذا كانت قيمته سالبة فإن نقطة الاستطاعة العظمى تتحرك من اليسار إلى اليمين واذا كانت موجبة فإن نقطة الاستطاعة العظمى تتحرك من اليمين باتجاه اليسار.




الصورة(3-3): المخطط التدفقي لنظام ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية باستخدام التحكم الضبابي.

إذا كان آخر تغير في إشارة المتحكم Duty ratio أدى إلى زيادة قيمة الاستطاعة عندها يجب أن تتم المتابعة في تحريك نقطة الاستطاعة في نفس الاتجاه والا فإنه يجب تحريكها في الاتجاه المعاكس, وبناءً على ذلك نختار القواعد الضبابية التي ستطبق على المتحكم الضبابي[59].

تبين الصورة(3-3) المخطط التدفقي لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية باستخدام التحكم الضبابي. عند البدء تكون قيمة الاستطاعة مساويةً للصفر. ومن ثم يتم باستمرار قياس قيمة الجهد والتيار المقدم من اللوح الكهروضوئي بهدف ايجاد قيمة الاستطاعة وكذلك تغيرها من أجل حساب الخطأ في الاستطاعة وتغيره لتكون هاتين القيمتين دخل للمتحكم الضبابي المسؤول عن ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية. تطبق مراحل المتحكم الضبابي على الدخلين المذكورين سابقاً من أجل الحصول على نسبة التشغيل Duty ratio وهي تشكل دخل لمعدل عرض النبضة الذي بدوره يقوم بتعديل عرض النبضة لتكون دخل للمبدل المستخدم. ومن ثم يتم مجدداً قياس كل من الجهد والتيار وهكذا حتي يصبح الخطأ في الاستطاعة وتغيره مساوياً للصفر.

**3-4 تصميم المتحكم المنطقي الضبابي المقترح لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية:**

تحتاج توابع الانتماء في المتحكمات الضبابية إلى قواعد وبيانات أقل من بقية المتحكمات اللاخطية, لذلك فهي تعد أكثر فاعلية منها, ولكنها بالمقابل تتطلب من المصمم معرفة كاملة عن العمليات التي يقوم بها نظام الخلايا الكهروضوئي[45].

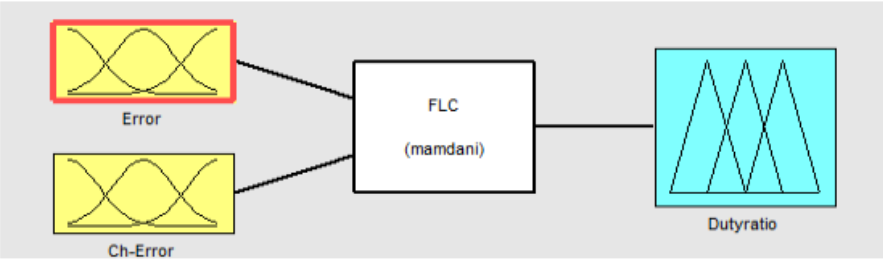
إن المتحكم الضبابي المستخدم من أجل ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية له دخلين هما الخطأ في الاستطاعة $E$ وتغير الخطأ في الاستطاعة $CE$ وخرج وحيد هو نسبة التشغيل هو Duty ratio. تم استخدام نوعين من المتحكمات الضبابية, متحكم من نوع Mamdani ومتحكم آخر من نوع Sugeno بهدف المقارنة بين أدائيهما في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية.

إن الاختلاف الاكثر أهمية بين المتحكمين من ناحية محرك الاستدلال هو الطريقة التي يتم من خلالها الحصول على الخرج الحقيقي انطلاقاً من الدخل الضبابي. أي أنه بالنسبة للمتحكم من النوع Mamdani يستخدم محرك الاستدلال طرق فك التضبيب (Centroid,mom…etc)للحصول على الخرج الحقيقي, بينما محرك الاستدلال الخاص بالمتحكم من نوع Sugenoيستخدم فقط تابع متوسط الأوزان Weighted Average method (WA) للحصول على الخرج الحقيقي حيث يقوم بإيجاد الخرج بحساب مجموع جداء كل وزن بقيمته الضبابية مقسوماً على مجموع الأوزان[60].

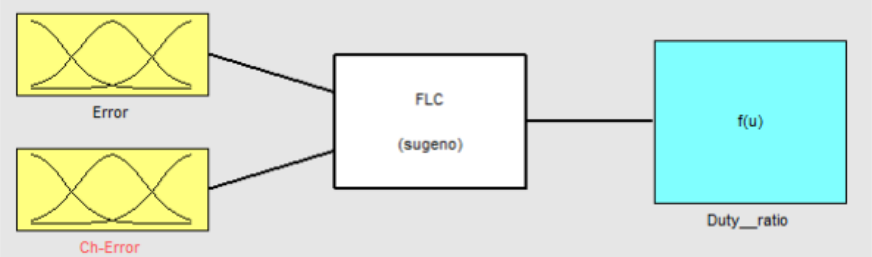
في المتحكم من نوع Sugenoلا يوجد توابع انتماء للخرج, تكون التوابع إما خطية أو لها قيم ثابتة. في حين أنه في المتحكم من نوع Mamdani يوجد توابع انتماء للخرج[60].

وان نظام الاستدلال الضبابي لكل من المتحكمين Mamdani و Sugeno مبين في الصورة (3-4) و الصورة(3-5)على التوالي.

لكل متحكم دخلان وخرج وحيد, الدخل الأول هو الخطأ والدخل الثاني هو تغير الخطأ, أما بالنسبة للخرج فهو نسبة التشغ Duty ratio.




الصورة(3-4): (FIS ) للمتحكم Mamdani.




الصورة (3-5): (FIS) للمتحكم Sugeno.

يعتمد عدد توابع الانتماء المستخدمة مع المتحكم الضبابي على الدقة المطلوبة التي نريد أن يقدمها المتحكم ويتراوح عددها بين خمس إلى سبع توابع انتماء[59].من أجل تحديد أي عدد توابع انتماء أفضل في ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية استخدام خمسة توابع انتماء أم سبعة توابع, تم إجراء المحاكاة في حالتين:

**أ- الحالة الأولى استخدام خمسة توابع انتماء:** تم استخدام خمسة توابع انتماء لكل دخل من النوع المثلثي مبينة في الصورة(3-6) والصورة(3-7), وخمسة توابع انتماء للخرج من النوع المثلثي مبينة في الصورة(3-8) للمتحكم Mamdani وفي الصورة(3-9) للمتحكم Sugeno.وان أسماء توابع الانتماء لكل من الدخلين والخرج مبينة في الجدول (3-1) تم تطبيق نفس القواعد على كل متحكم وتلك القواعد مبينة في الجدول (3-2) ومجال توابع الانتماء للدخل **E** في كلا المتحكمين هو [1 , 1-] ومجال توابع الانتماء للدخل CE في كلا المتحكمين هو[100 , 100-]. أما بالنسبة لمجال توابع الانتماء للخرج في المتحكم Mamdaniهو [1 , 1-] في حين أنه لا يوجد مجال لتوابع انتماء الخرج في المتحكم Sugeno وانما لكل تابع انتماء قيمة ثابتة تقع ضمن المجال [1 , 1-] كما هو مبين في الجدول [3-3].

| اسم تابع الانتماء | دلالته |
|---|---|
| Big Negative | BN |
| Small Negative | SN |
| Zero | ZE |
| Small Positive | SP |
| Big Positive | BP |

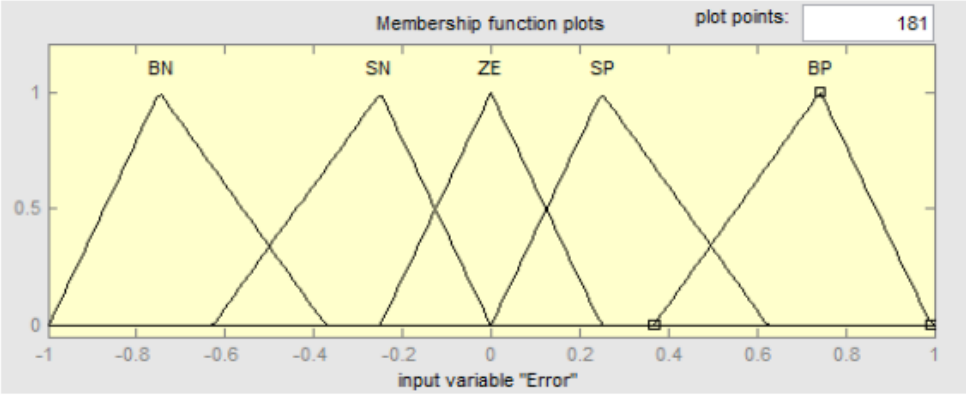
الجدول (3-1): أسماء توابع الانتماء.

| E / CE | BN | SN | ZE | SP | BP |
|---|---|---|---|---|---|
| **BN** | NB | SN | SN | SP | BP |
| **SN** | SN | SN | SN | SP | SP |
| **ZE** | SN | ZE | ZE | SP | SN |
| **SP** | SP | SP | SP | N | SN |
| **BP** | BP | SP | SP | MN | BN |

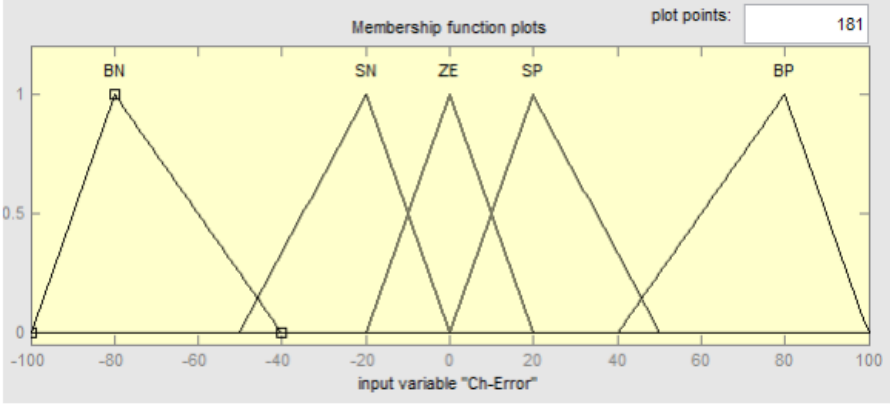
الجدول (3-2): القواعد المطبقة على المتحكمين Sugeno &Mamdani.

| BN | SN | ZE | SP | BP |
|---|---|---|---|---|
| -1 | -0.1 | 0 | 0.2 | 1 |

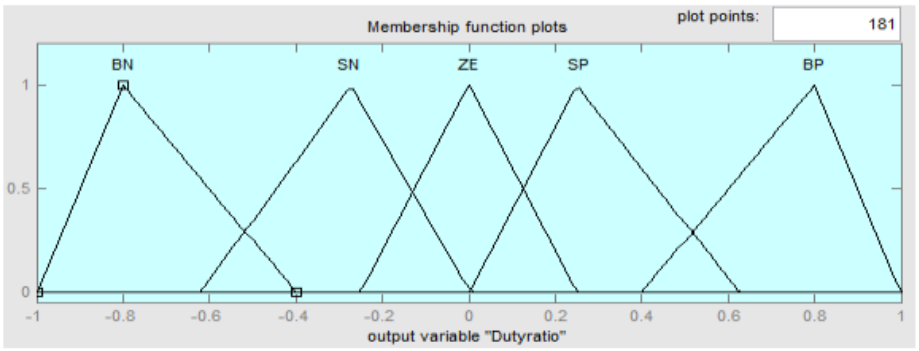
الجدول(3-3):قيم توابع انتماء الخرجDuty ratio.



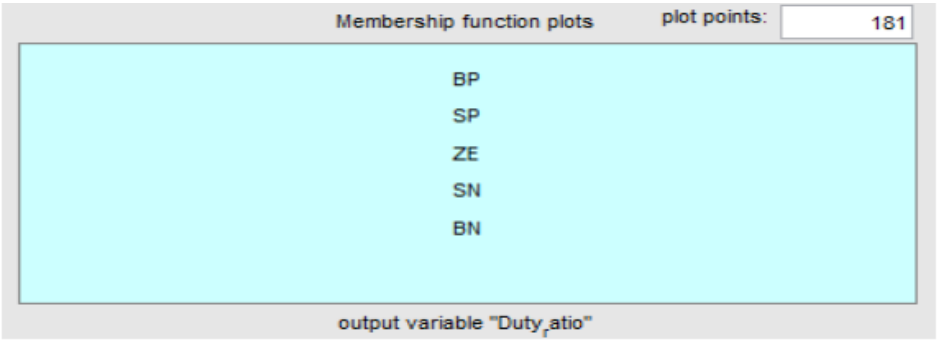

الصورة(3-6): توابع انتماء الدخل Eفي الحالة الأولى.




الصورة(3-7): توابع انتماء الدخل CE في الحالة الأولى.




الصورة(3-8): توابع انتماء الخرج للمتحكم Mamdani في الحالة الأولى.




الصورة(3-9): توابع الانتماء للخرج للمتحكم Sugenoفي الحالة الأولى.

