



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي بجامعة الشهيد حمة لخضر الوادي



كلية التكنولوجيا

قسم الهندسة الكهربائية

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي

تخصص: شبكات كهربائية

الموضوع

تحليل مقارنة بين تقنيتي المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC في
تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

من إعداد الطلبة: وقادي ياسين – زكري عبدالله - حتيري عبد القدوس

تحت إشراف :

د. قايد عماد الدين

رئيس اللجنة	جامعة الوادي	أستاذ محاضر	سرهود هشام
المشرف	جامعة الوادي	أستاذ محاضر	قايد عماد الدين
المناقش	جامعة الوادي	أستاذ محاضر	جعفر تومي

السنة الجامعية : 2024/2023

شكر وتقدير

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: "من لم يشكر الناس لم يشكر الله". صدق رسول الله صلى الله عليه وسلم. الحمد لله على إحسانه، والشكر له على توفيقه وامتنانه، ونشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له تعظيمًا لشأنه، ونشهد أن سيدنا ونبينا محمدًا عبده ورسوله، صلى الله عليه وعلى آله وأصحابه وأتباعه وسلم.

بعد شكر الله سبحانه وتعالى على توفيقه لنا لإتمام هذا البحث المتواضع، نتقدم بجزيل الشكر إلى الوالدينا الذين أعانونا وشجعونا على الاستمرار في مسيرة العلم والنجاح وإكمال الدراسة الجامعية .

كما أتوجه بالشكر الجزيل إلى من شرفنا بإشرافه على مذكرة بحثنا، الدكتور "قاييد عامر"، الذي لن تكفي حروف هذه المذكرة لإيفائه حقه بصبره الكبير علينا، ولتوجيهاته العلمية التي لا تقدر بثمن والتي ساهمت بشكل كبير في إتمام واستكمال هذا العمل . ونشكر جميع أساتذة قسم العلوم والتكنولوجيا، كما أتوجه بخالص شكرنا وتقديرنا إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد على إنجاز وإتمام هذا العمل.

الطالبة: وقادي ياسين_زكري عبدالله _حتيري عبد لقدوس

الاهداء

أيام مضت من عمرنا بدأناها بخطوة وها نحن اليوم نقطف ثمار مسيرة أعوام كان هدفنا فيها واضحاً وكنا نسعى في كل يوم لتحقيقه والوصول إليه مهما كان صعباً، وها نحن وصلنا وببيدنا شعلة علم وسنحرص عليها كل الحرص حتى لا تنطفئ، و ولحمد و شكرا لله أولاً على توفيقه لنا، ثم الشكر لاهلنا حفظهما الله وراعاهم

وكل الشكر وتقدير للإستاذ قايد عامر على الجهود التي بذلها لمساعدتنا والنصح والتشجيع والتصحيح

كما نشكر جميع أعضاء الهيئة التدريسية والإدارية الذين ساهموا في تعليمنا الجامعي

وفي الأخير، أتمنى أن يكون هذا العمل مساهمة صغيرة في عالم المعرفة، وأن يكون له أثراً ملموساً ونافعاً يستفيد منه جميع الطلبة المتربصين المقبلين على التخرج

فهرس المحتويات

.....	شكر وتقدير
.....	الاهداء
.....	فهرس المحتويات
.....	قائمة الوثائق
.....	قائمة الجداول
.....	قائمة المختصرات
.....	المقدمة العامة

الجزء النظري

الفصل الأول: دراسة أنظمة الطاقة الشمسية وتأثيرات التغير المناخي

17	1.1 تمهيد.....
17	2.1 الخلية الكهروضوئية :.....
18	3.1 آلية عمل الخلية كهربيائية:.....
19	4.1 مميزات و عيوب الخلية الكهروضوئية:.....
19	5.1 طريقتين لتوصيل الخلية الشمسية.....
19	1.5.1 توصيل الخلايا الشمسية على التوازي :.....
20	2.5.1 التوصيل الخلايا الشمسية على التوالي :.....
20	6.1 أنواع الخلايا الكهروضوئية :.....
20	1.6.1 الخلايا السليكونية أحادية التبلور (Mono-crystallin):.....
21	2.6.1 الخلايا السليكونية متعددة البلور (Polycrystalline) :.....
21	3.6.1 الخلايا السليكونية المورفيه:(Amorphous).....
22	7.1 المولد الكهروضوئي (GPV) :.....
22	8.1 الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية :.....
26	9.1 العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الكهروضوئية :.....
26	10.1 نموذج محاكاة:.....

27	11.1. تأثير الإشعاع الشمسي على منحنيات خواص الجهد و التيار للخلية:
28	12.1. تأثير درجة الحرارة على منحنيات خواص الجهد و التيار للخلية:
29	13.1. تأثير نظام التبريد والتهوية على كفاءة الخلية الكهروضوئية:
30	14.1. فوائد استخدام أنظمة التبريد والتهوية
30	15.1. كفاءة الخلايا الكهروضوئية :
32	16.1. مزايا و عيوب الطاقة الكهروضوئية:
33	17.1. قطاعات التطبيق :
34	18.1. الخلاصة

الفصل الثاني: تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

36	1.2. تمهيد
37	2.2. مكونات النظام الكهروضوئي
38	3.2. منظمات الشحن
39	4.2. منظم الشحن البسيط Shunt Charge Controller
39	5.2. منظم الشحن النابض Pulse Width Modulation PWM
41	6.2. مبدأ عمل تقنية PWM تعديل عرض النبض
45	7.2. مميزات و عيوب تقنية PWM:
46	8.2. استخداماته
46	9.2. منظم الشحن MPPT وهو اختصار Maximum Power Point
47	10.2. تقنية الملاحقة MPPT
48	11.2. مبدأ عمل MPPT
48	1.11.2. مفهوم نقطة الطاقة القصوى (MPP) :
49	2.11.2. مبدأ عمل MPPT
52	12.2. تقنيات التحكم MPPT
52	2.12.2. الطريقة غير المباشرة:
52	13.2. استخدامات MPPT :
53	14.2. مزايا و عيوب MPPT

53: مقارنة بين PWM و MPPT

54DC-DC Converter محولات التيار المستمر

57 (Buck Converter) محول التيار المستمر الخافض للجهد

60 (Boost Converter) : محول التيار المستمر الرافع للجهد

63 (Buck-Boost Converter) محول خافض-رافع

66 (Converter Continu-Alternatif) مبدل التيار المستمر - المتناوب

67الخلاصة

الفصل الثالث: دراسة تقنيتي المنطق الضبابي وتقنية التوصيل التزايدي IC

691.3 تمهيد

692.3 تقنية التوصيل التزايدي IC

703.3 مبدا عمل تقنية التوصيل التزايدي IC

714.3 مراحل عمل التقنية التوصيل التزايدي IC

735.3 مزايا و عيوب تقنية التوصيل التزايدي (IC)

746.3 استخدامات تقنية التحكم التزايدي (IC)

747.3 المنطق الضبابية Fuzzy logic

788.3 دوال العضوية Membership Functions

789.3 انواع دوال العضوية Membership Functions

8010.3 مراحل عمل المتحكم الضبابي Fuzzy logic

811.10.3 مرحلة التضييب (Fuzzification):

812.10.3 مرحلة القواعد الأساسية ومحرك الاستدلال (inference engine & Rule base):

813.10.3 مرحلة فك التضييب (Defuzzification):

8311.3 خطوات تشكل عملية تحليل ومعالجة المعلومات في المنطق الضبابي

8512.3 الاستخدامات المتحكم الضبابي

8713.3 خلاصة

الجزء التطبيقي

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

1.4	مقدمة	90
2.4	نموذج MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية التوصيل التزايدى (IC)	91
3.4	تعليق على نتائج محاكاة طريقة تتبع نقطة القدرة القصوى باستخدام: التوصيل التزايدى (IC)	94
4.4	نتائج محاكاة طريقة تتبع نقطة القدرة القصوى باستخدام تقنية MPPT الضبابية:	95
5.4	نموذج MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية المنطق الضبابي:	95
6.4	مقارنة بين الأوامر الاثنين لتتبع نقطة القدرة القصوى IC (MPPT) والتي تعتمد على المنطق الضبابي:	96
7.4	مزايا و عيوب تقنية التوصيل التزايدى (IC) : خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.	96
8.4	مزايا و عيوب المنطق الضبابي: خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.	98
9.4	جدول يلخص المقارنة بين تقنية التوصيل التزايدى IC والمنطق الضبابي:	100
	خلاصة الفصل	100
	الخاتمة	101
	قائمة المراجع	104

قائمة الجداول

- الجدول (1.1): يوضح خصائص النموذج الفوتوفولتي من نوع KC200GT 26
- الجدول (1-2) دورة التشغيل الأنواع المبدلات المختلفة 45
- الجدول (2-2) مقارنة المبدلات التيار المستمر 66
- الجدول (2.1): معلمات المحول 91
- الجدول (1-3) متغيرات غامضة لوظيفة العضوية 76
- الجدول (2-3) قاعدة تحكم المنطق الغامض 77
- جدول (1.4) يوضح المقارنة بين تقنية التوصيل التزايدي والمنطق الضبابي خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.

قائمة الصورة:

- 18 الصورة (1-1) تبين بنية الخلية الكهروضوئية
- 19 الصورة (2-1) الية عمل الخلية الكهروضوئية. [7]
- 20 الصورة (3-1) التوصيل على التوازي للخلايا الكهروضوئية [8]
- 20 الصورة (4-1) التوصيل على التوالي للخلايا الكهروضوئية. [8]
- 21 الصورة (5-1) (ا-ب-ج): أنواع الخلايا الكهروضوئية.
- 22 الصورة (6-1) الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية. [9]
- الصوره (7-1) خاصية P-V للمولد الكهروضوئي و (I-V) و خاصية I-V للمولد الكهروضوئي.
- 23 الصورة (8-1) منحني الخواص لكل من (I-V) و (P-V) للوح.
- 23 الشكل (9.1): مخطط محاكاة لوحدة PV من نوع KC200GT.
- 27 الصورة (10-1) يوضح تأثير الإشعاع الشمسي على خاصية التيار بدلالة الجهد
- 28 الصورة (11-1): يوضح تأثير الإشعاع الشمسي على خاصية الاستطاعة بدلالة الجهد.
- 28 الصورة (12-1) تأثير درجة الحرارة على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد.
- 29 الصورة (13-1) : تأثير درجة الحرارة على مميزة التيار بدلالة الجهد
- 31 الصورة (14-1) الانتقال من الخلية إلى الموديول إلى لوح الخلايا الكهروضوئية [15].
- 38 الصورة (1-2) المخطط الصندوقي لمكونات النظام الكهروضوئي [19].
- 39 الصورة (2-2) للمنظم الشحن البسيط.
- 40 صورة (3-2) للمنظم الشحن PWM.
- 41 صورة (4-2) توضح طريقة ربط منظم الشحن PWM بالبطارية و اللوح الشمسي
- 41 الصورة (6-2) دورة عمل تعديل عرض النبضة.
- 42 الصورة (5-2) توضح دورة عمل تعديل عرض النبضة
- 43 الصورة (7-2) توضح المخطط الصندوقي لجهاز PWM في النظام الكهروضوئي
- 47 صورة (8-2) توضح شكل جهاز للمنظم الشحن
- 48 صورة (9-2) توضح طريقة ربط منظم الشحن MPPT بالبطارية و اللوح الشمسي
- 49 صورة (10-2) منحني يظهر العلاقة بين التيار والجهد عند مخرجاته
- 50 الصورة (11-2) إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة (a) بعد تغيير في الإضاءة [23]
- 50 الصورة (12-2) إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة (b) بعد تغيير في الحمل [23]
- الصوره (13-2) إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة (C) بعد تغير في درجة الحرارة. [23]
- 51 الصورة (14-2) تبين الدارة المكافئة لمبدلات التيار المستمر [24]
- 55 الصورة (15-2) موجة جهد الخرج V_o المبدل التيار المستمر [24]
- 56 الصورة الصورة (16-2) العلاقة بين القيمة لجهد الخرج الشكل D [24]
- 56 صورة (17-2) توضح الدائرة الكهربائية المكافئة للمحول الخافض للجهد. [25]
- 57

صورة (2-18) آلية عمل المحول الخافض في حالة المفتاح الإلكتروني مغلق [25].....	58
صورة (2-19) آلية عمل المحول الخافض في حالة المفتاح الإلكتروني مفتوح [25].....	58
الصورة (2-20) توضح الجهود والتيارات تبعاً لحالة المفتاح [25].....	59
صورة (2-21) توضح الدائرة الكهربائية المكافئة للمحول الرفع للجهود. [25].....	60
صورة (2-22) توضح آلية عمل المحول الرفع للجهود في حالة المفتاح الإلكتروني مغلق. [25].....	61
صورة (2-23) آلية عمل المحول الرفع في حالة المفتاح الإلكتروني مفتوح. [25].....	61
الصورة (2-24) الجهود والتيارات تبعاً لحالة المفتاح [25].....	62
صورة (2-25) الدائرة الكهربائية المكافئة للمحول الخافض-الرفع للجهود [25].....	63
صورة (2-26) توضح آلية عمل المحول الخافض-الرفع في حالة المفتاح الإلكتروني مغلق. [25].....	64
صورة (2-27) توضح آلية عمل المحول الخافض-الرفع في حالة المفتاح الإلكتروني مفتوح. [25].....	65
صورة (3-1) توضح طريقة تحديد موضع نقطة العمل بناءً على التغير في القدرة (dP/dV)	72
الصورة (2.3): توضح تقنية MPPT المعتمدة على طريقة IC	73
صورة (3-3) للمتحكم Mamdani [42].....	75
صورة (4-3) للمتحكم Sugeno [42].....	75
صورة (3-5) وظائف العضوية للتسريع.....	83
صورة (3-6) وظائف العضوية لتغير السرعة.....	83
صورة (3-7) وظائف العضوية للتوتر.....	83
صورة (3-9) توضح شكل الدالة شبه المنحرفة [44].....	79
صورة (3-10) توضح شكل الدالة ذات الشكل الجرسى [44].....	80
الصورة (3-11) توضح مبدأ عمل المنطق الضبابي [44].....	80
صورة (3-12) يوضح الخطوات التي تشكل عملية تحليل ومعالجة المعلومات في المنطق الضبابي [42].....	84
الصورة (1.4): رسم تخطيطي لـ MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية التوصيل التزايدى (IC)	91
الصورة (2.4): تباين الاستضاءة.....	92
الصورة (3.4): تغير درجات الحرارة.....	92
الصورة (4.4): خصائص $P(t)$ للنظام الكهروضوئي.....	92
الصورة (5.4): خصائص $v(t)$ للنظام الكهروضوئي.....	93
الصورة (6.4): خصائص $i(t)$ للنظام الكهروضوئي.....	93
الصورة (7.4): خصائص $p(v)$ للنظام الكهروضوئي.....	94

- الصورة (8.4): الخصائص $i(v)$ للنظام الكهروضوئي. 94
- الصورة (9.4): نموذج MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية المنطق الضبابي. 96
- الصورة (10.4): مخطط عام للتحكم بتقنية MPPT الضبابية. 96
- الصورة (11.4): تغيير القدرة مع الوقت باستخدام المنطق الضبابي والتحكم التزايدى في نظام الخلايا الشمسية. 97
- الصورة (12.4): تغيير التيار مع الوقت باستخدام المنطق الضبابي والتحكم التزايدى في نظام الخلايا الشمسية. 97
- الصورة (13.4): تغيير الجهد مع الوقت باستخدام المنطق الضبابي والتحكم التزايدى في نظام الخلايا الشمسية. 98

قائمة المختصرات

المولد الكهروضوئي	GPV
التيار المثالي للمولد أو خلية.	Iop
سلسلة المقاومة للمولد الكهروضوئي	Rs
درجة حرارة الخلية الفعالة	T
الجهد الحراري	Vth
جهد الخرج للوحة الكهروضوئية	Ipv
التيار المتدفق من خلال المقاوم	Ip
درجة الحرارة المرجعية للخلايا الكهروضوئية درجة كلفن	Tréf
مقاومة التحويل للخلية الكهروضوئية	RP
سلسلة المقاومة للخلية الكهروضوئية	RS
عدد الخلايا في السلسلة	NS
عدد الخلايا على التوازي	NP
عامل المثالية للتقاطع الخلية الكهروضوئية -p n	A
جهد الوحدة الكهروضوئية عند نقطة الطاقة القصى [V].	Vmpp=Vm
تيار الوحدة الكهروضوئية عند أقصى نقطة طاقة	Impp=Im
لتيار المرجعي للوحدة الكهروضوئية عند نقطة الطاقة	Imr
مقاومة التصفية	RL
جهد المولد الكهروضوئي	Vpv

جهد الدائرة المفتوحة	Voc
الجهد المثالي لمولد أو خلية	Vop
الطاقة القصوى للمولد الكهروضوئي	Pmax
الكهروضوئية	PV
نقطة القدرة القصوى	MPP : Maximum Power Point
تقرير دوري	D
تتبع نقطة القدرة القصوى	MPPT : Maximum Power Point Tracking
تغيير دور العمل	ΔD
شحنة الالكترون	شحنة الالكترون $1.6 \times 10^{-19} C$
المنطق الضبابي	Fuzzy logic
اضطراب و مراقبة	P&O : Perturb and Observe
توصيل التزايدي IC	Inc. Cond: Increment of Conductance.

الملخص

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة البديلة والمتجددة. التي يسعى العالم لاستغلالها في توليد الطاقة الكهربائية، ورغم توافرها الكبير وانخفاض تأثيرها البيئي، فإن كفاءة الأنظمة الشمسية تبقى منخفضة نسبياً بسبب تغيرات البيئة مثل الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. وفي ضل هذه الكفاءة المنخفضة يهدف هذا البحث الى دراسة و تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية بالإضافة الى دراسة حول منظمات الشحن كل من MPPT و PWM ولمقارنة بينهم مع دراسة حول المحولات DC-DC بهدف تحسين كفاءة النظام الكهروضوئي

أظهرت النتائج أن منظم الشحن MPPT أكثر فعالية في ظروف معينة بسبب قدرته على تحديد نقطة القدرة القصوى للوحات الشمسية بدقة أكبر مقارنةً بمنظم الشحن PWM الذي يظل فعالاً في العديد من التطبيقات الأخرى

يبر محول الخافض للجهد (Buck Converter) كالأكثر فعالية و ذلك لتحقيقه استقرار عال عند القيم العالية لدورة التشغيل (Duty Cycle)

تم استخدام برنامج MATLAB/Simulink لتنفيذ المحاكاة لدراسة أثر استخدام تقنية التحكم بالمنطق الضبابي وتقنية التوصيل التزايدي (IC) في تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT) في أنظمة الطاقة الشمسية. أظهرت النتائج أن تقنية التوصيل التزايدي (IC) تحقق كفاءة في تتبع النقطة القصوى للطاقة، لكنها تفنقر إلى الدقة والسرعة مقارنة بتقنية المنطق الضبابي. بالمقابل، أظهرت تقنية المنطق الضبابي أداءً متفوقاً بفضل سرعة الاستجابة ودقة النتائج، إلى جانب قدرتها على التكيف مع التغيرات الجوية. هذه النتائج تشير إلى أن تقنية التحكم بالمنطق الضبابي توفر أداءً أفضل لأنظمة الطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية: النظام الكهروضوئي. ملاحظة نقطة الاستطاعة الأعظمية MPPT و التوصيل التزايدي IC و المنطق الضبابي Fuzzy logic و المبدل المستمر الخافض للجهد DC-DC

Abstract

The solar energy is considered one of the most important alternative and renewable energy sources that modern societies seek to utilize for electricity generation. Despite its vast availability and low environmental impact, the efficiency of solar systems remains relatively low due to environmental variations such as solar irradiance and temperature changes. In light of this low efficiency, this research aims to study and analyze a comparison between two controllers: fuzzy logic controller and incremental conductance (IC) controller in tracking the maximum power point (MPPT) for photovoltaic systems. Additionally, the study investigates charge controllers, namely MPPT and PWM, comparing them along with a study on DC-DC converters to enhance the efficiency of the photovoltaic system.

The results show that the MPPT charge controller is more efficient under certain conditions due to its ability to accurately determine the maximum power point of solar panels compared to the PWM charge controller, which remains effective in many other applications.