**ب-الحالة الثانية استخدام سبعة توابع انتماء:** استخدم من أجل كل دخل خمسة توابع انتماء من النوع المثلثي وذلك لبساطتها[61] وتابعين من النوع trap مبينة في الصورة(3-10) والصورة(3-11) لكل من المتحكمين Mamdani و Sugeno, وكذلك تم من أجل الخرج استخدام خمسة توابع انتماء للخرج من النوع المثلثي وتابعين من النوع trap مبينة في الصورة(3-12) والصورة(3-13). أسماء توابع الانتماء لكل من الدخلين والخرج مبينة في الجدول (3-4) والقواعد المطبقة على المتحكمين مبينة في الجدول (3-5) وبالنسبة للمتحكم Sugeno فإن قيم توابع انتماء الخرج مبينة في الجدول(3-6).

| اسم تابع الانتماء | دلالته |
|---|---|
| BN | Big Negative |
| MN | Medium Negative |
| SN | Small Negative |
| ZE | Zero |
| SP | Small Positive |
| MP | Medium Positive |
| BP | Big Positive |

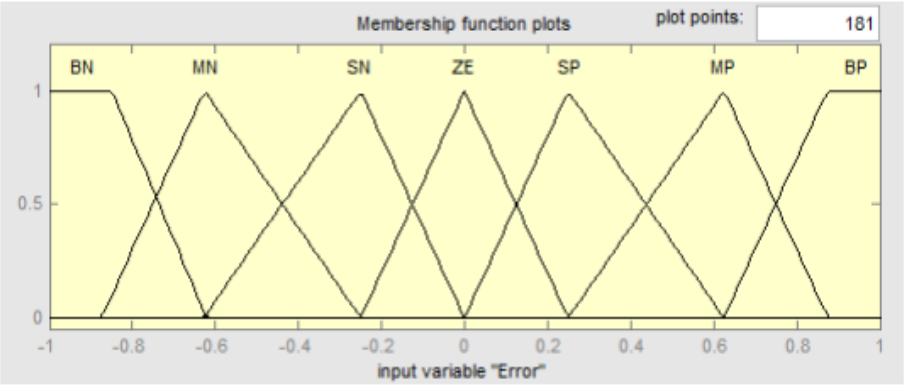
الجدول(3-4): أسماء توابع الانتماء.

| E / CE | BN | MN | SN | ZE | SP | MP | BP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BN** | BN | MN | SN | SN | SP | MP | BP |
| **MN** | MN | SN | SN | SN | SP | SP | MP |
| **SN** | SN | SN | SN | SN | SP | SP | SP |
| **ZE** | SN | SN | ZE | ZE | SP | SN | SN |
| **SP** | SP | SP | SP | SP | SN | SN | SN |
| **MP** | SP | SP | SP | SP | SN | MN | MN |
| **BP** | BP | MP | SP | SP | MN | BN | BN |

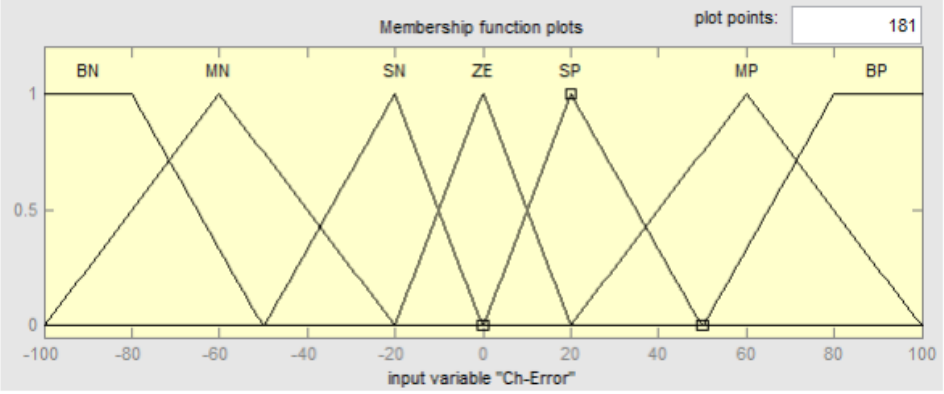
الجدول (3-5): القواعد المطبقة على المتحكمين Sugeno &Mamdani.

| BN | MN | SN | ZE | SP | MP | BP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| -1 | -0.7 | -0.1 | 0 | 0.2 | 0.6 | 1 |

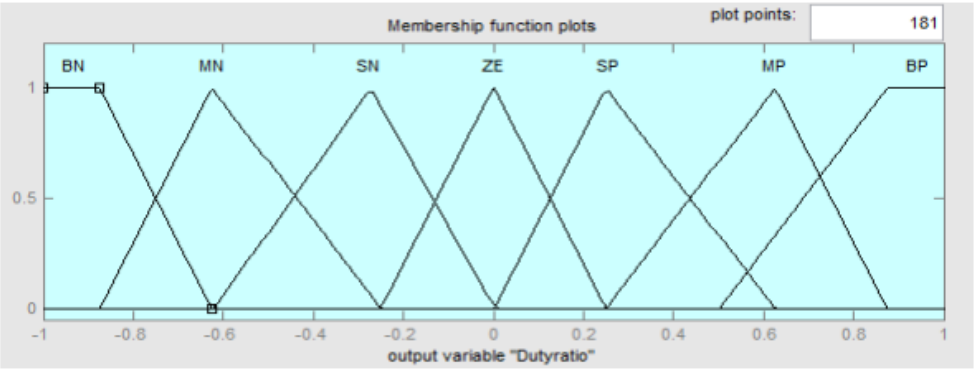
الجدول(3-6): قيم توابع انتماء الخرجDuty ratio.



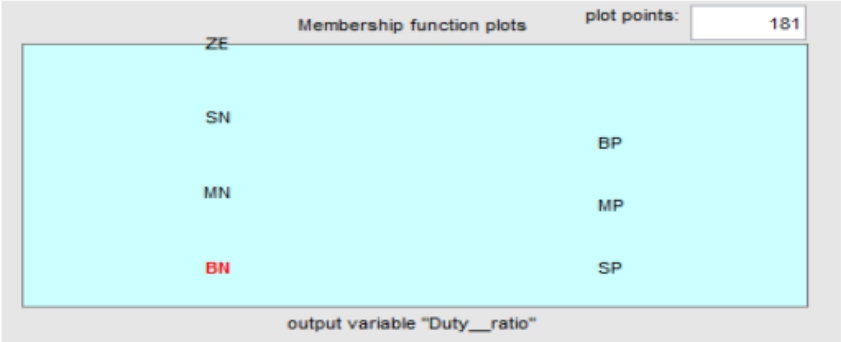

الصورة(3-10): توابع انتماء للدخل Eفي الحالة الثانية.




الصورة(3-11): توابع انتماء للدخل CEفي الحالة الثانية.

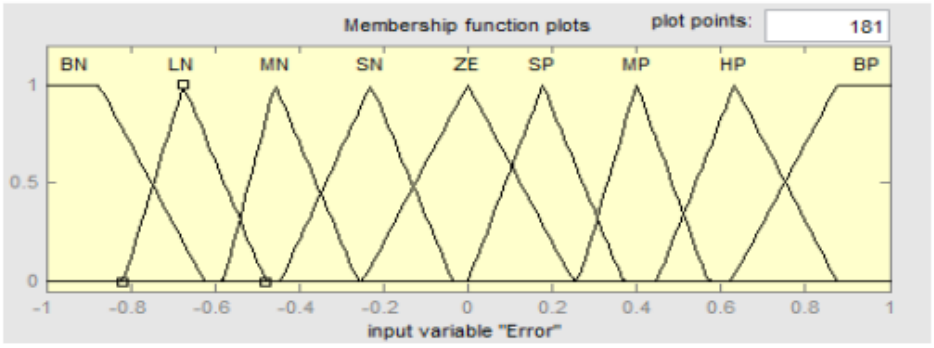



الصورة(3-12): توابع انتماء الخرج للمتحكم Mamdaniفي الحالة الثانية.

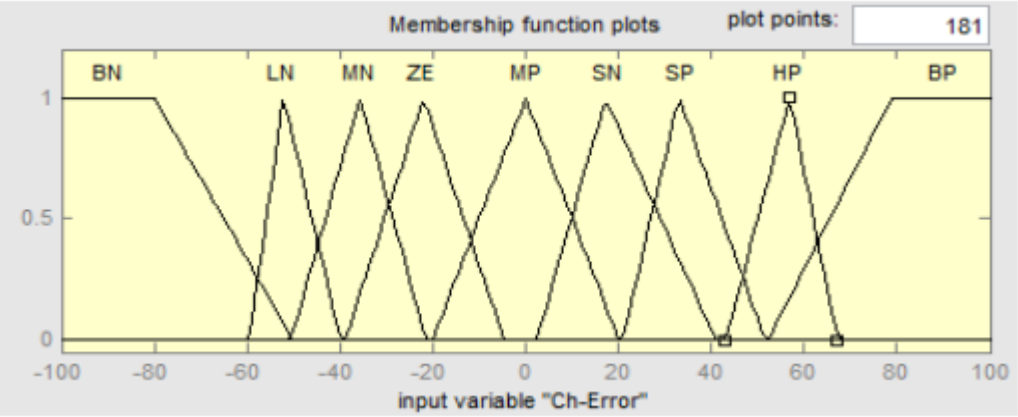



الصورة (3-13): توابع الانتماء للخرج للمتحكم Sugenoفي الحالة الثانية.

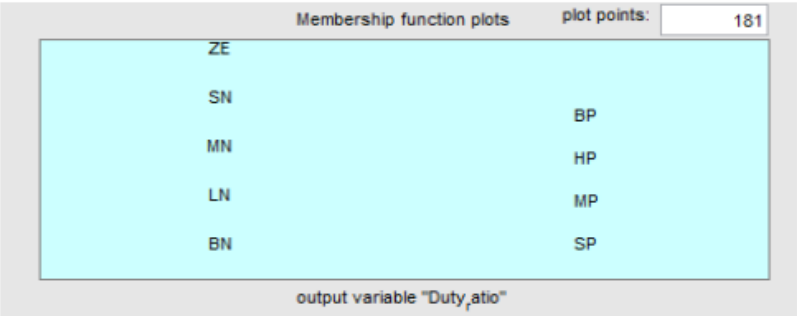
ومن أجل تحديد مدى تأثير زيادة عدد توابع الانتماء المطبقة على المتحكم الضبابي عن القيمة التي استخدمتها الدراسة[23] تم استخدام تسعة توابع انتماء مع المتحكم sugeno ,استخدم من أجل كل دخل سبعة توابع انتماء من النوع المثلثي وتابعين من النوع trap مبينة في الصورة(3-14) والصورة(3-15), وكذلك تم من أجل الخرج استخدام سبعة توابع انتماء للخرج من النوع المثلثي وتابعين من النوع trap مبينة في الصورة(3-16) أسماء توابع الانتماء لكل من الدخلين والخرج مبينة في الجدول(3-7) والقواعد المطبقة على المتحكم مبينة في الجدول(3-8) وقيم توابع انتماء الخرج مبينة في الجدول(3-9) وخرج المتحكم الضبابيDuty ratioهو دخل لمعدل عرض النبضاتPWM.




الصورة(3-14): توابع انتماء للدخل Eعند استخدام تسعة توابع انتماء.




الصورة(3-15): توابع انتماء للدخل CEعند استخدام تسعة توابع انتماء.




الصورة(3-16): توابع الانتماء للخرج Duty ratioعند استخدام تسعة توابع انتماء.

| اسم تابع الانتماء | دلالته |
|---|---|
| BN | Big Negative |
| LN | Low Negative |
| MN | Medium Negative |
| SN | Small Negative |
| ZE | Zero |
| SP | Small Positive |
| PM | Medium Positive |
| HP | High Positive |
| BP | Big Positive |

الجدول(3-7): أسماء توابع الانتماء.

| E / CE | BN | LN | MN | SN | ZE | SP | MP | HP | BP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BN** | BN | LN | MN | SN | SN | SP | MP | HP | BP |
| **LN** | BN | LN | SN | MN | SN | ZE | MP | HP | ZE |
| **MN** | MN | SN | SN | SN | SN | SP | P | SP | MP |
| **SN** | SN | SN | SN | SN | SN | SP | P | SP | SP |
| **ZE** | SN | SN | SN | ZE | ZE | SP | N | SP | SN |
| **SP** | SP | MN | SP | SP | SP | SN | N | MP | SN |
| **MP** | SP | SN | SP | SP | SP | SN | MN | SP | MN |
| **HP** | HP | ZE | SP | SP | MP | SP | MN | ZE | SN |
| **BP** | BP | SP | MP | SP | SP | MN | N | BP | BN |

الجدول(3-8): القواعد المطبقة على المتحكمSugeno.

| BN | LN | MN | SN | ZE | SP | MP | HP | BP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0.8 | -0.5 | -0.1 | 0 | 0.2 | 0.6 | 1.8 | 1 |

الجدول( 3-9): قيم توابع انتماء الخرجDuty ratio.

### 3-5 الخوارزميات الجينية:

#### 3-5-1 مقدمة بيولوجية Biological Background:

كل الكائنات الحية تتألف من خلايا, ويوجد في كل خلية نفس مجموعة الكروموزومات (chromosomes)حيث ان الكروموزومات هي عبارة عن سلاسل DNA,وبإمكاننا القول بأن الكروموزومات هي بمثابة نموذج يمثل الكائن كله. يتألف كل كروموزوم من عدد من الجينات, التي بدورها عبارة عن كتل من DNA,وكل جين(gene) يرّمز بروتين محدد, أي بشكل أساسي بإمكاننا القول بان كل جين يرّمز صفة معين في الكائن الحي, على سبيل المثال لون العينين. لكل جين ضمن الكروموزوم موقعه الخاص, يدعى هذا الموقع locus.مجموعة الجينات تدعى genome في حين أنه تدعى مجموعة محددة من الجينات ضمن genome باسم genotype.

يتحول genotype في الكائن الحي بعد التطورات التي تلي مرحلة الولادة إلى phenotype,الذي يمثل بدوره خواص فيزيائية مميزة في الكائن الحي, مثل لون العينين, الذكاء, الطول [63].

### 3-5-2 بدايات التفكير في الخوارزميات الجينية:

ركزت التجارب في الذكاء الصنعي بشكل تقليدي على محاولة تكرار تصرفات الإنسان( أذكى الكائنات الحية) وتطبيقها في مجال البرمجيات, وقد استطاعت هذه المقاربة نوعا ما أن تحقق نجاحاً ملحوظاً, وأكبر مثال على ذلك آلة (Deep Blue chess machine) للعب الشطرنج التي تغلبت على الذكاء البشري المتمثل باللاعب كاسبروف Kasparov وذلك في شهر ماي من عام 1997.لكن عملية المحاكاة السابقة للسلوك البشري كانت محدودة نوعاً ما ,حيث وقفت عاجزة عن حل بعض المسائل التي يعرف معظم الناس حلها مسبقاً. ومن هنا بدأت تظهر فكرة الطرائق الذكية الحسابية computational intelligence methods,مثل الحوسبة التطورية evolutionary computing التي زودت الحاسب بإمكانية حل المسائل المعقدة دون الاعتماد على خبرة الإنسان, وحاولت الاستفادة من آلية التطور المطروحة في نظرية داروين وتحويلها لنموذج حاسوبي كإجرائية للأمثلة. فكما في الطبيعة تهدف عملية التطور في الكائنات الحية للتكيف مع البيئة المحيطة بهدف النجاة فعملية التطور تتجه دوما نحو ما هو أمثل وأفضل للكائن الحي, ومثال عليها تطور الزرافات بحيث استطالت اعناقها لتستطيع الوصول لغذائها المتمثل في أوراق الأشجار العالية, إذ أن البقاء للأصلح.

لم تلبث الأفكار السابقة طويلاً حبيسة المختبرات, فقد تم فعليا طرح فكرة الخوارزميات الجينية التي هي جزءاً من الحوسبة التطورية بشكل رسمي في الولايات المتحدة عام 1970من قبل بروفيسور في علوم الحاسب من جامعة ميشيغان Michigan University يدعى جون هولاند Johon Holland ويبلغ من العمر 76عاماً. وقد كان قد بدأ بالعمل عليها منذ بدايات الستينيات, وكان هدفه تطور فهم إجرائية التطور الطبيعية وتصميم نظم صناعية لها مميزات مشابهه للنظم الطبيعية.