The Buck Converter is found to be the most efficient among DC-DC converters due to its ability to achieve high stability at high duty cycle values

MATLAB/Simulink software was utilized to execute simulations to study the impact of using fuzzy logic control and incremental conductance (IC) techniques in tracking the maximum power point (MPPT) in solar energy systems. The results indicate that the IC technique achieves efficiency in tracking the maximum power point but lacks accuracy and speed compared to the fuzzy logic technique. On the other hand, the fuzzy logic technique demonstrates superior performance due to its fast response time, accuracy, and adaptability to weather changes. These findings suggest that fuzzy logic control provides better performance for solar energy systems.

Keywords: Photovoltaic system, maximum power point tracking (MPPT), incremental conductance (IC), fuzzy logic, DC-DC buck converter.

المقدمة العامة

المقدمة العامة

ان ارتفاع أسعار الطاقة هو مشكلة عالمية تُثير القلق بسبب تأثيراتها السلبية على الاقتصاد والبيئة. هذا الارتفاع يرتبط بشكل رئيسي بزيادة استخدام الوقود الأحفوري مثل النفط والغاز والفحم. هذه الموارد تُعتبر المصدر الرئيسي للطاقة في العالم، واعتماد الاقتصاد العالمي عليها يجعلها عرضة للتقلبات في أسعار السوق والتغيرات الجيوسياسية.

مع تزايد الطلب على الطاقة وتضاؤل الموارد الطبيعية الغير المتجددة، فإن اعتمادنا المستمر على الوقود الاحفوري يؤدي إلى تدهور البيئة وزيادة انبعاثات الغازات الدفيئة، مما يساهم في تغير المناخ وتسارع معدلات الاحتباس الحراري.

و في مقابل ذلك تتوفر طاقات بديلة في كافة بقاع العالم وهي طاقة نظيفة وغير ملوثة للجو ومتجددة ومستدامة. وهناك العديد من أنواع الطاقات المتجددة، منها الطاقة الشمسية و طاقة الرياح و الطاقة المائية و الطاقة الحرارية الأرضية و الطاقة الحركية وغيرها ، وهناك تطورات وأشكال جديدة تظهر باستمرار في هذا المجال

و من إحدى الطاقات المتجددة الأكثر أهمية هي الطاقة الشمسية، ، ويعود ذلك إلى عوامل عدة منها استدامتها، وفرتها، وتنوع استخداماتها. تعتمد هذه الطاقة على إشعاع الشمس الذي يصل إلى سطح الأرض. حيث يبلغ إجمالي الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض من الفضاء الخارجي حوالي 174 بيتاواط، حيث يتم امتصاص جزء منه وينعكس جزء آخر. فمن هذا المجموع، يمتص الغيوم والبحار والمحيطات و سطح الأرض ما يقدر بحوالي 122 بيتاواط، في حين يتم انعكاس حوالي 30% من إجمالي الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض. [1]

و تقدم الشمس كمية هائلة من الطاقة إلى الكرة الأرضية في غضون ساعة واحدة،و تُقدَّر بكمية تفوق ما تحتاجه الأرض من الطاقة لمدة سنة كاملة تقريبًا. بالإضافة إلى ذلك، يمكننا أن نقول أن الكمية الكلية من الطاقة التي تستقبلها الأرض من الشمس خلال عام واحد تبلغ ما يقارب ضعفي استهلاك الطاقة الحالي والمكتشف والمقدر من مصادر الطاقة الأخرى مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي وطاقة اليورانيوم النووية . ويعود هذا الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية إلى توافرها بشكل متجدد و متجدد على مدار السنة [2]. مما يجعلها مصدرًا مستدامًا للطاقة. بالإضافة إلى ذلك، يمتاز استخدام الطاقة الشمسية بعدة فوائد بيئية منها الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة وتقليل التلوث البيئي.

وتستخدم الطاقة الشمسية بطريقتين رئيسيتين لتلبية احتياجاتنا الطاقوية بطريقة مستدامة ونظيفة. الطريقة الأولى هي الطاقة الشمسية الحرارية، حيث يتم تجميع وتركيز أشعة الشمس

المقدمة العامة

باستخدام مرآيا أو عدسات خاصة لتوليد الحرارة، ومن ثم يتم استخدام هذه الحرارة لتوليد البخار وتشغيل مولدات الكهرباء.

أما الطريقة الثانية فهي الطاقة الشمسية الكهربائية، حيث يتم استخدام الألواح الشمسية أو الخلايا الشمسية لتحويل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية. ويعتبر استخدام الطاقة الشمسية خطوة مهمة نحو تحقيق الاستدامة البيئية وتقليل التلوث، ويمثل بديلاً مستداماً للاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري والطاقة النووية [1] و [2]

تُعتبر كفاءة الألواح الشمسية في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، التي تتراوح بين 15% إلى 30%، منخفضة نسبياً. وتختلف كفاءة التحويل بين لوحة شمسية وأخرى، وتعتمد على عدة عوامل مثل نوع الخلايا المستخدمة، وتكنولوجيا التصنيع، وجودة المواد، وظروف البيئة المحيطة. [3]

ومن أجل تحسين كفاءة الألواح الشمسية، تم تطوير نظام من قبل المهندسين الكهربائيين ويُعرف هذا النظام بـ"نظام تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT)" هذا النظام يتكون من جهاز يُسمى "متتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT controller)"، والذي يعمل على تتبع وضبط تيار الخارج من الألواح الشمسية لضمان استخراج أقصى كمية من الطاقة الكهربائية المتاحة في أي ظروف من ظروف الإضاءة ودرجة الحرارة [4]

وتستمر الجهود المبذولة من قبل العلماء والباحثين والمهندسين الكهربائيين بهدف تحسين كفاءة الألواح الشمسية ومن نتائج الجهود المبذولة بداية من تقنية MPPT وصولاً إلى مجموعة من المتحكمات أو تقنيات متنوعة مثل تقنية وحدات التحكم PID و المنطق الضبابي Logic Flow والتوصيل التزايدي IC اضطراب و مراقبة P&O وغيرها. وتهدف هذه التقنيات إلى عدة عوامل، بما في ذلك تحسين أداء الألواح الشمسية في ظروف متغيرة، وزيادة كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وتحسين استجابة الأنظمة الشمسية للتغيرات في الظروف البيئية. باختصار الهدف الأساسي هو تحقيق أقصى كفاءة ممكنة في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. [4]

❖ هدف البحث

هو إجراء تحليل مقارنة متعمقة بين تقنيات المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية، بهدف تحديد الفوارق والتشابهات بين الطريقتين، وتحليل أدائهما وكفاءتهما في تحقيق تتبع نقطة الطاقة القصوى، وذلك لتحديد التقنية الأفضل والأكثر فعالية في تحسين أداء كفاءة الطاقة الشمسية.

❖ تنظيم فصول الرسالة

تضمنت الرسالة الى أربعة فصول محتوى كل فصل كالآتي

❖ في الفصل الأول

دراسة و نمذجة النظام الكهروضوئي. كما سيتم استكشاف آلية عمل الخلايا الشمسية وتقديم استعراض شامل لأنواع الخلايا المتاحة. بالإضافة إلى ذلك، سيتم تقديم مفهوم المولد الكهروضوئي ودراسة تأثيرات تغير المناخ على أداء الأنظمة الكهروضوئية.

❖ في الفصل الثاني

سننتقل إلى تحليل مجموعة متنوعة من تقنيات الشحن المتاحة في مجال الطاقة الشمسية، وسنبرز أهميتها في تحسين كفاءة استخدام الطاقة الشمسية. سنقدم شرحاً مفصلاً للأهداف الرئيسية لكل تقنية بعد دراسة تفصيلية لكيفية عملها، مع التركيز على تحليل الفروق البارزة بينها بهدف توفير إطار فهم علمي عميق يمكن من خلاله اختيار التقنية المناسبة لتحسين كفاءة النظام الشمسي بطريقة فعالة.

❖ في الفصل الثالث

في هذا الفصل، سنقوم بدراسة مبدأ و مراحل عمل كل من المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC بشكل عام مع التركيز على تحسينها لنقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية من خلال تطبيقها. بالإضافة إلى ذلك، سنقوم بذكر الاستخدامات المختلفة لكل منها في مختلف المجالات الصناعية والتكنولوجية.

❖ الفصل الرابع والأخير

سيتم في هذا الفصل إجراء تحليل مقارن شامل لأداء المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية. سيتم تقييم كل تقنية بناءً على معايير متعددة مثل كفاءة التحكم واستجابة التغيرات وأداء التكيف مع ظروف التشغيل المتغيرة. ستستخدم النتائج المستخرجة من هذا التحليل المقارن لتحديد التقنية الأمثل التي يمكن استخدامها لتحسين أداء تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية.

الجزء النظري

الفصل الأول:

دراسة أنظمة الطاقة الشمسية وتأثيرات التغير المناخي

1.1. تمهيد

تُعرف الطاقة الشمسية الكهربائية، أو الطاقة الشمسية الفوتوفولتية، بكونها عملية تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية. وتعتمد هذه العملية على الخصائص الإلكترونية لبعض المواد، مثل السليكون ومركبات أخرى مثل تولوريد الكاديوم وأرسينيد الكالسيوم. وتُصنف هذه المواد ضمن مجموعة أشباه الموصلات.

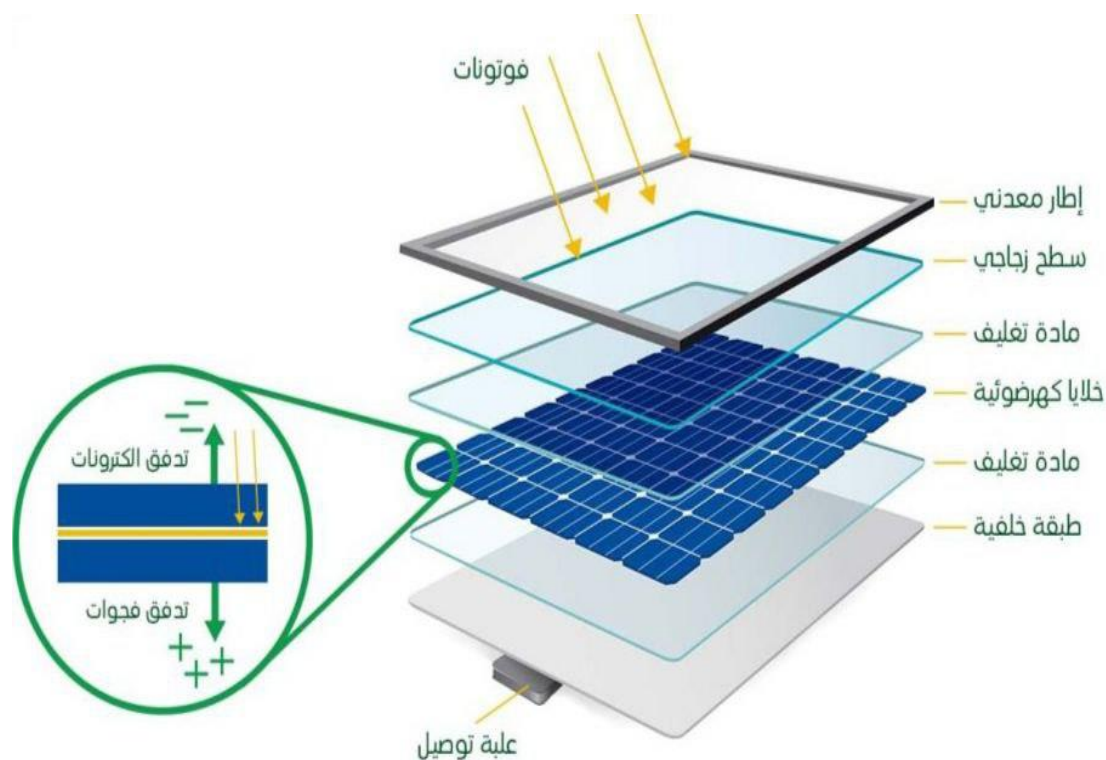
يتم تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية من خلال مكونات إلكترونية دقيقة تُعرف باسم الخلايا الشمسية أو الخلايا الكهروضوئية.

يهدف هذا الفصل إلى شرح مفهوم المولد الكهروضوئي والتركيب الأساسي للخلية الشمسية. كما سنناقش أنواع الخلايا الشمسية المختلفة والدارة المكافئة لها، بالإضافة إلى العوامل المؤثرة على كفاءتها [5].

2.1. الخلية الكهروضوئية :

الخلية الكهروضوئية، أو الخلية الشمسية، هي جهاز إلكتروني صغير مصنوع من مواد أشباه الموصلات، مثل السليكون أو الجيرمانيوم، قادرة على تحويل ضوء الشمس ، بشكل مباشر، إلى تيار كهربائي مستمر من خلال ظاهرة التأثير الكهروضوئي... وتتكون الخلية الكهروضوئية من طبقات متعددة، كلٌّ منها يلعب دورًا محددًا في عملية تحويل الطاقة حيث تتكون من [6]

1. **إطار معدني :** يعمل الإطار المعدني كهيكل قوي للخلية الشمسية، حيث يوفر الدعم والحماية لباقي المكونات
2. **سطح زجاجي :** يعمل السطح الزجاجي كغطاء للخلية الشمسية، حيث يحمي الخلايا الكهروضوئية من العوامل البيئية الخارجية مثل الرطوبة والغبار، كما يسمح بمرور الضوء إلى الخلايا.
3. **مادة تغليف :** تستخدم مادة التغليف لربط وتثبيت الخلايا الكهروضوئية على السطح الزجاجي وتقوم بعزلها وحمايتها.
4. **خلايا كهروضوئية :** هذه هي المكون الرئيسي للخلية الشمسية، حيث تحول الضوء المباشر من الشمس إلى تيار كهربائي باستخدام العملية الفيزيائية المعروفة باسم الفوتوفولتائية
5. **مادة تغليف :** تستخدم مادة التغليف أيضًا لحماية الخلايا الكهروضوئية وعزلها، وقد تكون مادة بلاستيكية خاصة تحمي الخلايا من التآكل والتلوث
6. **طبقة خلفية :** تقوم الطبقة الخلفية بتأمين الخلايا الكهروضوئية وتوفير دعم إضافي، وقد تكون مصنوعة من مواد عازلة أخرى لتعزيز عزل الخلية وتحميتها.

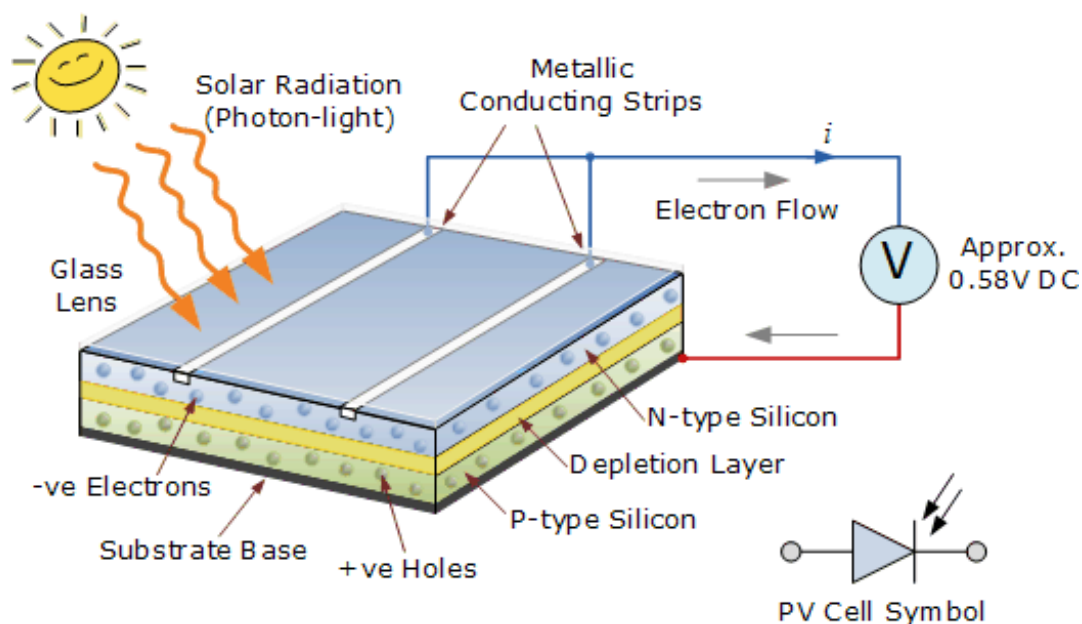


الصورة (1-1) تبين بنية الخلية الكهروضوئية .

3.1. آلية عمل الخلية كهربائية:

تتكون الخلية الشمسية من وصلة من طبقتين خفيفتين من مادة شبه موصلة احدهما موجبة تدعى (p) والثانية سالبة تدعى (N). يتكون الجزء **P** من شبه موصل نقي يتم تشويبه بذرات ثلاثية التكافؤ مثل البورون .. البروم... الالمنيوم، لكي ترتبط كل ثلاث الكثرونات من ذرة الشوائب مع اربع ذرات من السليكون فتبقى اسرة واحدة ليس لها اي الكترون وبالتالي تصبح فجوة تحتاج الكترون تكافؤي مما يؤدي الى تكون مادة شبه موصلة غنية بالفجوات. اما الجزء **N** فهو بلورة سليكون يتم تشويبه بذرات خماسية التكافؤ مثل الفسفور الزرنيخ والانتيمون، لكي ترتبط كل 4 الكثرونات مع الكثرونات السليكون فيبقى الكترون فائض لكل ذرة فتصبح غنية بالالكثرونات وتكون هي حاملات الشحنة الاغلبية (السائدة). [7]

ويعتمد مبدأ عمل الخلايا الشمسية على امتصاص أشعة الشمس وتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية تمكن الاستفادة منها عبر هذه العملية. عند سقوط الأشعة الشمسية على سطح الخلية تحفز الفوتونات الساقطة الإلكترونات للانتقال عبر المنطقة الفاصلة بين الوصلتين التي تسمى بطبقة الاستنزاف وهذا الانتقال يؤدي إلى تكوين فرق جهد. وبالتالي سريان تيار كهربائي عبر الخلية يمكن الاستفادة منه .. و الصورة (2-1) تبين آلية عمل الخلية الكهروضوئية



الصورة (2-1) آلية عمل الخلية الكهروضوئية. [7]

كما ان هناك مميزات و عيوب للخلية الكهروضوئية نذكر منها

4.1 مميزات و عيوب الخلية الكهروضوئية:

❖ مميزات

- ✓ موثوقية عالية : لا تحتوي على أجزاء متحركة، مما يجعلها مقاومة للتلف والعطل.
- ✓ صيانة قليلة : لا تتطلب صيانة دورية أو إصلاحات مكلفة.
- ✓ صديقة للبيئة : لا تنتج أي انبعاثات ضارة، مما يساهم في الحد من تلوث البيئة.

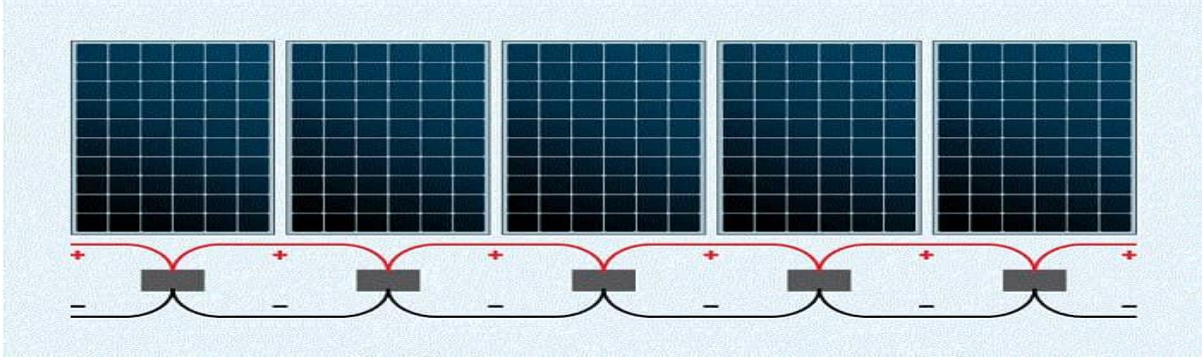
❖ عيوب:

- ✓ تكلفة مرتفعة : لا تزال عملية تصنيع الخلايا الكهروضوئية باهظة الثمن.
- ✓ كفاءة محدودة : تتأثر كفاءة الخلية بشدة بظروف الإضاءة ودرجة الحرارة.
- ✓ مساحة كبيرة : تتطلب توليد كميات كبيرة من الطاقة مساحات واسعة لتركيب الألواح الشمسية.