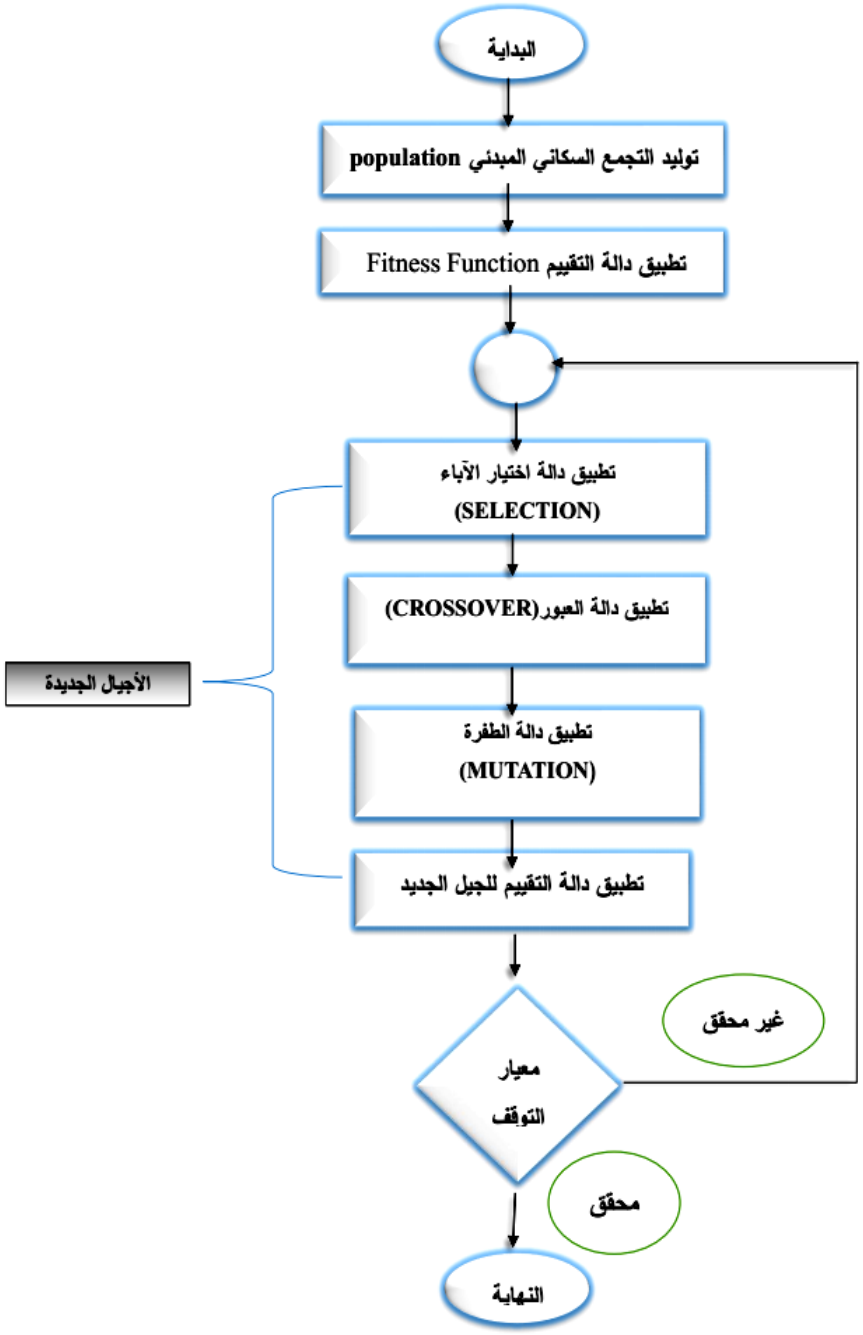
تعتبر الخوارزمية الجينية أحد أساليب الذكاء الصنعي, إذ برزت أهميتها في حل مسائل معقدة, وتمتلك كما هائلاً من الحلول البديلة, والحل الناتج من تطبيق الخوارزمية الجينية يكون في أغلب الأحيان حلاً قريباً إلى الحل الأمثل,كما تعتمد الخوارزمية الجينية على آلية الانتقاء الطبيعي ونظام الجينات الطبيعية[64]. إن فكرة العمل للخوارزمية الجينية تعتمد على أفكار الهندسة الوراثية والتي تتميز بالإنتاج المقصود للمجموعات الموروثة بهدف تكوين أفراد لهم صفات جيدة, وعلى هذا الأساس تقوم الخوارزمية الجينية بانتخاب الحلول الأمثلية.

### 3-5-3 مبدأ عمل الخوارزميات الجينية:

يقوم مبدأ عمل الخوارزميات الجينية على عدة خطوات موضحة في الصورة(3-17 ) وهي[65]:

1. التوليد العشوائي للتجمع population البدائي المؤلف من مجموعة من الكروموزومات التي تتألف بدورها من مجموعة من الجينات, حيث أن كل كروموزوم يمثل حلا للمسألة المطروحة.
2. حساب قيمة الصلاحية لكل كروموزوم موجودة في التجمع. يعتمد أسلوب تقييم صلاحية كل حل في الجيل بمقدار بعده عن الحل الأمثلي الذي نبحث عنه.
3. يتم اختيار الكروموزومات التي ستخضع لعملية العبور لتوليد الجيل الجديد, وعملية الاختيار تكون وفق إحدى الطرق المقترحة في هذا المجال, وترتكز عملية الاختيار بشكل أساسي على مدى صلاحية الحل في الانتقال للجيل الثاني والتي يقوم بتحديدها تابع الصلاحية.

4. تلي عملية الاختيار, عمليتي العبور والطفرة.
5. العودة مجدداً للبدء من الخطوة رقم 2.




الصورة(3-17):المخطط التدفقي للخوارزمية الجينية [65].

### 3-5-4 التجمع السكاني المبدئي population:

وهو عبارة عن عملية توليد حلول مبدئية للمسألة المطروحة بشكل عشوائي وهذه الحلول تسمى الكروموزومات. ويختلف عدد هذه الكروموزومات حسب نوع المسألة المطروحة وحجمها, ويتم تمثيل هذه

الكروموزومات وفق نوعين من الترميز هما الترميز الثنائي Binary encodingو ترميز القيمة Value Encoding[66].

***أ- الترميز الثنائي Binary encoding:***

يعد الترميز الثنائي من أشهر الطرق المستخدمة في تمثيل الحلول في الخوارزميات الجينية وهو أول اسلوب تم استخدامه في ترميز الحلول. يتم ترميز كل حل– كروموزوم – على شكل سلسلة من البتات 0 أو 1. الجدول (3-10)يبين تمثيل كروموزوم بالتمثيل الثنائي [66].

| | |
|---|---|
| Chromosome A | 10110010110010101110010 1 |

الجدول(3-10): الترميز الثنائي.

***ب ترميز القيمة Value Encoding:***

في هذا النوع من التمثيل يكون لدينا كل كروموزوم عبارة عن سلسلة من بعض القيم المرتبطة بشكل وثيق بمسألة ما, ويمكن لهذه القيم أن تأخذ عدة صيغ ممكنة وذلك حسب المسألة التي يتم معالجتها, مثل سلاسل من الأرقام الأعداد الحقيقية أو المحارف أو حتى مجموعات من أغراض معقدة Complicated[67]. Objects الجدول (3-11) يمثل بعض الكروموزومات التي تستخدم ترميز القيمة.

| | |
|---|---|
| Chromosome A | 1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545 |
| Chromosome B | ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT |
| Chromosome C | (back), (back), (right), (forward), (left) |

الجدول(3-11): ترميز القيمة.

### 3-5-5 الانتقاءSelection :

الهدف الرئيسي من الانتقاء هو التأكيد على بقاء الحلول الجيدة وا ازلة الحلول السيئة, وهذا هو صلب عمل الخوارزمية الجينية القائمة على مبدأ البقاء للأصلح والذي من خلاله يتم الاحتفاظ بنسخ مضاعفة للحلول الجيدة لتحل مكان الحلول السيئة. كل كروموزوم في التجمع (population)يمتلك فرصة للبقاء أو النسخ للعملية القادِمة اعتماداً على قيمة دالة الأمثلية التي يمتلكها[68]. توجد العديد من الطرق والتقنيات لتحقيق عملية انتقاء الكروموزوم الأمثل وهنا يتم استعراض بعض الطرق الأشهر للانتقاء:

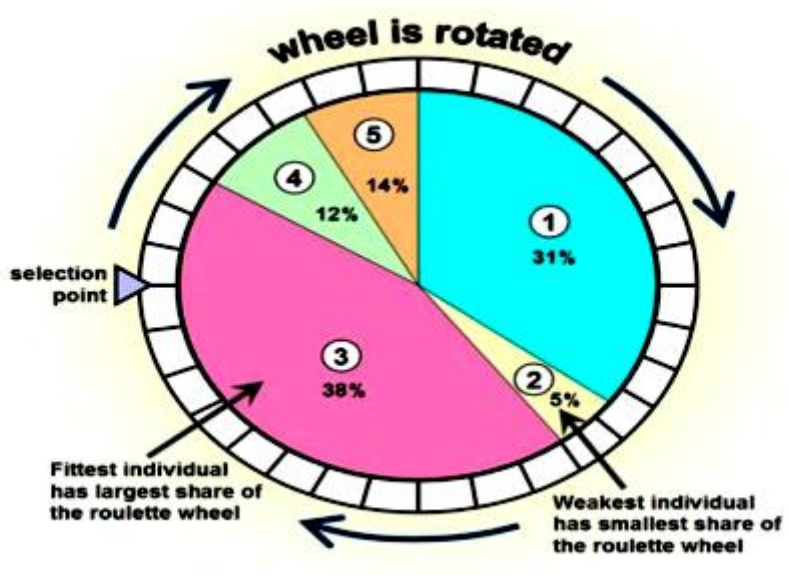
**1-** انتقاء عجلة الروليت Roulette wheel Selection.

**2-** الانتقاء العشوائي . Stochastic Universal Sampling selection.

***أ- انتقاء عجلة الروليت Roulette Wheel Selection:***

يتم اختيار الوالدين في هذه الطريقة اعتمادا على قيم صلاحياتهم, فكلما ازدادت قيمة صلاحية الكروموزوم, كلما ازداد احتمال اختياره. تتوضع كل الكروموزومات الموجودة في التجمع populationضمن

عجلة الروليت, ولكن وفق قطاعات تتناسب مع قيم صلاحياتها, حيث يحتل الكروموزوم ذو الصلاحية الأكبر لقطاع الأكبر, بعد ذلك يتم رمي حجر النرد ضمن العجلة, وحسب القطاع الذي سيقع فيه سيتم اختيار الكروموزوم الموافق بالتالي فإن الكروموزوم ذو القطاع الأكبر (الصلاحية الأكبر) سيكون عرضة للاختيار أكثر من مرة كما هو موضح في الصورة(3-18) [69].




الصورة(3-18): الانتقاء بطريقة عجلة الروليت[69].

يمكن تخليص مبدأ عمل طريقة عجلة الروليت وفق الخطوات التالية

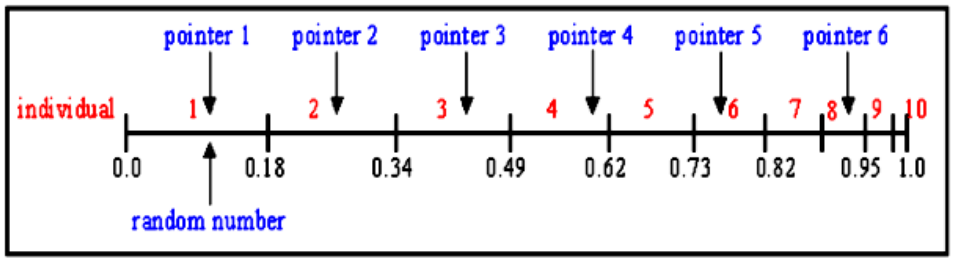
1. حساب مجموع قيم صلاحية كل الكروموزومات الموجودة ضمن التجمع ويرمز له S.
2. توليد عدد عشوائي r ضمن المجال [0,S].
3. تنفيذ حلقة تمر على الكروموزومات ضمن التجمع ومن ثم حساب مجموع قيم الصلاحيات أثناء هذا المرور,وعندما يتم الوصول إلى قيمة لهذا المجموع أكبر من rيتم التوقف, ويتم إعادة قيمة الكروموزوم الذي تم الوصول إليه وسبب كسر شرط تنفيذ الحلقة.

مما سبق نلاحظ بأنه يوجد مشكلة في هذه الطريقة وذلك عندما تتباين قيم الصلاحية بشكل كبير. على سبيل المثال, إذا كانت أفضل قيمة صلاحية لكروموزوم كبيرة لدرجة تغطي فيها 90 %من عجلة الروليت, عندها سيكون لبقية الكروموزومات فرص ضئيلة جداً يتم اختيارها.

### ب- ***الانتقاء العشوائي*** ***Stochastic Universal Sampling selection***

تسمح هذه الطريقة بتأمين اختيار عادل للكروموزومات التي سوف تتزاوج, وذلك عن طريق تقسيمها إلى مجموعات حسب قيمة تابع الصلاحية لكل منها. ومن ثم يتم إنشاء عدد من المؤشرات N (كما هو موضح في الصوة(3-19) ,)[70] وذلك حسب نسبة الانتقاء وجعل المسافة بينها متساوية, بحيث يشير كل مؤشر إلى أحد الكروموزومات ويتم اختيار موقع أول مؤشر بشكل عشوائي ضمن المجال[0, 1/N].تضمن هذه الطريقة

المرور على نسبة كبيرة من الكروموزمات واختيارها بخلاف طريقة عجلة الروليت التي تختار الكروموزومات ذات تابع الصلاحية الأعلى بنسبة عالية جداً[70].




الصورة(3-19): اختيار أخذ العينات العشوائية العالمي[70].

### 3-5-6 العبور Crossover:

العبور هي عملية اتحاد كروموزومين يدمجان ليشكلا معاً كروموزوم وذلك بتبادل الجينات لإنتاج كروموزوم جديد يمتلك خصائص كل من الكروموزمين. في هذه الخوارزمية يتم دمج المعلومات لكل فردين على حدة اعتماداً على احتمالية التهجين عند كل عملية توليد جيل جديد. وعملية العبور تعتمد بشكل أساسي على أسلوب الترميز المستخدم في المسألة المطروح[71].يوجد عدة طرق لإجراء العبور هي العبور بنقطة وحيدة Single point crossover والعبور وفق نقطتين Two point crossover والعبور القياسي Uniform crossover.

***أ- العبور بنقطة وحيدة Single point crossover:***

في هذا النوع من العبور يتم في البداية تحديد نقطة عبور وحيدة, ومن ثم يتم نسخ الجينات للابن الأول من بداية الكروموزوم الممثل لأحد الوالدين لغاية نقطة العبور, والبقية يتم نسخها من الوالد الثاني. وينتج الابن الثاني وفق عملية موافقة للعملية السابقة ولكن الأب الذي يُؤخذ منه الجزء الأول من الجينات يصبح مصدراً لبقية الجينات, بينما تأخذ السلسلة الجينية الأب الثاني من بدايته إلى نقطة العبور, وتنسخ للابن الثاني .[69,72] ويوضح الجدول(3-11) الذي يوضح آلية عملية العبور بنقطة وحيدة[72].

| Chromosome parent A | | | Chromosome parent B | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 11001 | **011** | | 11011 | **111** |
| Offspring C | 11001 | **111** | Offspring D | 11011 | **011** |

الجدول(3-12):العبور بنقطة وحيدة.