5.1 طريقتين لتوصيل الخلايا الشمسية

1.5.1 توصيل الخلايا الشمسية على التوازي :

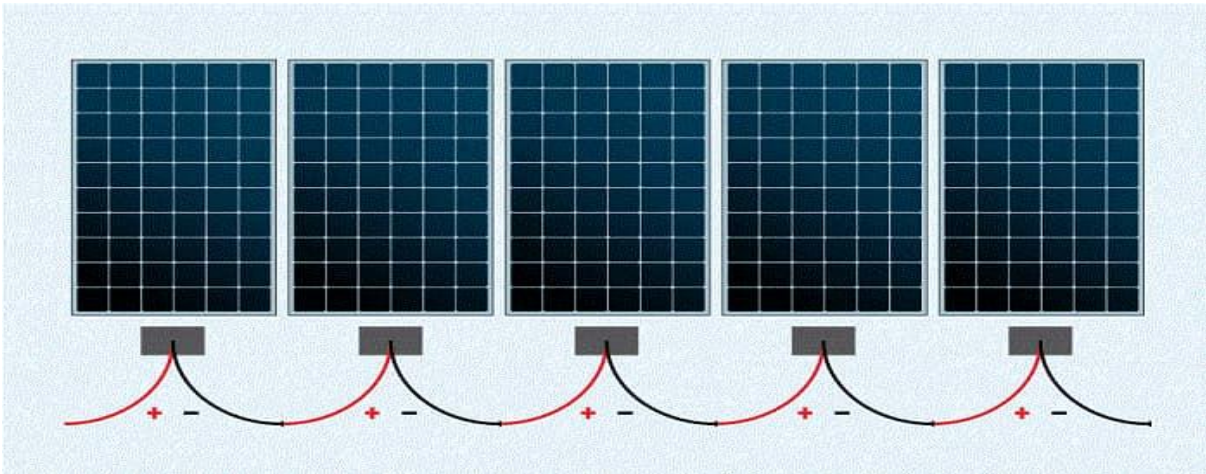
يتم عبر توصيل البدايات مع البدايات والنهايات مع النهايات، (موجب مع موجب وسالب مع سالب) مما يحافظ على الجهد المتساوي. بالإضافة إلى ذلك، يتم جمع قيم التيارات المختلفة لزيادة التيار الكلي وبالتالي زيادة الطاقة الإجمالية [8]، كما هو مبين في الصورة (3-1)



الصورة (3-1) التوصيل على التوازي للخلايا الكهروضوئية [8]

2.5.1. التوصيل الخلايا الشمسية على التوالي :

يتم توصيل النهايات مع البدايات، حيث يتم توصيل (الموجب مع السالب والسالب مع الموجب) للحفاظ على التيار المتساوي. بالإضافة إلى ذلك، يتم جمع قيم الجهود المختلفة لجميع الخلايا الشمسية لرفع فرق الجهد الكلي [8]، كما هو مبين في الصورة (4-1)



الصورة (4-1) التوصيل على التوالي للخلايا الكهروضوئية. [8]

6.1. أنواع الخلايا الكهروضوئية :

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

1.6.1. الخلايا السليكونية أحادية التبلور (Mono-crystallin):

تصنع هذه الخلايا من قطع رقيقة من بلورات سيليكون نقية ذات بنية بلورية منتظمة للغاية. الصورة (5-1-1).

❖ خصائصها:

- ✓ أعلى كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء تتراوح بين 18% و 22%
- ✓ أعلى عمر افتراضي يصل إلى (30 عامًا)
- ✓ أداء أفضل في الظروف ذات الإضاءة المنخفضة.
- ✓ أعلى تكلفة.
- ✓ أكثر عرضة للتلف بسبب التلف الميكانيكي.

2.6.1. الخلايا السليكونية متعددة التبلور (Polycrystalline) :

تُصنع هذه الخلايا من رقائق سيليكون متعددة البلورات، مما يعني أنّ بنيتها البلورية ليست منتظمة تمامًا مثل السيليكون أحادي البلورة. الصورة (5-1-ب)

❖ الخصائص:

- ✓ كفاءة تحويل طاقة أقل من الخلايا أحادية البلورة تتراوح بين 13% و 16% تكلفة أقل من الخلايا أحادية البلورة.
- ✓ أداء أقل في الظروف ذات الإضاءة المنخفضة.
- ✓ عمر افتراضي أقل يصل إلى (25 عام)
- ✓ أكثر مقاومة للتلف الميكانيكي.

3.6.1. الخلايا السليكونية المورفيه (Amorphous)

وتسمى أيضا بخلايا السليكون الرقيقة تُصنع هذه الخلايا من طبقة رقيقة من سيليكون غير متبلور، مما يعني أنّ ذرات السليكون غير مرتبة في بنية بلورية منتظمة. الصورة (5-1-ج)

❖ الخصائص:

- ✓ أرخص تكلفة من أنواع الخلايا الأخرى.
- ✓ أقل كفاءة تحويل طاقة و تتراوح بين 5% و 8%
- ✓ أقل عمر افتراضي يصل إلى (20 عامًا).
- ✓ أكثر مرونة وقابلية للتكيف مع الأسطح غير المستوية.



الصورة (5-1) (أ-ب-ج): أنواع الخلايا الكهروضوئية.

7.1. المولد الكهروضوئي (GPV):

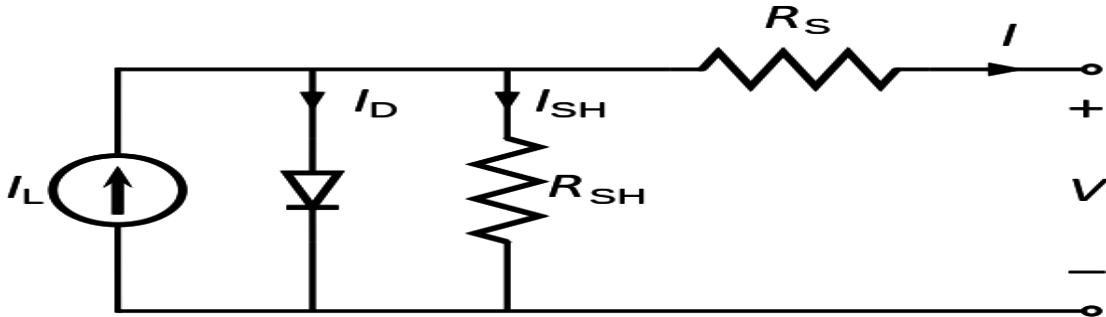
المولد الكهروضوئي هو جهاز يحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية من خلال استخدام خلايا شمسية تقوم بتحويل الضوء الشمسي المستقبل إليها إلى تيار كهربائي.

يتألف المولد الكهروضوئي من مجموعة من الخلايا الكهربائية الأولية المتصلة سواء بشكل تسلسلي، حيث تكون الخلايا متصلة بشكل متتابع بحيث يتدفق التيار خلالها باتجاه واحد، أو بشكل توازي وتسلسلي، حيث تكون الخلايا متصلة بشكل متوازي وتسلسلي لزيادة تيار الإخراج أو الجهد. يتم تصميم هذه الدوائر الكهربائية بشكل يحقق الخصائص الكهربائية المطلوبة مثل القدرة، والتيار في حالة الدائرة القصيرة، والجهد في حالة الدائرة المفتوحة، بما يتناسب مع الاحتياجات والتطبيقات المختلفة. [10]

8.1. الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية :

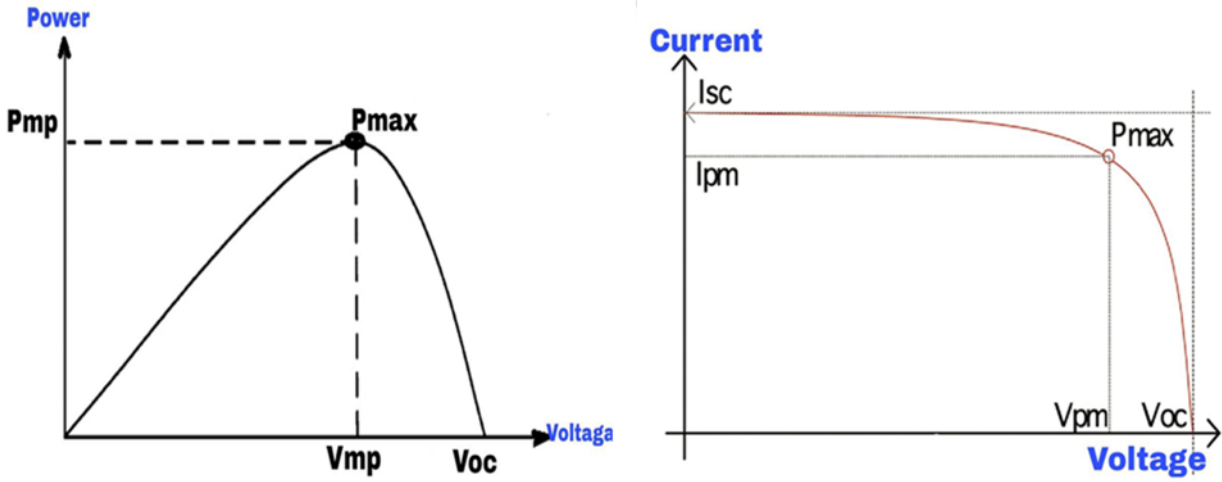
تمثل الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية في الصورة (6-1) حيث تتكون تلك الدارة من [9]

1. **منبع التيار (I_{ph})**: يمثل منبع التيار المضخم للخلية الشمسية، ويمثل التيار الناتج عن امتصاص الفوتونات من الضوء وتحرير الإلكترونات داخل الخلية.
2. **الديود**: يمثل الديود الذي يتم تمثيله في الدارة المكافئة للخلية الشمسية، وظيفته حماية الخلية من التيار المعكوس والحفاظ على تدفق التيار في اتجاه واحد فقط.
3. **المقاومة التفرعية (R_{sh})**: هي المقاومة التي تعبر عن المقاومة بين الجزئيات أو الخلايا داخل الخلية الشمسية، وهي عادة ما تكون عالية لتقليل تأثير التسرب الحالي.
4. **المقاومة التسلسلية (R_s)**: هي المقاومة التي تعبر عن المقاومة الناتجة عن تدفق التيار في المواد الناقلة للتيار داخل الخلية الشمسية، وتهدف إلى تقليل فقد الطاقة الناتجة عن المقاومة الداخلية للخلية. هذه المكونات تشكل الدارة المكافئة للخلية الشمسية وتساعد في فهم أدائها وتحسين كفاءتها في تحويل الطاقة من الضوء الشمسي إلى طاقة كهربائية.

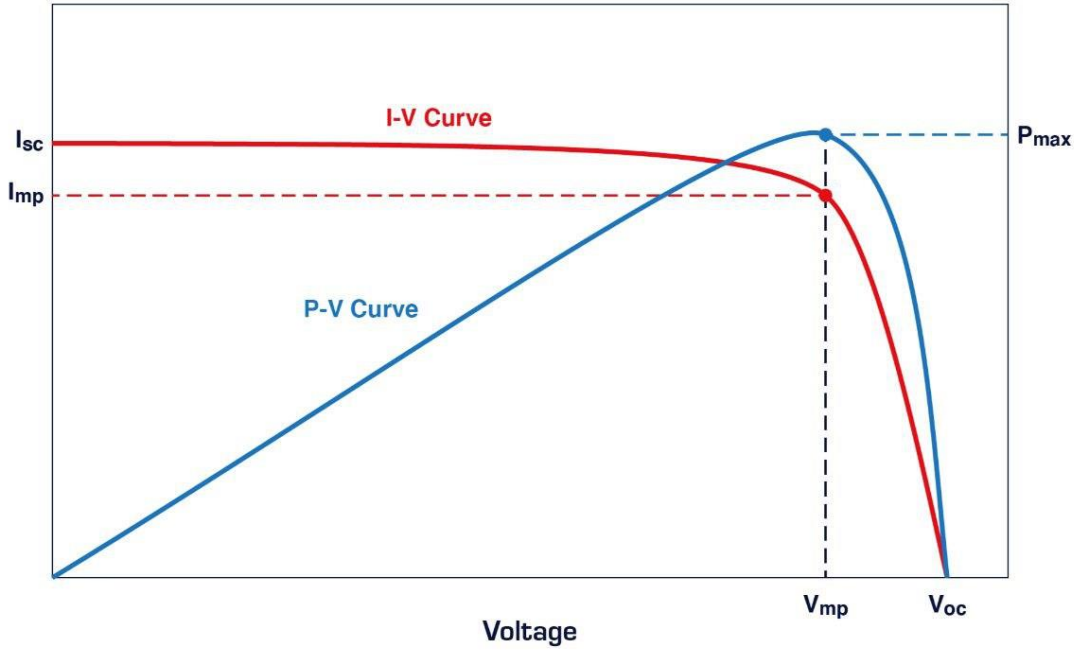


الصورة (6-1) الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية. [9]

الفصل الأول : دراسة أنظمة الطاقة الشمسية وتأثيرات التغير المناخي



الصورة (7-1) خاصية P-V للمولد الكهروضوئي و (I-V) و خاصية I-V للمولد الكهروضوئي



الصورة (8-1) منحنى الخواص لكل من (I-V) و (P-V) للوح

يعطى تيار الخلية الكهروضوئية الاسمي (I_{pvn}) تيار خرج اللوح الاسمي بالعلاقة [10]:

$$(1-1)$$

$$I_{pvn} = \frac{R_{sh}}{R_p} \times I_{scn}$$

الفصل الأول : دراسة أنظمة الطاقة الشمسية وتأثيرات التغير المناخي

حيث RS المقاومة التسلسلية و Rp مقاومة الحمل و Rsh المقاومة التفرعية و Iscn تيار القصر المرجعي مقاساً بالأمبير ويعطى الجهد الحراري Vt بالعلاقة [11]:

$$Vt = \frac{Ns \times K \times T}{q} \quad (2-1)$$

حيث Ns عدد الخلايا الموصولة تسلسلياً و T درجة الحرارة الحالية مقدرة بالكلفن و k ثابت بولتزمان $\left[\frac{k}{J}\right] 1.38 \times 10^{-23}$ و q شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19} C$ يعطى تيار الخلية الكهروضوئية Ipv بالعلاقة [11]:

$$Ipv = (Ipvn + Ki \times \Delta T) \times \frac{G}{Gn} \quad (3-1)$$

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

تعطى عبارة تيار الإشباع للخلية الكهروضوئية Io بالعلاقة [11]:

$$Io = \frac{Iscn + Ki \times \Delta T}{\frac{Vocn + Kv \times \Delta T}{\exp \frac{aVt}{-1}}} \quad (4-1)$$

حيث a عامل التيار الحراري $[A/C]$ و Ki معامل التيار الحراري واحده A/K و Kv معامل الجهد الحراري واحده V/K و Vocm جهد الدارة المفتوحة الحالي.

يعطى تيار اللوح الكلي I بالعلاقة التالية [11]:

$$I = Ipv \times Np - Io \times Np \times \left[\exp \left[\frac{V + Rs \frac{Ns}{Np} \times 1}{a \times Vt} \right] - 1 \right] - \frac{V \times Rs}{Rp} \quad (5-1)$$

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

يعطى تيار اللوح الفعلي بالعلاقة [11]:

(6-1)

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

✓ I_{pv} : تيار خرج اللوح.

✓ V_{pv} : جهد خرج اللوح (volt) .

✓ I_{sc_now} : تيار الدارة القصيرة عند درجة الحرارة T.

✓ I_{sc} : تيار القصر المرجعي الموافق لدرجة الحرارة المعيارية و لشدة الإشعاع الشمسي المعيارية (A) (يؤخذ من ال datasheet للوح).

✓ I_{sc_T} : تيار القصر عند درجة الحرارة T (A).

✓ I_{sc_G} : تيار القصر عند الإشعاع G.

✓ V_{oc_Now} : جهد الدارة المفتوحة الحالي (VOLT).

✓ V_{oc} : جهد الدارة المفتوحة المرجعي (الموافق لدرجة الحرارة المعيارية و لشدة الإشعاع الشمسي المعيارية (A) (تؤخذ قيمته من ال datasheet للوح).

✓ V_{mpp} : جهد نقطة عمل الاستطاعة العظمي.

✓ I_{mpp} : تيار نقطة عمل الاستطاعة العظمي.

✓ T : درجة الحرارة الحالية مقدره بالكلفن.

✓ T_{ref} : درجة الحرارة المرجعية مقدره بالكلفن.

✓ G : شدة الإشعاع الشمسي الحالي مقدرأ ب (W/m²).

✓ G_{ref} : الإشعاع الشمسي المعيارية مقدرأ ب (W/m²) (تؤخذ قيمته من ال datasheet للوح).

✓ عامل التيار الحراري مقدرأ بالواحدة (A/C) (ويتبع نوع الخلايا المصنع منها اللوح) (تؤخذ قيمته من ال datasheet للوح).

✓ β : عامل الجهد الحراري مقدرأ ب (VOLT/C) (ويتبع نوع الخلايا المصنع منها اللوح) (تؤخذ قيمته من ال datasheet للوح).

✓ I_0 : تيار التسريب العكسي للديود عند درجة الحرارة T.

✓ q : شحنة الالكترون 1.6×10^{-19} C

✓ Res : المقاومة التسلسلية.

✓ A : معامل كفاءة الديود اعتماداً على التكنولوجيا الضوئية.

✓ dR_V_{oc} : انحراف المنحني I - V

✓ E_n : طاقة الفجوة وتتعلق بنوع اللوح.

9.1. العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الكهروضوئية :

تعد كفاءة الخلية الكهروضوئية محورية في تقييم أداء أنظمة الطاقة الشمسية، إذ تمثل القدرة على تحويل الطاقة من الضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. ومع ذلك، فإن هذه الكفاءة تتأثر بعدة عوامل متغيرة و من أهم هذه المؤثرات

- **درجة الحرارة:** مع ارتفاع درجة حرارة اللوحة، تنخفض كفاءتها.
- **كثافة الإشعاع الشمسي:** تؤثر كمية ضوء الشمس على كمية الطاقة الكهربائية التي يتم توليدها.
- **تراكم الغبار:** يؤدي تراكم الغبار على الألواح إلى تقليل وصول ضوء الشمس، وبالتالي انخفاض الكفاءة.
- **زاوية ميل الألواح:** تؤثر زاوية ميل الألواح بالنسبة للشمس على كمية ضوء الشمس التي يتم امتصاصها.

10.1. نموذج محاكاة:

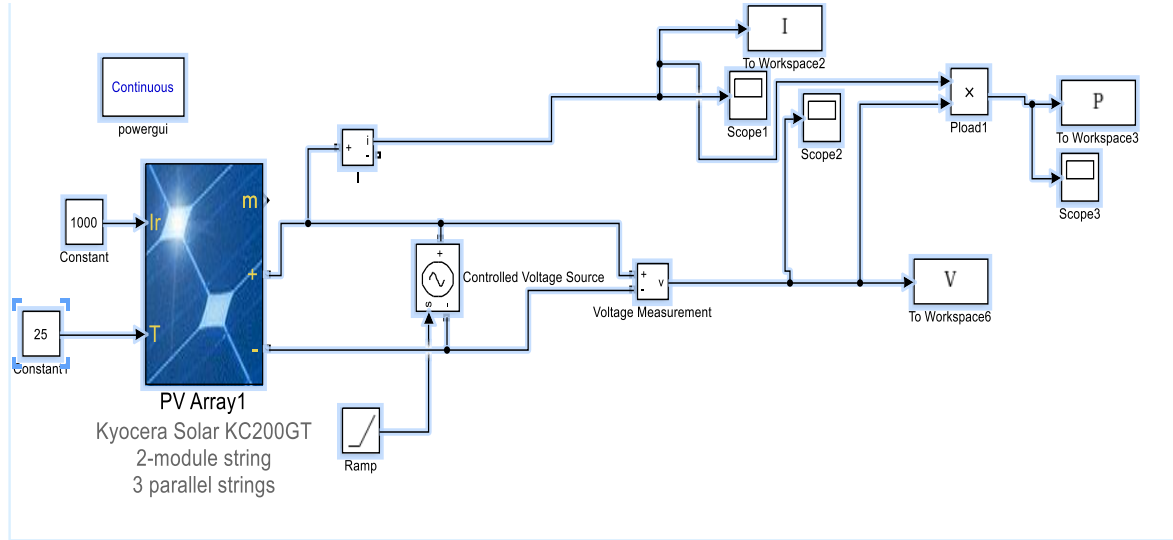
لتنفيذ هذه النمذجة، استخدمنا MATLAB كأداة اختبار ومحاكاة لقد اخترنا النموذج الكهروضوئي KC200GT المستخدم في هذا العمل والموضح في الجدول (1.1)

عدد الخلايا المتصلة على التوالي لكل لوحة (Ns)	54
القدرة القصوى (P_max)	200.143W
تيار دائرة القصر (I_cc)	8.21A
جهد الدائرة المفتوحة (v_co)	32.9V
التيار عند نقطة القدرة القصوى (I_op)	7.61A
الجهد عند نقطة القدرة القصوى (v_op)	26.3V

الجدول (1.1): يوضح خصائص النموذج الفوتوفولتي من نوع KC200GT

لزيادة القدرة الناتجة، يتم ربط الوحدات الفوتوفولتية في اللوحة. في هذه التركيبة، يمكن توصيل الوحدات على التوالي أو بالتوازي، أو بكلا الطريقتين. في حالتنا

$$(Ns = 2, Np = 3)$$

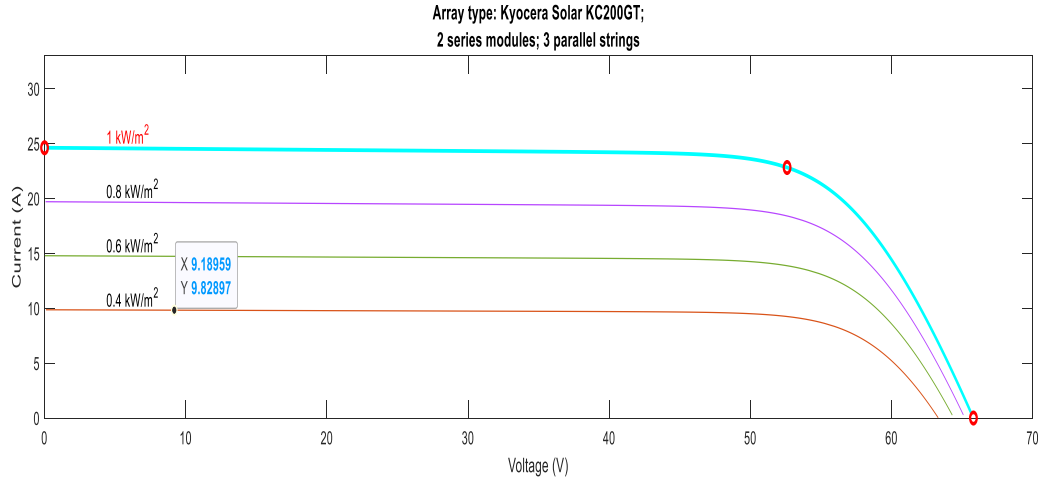


الشكل (9.1): مخطط محاكاة لوحدة PV من نوع KC200GT

لمعاينة تأثير الإشعاع الشمسي، تم تثبيت درجة الحرارة عند $T=25^{\circ}$ وتم تغيير الإشعاع الشمسي ضمن نطاق $[400, 1000] W/m^2$.

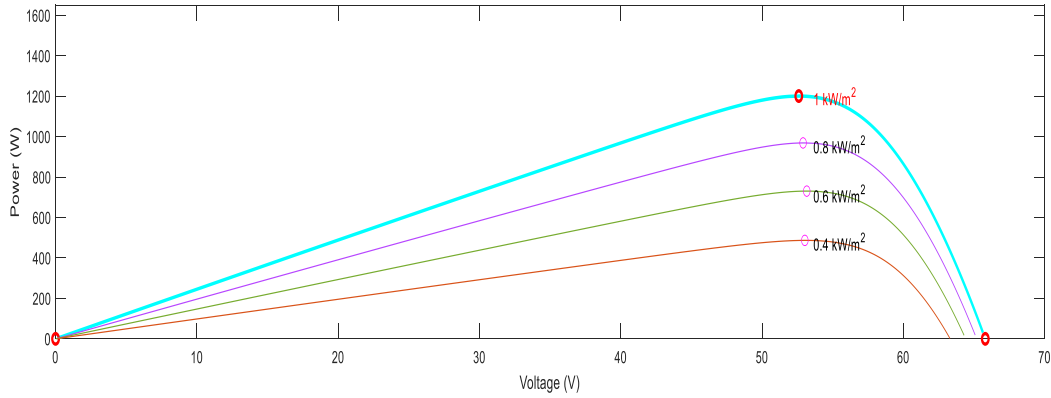
الخصائص I-V و P-V موضحة في الشكل (1.10) والشكل (1.11).

11.1 تأثير الإشعاع الشمسي على منحنيات خواص الجهد و التيار للخلية:



الصورة (10-1) يوضح تأثير الإشعاع الشمسي على خاصية التيار بدلالة الجهد

تعتمد الطاقة الكهربائية المنتجة من الخلية على الإشعاع الشمسي الذي تستقبله على سطحها. يمثل الشكل (10.1) خاصية التيار بدلالة الجهد لخلية شمسية كدالة للإشعاع الشمسي، عند درجة حرارة وسرعة تدفق هواء ثابتين. يكون التيار متناسباً طردياً مع الإشعاع الشمسي، على عكس الجهد الذي لا يتغير إلا قليلاً تبعاً للإشعاع الشمسي. [14]

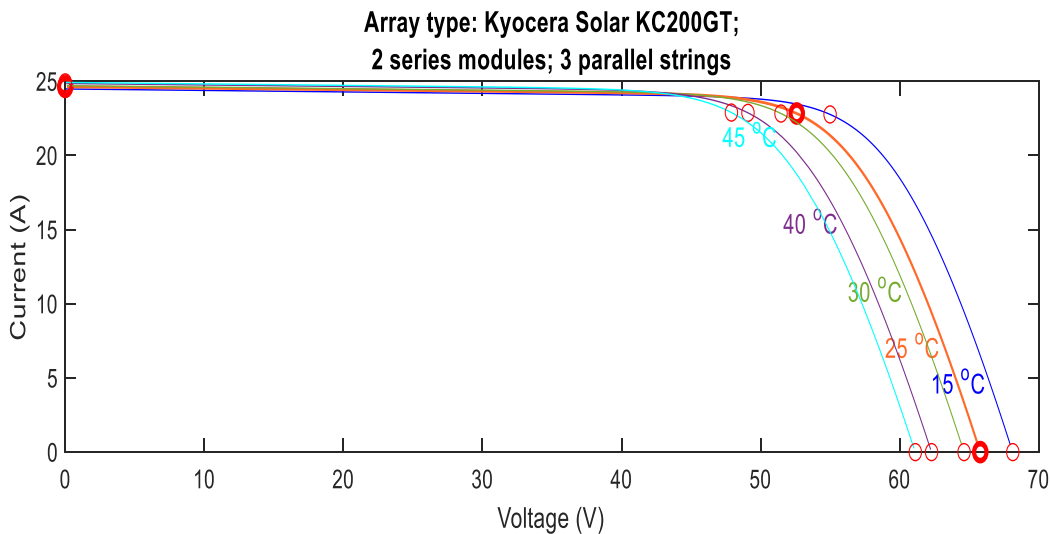


الصورة (11-1): يوضح تأثير الإشعاع الشمسي على خاصية الاستطاعة بدلالة الجهد

الشكل (11.1) يوضح تغير الطاقة المولدة من المولد بالنسبة للجهد لقيم مختلفة من الإشعاع، مما يسمح لنا بالاستنتاج عن تأثير الإشعاع على خاصية $P(V)$.

12.1. تأثير درجة الحرارة على منحنيات خواص الجهد و التيار للخلية:

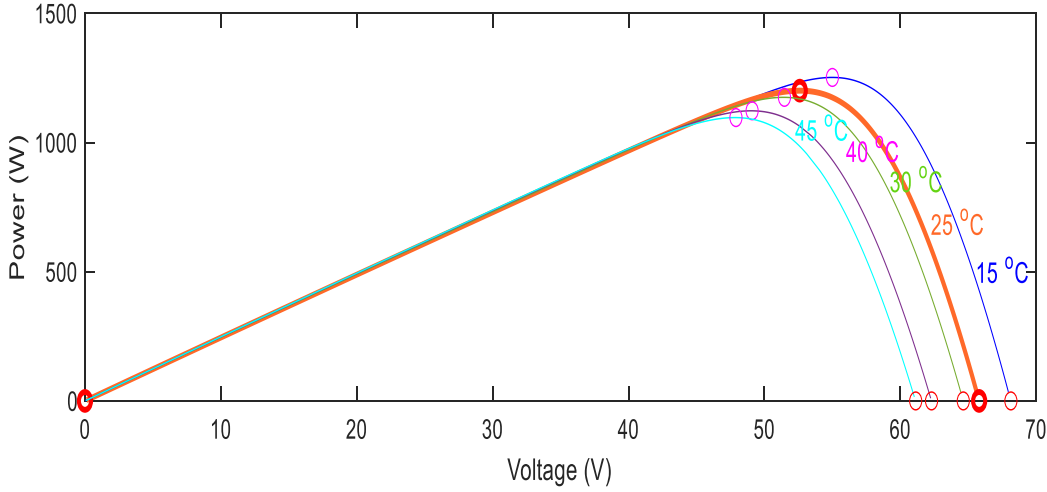
تأثر درجة الحرارة عادةً على أداء الخلايا الشمسية تأثير عكسي ، حيث ينخفض أداء الخلية مع ارتفاع درجة حرارة البيئة المحيطة بها. يرجع ذلك إلى أن الطاقة الحرارية الزائدة تزيد من اهتزاز الإلكترونات في الخلية الكهروضوئية، مما يقلل من قدرتها على امتصاص ضوء الشمس وتحويله إلى طاقة كهربائية. يعني ذلك أن الطاقة الناتجة من الخلية تقل تدريجياً مع زيادة درجة الحرارة. [12,13]. الصورة (13-1) تبين تأثير درجة الحرارة على مميزة خواص الجهد والتيار. والصورة (12-1) تبين تأثير درجة الحرارة على منحنى كمية الطاقة المتولدة بدلالة الجهد



الصورة (12-1) تأثير درجة الحرارة على خاصية التيار بدلالة الجهد

الفصل الأول : دراسة أنظمة الطاقة الشمسية وتأثيرات التغير المناخي

ويبين الشكل (12.1) تأثير درجة الحرارة على الخاصية $I=f(V)$ ومن الضروري فهم تأثير تغير درجة حرارة الخلية الشمسية على الخاصية $I=f(V)$ يعتمد التيار على درجة الحرارة حيث أن التيار يزداد قليلاً مع زيادة درجة الحرارة، لكن درجة الحرارة تؤثر سلباً على جهد الدائرة المفتوحة. مع زيادة درجة الحرارة، ينخفض جهد الدائرة المفتوحة. ونتيجة لذلك، فإن الطاقة القصوى للمولد تعاني من انخفاض.



الصورة (13-1) : تأثير درجة الحرارة على خاصية الاستطاعة بدلالة الجهد.

ويوضح الشكل (13.1) تباين القدرة التي يسلمها المولد كدالة للجهد لقيم مختلفة لدرجة الحرارة، مما يسمح لنا باستنتاج تأثير درجة الحرارة على الخاصية $P=f(V)$.

13.1. تأثير نظام التبريد والتهوية على كفاءة الخلية الكهروضوئية:

تلعب أنظمة التبريد والتهوية دوراً هاماً في تحسين كفاءة الخلية الكهروضوئية. خاصة في البيئات ذات درجات الحرارة المرتفعة. حيث تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى انخفاض كفاءة تحويل الطاقة في الخلايا الكهروضوئية، مما يؤدي إلى انخفاض إنتاج الطاقة. ويكون تأثير نظام التبريد والتهوية على كفاءة الخلايا الكهروضوئية من السيليكون البلوري أكبر من تأثيره على كفاءة الخلايا غير المتبلورة. ذلك راجع على أن خلايا السيليكون غير المتبلورة أقل حساسية للتغيرات في درجة الحرارة مقارنة بالخلايا البلورية و يُنصح باستخدام نظام التبريد والتهوية لتحسين كفاءة جميع أنواع الخلايا الكهروضوئية مهما كان نوع الخلية. وهناك العديد من أنواع أنظمة التبريد والتهوية التي يمكن استخدامها للخلايا الكهروضوئية. تشمل بعض الأنواع الأكثر شيوعاً ما يلي:

1. **التبريد الهوائي**: يتضمن هذا النوع من التبريد استخدام المروحة لتبريد الخلايا الكهروضوئية.
2. **التبريد السائل**: يتضمن هذا النوع من التبريد استخدام سائل لتبريد الخلايا الكهروضوئية.
3. **التبريد التبخيري**: يتضمن هذا النوع من التبريد استخدام الماء لتبريد الخلايا الكهروضوئية عن طريق التبخر.

14.1. فوائد استخدام أنظمة التبريد والتهوية

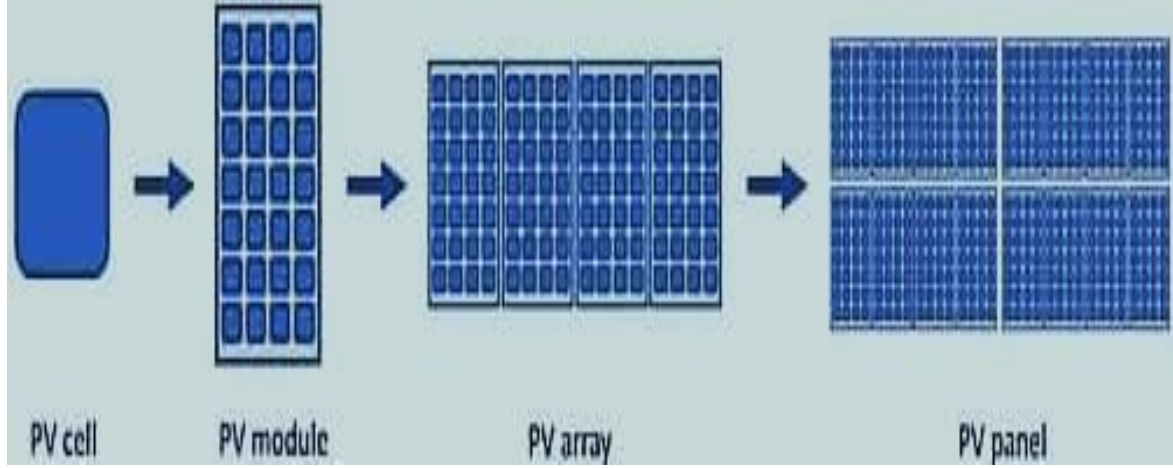
هناك العديد من الفوائد لاستخدام أنظمة التبريد والتهوية للخلايا الكهروضوئية. تشمل بعض الفوائد ما يلي:

- ✓ **زيادة كفاءة تحويل الطاقة**: يمكن أن تؤدي أنظمة التبريد والتهوية إلى زيادة كفاءة تحويل الطاقة في الخلية الكهروضوئية بنسبة تصل إلى 10٪.
- ✓ **تحسين إنتاج الطاقة**: يمكن أن يؤدي تحسين كفاءة تحويل الطاقة إلى تحسين إنتاج الطاقة من النظام الكهروضوئي.
- ✓ **إطالة عمر الخلية الكهروضوئية**: يمكن أن تساعد أنظمة التبريد والتهوية في إطالة عمر الخلية الكهروضوئية عن طريق تقليل الضغط الحراري عليها.
- ✓ **تقليل تكاليف التشغيل**: يمكن أن تساعد أنظمة التبريد والتهوية في تقليل تكاليف تشغيل النظام الكهروضوئي عن طريق تحسين كفاءته.

15.1. كفاءة الخلايا الكهروضوئية :

تُعدّ كفاءة الخلايا الكهروضوئية مفهومًا علميًا هامًا لقياس قدرة هذه الخلايا على تحويل طاقة ضوء الشمس إلى كهرباء. تُقاس كفاءة الخلية كنسبة مئوية من طاقة ضوء الشمس الساقطة على سطحها التي يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية. بحيث يتراوح الجهد الذي تولده الخلية الكهروضوئية من 0.5 ال 0.8 فولت . وتختلف قيمة التيار المستخلص تبعاً للمساحة السطحية للخلية . فالتيار الكهربائي يزداد كلما زادت المساحة السطحية ولكن زيادة المساحة بشكل كبير يؤدي إلى زيادة المقاومة المتتالية التي تؤدي إلى تقليل كفاءه الخلية. وقد تم تصنيع خلايا بمساحات مختلفة للحصول على تيار يتراوح بين 2.5 و 3.5 أمبير للخلية الواحدة. وعادة يتم ربط الخلايا الشمسية على التوازي والتوالي لتشكيل وحدات توليد طاقة كهربائية تسمى موديول (module) تربط هذه الموديول مع بعضها لتشكيل ما يسمى بلوح الخلايا الكهروضوئية. [15]

كما هو موضح في الصورة (1-14) 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 (14-1) الانتقال من الخلية إلى الموديول إلى لوح الخلايا الكهروضوئية [15]

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

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (7-1)$$

حيث :

- ❖ P_{max} هي أعظم قيمة للاستطاعة يتم الحصول عليها أثناء ملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية
- ❖ P_{in} هي أعظم قيمة للاستطاعة وذلك عند القيم الإسمية لكل من الحرارة والإشعاع الشمسي.

16.1. مزايا وعيوب الطاقة الكهروضوئية:

❖ مميزاتها

- ✓ **قابلية الاستخدام العالمية:** توفر الطاقة الشمسية إمكانية الاستفادة منها في جميع أنحاء العالم بسبب توافر ضوء الشمس في معظم المناطق.
- ✓ **الموثوقية والتواصل:** يتمتع نظام الطاقة الشمسية بموثوقية عالية نظرًا لعدم وجود أجزاء متحركة في التثبيت، مما يقلل من فشل المكونات ويزيد من فترة الخدمة الفعالة.
- ✓ **الملاءمة للمناطق المعزولة:** يعتبر استخدام الطاقة الشمسية مثاليًا للمناطق المعزولة حيث يكون الوصول إلى شبكة الكهرباء صعبًا، مما يجعلها خيارًا شائعًا على المركبات الفضائية.
- ✓ **تقليل خسائر الطاقة:** يمكن تركيب معدات الإنتاج بالقرب من نقطة الاستهلاك، مما يقلل من خسائر الطاقة المتعلقة بنقل الطاقة عبر الخطوط.
- ✓ **توفير الطاقة المنظورة:** يمكن تكيف حجم الأنظمة الشمسية لتناسب مجموعة متنوعة من احتياجات الطاقة، مما يسهل توفير الطاقة لتطبيقات تتراوح من الصغيرة إلى الكبيرة.
- ✓ **بيئية ونظيفة:** لا تنتج الطاقة الشمسية أي انبعاثات ضارة أو نفايات، ولا تسبب أي تلوث للبيئة المحيطة بها..
- ✓ **مادة السيليكون:** تستخدم معظم ألواح الطاقة الشمسية مادة السيليكون التي تتمتع بالتوفر والأمان.
- ✓ **العمر الطويل:** تتمتع الألواح الشمسية بعمر يتراوح بين 20 و 30 عامًا مع إمكانية إعادة تدويرها بشكل كامل، مما يزيد من استدامة استخدامها.

❖ عيوبها

- كفاءة التحويل المنخفضة:** - كفاءة التحويل الفعلية للوحدة منخفضة، تتراوح حوالي 15-22%، وهو مستوى يجعلها غير قادرة على المنافسة مع مولدات الديزل في المناطق المعزولة ذات الاحتياجات الطاقية المنخفضة. [15]
- تكلفة التخزين الكهربائي:** - عندما يصبح تخزين الطاقة الكهربائية ضروريًا في شكل كيميائي، تزداد تكلفة المولد، ويثير هذا الأمر العديد من التحديات فيما يتعلق بتخزين الطاقة.
- الاستثمار العالي في التصنيع:** - يتطلب تصنيع الوحدة الكهروضوئية تقنية عالية واستثمارات رأس المال العالية، مما يجعلها تكنولوجيا مكلفة للغاية في البداية.