***ب- العبور وفق نقطتين Two point crossover:***

في البداية يتم اختيار نقطتي عبور, حيث يتم هنا النسخ من بداية الكروموزوم لغاية أول نقطة عبور من أحد الوالدين للابن. ومن ثم فإن الجزء من السلسلة الثنائية انطلاقاً من أول نقطة عبور لغاية ثاني نقطة عبور, يتم نسخه من الوالد الثاني, بينما بقية السلسلة الثنائية للابن الناتج يتم أخذها من الأب الأول وذلك من ثاني نقطة عبور لنهاية الأب.[69,72] كما هو مبين في الجدول(4-4)[79].

| Chromosome parent A<br>11 **0010** 11 | Chromosome parent B<br>11 **0111** 11 |
|---|---|
| Offspring C 11 **0111** 11 | Offspring D 11 **0010** 11 |

الجدول(3-13): العبور بنقطتين.

***ت- العبور القياسي Uniform Crossover:***

يتم في هذا النوع من العبور اختيار بتات بشكل عشوائي ونسخها من الوالد الأول أو الوالد الثاني للابن كما هو موضح في الجدول(3-13) [71].

| Chromosome parent A<br>110 **010** 11 | Chromosome parent B<br>110 **111** 01 |
|---|---|
| Offspring C 110 **111** 11 | Offspring D 110 **010** 01 |

الجدول(3-14): العبور القياسي

### 3-5-7 الطفرة Mutation:

هي عملية تغير مفاجئة في الأبناء الناتجة من عملية التهجين بحيث يحدث تغير في شكل الكروموزوم عن طريق تغير أحد مراتب الكروموزوم ويتم ذلك اعتماداً على مقدار احتمالية حدوث الطفرة الوراثي[73].
في حالة الترميز الثنائي تكون الطفرة ما هي إلا عملية عكس لأحد البتات في الكروموزوم الصبغي ( حيث يتم اختيار البت ثم قلبه) كما هو موضح في الجدول(3-14).

| Before Mutation | After Mutation |
|---|---|
| Chromosome(1**0**0110011**1**) | Chromosome(1**1**0100010**0**) |

الجدول(3-15): الطفرة.

يوجد عدة طرق لاختيار البتات التي سوف تقع عليها الطفرة و من أشهر تلك الطرق : الطريقة الأولى التي يتم فيها توليد رقم عشوائي بين 0 و 1من أجل كل كروموزوم في التجمع. ومن ثم توليد رقم عشوائي بين 0 و 1عند كل بت من بتات الكروموزوم. تتم مقارنة القيمة التي تم توليدها مع الرقم العشوائي الخاص بالكروموزوم والمولد مسبقاً إذا كانت القيمة العشوائية الجديدة أقل فإن قيمة هذا البت سوف يتم تغييرها [74]. أما الطريقة الثانية لاختيار البتات تعتمد على توليد رقم عشوائي بين 1و طول الكروموزوم والرقم الناتج يمثل رقم البت ضمن الكروموزوم الذي سوف يتم تغيير قيمته[75].

### 3-5-8 معيار التوقف Stop Criteria:

يستمر إنشاء الأجيال المتعاقبة بهدف تحسين الحل أي جعله أكثر اقترابا إلى حل أمثلي, إلى أن يتحقق شرط التوقف الذي يعتمد على مقياس توقف الخوارزمية الجينية, ويختلف هذا المقياس باختلاف المسألة. ومن أهم مقاييس التوقف هي المقاييس الكلاسيكية Classical Measures,اعتمد هذا المقياس على التحديد المسبق لعدد الأجيال, بحيث تتوقف الخوارزمية في حال لم يطرأ أي تحسين للجيل الحالي بعد هذا العدد المحدد من

الأجيال أي يتوقف تكرار تنفيذ الخوارزمية الجينية بعد عدد معين من التكرارات إذا كانت الأجيال الجديدة لا تسهم في تقديم تحسين ملحوظ[75].

### 9-5-3 توابع اللياقة Fitness Functions:

تعطي توابع اللياقة تقييماً للحلول الناتجة عند تطبيق الخوارزمية الجينية والتي على أساسها يتم اختيار الحلول الأمثلية التي من الممكن أن تساعد في تحسين الحلول التالية ويوجد ثلاثة أنواع من توابع اللياقة هي : [76]

1- التكامل لمربع خطأ الاستطاعة وهو يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\text{Fitness Function} = \int_0^{\infty} \mathrm{E}^2(\mathrm{t}) \times \mathrm{dt} \qquad (1-3)$$

يتميز هذا التابع بسرعته في حساب قيم الخطأ ولكنه يعطي قيماً غير صحيحة للخطأ عند الاهتزازات العالية.

2- تكامل القيمة المطلقة لخطأ الاستطاعة ويعطى بالعلاقة:

$$\text{Fitness Function} = \int_0^{\infty} |\mathrm{E}(\mathrm{t})| \times \mathrm{dt} \qquad (2-3)$$

يتميز هذا التابع باستجابته العالية لتغيرات الخطأ, ولكن مشكلته البطء في حساب قيم الخطأ.

3- تكامل جداء الزمن بمربع خطأ الاستطاعة ويحسب بالعلاقة:

$$\text{Fitness Function} = \int_0^{\infty} \mathrm{t} \times \mathrm{E}^2(\mathrm{t}) \times \mathrm{dt} \qquad (3-3)$$

إن استجابة هذا التابع عالية لتغيرات الخطأ, ويمكن من حساب قيم الخطأ بسرعة.

النظام المقترح لملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية غير خطي بالإضافة إلى إن فضاء الحلول كبير جدا, والبحث عن حل أمثلي من بين الملايين من الحلول يعتبر أمراً في غاية الصعوبة, لذلك تم تطبيق الخوارزمية الجينية للوصول إلى أفضل حل ممكن.

### 6-3 الخلاصة:

في هذا الفصل ، قمنا بوصف تقنيات الذكاء الاصطناعي ، وهي المنطق الضبابي والخوارزميات الجينية التي سنربطها بالأمر. وقد احتفظنا بخوارزمية القلق ثم المراقبة (P&O) ، كما قدمنا بالتفصيل آليات الخوارزمية الجينية. تشكل الخوارزميات الجينية مجموعة من الخوارزميات الاستدلالية تجعل من الممكن البحث عن الوظائف الموضوعية المثلى أو شبه المثلى.

# الفصل الرابع

## تطبيق ونتائج

**1-4 مقدمة :**

يتحدث هذا الفصل عن طريقة التحكم الذكية لتتبع أقصى نقطة طاقة (MPPT) لنظام كهروضوئي تحت ظروف إشعاع ودرجات حرارة متفاوتة. تدريجيا ، لأغراض المقارنة وبسبب أدائها المؤكد وصلابتها. تم اقتراح وحدة تحكم منطقية ضبابية مبنية على MPPT والتي أظهرت أداءً أفضل مقارنةً بالنهج القائم على P&O. تم أيضًا تحسين المقترح باستخدام الخوارزميات الجينية (AG) للتحسين.

سنقوم بتطبيق عنصر تحكم MPPT غامض محسّن من قبل AG لتحسين النظام الكهروضوئي ، وهو موضوع دراسة مقارنة بين تحكم FUZZY MPPT-AG الغامض والتقنيات الأخرى مثل طريقة P&O (الاضطراب والمراقبة).

**2-4 أدوات المحاكاة:**

تم استخدام بيئة MATLABV7.12.0/Simulink/Fuzzy Toolbox من أجل نمذجة ومحاكاة النظام الكهروضوئي المقترح بما فيه نظام ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الاعظمية.

**3-4 خصائص اللوح الكهروضوئي المستخدم :**

تم اعتماد اللوح الكهروضوئي ذو الموديل MSX60 PV module (60 W) و الذي له المواصفات الاسمية المبينة في الجدول(4-1) حيث تبين الصورة (4-2) محاكاة للوح الخلايا الكهروضوئي باستخدام بيئة MATLAB/Simulink عند درجات حرارة مختلفة واشعاع مختلف وهذا النموذج هو تمثيل للمعادلات من (1-1 )إلى المعادلة (1-6)المواصفات الكهربائية للوح الكهروضوئي تم أخذها من datasheet الخاص به .

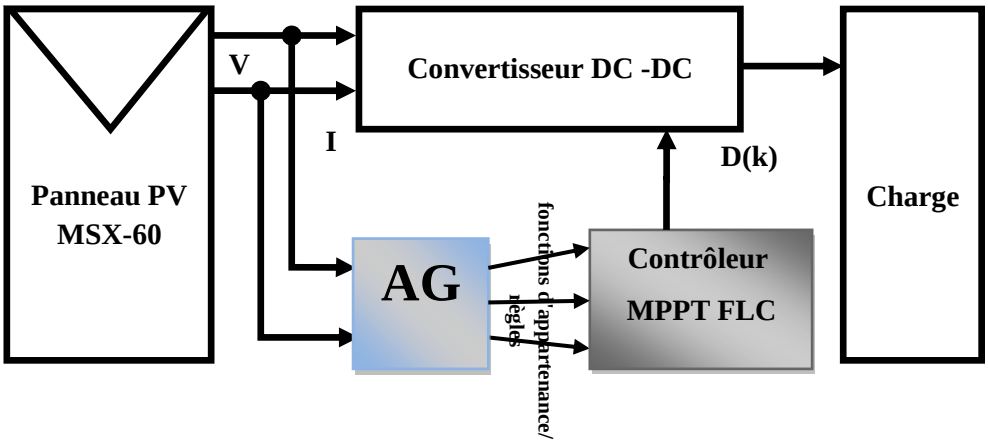
| Parameters | Valeur |
|---|---|
| **Pmp (W)** | 200 |
| **Imp (A)** | 3.5 |
| **Vmp (V)** | 17.1 |
| **Isc (A)** | 3.8 |
| **Voc (V)** | 21.1 |
| **RS (O)** | 0.008 x 36 |
| **Isc (K°)** | Æ $10^{-3}$2.4 |
| **Kd (K°)** | 80 Æ $10^{-3}$ |
| **NS** | 36 |

الجدول (4-1): تصميم وحدة تحكم MPPT الضبابية (LFC) بواسطة الخوارزمية الجينية (AG).

أدت الصعوبات التي واجهتها في تصميم وحدات التحكم الضبابية (LFC) إلى توجيه الباحثين للتحرك نحو استخدام الخوارزميات التطورية نظرًا لخصائصها المتمثلة في الاستكشاف العالمي في بيئة معقدة.

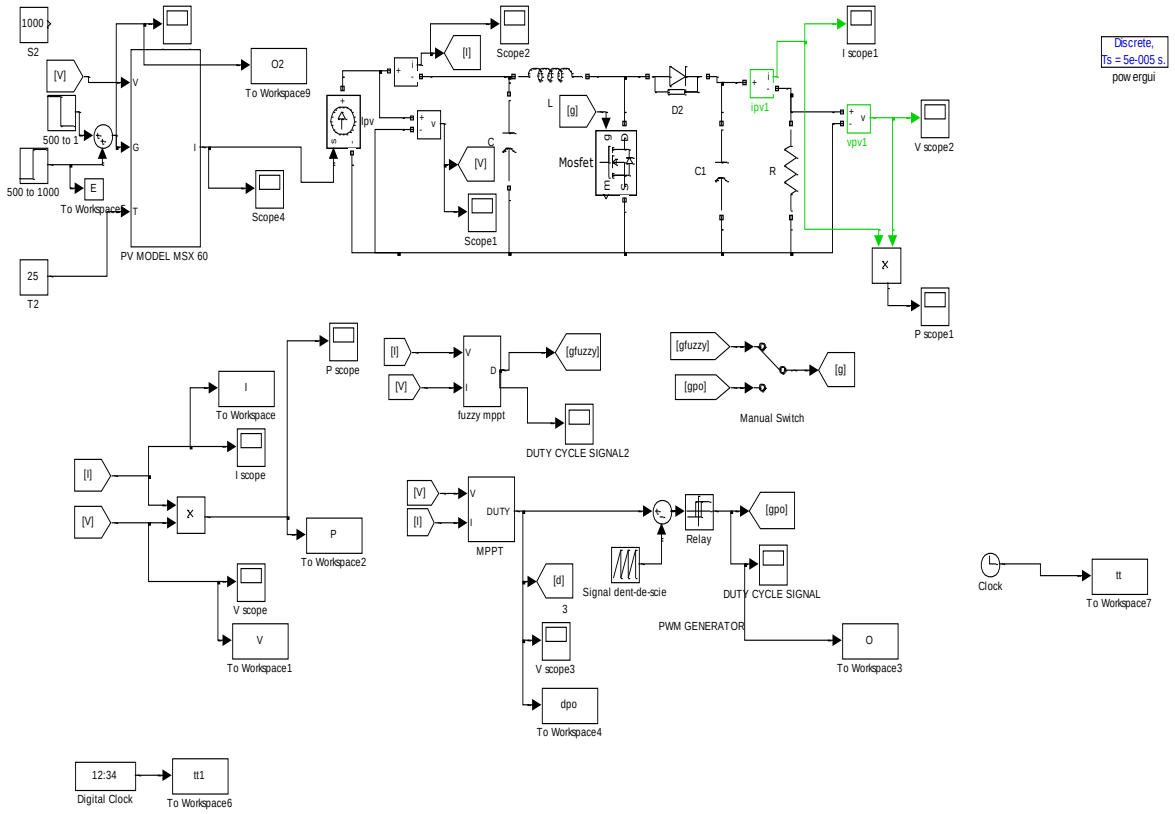
في هذا العمل ، نستخدم الخوارزميات الجينية لتحسين معلمات وظائف العضوية المرتبطة بمتغيرات الإدخال والإخراج لوحدة التحكم الغامضة المطبقة على تتبع نقطة الطاقة القصوى (التحكم الضبابي MPPT).

يوضح الشكل التالي استراتيجية نهج التحسين هذا والتي يمكن تلخيصها من الخطوات التالية:




الصورة(4-1): منهج التحسين لعنصر تحكم MPPT غامض.

### 4-4نمذجة نظام ملاحقة مسار نقطة الاستطاعة الأعظمية المقترح:




الصورة (4-2): نموذج النظام الكهروضوئي المقترح.

تمت نمذجة النظام المقترح المبين في الصورة (4-2) بأجزائه الآتية:

1- نمذجة اللوح الكهروضوئي موديل MSX60 PV module (60 W)

2- نمذجة مداخل المتحكم الضبابي الخطأ E وتغير الخطأ ΔE.

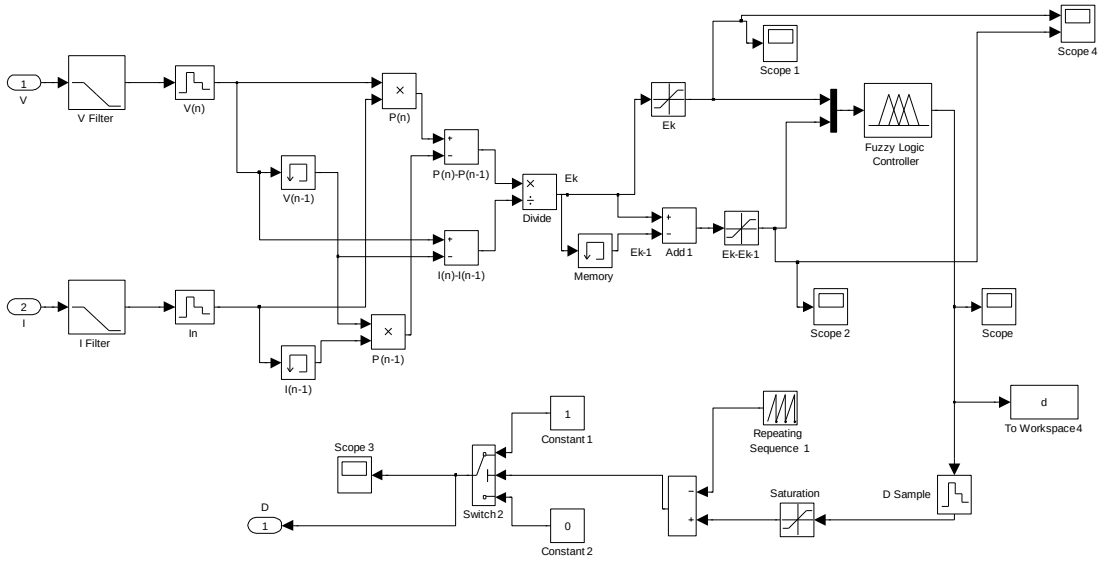
3- نمذجة المتحكم الضبابي.

4- نمذجة معدل عرض النبضة PWM.

5- نمذجة المبدل الخافض للجهد Buck Converter .

### 4-4-1 نمذجة المتحكم الضبابي:

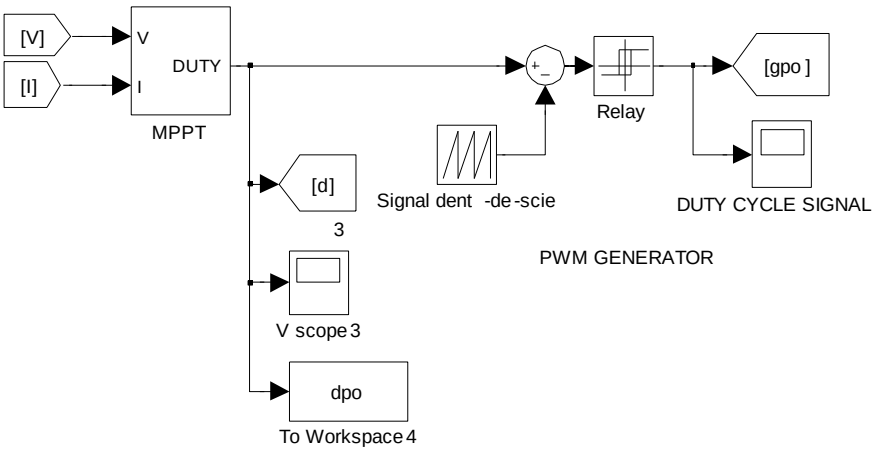
في هذه المرحلة تم ربط خرج اللوح الكهروضوئي (Power-Voltage) مع بلوك حساب كل من الخطأ Error وتغير الخطأ Ch-error للحصول باستمرار على قيمة ذلك الخطأ وتغيره, حيث الدخل الأول لهذا البلوك هو جهد اللوح الكهروضوئي Voltage والدخل الثاني استطاعة اللوح الكهروضوئي Power.وهذه المحاكاة هي نمذجة للعلاقة(3-3)والعلاقة(3-4)كما هو مبين في الصورة (4-3).




الصورة(4-3): نموذج حساب قيمة الخطأ Eوتغير الخطأ CEللمتحكم الضبابي.

### 4-4-2 نمذجة معدل عرض النبضة( PWM):

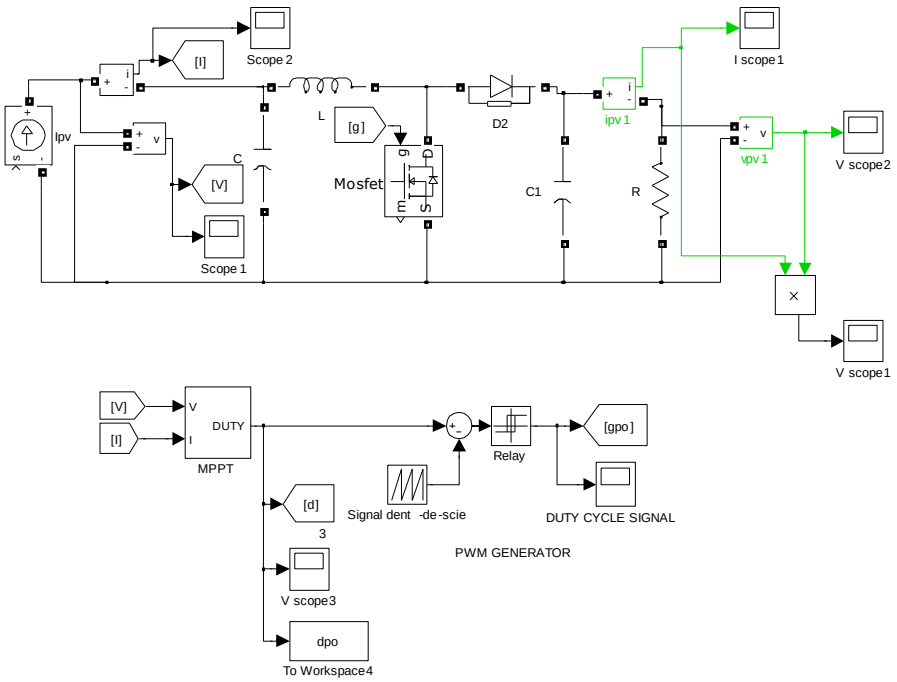
تم ربط خرج المتحكم الضبابي (Duty ratio) المبين في الصورة(4-3) مع معدل عرض النبضات للحصول على نبضات مربعة بفترات زمنية مختلفة Duty Cycle بعد مقارنة إشارة المتحكم مع إشارة مرجعية بترددKHZ50 ومطال 1Vمن أجل التحكم بفترات عمل المبدل الخافض للجهد كما هو مبين في الصورة (4-4).




الصورة (4-4): نموذج معدل عرض النبضات[19].

### 3-4-4 نمذجة المبدل الخافض للجهد Buck Converter:

تم ربط خرج PWM (Duty Cycle)مع المبدل الخافض للجهد بواسطة manual switch من أجل التحكم بفترات تمرير وعدم تمرير التيار من أجل ضبط جهد الخرج حيث قيمةVIN هي 21.2Vوهو أعظم جهد يستطيع لوح الخلايا الكهروضوئية أن يقدمه, قيمة جهد الخرج VOهي V 12 وهو الجهد الذي يتم السعي لتغييره حسب قيمة Duty Cycle من أجل المحافظة على قيمة ثابتة تقريبا للاستطاعة Watt 60.

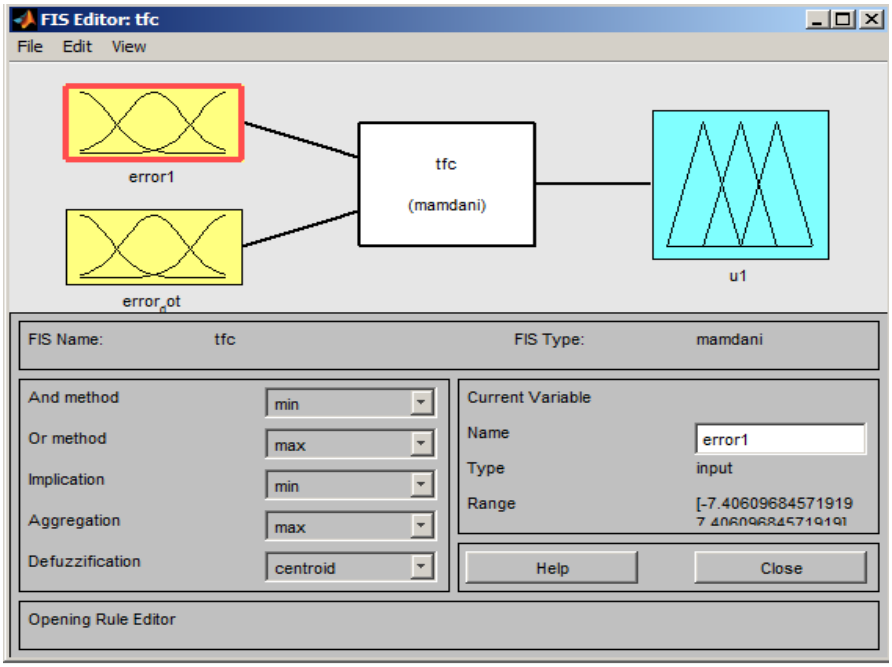



الصورة(4-5): نموذج المبدل Buck Converter [76] .

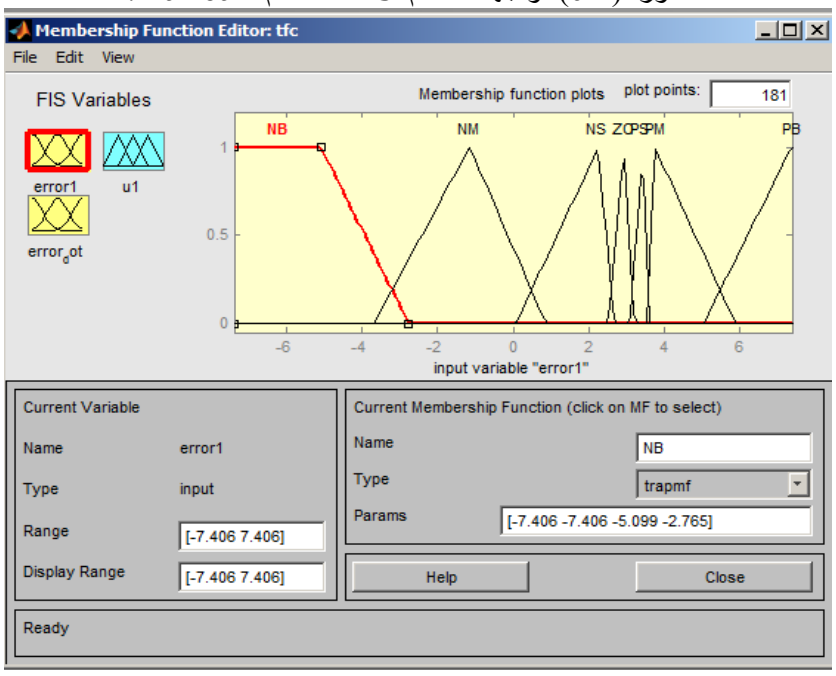
**5-4 معادلات الانتماء:**

يتم تعريف كل متغير تحكم بمقدار سبعة (7) وظائف انتماء. نحن نستخدم الوظائف الثلاثية والتقنية شبه المنحرفة في طرفي الأكوان الكلام لمتغيرات المداخل (E و ΔE) ووظائف نوع Singleton لمتغير الإخراج (ΔD). المصطلحات اللغوية المرتبطة بوظائف الانتماء هي: PB (إيجابي كبير)، PS (إيجابي صغير)، ZE (صفر)، NS (سلبي صغير) و NB (سلبي كبير), PM (ايجابي متوسط), NM (سلبي متوسط).

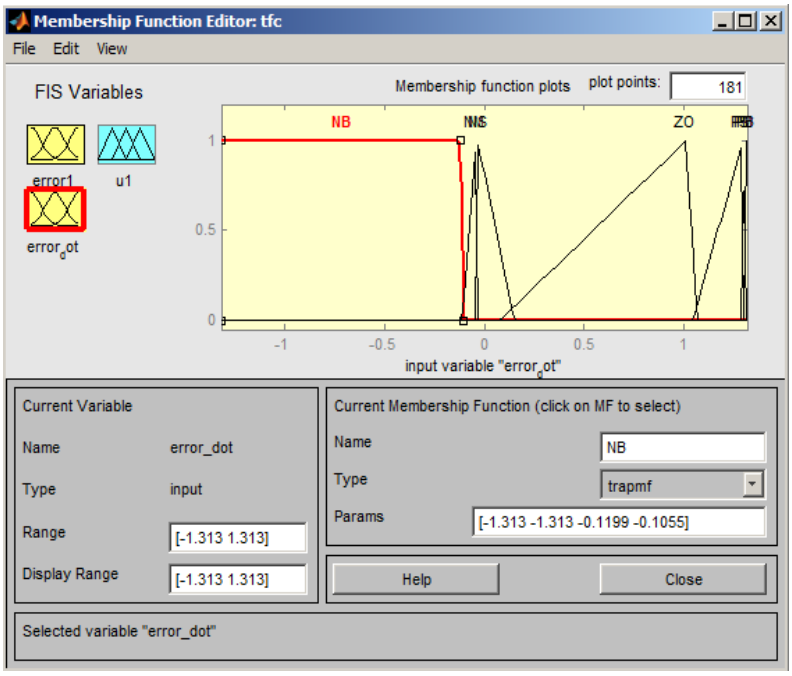
يعطي الأرقام (4-6)(4-7) (4-8) (4-9) على التوالي وظائف العضوية المرتبطة بالمتغيرات E، ΔE و ΔD وحدة تحكم FLC.



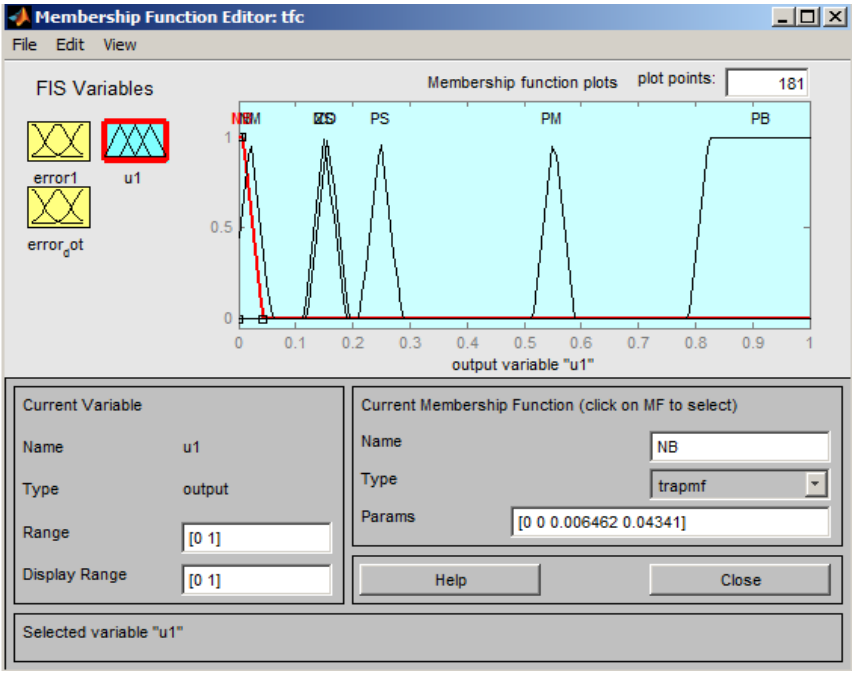

الصورة (4-6): واجهة التحكم FIS للمتحكم Mamdani.




الصورة (4-7): توابع انتماء المدخل E.




الصورة(4-8): توابع انتماء المدخل.ΔE




الصورة (4-9): توابع انتماء الخرج للمتحكم .Mamdani

### 6-4 انشاء الجيل الأولي:

نظرًا لأن مساحة البحث لكل متغير (E و ΔE و ΔD) مقسمة إلى7 وظائف انتماء محددة تمامًا بواسطة 7 خصائص (مراكز وظائف الانتماء) ، لدينا مجموعه 21 خاصية لتحسينها.