17.1. قطاعات التطبيق :

- ❖ **قطاع النقل:** أعمدة الإنارة ، وإشارات الرسائل المتغيرة، وإشارات الإدارة، وإشارات الطرق والسكك الحديدية.
- ❖ **قطاع الفضاء:-** يعتبر هذا القطاع أقدم قطاع يستخدم الخلايا الشمسية، حيث تم استخدامها في المركبات الفضائية والأقمار الصناعية منذ الستينيات.
- ❖ **الاتصالات السلكية واللاسلكية -** يستخدم في المناطق المعزولة مثل المتنزهات الوطنية وخدمات المياه والغابات، وتوفير الاتصالات الهاتفية والراديوية.
- ❖ **الحصول على البيانات:** تلعب الطاقة الشمسية دورًا مهمًا في محطات الحصول على البيانات المعزولة، حيث توفر موثوقية عالية واستقلالية ومقاومة للظروف الطبيعية.
- ❖ **قطاع النقل: -** يستخدم في أعمدة الإنارة وإشارات الرسائل المتغيرة وإشارات الإدارة في الطرق والسكك الحديدية.

18.1. الخلاصة

في هذا الفصل، تم استعراض دراسة نظام الكهروضوئية مع التركيز على الخلية الكهروضوئية وآلية عملها . و تمت مناقشة أنواع الألواح الشمسية المختلفة ، بالإضافة إلى تحليل العوامل المؤثرة على كفاءة الألواح الشمسية مثل درجة الحرارة وكثافة الإشعاع الشمسي وزاوية الاستقبال . و يهدف هذا الفصل إلى فهم عميق لكيفية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية والعوامل التي تؤثر على كفاءة هذه العملية

وسنتطرق في الفصل اللاحق إلى دراسة حول منظمات الشحن التي بدورها تحقيق أقصى كفاءة ممكنة في ظل التغيرات المؤثرة على الألواح الشمسية بالإضافة الى دراسة محولات DC-DC

**الفصل الثاني: تحليل وتقييم
تقنيات الشحن في الطاقة
الشمسية**

1.2. تمهيد

تعد أنظمة الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة، و هي تعتمد بشكل أساسي على تحويل طاقة الشمس إلى طاقة كهربائية لاستخدامها في مختلف المجالات. و لكن تختلف كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية حسب عدة عوامل مختلفة مثل شدة الإضاءة ودرجة الحرارة التي تؤثر سلبا على أداء الخلايا الشمسية كما لاحظنا في الفصل السابق [8]. كما تآثر أيضا على أداء النظام الكهروضوئي ككل حيث تؤدي شدة الإضاءة العالية إلى زيادة في الجهد الكهربائي الناتج من الخلايا الشمسية، مما يمكن أن يسبب زيادة في تيار الشحن إلى المرحلة التالية دون التحكم المناسب، و تؤدي هذه الزيادة إلى تلف الأجهزة و البطاريات. و تقلل درجة الحرارة العالية من كفاءة الخلايا الشمسية، مما يقلل من كمية الطاقة المولدة وبالتالي يقلل من القدرة على شحن البطاريات بكفاءة. كما تقلل درجة الحرارة المنخفضة من كفاءة البطاريات و تزيد من صعوبة تخزين الطاقة واستخدامها بشكل فعال.

تقلبات درجة الحرارة تؤثر على استقرارية النظام وكفاءة عملية الشحن بشكل عام. مما يؤدي إلى تقليل قدرتها على تخزين الطاقة وتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. و في ظل هذه التقلبات والكفاءة المنخفضة يسعى العلماء الباحثون والمهندسين الكهربائيين على انشاء أنظمة او تقنية تحسن كفاءة الألواح الشمسية وتعديل تيار الطاقة الشمسية لضمان توصيلها بكفاءة وسلامة إلى الأنظمة الكهربائية المستهلكة أو البطاريات للاحتفاظ بها للاستخدام لمدة اطول. و تقنيات او منظمات الشحن هي احدى اهم نتائج بحوثهم. [16] وتوجد انواع كثيرة ومتنوعة من منظمات او تقنيات الشحن و يمكن اختصارها في ثلاثة أنواع رئيسية

✓ منظم الشحن البسيط (Shunt Charge Controller)

✓ منظم الشحن النابض PWM و هي اختصار ل Pulse Width Modulation

✓ منظم الشحن MPPT و هو اختصار باللغة الانجليزية ل Maximum Power Point

رأينا في الفصل السابق مفهوم الطاقة الشمسية الفولتية بالإضافة الى ان خصائص المولد الكهروضوئي التي تعتمد على الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. بحيث الشعاع الشمسي يحدد كمية الطاقة التي يمكن للمولد الكهروضوئي توليدها، بينما تؤثر درجة الحرارة على كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.

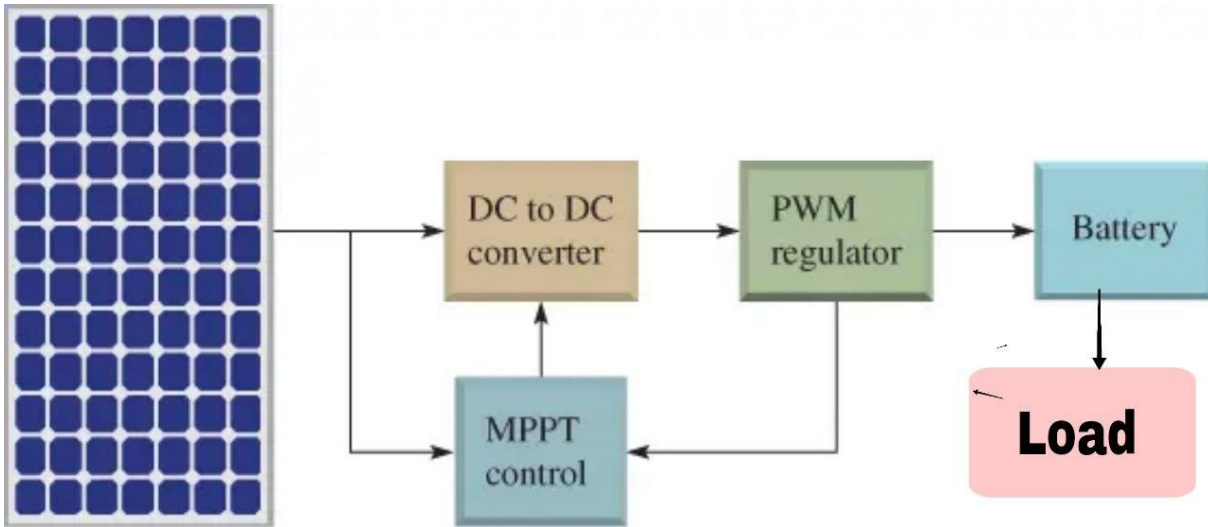
وفي هذا الفصل سوف نتعرف على انواع منظمات الشحن وما مدى اهمية وجودها في النظام الكهروضوئي وسندرس طريقة عملها في تحسين كفاءة الطاقة الناتجة من الألواح الشمسية مع تحديد الافضل بعد المقارنة ودراسة الفرق . بالإضافة الى دراسة العلاقة المباشرة بين المولد الكهروضوئي والحمل محول DC-DC المستخدم في نظامنا

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

2.2 مكونات النظام الكهروضوئي

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

- ✓ **الخلايا الشمسية (PV):** تقوم بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية من خلال ظاهرة الفوتوفولتائية.
- ✓ **محول DC-DC الخافض للجهد :** يُستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية المُؤددة من الخلايا الشمسية (التي تكون عادة عالية الجهد) إلى جهد مناسب للتشغيل.
- ✓ **تقنية تعقب نقطة الطاقة لقصوى (MPPT):** تستخدم هذه التقنية لتحقيق أقصى كفاءة في استخراج الطاقة من الخلايا الشمسية عن طريق تعديل الجهد أو التيار الناتج من الخلايا بحيث يتم الحفاظ على جهد الخلايا في نقطة القصوى حتى في ظروف المختلفة مثل تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلايا.
- ✓ **تقنية التحكم بالعرض نبضياً (PWM):** تُستخدم للتحكم في جهد الإخراج من المحول الخافض للجهد بواسطة تعديل عرض النبضات الناتجة عن المحول، وذلك لتنظيم كمية الطاقة التي تُرسل إلى الأحمال الكهربائية.
- ✓ **البطارية:** تعمل على تخزين الطاقة الكهربائية التي تولدها الخلايا الشمسية خلال فترات الشمس ، وتوفير هذه الطاقة للأحمال الكهربائية عندما لا يكون هناك إشعاع شمسي كافٍ، وتحسين استقرارية النظام وتوفير الطاقة الاحتياطية في حالات الطوارئ.
- ✓ **الحمولة (LOAD):** هي الأجهزة والمعدات التي تستهلك الطاقة الكهربائية المنتجة من خلايا الطاقة الشمسية. تشمل الأحمال الكهربائية مجموعة متنوعة من التطبيقات، مثل الإضاءة، وتشغيل الأجهزة المنزلية، وأنظمة التدفئة والتبريد، والمعدات الصناعية و غيرها.



الصورة (1-2) المخطط الصندوقي لمكونات النظام الكهروضوئي [19].

❖ ويمكن استخدام منظم الشاحن MPPT ومنظم الشاحن PWM معًا في النظام الكهروضوئي، كما يمكن استخدام كل منهما بمفرده

1. عند استخدام MPPT بمفرده : يمكن استخدام منظم الشاحن MPPT بمفرده لتحقيق أقصى كفاءة في استخراج الطاقة من الخلايا الشمسية و يعمل MPPT على تتبع نقطة القصوى للطاقة، مما يسمح بزيادة كفاءة النظام بشكل عام

2. عند استخدام PWM بمفرده : يمكن استخدام منظم الشاحن PWM بمفرده في حالات لا تتوفر فيها الخلايا الشمسية بمستوى كافٍ من الطاقة لاستفادة من MPPT ويعمل PWM على ضبط جهد البطارية وتنظيم شحنها بشكل فعال

3. عند استخدام MPPT و PWM معًا : يمكن توصيل منظم الشاحن MPPT بالخلايا الشمسية لتحقيق أقصى كفاءة في استخراج الطاقة منها بتتبع نقطة القصوى بعد ذلك، يمكن و توصيل منظم الشاحن PWM بالبطارية لتنظيم جهد البطارية وشحنها بشكل آمن.

باختصار، يعتمد استخدام كلٍ من MPPT و PWM على متطلبات النظام وظروف التشغيل، حيث يقدم MPPT كفاءة أعلى في ظروف الإشعاع الشمسي المتغيرة، في حين يوفر PWM تحكمًا دقيقًا في شحن البطارية وإدارتها.

3.2. منظمات الشحن

هي أجهزة تحكم كهربائية إلكترونية تهدف إلى ضبط تيار الشحن وجهد البطارية المولدة من الألواح الشمسية لتحقيق أقصى كفاءة وسلامة للنظام. و تقوم هذه الأجهزة بمراقبة جهد البطارية وتنظيم تيار الشحن بحيث تحمي البطارية من التفريغ الزائد والشحن الزائد، مما تساهم في تحقيق استفادة مثلى من الطاقة الشمسية المولدة وضمان استدامة النظام بكفاءة عالية

هي أجهزة إلكترونية تستخدم في أنظمة الطاقة الشمسية لتنظيم تيار الشحن الذي يتم توصيله بالبطاريات أو الأنظمة الكهربائية الأخرى. تهدف هذه الأجهزة إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة الشمسية عن طريق تعديل تيار الشحن وجهد البطاريات بطريقة متقنة. بالإضافة إلى ذلك، تعمل منظمات الشحن على تتبع نقطة القصوى للطاقة ، وذلك بتعديل تيار الشحن وفقًا لظروف الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، مما يسمح بأقصى استفادة من الطاقة المتاحة من الخلايا الشمسية وتحسين كفاءة النظام ككل [18.17]

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

وتوجد انواع كثيرة ومتنوعة من منظمات الشحن و يمكن اختصارها في ثلاثة أنواع رئيسية :

- ✓ منظم الشحن البسيط Shunt Charge Controller
- ✓ منظم الشحن النابض PWM و هي اختصار Pulse Width Modulation
- ✓ منظم الشحن MPPT وهي اختصار Maximum Power Point

4.2. منظم الشحن البسيط Shunt Charge Controller

ظهر منظم الشحن البسيط في أوائل القرن العشرين، و هو نوع قديم وتقريبا لا يستخدم كثيرا وهو يعمل بعملية بسيطة فقط يغلق ويفتح التيار على البطاريات لشحنها وفعاليتها منخفضة. الصورة (2-2) للمنظم الشحن البسيط



الصورة (2-2) للمنظم الشحن البسيط

5.2. منظم الشحن النابض PWM Pulse Width Modulation

تقنية PWM وهي اختصار Pulse-width modulation وتعني التحكم بالعرض لنبضات ظهرة في أواخر القرن العشرين، وسميت [17] بهذا الاسم لان المنظم من هذا النوع يقوم بارسال التيار الكهربائي الى البطارية على شكل نبضات كهربائية تسمى ب (pluse) (النبضة) ويقوم هذا النوع بتعديل عرض النبضات وفقا لحجم التيار الكهربائي المخزن في البطارية ويمكن استخدامه في الانظمة الصغيره

والصورة (1-2) توضح طريقة ربطه في النظام الكهروضوئي ككل

صورة (3-2) توضح شكل جهاز للمنظم الشحن PWM

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

وصورة (4-2) توضح طريقة ربط منظم الشحن PWM بالبطارية و اللوح الشمسي



PWM Controller

صورة (2-3) للمنظم الشحن PWM



صورة (4-2) توضح طريقة ربط منظم الشحن PWM بالبطارية و اللوح الشمسي

6.2. مبدأ عمل تقنية PWM تعديل عرض النبض

يقوم على تعديل عرض النبضات الكهربائية وفق نسبة معينة من دورة التشغيل Duty Cycle لتحكم في الطاقة المنتقلة. عند استخدام PWM، يتم إرسال سلسلة من النبضات الكهربائية، ويتم تغيير عرض كل نبضة بنسبة معينة مقارنة بفترة التذبذب الكاملة للإشارة وتوضح الصورة (2-5) دورة عمل تعديل عرض النبضة عند تغير النسبة من دور التشغيل Duty Cycle. [17]

وتعرف دورة التشغيل (Duty Cycle) بأنها النسبة بين الزمن الذي يكون فيه المفتاح مُغلقًا (TON) إلى الزمن الكلي لدورة النبضة T، وهي مقياس يُستخدم لتحديد مقدار التشغيل أو العملية في دوائر التحكم بالنبضات كمبدلات التيار المستمر والعديد من التطبيقات الأخرى [17]

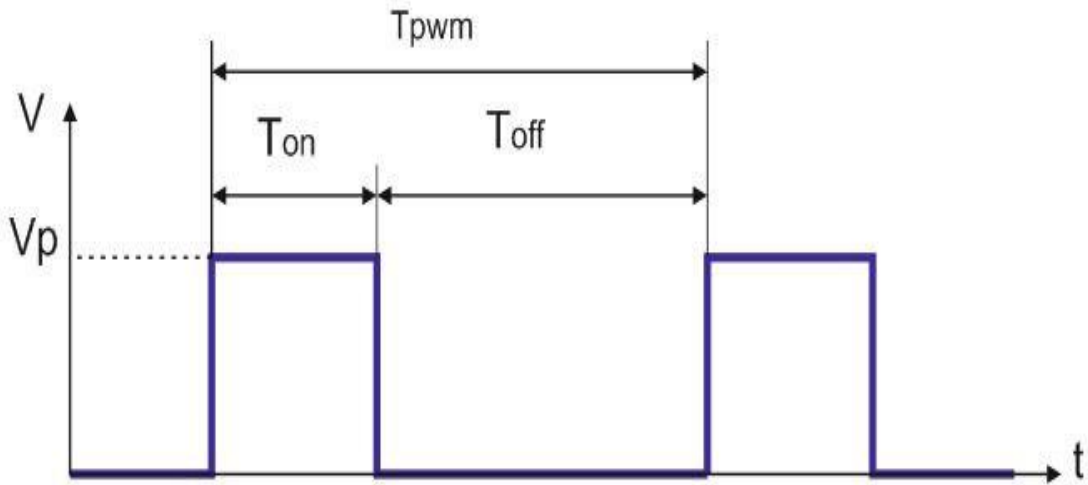
$$D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} \quad (1-2)$$

✓ D: النسبة بين زمن غلق المفتاح والزمن الدوري T.

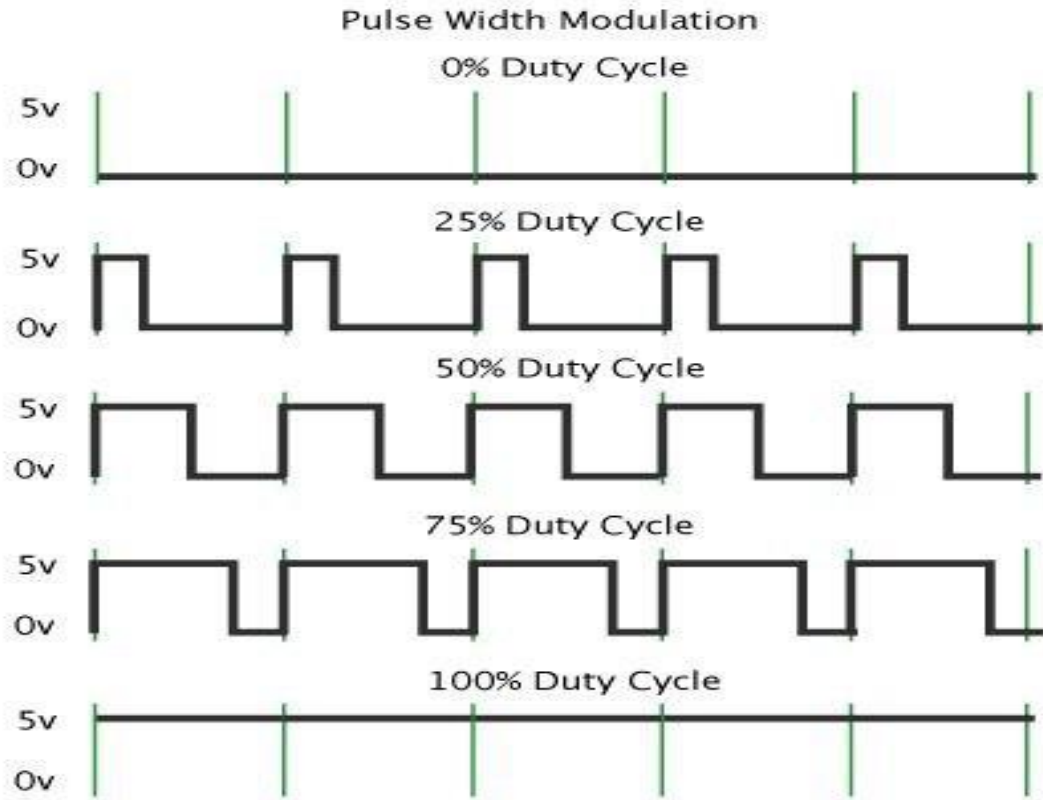
✓ Ton : زمن إغلاق المفتاح الإلكتروني (زمن التشغيل).

✓ Toff : زمن فصل المفتاح الإلكتروني (زمن الفصل).