لقد حددنا فترة تغيير لكل خاصية ، ثم يتم إنشاء الخاصية بشكل عشوائي ضمن هذه الفترة. تنتمي مراكز وظائف الخاصية هذه إلى الحدود المقابلة (L1 لـ E، L2 لـ ΔE).

بالإضافة إلى أن عدد القواعد التي نحصل عليها من الخوارزميات الجينية هو 40 قاعدة ( 7 وظائف انتماء لمتغير E × 7 دوال انتماء للمتغير ΔE).

يتكون الجيل من مجموعة من الجسيمات التي يظهر هيكلها في الصورتين (4-10)(4-11).

عينات

| L1 | L2 | X1 | X….. | X7 | X8 | X….. | X14 | X15 | X…… | X21 | X22 | X… | X71 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2حدود) E,ΔE) | | 7مراكز الوظائف العضوية E | | | 7مراكز الوظائف العضوية ΔE | | | 7مراكز الوظائف العضوية ΔD | | | 49 قاعدة | | |

الصورة (4-10): هيكل ووصف الفرد (الكروموسومات).

بواسطة:

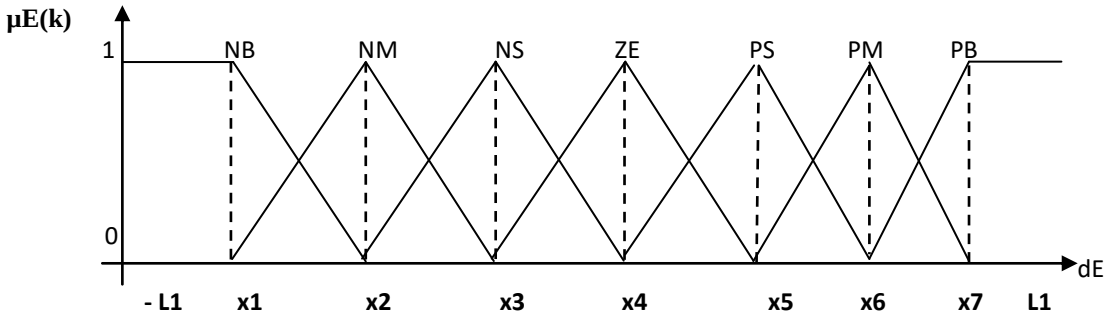
Li (i=1,…2) :هي حدود مراكز المتغيرين E et ΔE.

Xi (i=1,…7):هي حدود مراكز المتغيرين E.

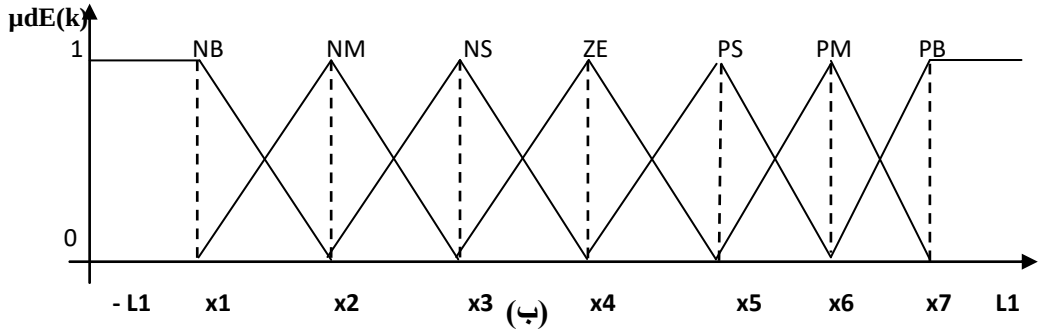
Xi (i=1,…7):هي حدود مراكز المتغيرين ΔE.

Xi (m=1,…7):هي مراكز وظائف الانتماء للمخرجات .ΔD

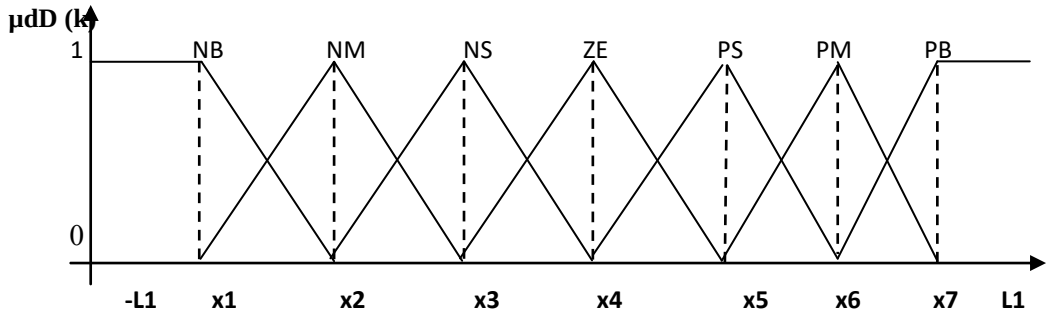
Xi (m=1,…49)هي مجموعة القواعد الغامضة.




(أ)




(ب)




**(ج)**

الصورة(4-11):(أ) (ب) (ج) ترميز وظائف الانتماء: E و dD,dE.

**4-7 دالة الهدف:**

التقييم الجسيمات في كل جيل ، استخدمنا معيار اللياقة التالي (الوظيفة الموضوعية):

$$J=\int_0^{tf} |P_{max}|\, dt \qquad \textbf{(1-4)}$$

حيث Pmax هي الطاقة القصوى التي يمكن أن توفرها اللوحة في ظل ظروف قياسية: T = 25 درجة مئوية و G = 1000W / m2 و tf هي وقت المحاكاة.

**4-8 خصائص الخوارزمية الجينية :**

يجب أن تتيح خوارزمية AG الموصوفة سابقًا (الفصل الثالث) تحسين خصائص وحدة التحكم الضبابي. للقيام بذلك ، يجب علينا اختيار قيم معلمات GA لإنشاء السكان التاليين ، يتم تنفيذ المعلمات التالية:

- عدد السكان 32 فردًا (N).
- عملية العبور: المتغيرات المستمرة مع احتمال العبور (Pc) يساوي 0.8.
- الطفرة: طريقة المتغيرات المستمرة ، مع احتمال Pm = 0.4 ، ويستخدم مؤشر التوزيع n.
- يتم تنفيذ معيار الإيقاف عندما يصل الحد الأقصى لعدد الأجيال إلى 40 (itMax) ، أي عندما تكون وظيفة الملائمة عند أدنى حد لها.

**4-9 نتائج المحاكاة:**

في هذا الجزء ، نبدأ بتقييم نظام PV MPPT باستخدام أداة محاكاة MATLAB / Simulink. ثم يتم محاكاة طرق تتبع MPPT المختلفة في ظل الظروف البيئية المستقرة والعديد من التغييرات في الظروف الجوية.

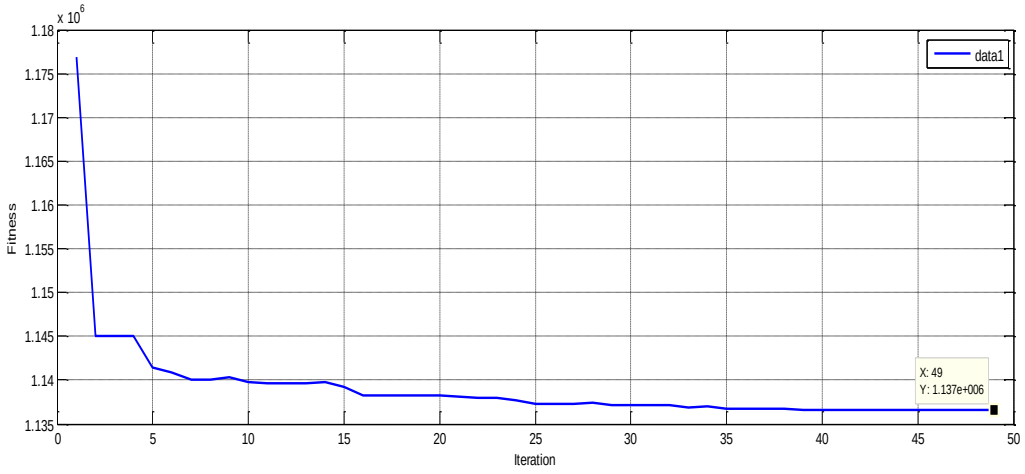
**4-9-1 التشغيل في ظل ظروف ثابتة:**

في هذا الاختبار ، يتم الحفاظ على درجة الحرارة وضوء الشمس ثابتًا. نأخذ قيم الشروط القياسية: درجة

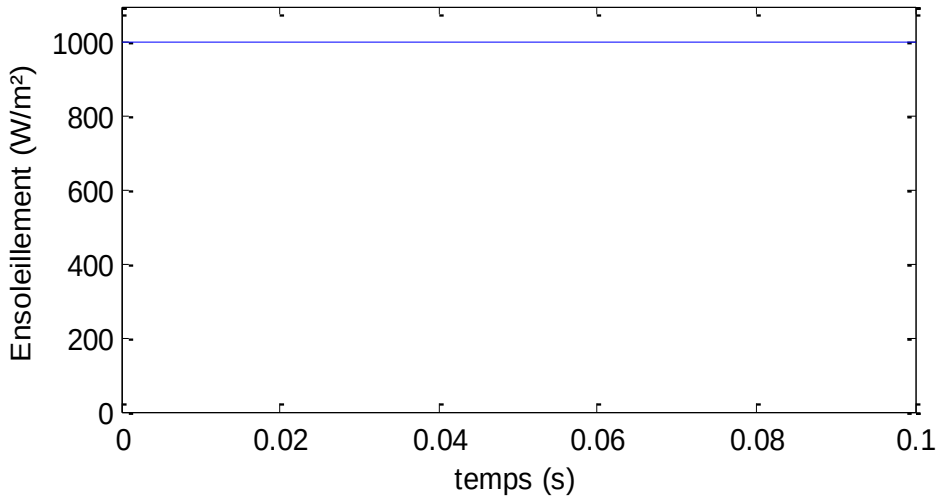
الحرارة T = 25 درجة مئوية وضوء الشمس = 1000 واط / م$^2$. الغرض من هذه المحاكاة هو تصور تحول نقطة التشغيل مقارنة بنقطة MPP. يتم استخدامه أيضًا لتقييم الخسائر الناتجة عن التذبذبات حول هذه النقطة.
توضح الصورة (4-13) استجابات وحدتي التحكم للظروف القياسية (T = 25 درجة مئوية و E 1000 واط/م$^2$).

الاختلافات في القيمة الدنيا للوظيفة الهدف (المعيار J) كدالة لعدد الأجيال مبينة في الصورة( 4-12) نلاحظ أن GA تقاربت نحو الحل الأمثل (J = 1370000) ممثلة بأفضل فرد من الجيل الأخير. يعطي هذا الفرد قيم المعلمات المطلوبة.

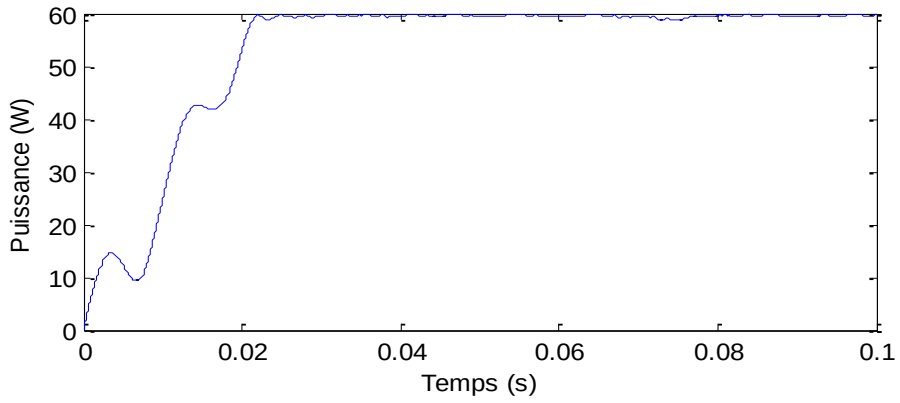
تعطي الصور من (4-14)إلى (4-17) الخصائص الكهربائية المقابلة لأفضل حل تم الحصول عليه بعد 50 جيلًا.



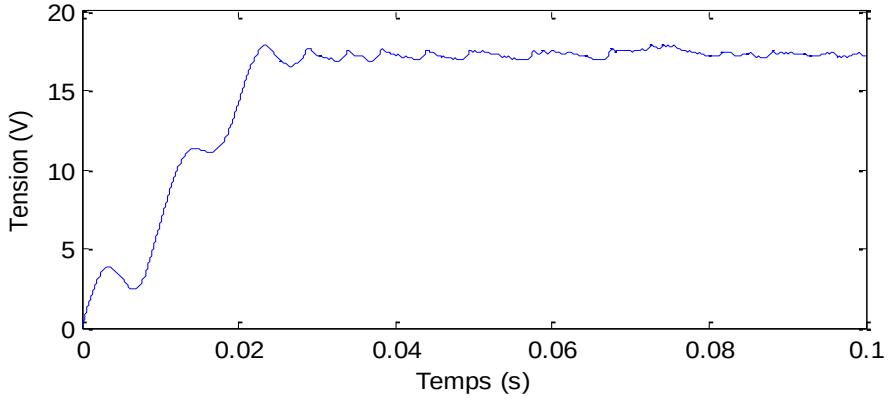

الصورة (4-12): تقارب الوظيفة الموضوعية عبر الأجيال.



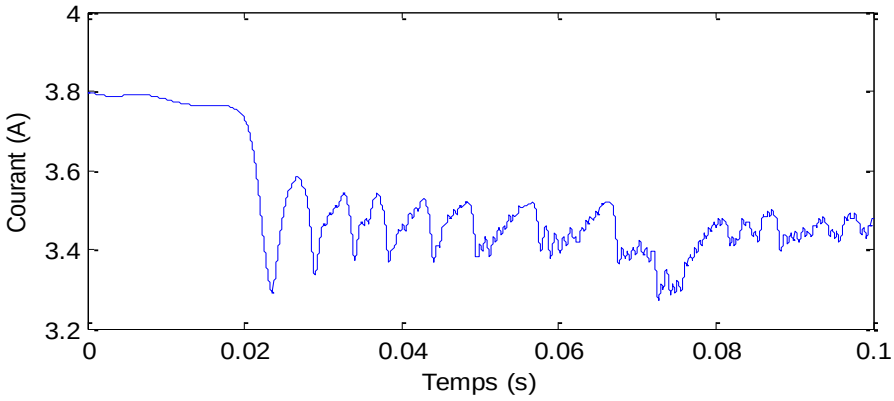

الصورة(4-13): تباين ضوء الشمس كدالة للوقت.



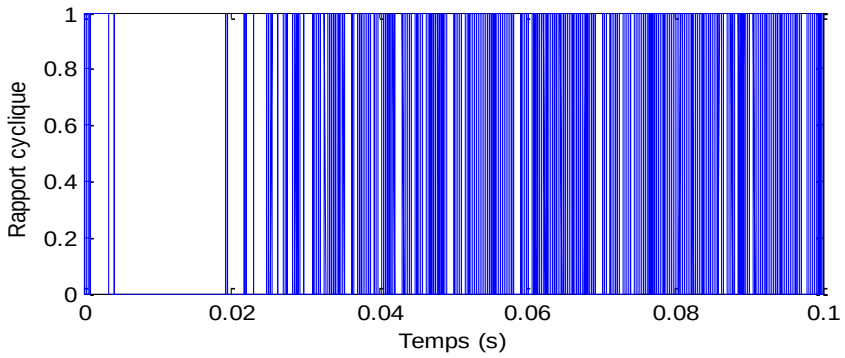

الصورة(4-14): الطاقة المقابلة لوحدة التحكم FLC-AG.




الصورة(4-15): الجهد المقابل لوحدة التحكم FLC-AG.




الصورة(4-16): التيار المقابل لوحدة التحكم FLC-AG.



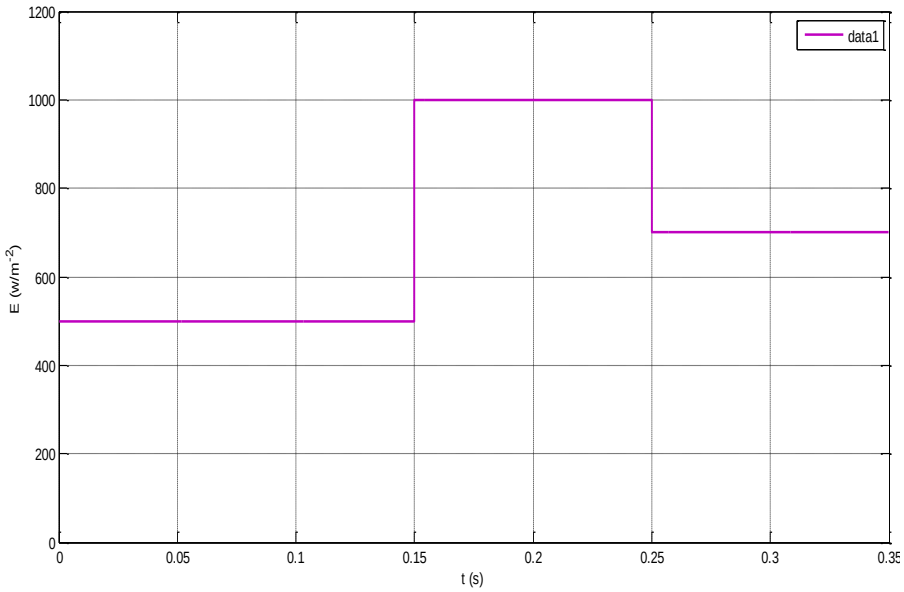

الصورة(4-17): دورة التشغيل المقابلة لوحدة التحكم FLC-AG.

من نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها ، نلاحظ أن وحدة التحكم تؤدي إلى أداء أفضل ، مع عدم وجود اهتزازات في الحالة المستقرة ، ووقت استجابة أسرع.

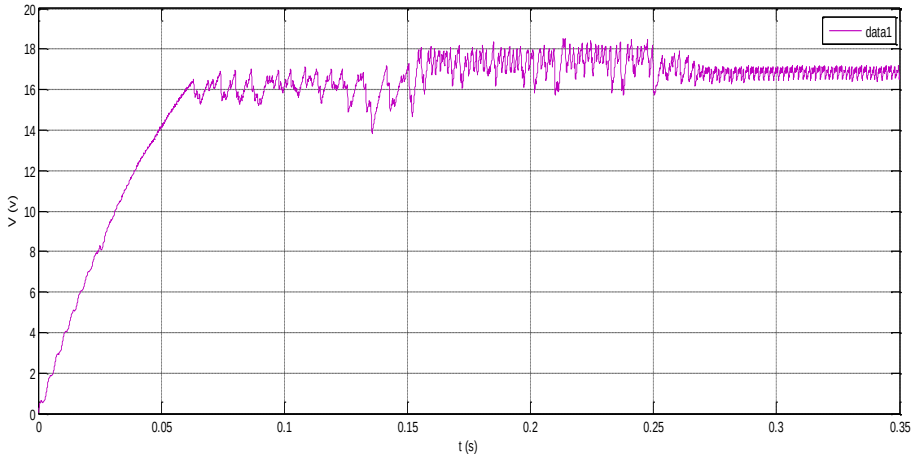
### 4-9-2 دراسة مقارنة واختبار المتانة:

من أجل تقييم الاستجابات الزمنية لآليات التتبع ، فإنها تخضع لتغيرات في الظروف الجوية. لمعرفة سلوك النظام في مواجهة تغير المناخ ، سنخضع للاختبارات التالية: أولاً نحافظ على درجة حرارة ثابتة (25 درجة مئوية) ونقوم بتغيير الإضاءة الشمسية بإشارة خطوة (700 - 1000 - 500 = E واط / م 2).

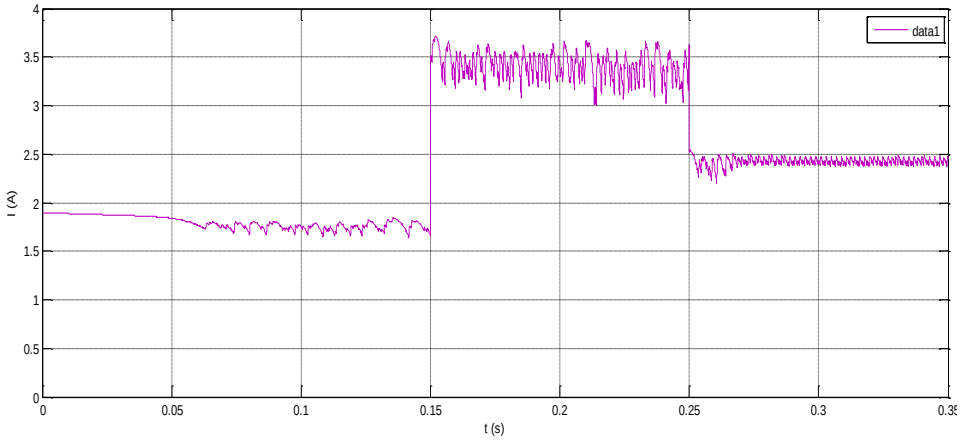
يوضح الصورة (4-23) استجابة $P_{pv}$ لوحدات التحكم (MPPT الضبابي المُحسَّن بواسطة الخوارزميات الجينية).



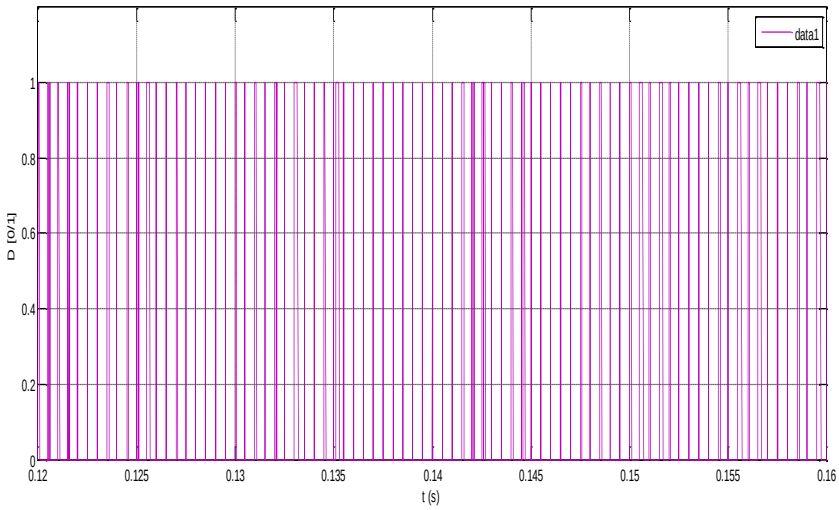

الصورة (4-18): تباين سطوع الشمس بدالة الوقت.



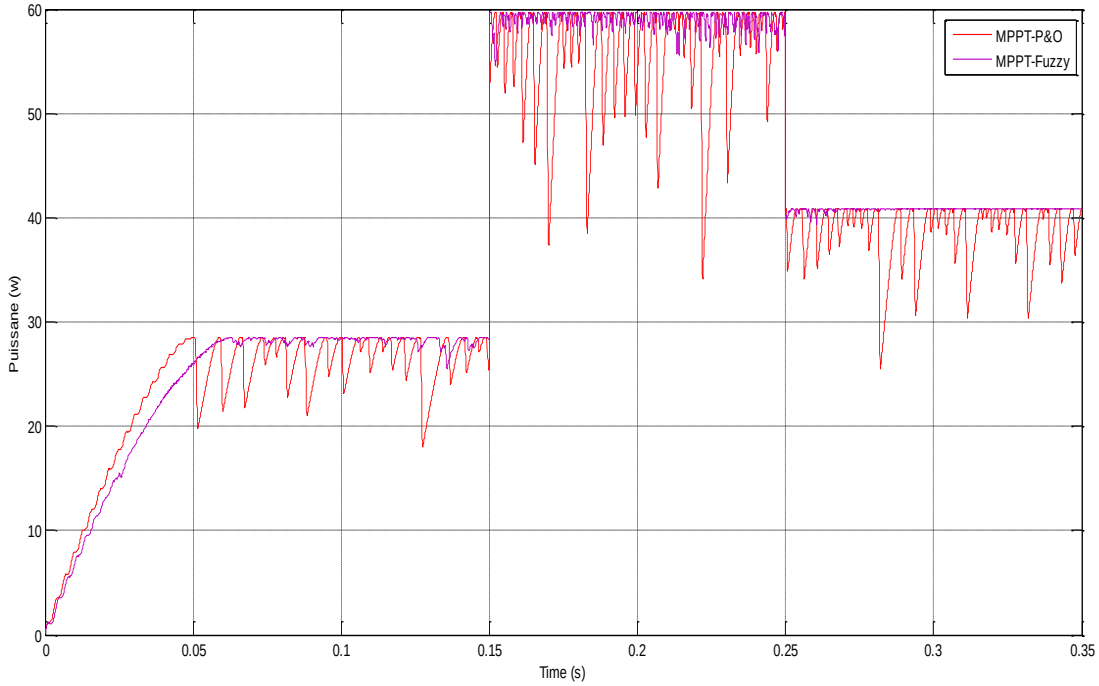

الصورة(4-19): التوتر الخاص باللوحة الكهروضوئي باستخدام fuzzy Mppt-AG.




الصورة(4-20): التيار الخاص باللوحة الكهروضوئي باستخدام fuzzy Mppt-AG.




الصورة(4-21): اشارة دورة العمل الخاصة باللوحة الكهروضوئي باستخدام fuzzy Mppt-AG.




الصورة (4-22) : استجابات من وحدات التحكم (MPPT -Fuzzy و MPPT P&O) لزيادة ضوء الشمس (المستوى 700-1000-500 = E واط / م 2) عند درجة حرارة ثابتة T = 25 درجة مئوية

تم الحصول على نتائج خرج مختلفة للمولد الكهروضوئي ، لقيم إضاءة مختلفة ، من خلال محاكاة وحدات تحكم MPPT fuzzy-GA و MPPT P&O. تؤكد هذه النتائج التشغيل الصحيح لوحدة التحكم (P&O). تتميز وحدة التحكم P&O بوقت استجابة سريع. يحتوي الحد الأقصى لتتبع النقاط باستخدام وحدة التحكم fuzzy-GA MPPT على الحد الأدنى من معدل تموج الطاقة في مواجهة الاختلافات المختلفة ، وفقدان الطاقة أقل في الحالة المؤقتة ، وهو قوي للتغيرات المختلفة في الظروف الجوية.

### 4-10 الخلاصة :

في هذا الفصل ، قدمنا طريقة تحسين تحكم MPPT الضبابي بواسطة الخوارزمية الجينية AG لتعظيم طاقة المولد الكهروضوئي. أتاحت نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها التحقق من فعالية AG في إيجاد وتحسين خصائص وحدة التحكم الضبابية.

أظهرت اختبارات المتانة ضد الاختلافات في ضوء الشمس أن وحدة التحكم الغامضة المحسّنة تعمل بشكل أفضل من وحدة التحكم الضبابية غير المحسّنة.

# الخلاصة العامة

يتغير الطلب العالمي على الطاقة بسرعة ، وتتضاءل موارد الطاقة الطبيعية مثل اليورانيوم والغاز والنفط بسبب الانتشار الواسع وتطور الصناعة في السنوات الأخيرة. لتغطية احتياجات الطاقة ، يتم إجراء البحوث حول الطاقة المتجددة. إحدى الطاقات المتجددة التي يمكن أن تلبي الطلب هي الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، وهي نظيفة وهادئة ومتاحة ومجانية. وهذا يفسر سبب نمو استخدامه بشكل كبير حول العالم. إن استخدام الطاقة الشمسية كمصدر بديل للطاقة يعاني من التكلفة العالية للخلايا الشمسية ، وانخفاض الكفاءة والطاقة المتقطعة اعتمادًا على الظروف الجوية المتقلبة. لذلك ، يجب أن يأخذ أي تصميم لنظام تطبيقات الطاقة الشمسية هذه العيوب في الاعتبار. هذا العمل هو مساهمة في تحسين تشغيل النظام الكهروضوئي. يتعلق العمل المقدم بشكل أكثر تحديدًا بمشكلة الاقتران بين المولد الكهروضوئي وحمل من النوع المستمر. في الواقع ، لا يزال هذا النوع من أدوات التوصيل يعاني من مشكلة نقل الطاقة من المولد الكهروضوئي إلى الحمل ، والذي غالبًا ما يكون بعيدًا جدًا عن إمكانيات المولد.

تتعلق هذه الدراسة بتحسين أداء وكفاءة النظام الكهروضوئي. يتضمن ذلك استخدام أمر MPPT استنادًا إلى المنطق الضبابي (وحدة تحكم ضبابية) من أجل تحسين أداء آلية تتبع نقطة الطاقة القصوى من حيث وقت الاستجابة والمتانة فيما يتعلق بالتغيرات في الظروف المناخية باستخدام الخوارزمية الجينية .

لتحقيق هذا الهدف ، بدأنا بإعطاء النموذج الرياضي للخلية الكهروضوئية ، العنصر الرئيسي في المولد الكهروضوئي. تم دعم هذه النمذجة بعد ذلك عن طريق المحاكاة في Matlab / Simulink لنموذج الألواح الكهروضوئية من نوع Solarex MSX-60 والذي يوفر طاقة قصوى تبلغ 60 واط في ظل الظروف الجوية القياسية. سمحت لنا هذه المحاكاة بالتحقق من صحة نموذج اللوحة من ناحية ومن ناحية أخرى لدراسة تأثير الظروف المناخية المتغيرة (أشعة الشمس ودرجة الحرارة) على الخصائص الكهربائية (I-V و P-V) للوحة.

بعد مرحلة النمذجة ، عالجنا مشكلة تتبع نقطة الطاقة القصوى في أنظمة التحويل الكهروضوئية. تتحرك هذه النقطة وفقًا للظروف الجوية ، وتعتبر آلية التتبع ضرورية لتحسين كفاءة المولد. من خلال هذا المشروع ، تم اقتراح الخوارزمية الجينية (AG) من أجل تعظيم الربح من حيث الطاقة التي تغذي الحمل مما يعني تقليل فقد الطاقة إلى الحد الأدنى.