ويمكن الحصول على القيمة المطلوبة لجهد الخرج المستمر عن طريق التحكم في زمن الفصل Toff وزمن الإغلاق Ton لمفتاح المبدل ويتم التحكم في إغلاق وفتح المفتاح عن طريق إعطاء نبضة كهربائية لدارة التحكم الخاصة بهذا المفتاح. [30] تبين الصورة (2-6) دورة عمل تعديل عرض النبضة



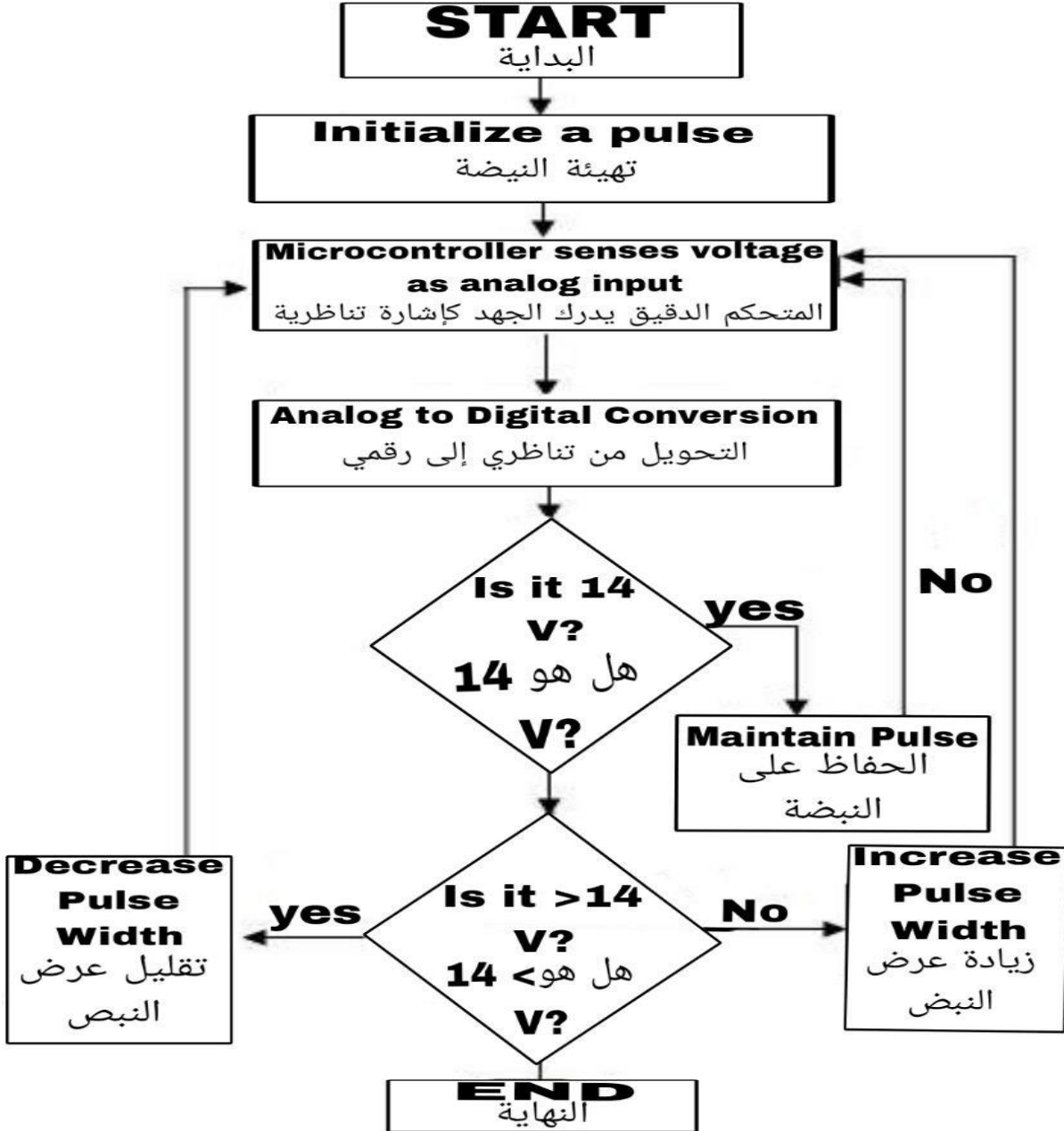
الصورة (2-6) دورة عمل تعديل عرض النبضة



الصورة (5-2) توضح دورة عمل تعديل عرض النبضة

❖ بتغير النسبة من دور التشغيل Duty Cycle.

الدور الأساسي لجهاز PWM هو توليد نبضات كهربائية ذات عرض متغير، حيث يمكن تعديل عرض النبضة للتحكم في الطاقة المنقولة. وباستخدام الخطوات الموضحة في الصورة (6-2) التي توضح المخطط الصندوقي لجهاز PWM في النظام الكهروضوئي، يتم قراءة الجهد الكهربائي المقدم كإشارة تناظرية، ومن ثم تحويله إلى إشارة رقمية والتحكم في عرض النبضات بناءً على قيمة الجهد المقروءة.



الصورة (7-2) توضح المخطط الصندوقي لجهاز PWM في النظام الكهروضوئي

❖ شرح الخطوات

1. **البداية :** هذه الخطوة تمثل بداية العملية أو الدورة. يتم فيها تشغيل النظام أو الجهاز الكهربائي
2. **تهيئة النبضة :** هنا يتم تحديد المعلومات الأولية التي ستؤثر على النبضة الكهربائية، مثل مدة النبضة وترددتها وقيمة الجهد المراد تطبيقه.
3. **المتحكم الدقيق يدرك الجهد كإشارة تناظرية :** في هذه الخطوة، يقوم المتحكم الدقيق (مثل متحكم PIC أو Arduino) بقراءة الجهد الكهربائي المقدم كإشارة تناظرية
4. **التحويل من تناظري إلى رقمي :** يتم تحويل الإشارة التناظرية إلى إشارة رقمية باستخدام محول تناظري-رقمي.(ADC)
5. **الحفاظ على النبضة :** هذه الخطوة تتضمن الاحتفاظ بالمعلومات المتعلقة بالنبضة، مثل مدتها وقيمتها، لاستخدامها في الخطوات التالية.
6. **زيادة عرض النبض :** في حال كانت النبضة بحاجة إلى زيادة في عرضها، يتم تنفيذ هذه العملية في هذه الخطوة.
7. **تقليل عرض النبض :** وفي الحالة المعاكسة، إذا كانت النبضة بحاجة إلى تقليل عرضها، يتم ضبطها في هذه الخطوة.
8. **النهاية :** تمثل نهاية العملية أو الدورة، حيث يتم إنهاء تشغيل النظام أو الجهاز الكهربائي

و لفهم المبدأ العلمي لعمل تقنية PWM بطريقة ايسط ، يمكن تقسيم العملية إلى عدة خطوات:

1. **توليد الإشارة الأساسية:** يتم إنشاء إشارة أساسية تكون عادة موجة مربعة بتردد ثابت
2. **تحديد القيمة المطلوبة:** يتم تحديد القيمة المستهدفة للطاقة أو الإشارة المراد تحكمها .
3. **مقارنة القيمة:** يتم مقارنة القيمة المطلوبة مع قيمة الإشارة الأساسية
4. **توليد النبضات:** استناداً إلى نتيجة المقارنة، يتم توليد سلسلة من النبضات الكهربائية.
5. **ضبط عرض النبض:** يتم تعديل عرض كل نبضة بنسبة معينة مقارنة بفترة التذبذب الكاملة، وهذا الضبط يحدد نسبة الوقت الذي يكون فيه النبض في حالة عالية مقارنة بفترة التذبذب

نلاحظ من العلاقة (2-1) بأن قيم دورة التشغيل تتراوح ما بين 0 و 1 حيث دورة التشغيل تساوي 0 عندما يكون زمن إغلاق المفتاح يساوي 0 وهذا يحدث عندما يكون المفتاح مفصولاً كلياً ودورة التشغيل يساوي 1.

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

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

The commutator المبدل	Operational roge دور التشغيل
Buck Converter[33] مبدل خافض للجهد	$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$
Boost Converter[34] مبدل رافع للجهد	$D = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}}$
Buck-Boost Converter[35] مبدل رافع خافض للجهد	$D = \frac{V_{out}}{V_{out} + V_{in}}$

الجدول (1-2) دورة التشغيل الأنواع المبدلات المختلفة

✓ V_{out} = تمثل الجهد الناتج

✓ V_{in} = تمثل الجهد الداخل.

✓ D = تمثل دورة التشغيل، وهي النسبة بين زمن التشغيل وزمن الدورة الكلية.

يؤدي معدل عرض النبضات في مبدلات التيار المستمر إلى تقليل التموجات الموجودة في موجة التيار الناتجة، مما يستلزم اللجوء إلى استخدام مرشحات صغيرة الحجم. نتيجة لذلك، يمكن تقليل تكلفة هذه المرشحات بشكل كبير

7.2. مميزات وعيوب تقنية PWM:

❖ مميزات PWM:

✓ **بساطة التصميم:** تتميز تقنية PWM بتصميم بسيط نسبياً، مما يجعلها سهلة التصنيع و ذات تكلفة منخفضة مقارنةً بتقنيات أخرى مثل MPPT.

✓ **كفاءة عالية في حالات محددة:** تعمل تقنية PWM بكفاءة عالية في بعض الحالات، خاصةً مع أنظمة الطاقة الشمسية الصغيرة التي تعمل بجهد بطارية قريب من جهد اللوح الشمسي في ظروف الإضاءة المثالية.

✓ **سهولة الاستخدام:** تتميز تقنية PWM بسهولة الاستخدام وسهولة الصيانة.

✓ **موثوقية عالية:** تُعرف تقنية PWM بموثوقيتها العالية وقلة أعطالها.

❖ عيوب PWM:

✓ **يفقدان جزء من طاقة:** تُعتبر من أهم عيوب تقنية PWM، حيث تفقد جزءاً من طاقة اللوح الشمسي، خاصةً في ظروف الإضاءة المنخفضة أو عندما يكون جهد البطارية مختلفاً عن جهد اللوح الشمسي.

✓ **عدم تتبع النقطة القصوى للطاقة (MPPT):** لا تتمكن تقنية PWM من تتبع النقطة المثالية للطاقة (MPPT) على عكس تقنية MPPT، مما يعني أنها لا تستطيع

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

- ✓ استخراج أقصى قدر من الطاقة المتاحة من الألواح الشمسية، خاصةً في ظل ظروف الإضاءة المتغيرة أو درجات حرارة البطارية المختلفة.
- ✓ توليد حرارة زائدة: تُولد تقنية PWM حرارة زائدة، خاصةً في ظل ظروف الشحن العالي، مما قد يُقلل من عمر البطارية ويؤثر على كفاءة النظام.
- ✓ عدم ملائمتها لأنظمة الطاقة الشمسية الكبيرة: لا تُعد تقنية PWM مناسبة لأنظمة الطاقة الشمسية الكبيرة، حيث تصبح كفاءتها منخفضة بشكل ملحوظ مع زيادة حجم النظام.

8.2. استخداماته

- ✓ شحن البطاريات الشمسية : يستخدم PWM في تنظيم شحن البطاريات الشمسية عن طريق تعديل عرض النبضات المرسل إلى البطارية، مما يساعد في منع الشحن الزائد والتفريغ العميق.
- ✓ تحكم في متغيرات النظام : يمكن استخدام PWM في تحكم متغيرات النظام الكهروضوئي مثل الجهد والتيار، مما يساعد في تحسين أداء النظام وزيادة كفاءته.
- ✓ ضبط الإضاءة الشمسية : يمكن استخدام PWM لضبط إضاءة الأنوار الشمسية، مما يتيح تحكم دقيق في السطوع وتوفير الطاقة.
- ✓ تحكم في محركات الأقراص الشمسية : يمكن استخدام PWM لتحكم في محركات الأقراص الشمسية في التطبيقات التي تتطلب حركة دقيقة وفعالة للمحركات.
- ✓ التحكم في سرعة المحركات : يمكن استخدام PWM في تحكم سرعة المحركات الكهربائية في التطبيقات الصناعية والمنزلية مثل المراوح والمضخات.
- ✓ تحكم في إضاءة الأضواء الليديّة : يمكن استخدام PWM لتحكم في إضاءة الأضواء الليديّة (LED) في التطبيقات المختلفة مثل الإضاءة المنزلية والإضاءة الصناعية والإضاءة للسيارات.
- ✓ تحكم في سخانات كهربائية : يمكن استخدام PWM في تحكم في قوة السخانات الكهربائية في التطبيقات المنزلية والصناعية مثل سخانات الماء وأفران الطهي.
- ✓ تحكم في الأنظمة الصوتية : يمكن استخدام PWM في تحكم في قوة الصوت وتردداته في الأنظمة الصوتية مثل سماعات الصوت وأنظمة الترفيه المنزلية.

9.2. منظم الشحن MPPT وهو اختصار Maximum Power Point

يعتبر هذا الشاحن من نوع MPPT تقنية متقدمة ، و هو اختصار ل Maximum Power Point وتعني نقطة القدرة القصوى ظهر ما بين السبعينيات والثمانينيات ، و تعمل هذه التقنية على تحقيق أقصى كفاءة ممكنة من الألواح الشمسية عن طريق تتبع نقطة القدرة القصوى وتعديل الجهد والتيار للحصول على أقصى كمية من الطاقة المتاحة. ومع تقدم التكنولوجيا في القرن الواحد والعشرين، أصبحت تقنية MPPT عنصراً أساسياً وشائعاً في أنظمة توليد الطاقة الشمسية. و يرجع هذا الانتشار إلى أهمية هدفها الذي يسعى لتحقيق أقصى كفاءة ممكنة من الألواح الشمسية عن طريق تحديد نقطة القدرة القصوى. (MPPT) صورة (2-8) توضح شكل جهاز للمنظم الشحن MPPT [18] وصورة (2-9) توضح

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

طريقة ربط منظم الشحن MPPT بالبطارية و اللوح الشمسي والصورة (2-1) توضح طريقة ربطه في النظام الكهروضوئي ككل



صورة (2-8) توضح شكل جهاز للمنظم الشحن

10.2. تقنية الملاحقة MPPT

تُعدّ الطاقة الشمسية مصدرًا متجددًا واعدًا للطاقة، وتلعب الألواح الشمسية دورًا رئيسيًا في تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. ومع ذلك، لا تتمتع الألواح الشمسية بكفاءة مثالية، حيث تتراوح أفضل حالتها بين 30% و 40% فقط وذلك راجع للعوامل المؤثرة عليها كدرجة الحرارة و كثافة الإشعاع الشمسي و زاوية ميل الألواح وغيرها من العوامل كما لاحظناها في الفصل السابق . [19]

و بسبب هذه العوامل المؤثرة تم تطوير تقنيات ملاحقة نقطة القدرة القصوى MPPT التي تعمل على لتحسين كفاءة الألواح الشمسية من خلال تحديد النقطة التي تنتج فيها اللوحة أكبر قدر من الطاقة عند جهد معين [22]. وتشمل طريقتين:

1. طرق ميكانيكية: تتحرك الألواح فعليًا لملاحقة الشمس. و هذه الطريقة تعتبر (غير فعالة، مكلفة، عرضة للأعطال)

2. طرق ثنائية تعتمد على المتحكمات: تستخدم خوارزميات ذكية لتحسين كفاءة اللوحة. وهذه الطريقة تعتبر أكثر (فعالة، دقيقة، موثوقة) [20.21]

أمثلة على تقنيات التحكم المعتمدة على المتحكمات [20.21]

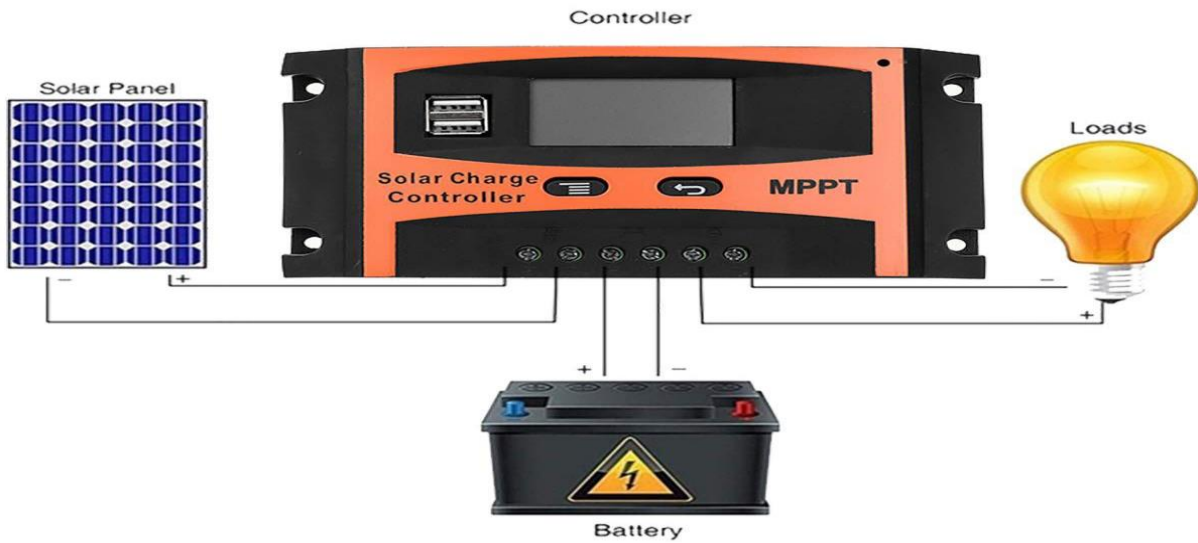
✓ المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) : تستخدم أنظمة التحكم الضبابي قواعد منطقية غير محددة بدقة لتحديد نقطة القدرة القصوى.

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

✓ وحدات التحكم PID : تستخدم وحدات التحكم PID في تقنية MPPT على مراقبة جهد وتيار الخلايا الشمسية، وتحليلهما باستمرار لتحديد النقطة الأمثل لتحميل الطاقة (Maximum Power Point)، ثم تضبط تيار الحمل لاستخراج أقصى كمية من الطاقة المتاحة.

✓ الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks): تستخدم نماذج التعلم الآلي لتحليل البيانات من اللوحة وتحديد نقطة القدرة القصوى بدقة.

✓ تقنية التوصيل التزاوي IC : تهدف إلى تحسين أداء النظام عن طريق ضبط المتغيرات التحكمية مثل التيار والجهد. تتضمن خطوات عمل تقنية التوصيل التزاوي عدة خطوات منها قياس مستمر للجهد والتيار و حساب التغيرات و تحديد الميل



صورة (2-9) توضح طريقة ربط منظم الشحن MPPT بالبطارية و اللوح الشمسي

11.2.11.2 مبدأ عمل MPPT

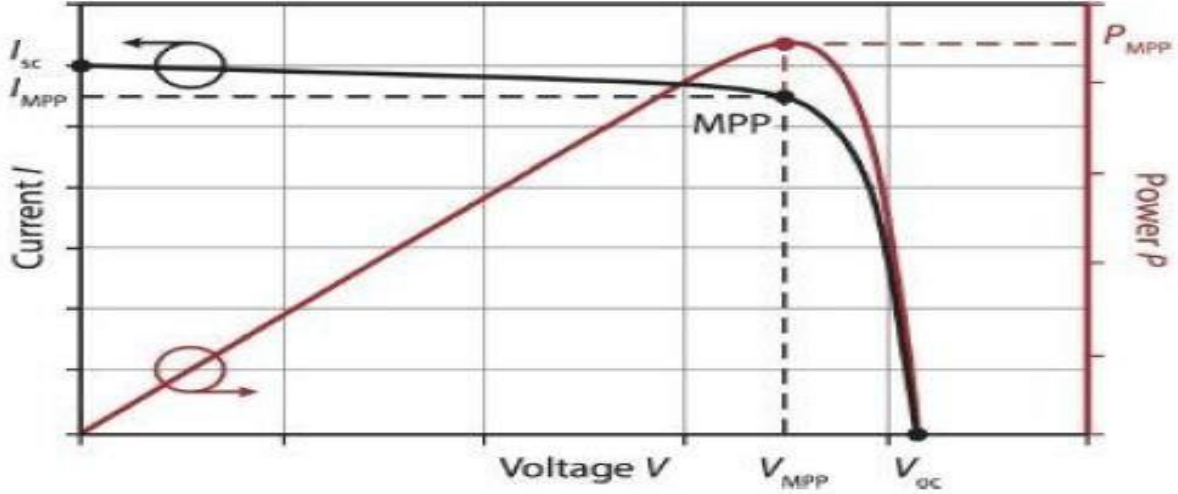
لفهم مبدأ عمل MPPT علينا ان نعرف مفهوم نقطة الطاقة القصوى (MPP) اولا

1.11.2. مفهوم نقطة الطاقة القصوى (MPP) :

نقطة الطاقة القصوى (MPP) تمثل النقطة على منحنى التيار بدلالة الجهد (I-V) للوحة الشمسية حيث يتم تحقيق أعلى كفاءة لتحويل الطاقة من اللوحة الشمسية إلى الحمل الكهربائي. و تتمثل MPP في تحقيق أعلى قيمة بضرب الجهد والتيار في اللحظة الواحدة، مما يعني تحقيق أقصى قدر من الطاقة المتاحة من اللوحة الشمسية في ظروف التشغيل المعينة. صورة (2-10) توضح منحنى يظهر العلاقة بين التيار والجهد عند مخرجاتها وتُعطى بالعلاقة التالية (2-2)

$$P = V \times I \quad (2-2) \text{ العلاقة}$$

- ❖ P : الطاقة الخارج من اللوح (بالوات)
- ❖ V : الجهد الخارج من اللوح (بالفولت)
- ❖ I : التيار الخارج من اللوح (بالأمبير)



صورة (2-10) منحنى يظهر العلاقة بين التيار والجهد عند مخرجاته

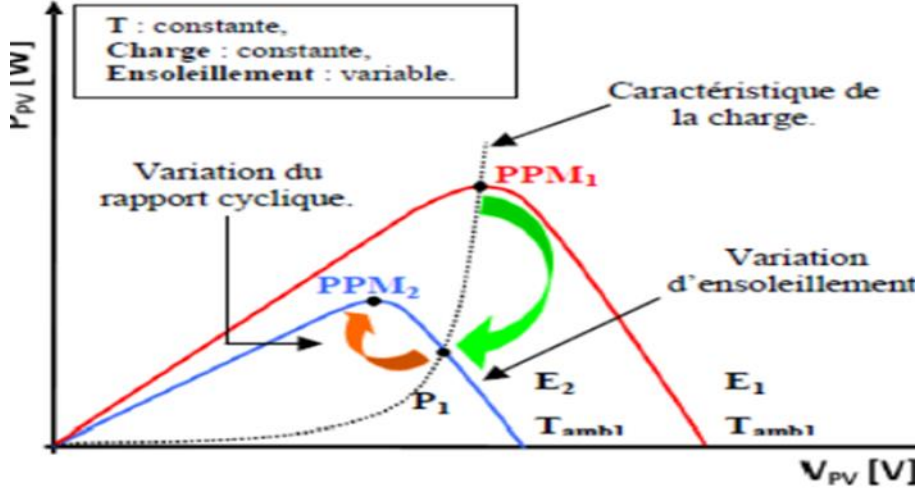
2.11.2. مبدأ عمل MPPT

تلعب تقنية تتبع نقطة طاقة القصوى (MPPT) دورًا بارزًا في تحسين كفاءة الأنظمة الشمسية الكهروضوئية. تعتمد هذه التقنية على مراقبة جهد وتيار الخلية الشمسية باستمرار، ومن ثم تعديل قيمة الجهد والتيار الناتج من الخلية بحيث يتم تحقيق نقطة الطاقة القصوى (MPP) في أي ظروف بيئية محددة، مثل تغير في الإضاءة ودرجة الحرارة. و يتم ذلك من خلال تعديل مستوى مقاومة الحمل، مما يسمح بضبط الجهد والتيار لضمان استخدام أقصى كمية من الطاقة المتاحة. يعمل التحكم في المحول على تعيين النظام في أقصى نقطة تشغيل له (V_{mpp}, I_{mpp}) [18]، والتي غالبًا ما تتمثل في شكل محول-DC DC كما هو موضح في الصورة (2-1). يتم تحديد هذه النقطة عندما يكون المنتج بين التيار والجهد في أعلى مستوى، مما يضمن تحقيق أقصى كفاءة لتحويل الطاقة من الخلية الشمسية إلى الحمل الكهربائي.

تعتمد خوارزميات MPPT على تحليل البيانات الواردة من اللوحة الشمسية، مثل الجهد والتيار، وتقوم بتعديل دورة التشغيل بناءً على هذه البيانات لضمان استمرار تحقيق نقطة الطاقة القصوى (MPP). يتم ذلك بشكل متكرر للتعامل مع التغيرات المتعددة في الظروف الجوية ومتغيرات الحمل، مما يضمن استمرارية تحقيق أقصى كفاءة لنظام الطاقة الشمسية.

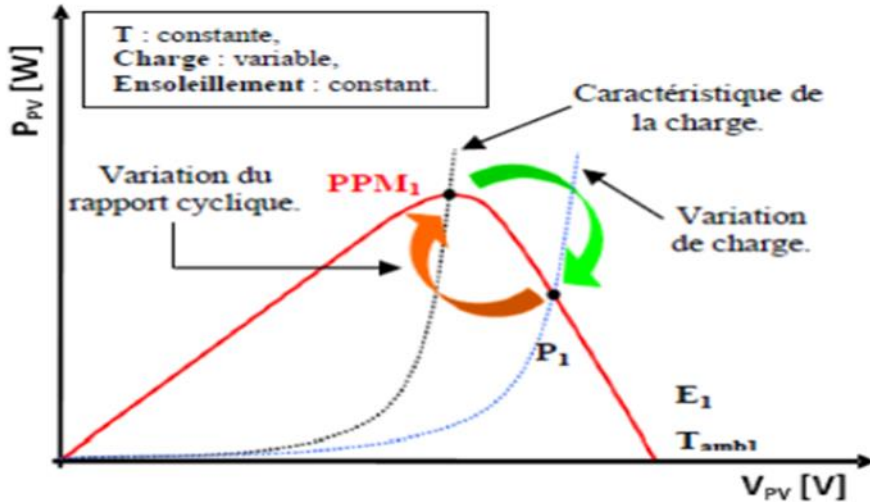
الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

تقوم خوارزميات MPPT بتتبع نقطة الطاقة القصوى بشكل مستمر عن طريق ضبط دورة التشغيل بشكل تلقائي، وذلك لضمان استمرارية الحفاظ على أقصى كفاءة للنظام بغض النظر عن التغيرات في الظروف الجوية أو متغيرات الحمل. كما هو موضح في الصور (11-2) و (12-2) و (13-2) حيث توضح ثلاث حالات مختلفة من الاضطرابات، يتم فيها تعديل نقطة التشغيل لتحقيق أقصى استفادة من الخلايا الشمسية بهدف تحقيق الأداء الأمثل والفعال للنظام الكهروضوئي [23]



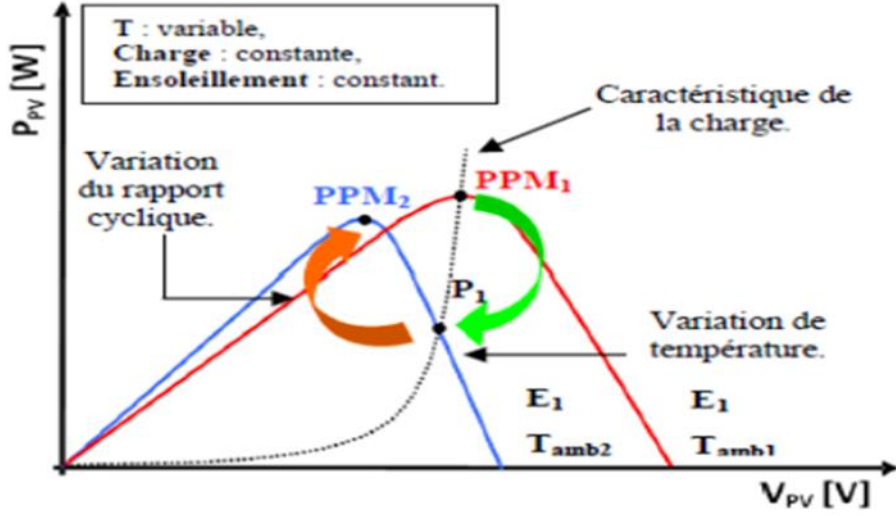
الصورة (11-2) إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة (a) بعد تغيير في

الإضاءة [23]



الصورة (12-2) إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة (b) بعد تغيير في

الحمل [23]



الصورة (2-13) إيجاد واستعادة الحد الأقصى من الطاقة (C) بعد تغير في درجة

الحرارة. [23]

✓ الصورة (2-11) تمثل حالة حدوث تغيير في الإضاءة، حيث يتم استخدام خوارزمية MPPT للعثور على PPM واستعادة الحد الأقصى من الطاقة. في هذه الحالة، يتم تحديد نقطة التشغيل الأمثل للوحة الشمسية بناءً على البيانات الواردة منها، مما يتيح استمرار استخدام أقصى كمية من الطاقة المتاحة.

✓ الصورة (2-12) تمثل حالة حدوث تغيير في الحمل، حيث يتم استخدام خوارزمية MPPT للعثور على PPM واستعادة الحد الأقصى من الطاقة أيضاً. في هذه الحالة، يتم تعديل دورة التشغيل للوحة الشمسية بناءً على البيانات الواردة منها، مما يسمح بضبط الجهد والتيار لتحقيق أقصى كفاءة لتحويل الطاقة.

✓ الصورة (2-13) تمثل حالة حدوث تغيير في درجة الحرارة، وهناك استخدام خوارزمية MPPT للعثور على PPM واستعادة الحد الأقصى من الطاقة. في هذه الحالة، يتم تعديل دورة التشغيل للوحة الشمسية بناءً على البيانات الواردة منها، وذلك للحفاظ على استمرارية تحقيق أقصى كفاءة لنظام الطاقة الشمسية في ظل التغيرات في درجة الحرارة. بشكل عام، يتم في هذه الحالات تعديل دورة التشغيل لضمان استمرار استخدام أقصى كمية من الطاقة المتاحة من اللوحة الشمسية، وذلك من خلال ضبط الجهد والتيار لتحقيق أعلى كفاءة ممكنة في تحويل الطاقة.

✓ شكل عام، يتم في هذه الحالات تعديل دورة التشغيل لضمان استمرار استخدام أقصى كمية من الطاقة المتاحة من الوحدة الشمسية، وذلك من خلال ضبط الجهد والتيار لتحقيق أعلى كفاءة ممكنة في تحويل الطاقة. [23]

12.2. 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 التشيع أو تغيير درجة الحرارة ، والأجهزة المطلوبة للتنفيذ ، من بين أمور أخرى .قد يعتمد تصنيف خوارزميات التابعين على وظيفة التقنيات أو استراتيجيات التحكم المستخدمة. وبالتالي ، يمكن تقديم فئتين الطرق المباشرة وغير المباشرة [18]

1.12.2. الطريقة المباشرة :

تعتمد على المراقبة الفورية واللحظية للقدرة المنتجة من الألواح الشمسية - يتم تعديل جهد التشغيل باستمرار بحثًا عن نقطة القدرة القصوى عن طريق زيادة أو خفض الجهد - . أكثر الطرق شيوعًا هي طريقة "تذبذب الجهد (Perturb and Observe)" وطريقة "توصيل الموصل - (Incremental Conductance)" تتميز ببساطة التنفيذ ولكنها قد تتسبب في تذبذب صغير حول نقطة القدرة القصوى.

2.12.2. الطريقة غير المباشرة:

تعتمد على نماذج رياضية أو خوارزميات تحسب نقطة القدرة القصوى بناءً على الظروف البيئية مثل الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة - . هذه الطرق تحتاج إلى معايرة دقيقة ويمكن أن تكون أكثر تعقيدًا في التنفيذ - . أمثلة على ذلك تشمل استخدام شبكات عصبية اصطناعية أو أنظمة تحكم منطقية ضبابية - . يمكن أن تكون أكثر استقرارًا ولكنها قد تتطلب موارد حوسبة أكبر وتكلفة أعلى في التنفيذ .كلتا الطريقتين تسعيان إلى تحقيق نفس الهدف وهو تحسين كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية عبر تحديد أفضل نقطة تشغيل للأنظمة الفوتوفولتية.

13.2. استخدامات MPPT :

- ✓ أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية : يستخدم نظام الشحن MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية لتحسين كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية عن طريق ضبط دورة التشغيل لأقصى قدر من الطاقة المتاحة.
- ✓ المركبات الكهربائية : يمكن استخدام نظام الشحن MPPT في السيارات الكهربائية والدراجات الكهربائية لشحن بطارياتها بكفاءة عالية وزيادة مدى التشغيل.
- ✓ أنظمة الري الشمسية : يتم استخدام نظام الشحن MPPT في أنظمة الري الشمسية لضمان استخدام الطاقة الشمسية بكفاءة في تشغيل مضخات المياه للري.
- ✓ تطبيقات المنازل والمباني : يمكن استخدام نظام الشحن MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية والتجارية لضمان حصول أقصى قدر من الطاقة الشمسية المتاحة وتوفير الطاقة.

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

✓ أنظمة الاتصالات البعيدة : يمكن استخدام نظام الشحن MPPT في محطات الاتصالات البعيدة وأبراج الهواتف الخلوية لتوفير الطاقة اللازمة لعمل هذه الأجهزة بكفاءة وفاعلية.

14.2. مزايا و عيوب MPPT

❖ مزايا MPPT :

زيادة كفاءة النظام : تُمكن تقنية MPPT من زيادة كفاءة النظام الكهروضوئي بنسبة تصل إلى 30%. وذلك لأنها تضمن عمل اللوحات الشمسية عند أقصى قدر من طاقتها، بغض النظر عن الظروف البيئية.

تقليل الخسائر : تُساعد تقنية MPPT على تقليل خسائر الطاقة في النظام. وذلك لأنها تُقلل من التيار الذي يتدفق عبر النظام، مما يُقلل من المقاومة الحرارية.

تحسين أداء البطارية : تُساهم تقنية MPPT في تحسين أداء البطارية. وذلك لأنها تُشحن البطارية بتيار ثابت، مما يُقلل من خطر الإفراط في الشحن أو الشحن الزائد.

زيادة عمر البطارية : تُساعد تقنية MPPT على زيادة عمر البطارية. وذلك لأنها تُقلل من التوتر على البطارية، مما يُقلل من خطر التلف.

تعدد الاستخدامات : يمكن استخدام تقنية MPPT مع مختلف أنواع الأنظمة الكهروضوئية، بما في ذلك الأنظمة المنزلية والتجارية والصناعية.

❖ عيوب MPPT :

- التكلفة : تكون أنظمة MPPT أكثر تكلفة من الأنظمة التقليدية.
- التعقيد : تكون أنظمة MPPT أكثر تعقيداً من الأنظمة التقليدية، مما قد يُشكل تحدياً في التركيب والصيانة.

15.2. مقارنة بين MPPT و PWM :

بعد معرفة أهمية منظمات الشحن و مبدأ عمل كل منهما يمكننا مقارنة بين تقنية MPPT و PWM و الهدف من هذه المقارنة هو فهم الاختلافات بين تقنيتين في شحن البطاريات باستخدام الطاقة الشمسية . يمكن لهذا الفهم أن يساعد في اتخاذ قرار مدروس عن أي تقنية تناسب احتياجات مشروع محدد بشكل أفضل، سواء كان ذلك في البيئات الصناعية أو الاستخدامات المنزلية أو الطاقة الزراعية، وغيرها.

عند استخدام الألواح الشمسية لشحن البطاريات، يكون الجهد الذي تنتجه اللوح الشمسية عادة أعلى من الجهد المطلوب لشحن البطارية بشكل مباشر. فعلى سبيل المثال، إذا كنا نستخدم بطارية 12 فولت، فإن اللوحة الشمسية قد تولد جهداً يتراوح بين 18 و 22 فولت.

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

الفرق ما بين المنظم PWM و MPPT هو أن منظمات الشحن من نوع PWM تأخذ جهد اللازم لشحن البطارية من اللوحة الشمسية و تترك الجهد الزائد [17.18]

و للتوضيح بطريقة اخرى نفترض أن لدينا لوحة الشمسية بقدرة 320 وات و ان قوت اللوح 37.4 فولت و امبير اللوح 8.56 امبير و نفرض أن لدينا بطارية 12 فولت في حالة استخدام منظم شحن من النوع PWM يقوم منظم الشحن بتخفيض الفولت الناتج من اللوح من 37.4 فولت الى 12 فولت. ليتناسب مع فولت البطارية ، يتم تحويل الفرق في الجهد إلى حرارة، والتي تفقد عن طريق التبريد أو تُبعث إلى البيئة المحيطة. بالتالي، جزء من الطاقة الزائدة في نظام الشحن PWM يتحول إلى حرارة، وهذا يُعتبر شكلاً من أشكال الفقد في عملية التحويل

$$V \times I = P \quad \text{لدينا قانون حساب الطاقة}$$

$$37.4V \times 8.56A = 320w \quad \checkmark \text{ من}$$

$$12V \times 8.56A = 102.72w \quad \checkmark \text{ الى}$$

بينما يقوم نظام الشحن MPPT بأخذ الجهد اللازم لشحن البطارية و تحول الجهد الزائد إلى تيار عن طريق استخدام محول DC-DC ، يتم تحويل الجهد الزائد من اللوحة الشمسية إلى تيار يتناسب مع قدرة اللوحة الشمسية. بدلاً من إهدار الطاقة الزائدة كحرارة كما يحدث في حالة استخدام منظم الشحن PWM ، هذا التيار يتم استخدامه لشحن البطارية بشكل أكثر فعالية وسرعة و يستغل هذا التيار لتسريع عملية شحن البطارية بدرجة أعلى وتعزيز كفاءتها. بالتالي، يُحقق نظام الشحن MPPT كفاءة أعلى في استخدام الطاقة الشمسية، حيث يستغل التيار الزائد بشكل فعال لتعزيز عملية شحن البطارية بدلاً من إهداره كحرارة، مما يساهم في تحقيق أقصى استفادة من اللوحة الشمسية وزيادة كفاءة النظام بشكل عام.

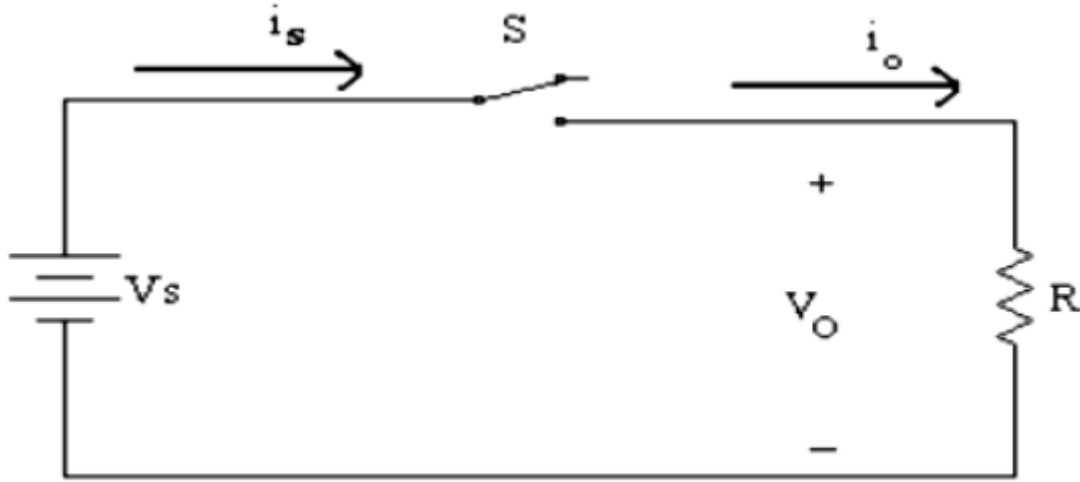
باختصار نظام الشحن MPPT يحول الجهد الزائد من اللوحة الشمسية إلى تيار بكفاءة عالية لشحن البطارية بسرعة وفعالية، بينما يُستخدم منظم الشحن PWM لتحويل الجهد الزائد إلى حرارة، مما يؤدي إلى فقدان جزء من الطاقة كحرارة دون استفادة منها في شحن البطارية.