يمكننا أن نقول بعد مقارنة تقنيات تحسين MPPT-AG مع MPPT التقليدية الأخرى ، للحساب الفوري ، الحد الأقصى لنقطة الطاقة PPM للوحدة الكهروضوئية من أجل تعظيم ربح الطاقة مع قيود لحظة التغيير للظروف المناخية. هذه التقنيات التي تعتمد على الطرق الاستكشافية الفوقية (MPPT-AG) هي أفضل تقنية مستخدمة لتتبع القوة المثلى PPM والتي تلاحظ أنها تتقارب بسرعة إلى الحل الأمثل بأقل عدد من التكرار.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة أن وحدة التحكم الغامضة المحسّنة لديها أداء أكثر إثارة للاهتمام من جهاز التحكم الضبابي غير المحسن.

وبالتالي ، فإن الآفاق المستقبلية تتمثل في تحسين أداء عنصر تحكم MPPT الضبابي عن طريق تحسين خصائص وحدة التحكم الغامضة و التحليل الفوري لزيادة طاقة المولد الكهروضوئي إلى الحد الأقصى باستخدام الخوارزميات الجينية .

يسمح عنصر التحكم MPPT (P&O أو Fuzzy) بأفضل اتصال بين المولد الكهروضوئي (GPV) والحمل ويجبره على العمل دائمًا عند نقطة الطاقة القصوى ، ومع ذلك ، فإن الدراسة المقارنة لنتائج المحاكاة لها أظهر أن الأمر Fuzzy AG يؤدي إلى أداء أفضل (تقليل وقت الاستجابة وخطأ الحالة المستقرة).

من خلال هذا العمل ، نتمنى أن نكون قد قدمنا مساهمة في دراسة الخصائص الكهروضوئية للخلية الشمسية ، ودراسة الأنظمة الكهروضوئية المستقلة وأوامر MPPT وكيفية تنفيذ الخوارزمية الجينية للوصول الى الطاقة العظمة للوح الكهروضوئي .

كمنظور لهذا العمل ، سيكون من المثير للاهتمام المضي قدمًا في تنفيذ الأجهزة لتقنيات MPPT المحاكاة ، على وحدات تحكم دقيقة أو أنظمة قائمة على DSP ، من أجل التحقق من صحة نتائج المحاكاة وتأكيد الأداء الذي تم الحصول عليه.

# المصادر و المراجع

## قائمة المصادر و المراجع


[1] ALLATAIFEH,A.A.BATAINEH,K.AL-KHEDHER,M.Maximu Power PointTracking Using Fuzzy Logic Controller under Partial Conditions, Smart Grid andRenewable Energy, 2015, 6, 1-13.

[2] FAIZAL,A. SUTOYO; M, YENDRA,R. FUDHOLI,A.Design MaximumPower Point Tracking (MPPT) on Photovoltaic Panels using Fuzzy Logic Method.American Journal of Engineering and Applied Sciences ,2016.

[3] WANG,J,M . LU,C,L. Design and Implementation of a Sun Tracker with a Dual-Axis Single Motor for an Optical Sensor-Based Photovoltaic System. Sensors, 2013.

[4] USTA,M,A. AKYAZI,O. ALTAŞ,I,H.Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

[5] GHEIBI,A.MOHAMMADI,S,M,A.FARSANGI,M,M.Comparing performance of PID and fuzzy controllers in the present of noise for a Photovoltaic System. Journal of mathematics and computer science 9 (2014), 69-76.

[6] NAQVI,S,A,A. SHUKLA,S. Comparative Analysis of MPPT for Solar Power System Implementing Fuzzy Logic and PID Controller. international journal for research in emerging science and technology.volume-4, issue-2, FEB-2017.

[7] RAHMANI,R. SEYEDMAHMOUDIAN,M. MEKHILEF,S. YUSOF,R. Implementation of fuzzy logic maximum power point tracking controller for photovoltaic system. American Journal of Applied Sciences, 10 (3): 209-218, 2013.

[8] KOLSI,S. SAMET,H. AMAR,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, 2014, 2, 27-34.

[9] KARTHIKA,S. VELAYUTHAM,K.RATHIKA, DEVARAJ,D. Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Designed for 10kW Solar Photovoltaic System with Different Membership Functions. International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering, Vol:8, No:6, 2014.

[10] ALGARÍN,C,R. GIRALDO,J,T. ÁLVAREZ,R. Fuzzy Logic Based MPPT Controller for a PV System. Energies, 2017.

[11] OZUNA,G. ANAYA,C. FIGUEROA,D. PITALUA,N. Solar Tracker of Two Degrees of Freedom for Photovoltaic Solar Cell Using Fuzzy Logic. Proceedings of the World Congress on Engineering July 6 - 8, 2011,Vol II, London, U.K.

[12] 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 ,PP.09-16.

[13] KUMAR,K,K.BHASKAR,R.KOTI,H. implementation of mppt algorithm for solar photovoltaic cell by comparing short-circuit and incremental conductance method. Procedia Technology 12 ( 2014 ) 705 – 715.

[14] BABAA,S,E. ARMSTRONG,M. Pickert,v. Overview of Maximum Power Point Tracking Control Methods for PV Systems. Journal of Power and Energy Engineering, 2014, 2, 59-72.

[15] REISI,A,R. MORADI,M,H. JAMASB,S. Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews ,vol. 19, 2013, 433–443.
[16] ATHIRA ,B. GREESHMA ,V. JEENA ,J. Analysis of Different MPPT Techniques. International Journal of Advanced Research in Electrical ,Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 5, Issue 3, March 2016.
[17] VAIJAYANTI,L. RATH,B,B. SRIKANTH,B. A Fuzzy Logic Based Improved Maximum Power Point Tracking for Grid Integrated. International Journal of Innovative Research in Science, Vol. 5, Issue 12, December 2016.
[18] SUBHASH ,E. APATEKAR, SHRAVANKUMAR,A .ANITHA, Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Grid-Connected Photovoltaic System & Operation of PV Cells under Partial Shading Conditions. International Conference on Recent Trends in Engineering Science and Technology , Volume: 5 Issue: 1(Special Issue 21-22 January 2017).
[19] SWATI ,S. LINI ,M, SHIMI ,S,L. Design and Simulation of Intelligent ControlMPPT Technique for PV Module UsingMATLAB/ SIMSCAPE , International Journal of Advanced Research in Electrical, Vol. 2, Issue 9, September 2013.
[20] BAGHER,A,M. VAHID, M,M,A.MOHSEN,M. Types of Solar Cells and Application. American Journal of Optics and Photonics,2015, 3(5): 94-113.
[21] PRINSLOO,G.DOBSON,R.solar tracking. South Africa,2015, ISBN: 978-0-620-61576-1.
[22] ASHOOR,F. Maximum power point tracking techniques for photovoltaic water pumping system. University of Bath, May, 2015.
[23] 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.
[24]. O.Gerglud, "Analysis and experimental validation of various photovoltaic system models ",PhD-thesis , Mc Gill University Montreal, Canada, 2002
[25] LAL,S. DHIMAN,R..SINHA,M. Analysis Different MPPT Techniques for Photovoltaic System . International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 6, December 2012 .
[26] BOGARAJ, T. KANAGARAJ, J SHALINI, E. Fuzzy Logic Based MPPT for Solar PV Applications. international journal of innovative research in electrical, electronics, instrumentation and control engineering ,Vol. 2, Issue 6, June 2014.
[27]M .Bentoumi. « Poursuite du Point Maximale d'un Système Photovoltaïque par les Méthodes Intelligentes ». MEMOIRE DE MASTER Systèmes Electro Energétiques de Sources d'Energies Renouvelables. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA. JUIN 2016
[28] https://www.universalis.fr/encyclopedie/conversion-d-energie/
[29] M.Boukli-Hacene Omar, « Conception et Réalisation d'un Générateure Photovoltaique Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique »,These de Magister, Universite Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2010.
[30] YOUSSEF,A.ALTALBANY,M.Z. Intelligent Techniques for MPPT Control in Photovoltaic Systems: A Comprehensive Review. International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology,2014.
[31] ONAT,N; Recent Developments in Maximum Power Point Tracking Technologies for Photovoltaic Systems. International Journal of Photoenergy,2010

[32] ONS ,Z. AYMEN ,J. MOHAMED, M. C, AURELIAN. Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Modules Comparison of Neuro-Fuzzy “ANFIS” and Artificial Network Controllers Performances. INTERNATIONAL JOURNAL OF NEURAL NETWORKS and ADVANCED APPLICATIONS Volume 3, 2016.

[33]BOUALEM, DENDIB, "Technique conventionnelles et avanccée de poursuite MPPT pour des application photovoltaique : étude compartive.," Université Ferhat Abbes-Sétif Mémoire de Magister, Departement d'éléctronique TS4/6338, 2007.

[34]DJERIOU SALIM « Simulation d’un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone » MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE UNIVERSITE FERHAT ABBAS DE SETIF 03/07/ 2011

[35]Cédric CABAL „Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque Thèse de doctorat université de Toulouse III ,15/12/2008

[36]DJELLAL LEILA IMEMNE & DIB YASMINA"Etude comparative de deux commandes MPPT appliquées à un Système Photovoltaïque",MEMOIRE DE FIN D’ETUDE POUR L’OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER, Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, 22 Juin 2017

[37] 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

[38] 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.

[39] 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.

[40] 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.

[41] ABOUDA,S; NOLLET, F; ESSOUNBOULI,N; CHAARI,A;KOUBAA,Y. Design, Simulation and Voltage Control of Standalone Photovoltaic System Based MPPT .international journal of renewable energy research, Vol.3, No.3, 2013.

[42] 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

[43] ZADEY,S; DUTT,S. design of converter for low power photovoltaic conversion system International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering,Vol.2, 6, June, 2013.

[44] 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.

[45] 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.

[46] 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.

[47] IRENA. Solar Photovoltaics.International Renewable Energy Agency, Vol. 1, Issue4/5,june,2012.

[48] 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.

[49]Dr. BELAID LALOUNI Sofia , Maître de Conférences Classe B « Cours Energie Solaire Photovoltaïque »Université A.MIRA de BEJAIA,2015

[50]TERKI AMEL, « Contrôle Flou -Génétique Hybride d'un Moteur BLDC dans un Système de Pompage photovoltaïque »,Thèse de Doctorat ,Université Mohamed Khider –Biskra 2012

[51]AMRANI Abderrahim et BEN GLIA Ramdane, « Modélisation et Optimisation d'un système photovoltaïque interconnecté au réseau électrique»,MASTER ACADEMIQUE En Réseaux électriques ,Universite El Oued , 28/05/2017

[52] 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.

[53] 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

[54] Yahiaoui Yasmina.«Commande MPPT à base la logique floue et les algorithmes génétiques» Mémoire de Master. Université A.MIRA-BEJAIA.2013

[55] QIU,S. SCHERER,R,J. construction of an active control system for seismically excited structures using fuzzy logic techniques. World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C, Canada. No. 2654,August 1-6, 2004.

[56] AMINI,A. NIKRAZ,N. Proposing Two Defuzzification Methods based on Output Fuzzy Set Weights, I.J. Intelligent Systems and Applications, 2016, 2, 1-12.

[57] 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.

[58] 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.

[59] SOUFI,Y; BECHAOUET,M; BOUKADOUM,A; BAHI, TAHAR. Fuzzy logic control of Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic system. Vol.2,2014.

[60] KANSAL,V. KAUR,A. Comparison of Mamdani-type and Sugeno-type FIS for Water Flow Rate Control in a Rawmill. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 6, June-2013.

[61] MORALES,D.S; Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications.Aalto university school of science and technology,14.12.2010.

[62] SAAVEDRA,S,G. Analysis and simulation of shading effects on photovoltaic cells. International Journal of Computer Applications, June 2016

[63] Introduction to Genetic Algorithm, http:// www.rennard .org/ alife/ english/ gavintrgb .html. [Accessed 25 june 2016].

[64] Introduction to Genetic Algorithm.http:// www.cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga.[Accessed 25 june 2016].

[65] KUMAR,A. KUMAR,A. ARORA,R. Overview of Genetic Algorithm Technique for Maximum Power Point Tracking (MPPT) of Solar PV System. International Journal of Computer Applications , 2015.

[66] KORA,P. YADLAPALLI.P. Crossover Operators in Genetic Algorithms: A Review International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 162 – No 10, March 2017.
[67] KUMAR,A. ENCODING SCHEMES IN GENETIC ALGORITHM. International Journal of Advanced Research in IT and Engineering. Vol. 2 , No. 3,March 2013.
[68] BAJPAI,p. Genetic Algorithm – an Approach to Solve Global Optimization Problems. Indian Journal of Computer Science and Engineering.Vol .1,2013, No 3 199-206.
[69] MALLIKA,S.SARAVANAKUMAR,R.genetics algorithm based mppt controller for photovoltaic system. International Electrical Engineering Journal (IEEJ) Vol. 4 (2013) No. 4, pp. 1159-1164.
[70] PENCHEVA,T. ATANASSOV,K. SHANNON,A. Modelling of a Stochastic Universal Sampling Selection Operator in Genetic Algorithms Using Generalized Nets. Tenth Int. Workshop on Generalized Nets Sofia, 5 December 2009, 1-7.
[71] MAGALHES,J. A Comparative Study of Crossover Operators for Genetic Algorithms to Solve the Job Shop Scheduling Problem. Issue 4, Volume 12, April 2013
[72] Umbarkar,A,J.Sheth,p,d.CROSSOVER OPERATORS IN GENETIC ALGORITHMS: A REVIEW. ictact journal on soft computing, october 2015, volume: 06.
[73] ALABSI,F. NAOUM,R. Comparison of Selection Methods and Crossover Operations using Steady State Genetic Based Intrusion Detection System. Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, VOL. 3, NO.7, July 2012.
[74] BHANDARI ,D. MURTHY, C,A. PAL, S,K. Variance as a Stopping Criterion for Genetic Algorithms with Elitist Model. Fundamenta Informaticae 120 (2012) 145–164. [75] GUO,C. YANG,X. A Programming of Genetic Algorithm in Matlab7.0. Modern Applied Science ,Vol. 5, No. 1, February 2011.
[76] ALABSI,F. Fitness Function for Genetic Algorithm used in Intrusion Detection System. International Journal of Applied Science and Technology. Vol. 2 No. 4; April 2012.
[77] Solmetric, Guide To Interpreting I-V Curve Measurements of PV Arrays, 1 March 2011. http://www.solmetric.com/newsletters.html. [Accessed 5 April 2017].
[78] PACHPANDE, S,G. Studying the effect of shading on Solar Panel using MATLAB .International Journal of Science and Applied Information Technology. Volume 1, No.2,May – June 2012.
[79] CHIN ,CM, NEELAKANTAN, S, P. YOONG ,H ,P. TEO ,K,T, K. optimisation of fuzzy based maximum power point tracking in pv system for rapidly changing solar irradiance.global journal of technology& optimization,volume 2,2011.