16.2 محولات التيار المستمر DC-DC Converter

تُعد مبدلات التيار المستمر (DC-DC Converter) مكونات أساسية في العديد من الأنظمة الإلكترونية، هي عبارة عن أجهزة إلكترونية تعمل على تحويل جهد التيار المستمر من مستوى إلى آخر. سواء بزيادته أو إنقاصه، أو تعديله بشكل متزامن، وذلك عن طريق التحكم بدورة التشغيل للمبدل Duty cycle وذلك لتقديم الجهد المطلوب تُستخدم هذه المبدلات في مختلف التطبيقات، بدءًا من الأجهزة الإلكترونية الدقيقة مثل الهواتف الذكية

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

وأجهزة الكمبيوتر المحمولة، وصولاً إلى أنظمة الطاقة الشمسية ومركبات الطاقة الكهربائية. [22]. والصورة (14-2) تبين الدارة المكافئة لمبدل التيار المستمر [24]

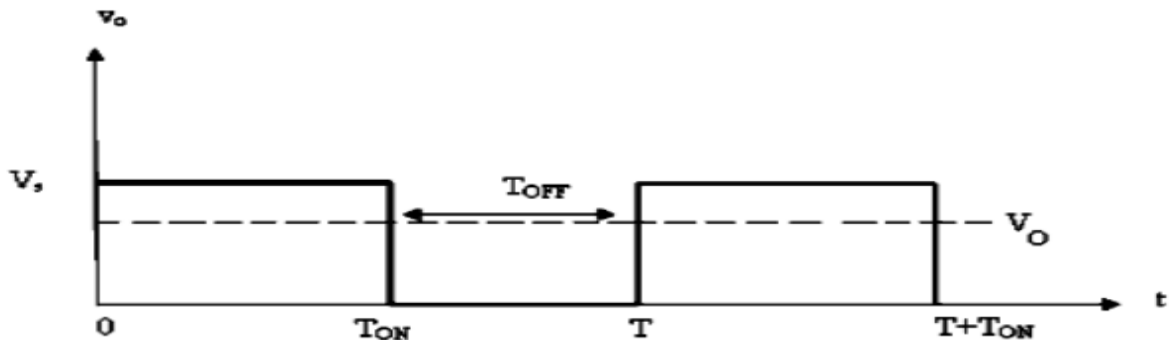


الصورة (14-2) تبين الدارة المكافئة لمبدل التيار المستمر [24]

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 المبدل التيار (V_o) المستمر الموضحة في الصورة (4-2) لتتراوح قيمتها بين الصفر وجهد الدخل (V_s)، من خلال ضبط زمن فتح وإغلاق المفتاح الإلكتروني (S). يتم ذلك عن طريق التحكم في درجة التشغيل (دورة التشغيل للمبدل Duty cycle)، حيث تكون قيمة V_o للمبدل تساوي الصفر 0 عندما يكون المفتاح S في وضع الفصل، وتكون قيمة V_o مساوية لقيمة V_s عندما يكون المفتاح S في وضع الفصل. وتكون قيمة دورة التشغيل لها مساوية الواحد 1. [31] والصورة (15-2) تبين شكل موجة جهد الخرج



الصورة (2-15) موجة جهد الخرج V_o المبدل التيار المستمر [24]

يمكن الحصول على القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_o كالآتي:

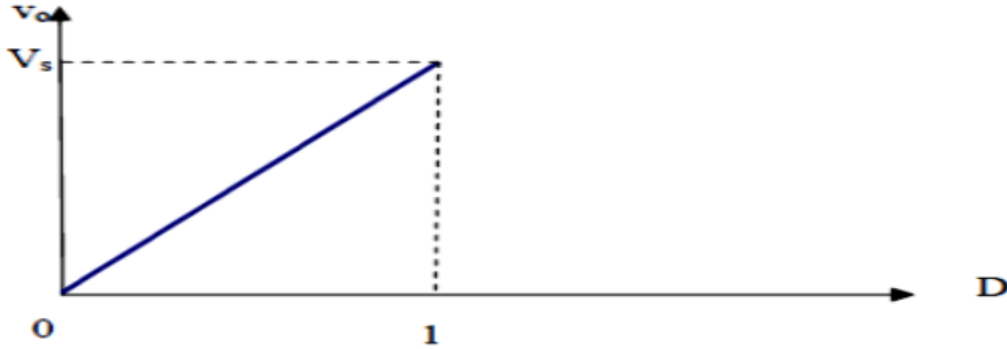
$$V_o = \frac{T_{on}}{T_{ON}+T_{off}} \times V_s = \frac{T_{on}}{T} V_s \quad (3-2)$$

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

$$V_o = D \times V_s \quad (4-2)$$

ومن العلاقة السابقة نجد أن العلاقة بين القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_o ودورة التشغيل D عبارة عن علاقة خطية ، وتبين الصورة (2-16) العلاقة بينهما حيث تتراوح قيمة V_o ما بين الصفر وقيمة جهد الدخل V_s . كما يُمكن إيجاد العلاقة الرياضية لتيار الخرج (I_o) كمتوسط لجهد الخرج مقسومًا على قيمة الحمل. ويمكن تمثيل العلاقة الرياضية لتيار الخرج كالتالي.

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{D}{R} \times V_s \quad (5-2)$$



الصورة (2-16) العلاقة بين القيمة لجهد الخرج الشكل D [24]

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

يوجد ثلاثة أنواع من مبدلات التيار المستمر هي : مبدلات خافضة للجهد

(**Converter Buck**) ومبدلات رافعة للجهد (**Buck – Boost Converter**)

و مبدلات خافضة رافعة للجهد (**Buck Converter**)

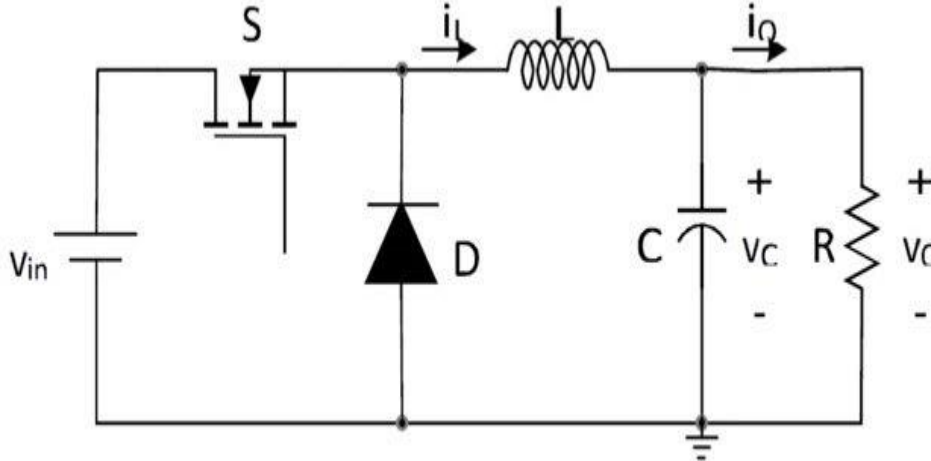
1.16.2. محول التيار المستمر الخافض للجهد (Buck Converter)

هو عبارة عن محول (DC/DC Converter) يعمل على تحويل جهد مستمر DC من قيمة مرتفعة إلى قيمة أقل باستعمال دائرة إلكترونيات القوى (Power Electronics Circuit)، ويقوم أيضاً بتحويل التيار من قيمة منخفضة إلى قيمة أعلى أي أن القدرة ثابتة عند عملية التحويل.. [25]

❖ مكوناته:

كما نرى بالدائرة المكافئة للمحول الخافض للجهد بالصورة (2-17) تتكون من:

- ✓ مصدر جهد DC.
- ✓ مفتاح إلكتروني (Electronic Switch) ومن أشهرها MOSFET و IGBT و BJT.
- ✓ محث (Inductor).
- ✓ مكثف (Capacitor).
- ✓ دايود (Diode).
- ✓ الحمل الذي سيتم تغذيته بجهد الخرج (V_{out}).



صورة (2-17) توضح الدائرة الكهربائية المكافئة للمحول الخافض للجهد. [25]

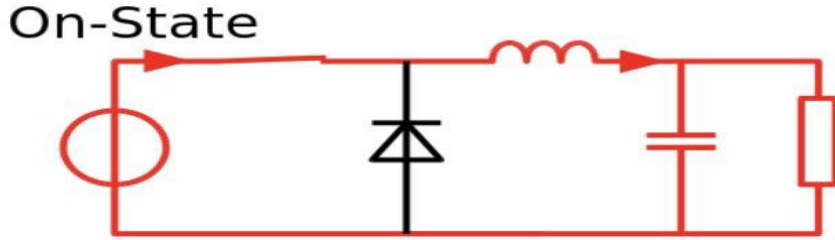
❖ آلية العمل:

يمكننا تقسيم آلية العمل إلى قسمين هما:

1. المفتاح الإلكتروني (ON)
2. المفتاح الإلكتروني (OFF)
1. المفتاح الإلكتروني (ON) :

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

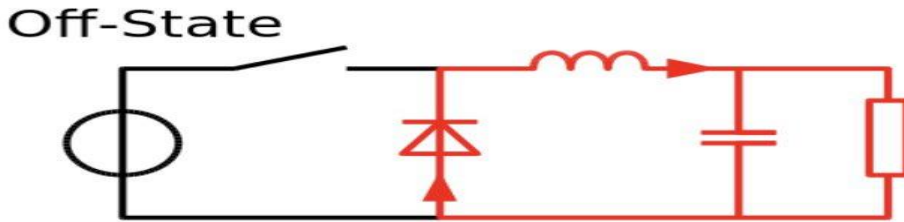
في هذه الحالة سيتم تمرير التيار من المصدر إلى المفتاح الإلكتروني ثم إلى المحث ثم يصل إلى الحمل كما هو مبين بالصورة (2-18)، وسيتم شحن المحث لفترة زمنية معينة أي سيكتسب فرق جهد أيضاً سيبدأ المكثف بتخزين الطاقة.



صورة (2-18) آلية عمل المحول الخافض في حالة المفتاح الإلكتروني مغلق [25]

❖ المفتاح الإلكتروني (OFF) :

بعد أن تم شحن المحث إلى فترة زمنية محددة سيتم فتح المفتاح ليتم تفريغه إلى الحمل كما هو مبين بالصورة (2-19) وسيبدأ المكثف بتفريغ الطاقة، و عند تطبيق قانون كيرشوف سنجد أن جهد الخرج أصبح أقل لأن جهد تغذية الحمل أصبح من المحث فقط.



صورة (2-19) آلية عمل المحول الخافض في حالة المفتاح الإلكتروني مفتوح [25]

و تعتمد قيمة جهد الخرج التي سيتم إنتاجها قيمة (D) Duty Cycle ، والتي تعرف بأنها نسبة الفترة الزمنية لحالة المفتاح الإلكتروني (ON) على الفترة الزمنية كاملة للدورة الواحدة، وكلما زادت D ازدادت معها قيمة جهد الخرج (V_{out}) وتحسب باستخدام العلاقة التالية

العلاقة [26]

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (6-2)$$

- وبالتالي يعطي الجهد خرج المبدل بالعلاقة

العلاقة [26]

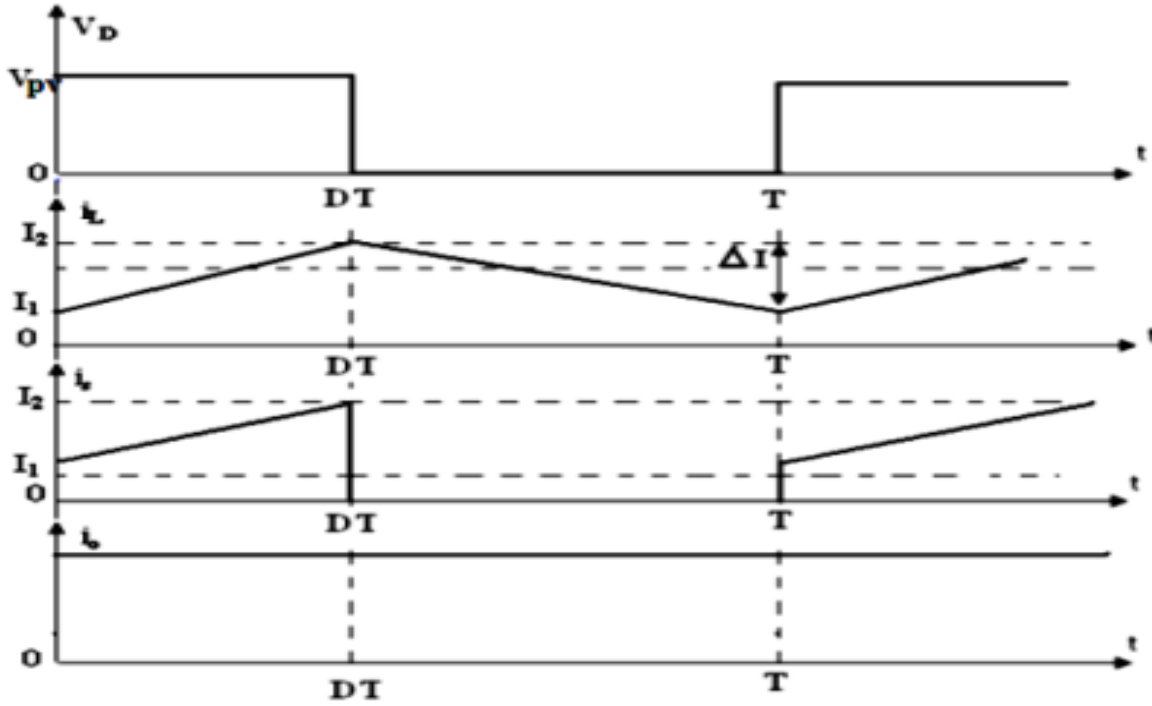
$$V_o = V_{in} \times D \quad (7-2)$$

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

حيث D نسبة التشغيل و V_{in} جهد الدخل للمبدل و V_o جهد الخرج للمبدل وواحدتهما الفولت

ان 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 وسيطلب مكثف ذا سعة كبيرة على أطراف المنظومة الكهروضوئية لينعم تيار الدخل. وتبين الصورة (2-20) الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح في المبدل Buck

عند تخفيض الجهد, إذا كان MPPT (دارة الملاحظة لنقطة الاستطاعة العظمى) متكاملة مع المنظومة, فان جهد الخرج يجب أن يكون أقل من جهد اللوح ليحقق ملاحظة لنقطة الاستطاعة الاعظمية. أيضا يجب أن توصل الألواح بشكل تسلسلي لتحقيق أكبر جهد دخل ممكن إن هذا المبدل قادر على ملاحظة نقطة الاستطاعة الأعظمية بشكل فعال وملاحظة مسار ميزات IV للوح PV في معظم الشروط. لهذه الأسباب ما زال Buck يستخدم كدارة متكاملة مع دارة ملاحظة نقطة الاستطاعة الأعظمية MPP.



الصورة(2-20) توضح الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح [25]

2.16.2. محول التيار المستمر الرفع للجهد (Boost Converter) :

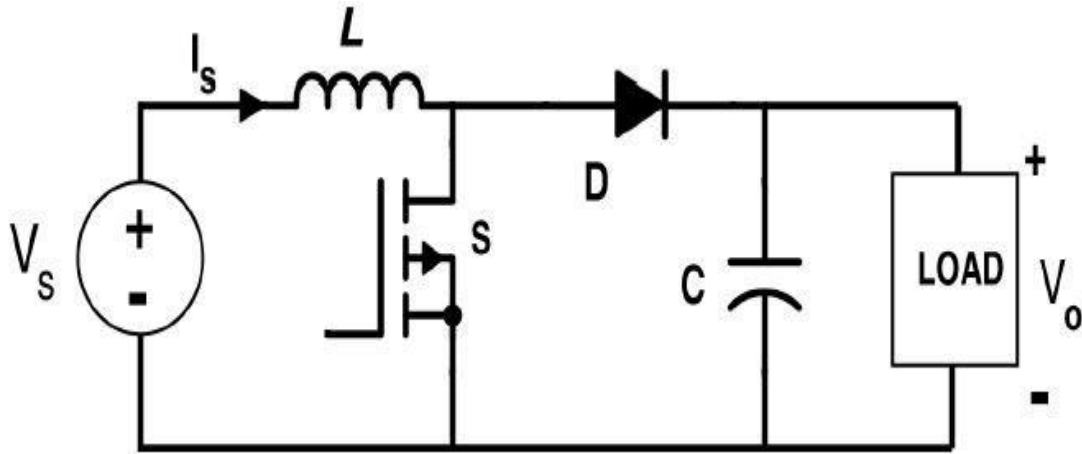
و هي عبارة عن محول (DC/DC Converter) يعمل على تحويل جهد DC من قيمة منخفضة إلى قيمة أعلى باستعمال دائرة إلكترونيات القوى (Power Electronics Circuit)، ويقوم أيضاً بتحويل التيار من قيمة عالية إلى قيمة منخفضة أي أن القدرة ثابتة عند عملية التحويل. [25]

❖ مكوناته:

كما نرى بالدائرة المكافئة للمحول الرفع للجهد بالصورة (20-2)

فإنه تتكون من:

- ✓ مصدر جهد DC.
- ✓ محث (Inductor).
- ✓ مفتاح إلكتروني (Electronic Switch) ومن أشهرها MOSFET و IGBT.
- ✓ مكثف (Capacitor).
- ✓ دايود (Diode).
- ✓ الحمل الذي سيتم تغذيته بجهد الخرج (V_{out}).



صورة (21-2) توضح الدائرة الكهربائية المكافئة للمحول الرفع للجهد. [25]

❖ آلية العمل:

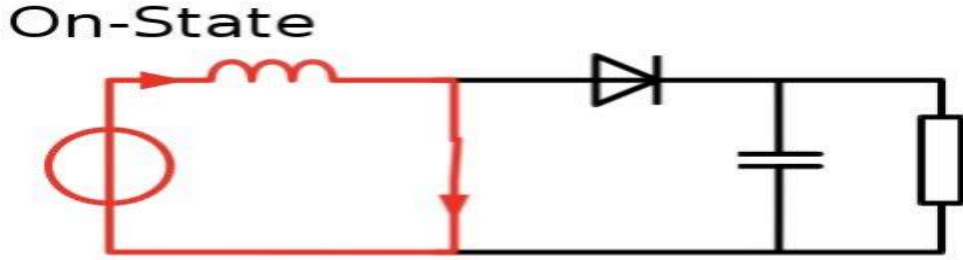
❖ يمكننا تقسيم آلية العمل إلى قسمين، هما:

1. المفتاح الإلكتروني (ON).
2. المفتاح الإلكتروني (OFF).

وستحدث عن كل قسم، فيما يلي:

1. المفتاح الإلكتروني (ON) :

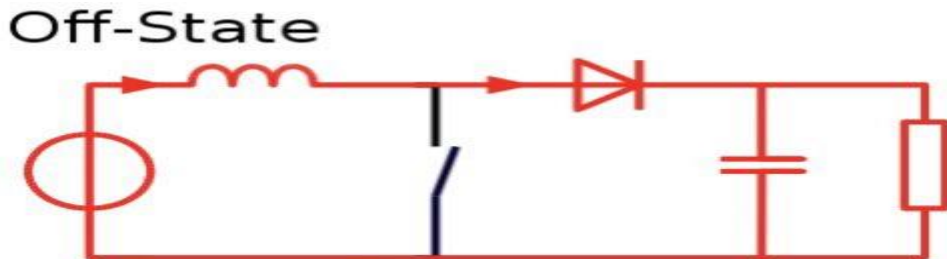
في هذه الحالة سيتم تمرير التيار من المصدر إلى المحث ثم إلى المفتاح الإلكتروني كما هو مبين بالصورة (21-2)، وسيتم شحن المحث لفترة زمنية معينة أي سيكتسب فرق جهد ولن يتم تمرير تيار في الطرف الآخر.



صورة (22-2) توضح آلية عمل المحول الرفع للجهد في حالة المفتاح الإلكتروني مغلق. [25]

2. المفتاح الإلكتروني (OFF) :

بعد أن تم شحن المحث إلى فترة زمنية محددة سيتم فتح المفتاح ليتم تفريغه إلى الطرف الآخر وسيبدأ المكثف بتخزين الطاقة كما هو مبين بالصورة (22-2)، و عند تطبيق قانون كيرشوف سنجد أن جهد الخرج ازداد لأن جهد تغذية الحمل أصبح من المصدر الرئيسي بالإضافة إلى جهد المحث الذي تم شحنه، والذي يضمن لنا عدم تمرير التيار من المحث إلى الطرف الآخر من الحمل هو وجود الدايمود ووضعه بالطريقة الموجودة بالصورة (22-2) حيث أنها تضمن للتيار في أن يسير في اتجاه واحد، أيضاً يضمن لنا عدم تمرير التيار من المكثف إلى الطرف الآخر من الحمل.



صورة (23-2) آلية عمل المحول الرفع في حالة المفتاح الإلكتروني مفتوح. [25]

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

وكما أن جهد الخرج للمحول الخافض للجهد يعتمد على قيمة (Duty Cycle (D ، أيضاً جهد الخرج (V_{out}) المحول الراجع للجهد يعتمد على D ، وكلما زادت D زادت معها قيمة جهد الخرج (V_{out}) [26]. وتحسب باستخدام العلاقة التالية (8-2)

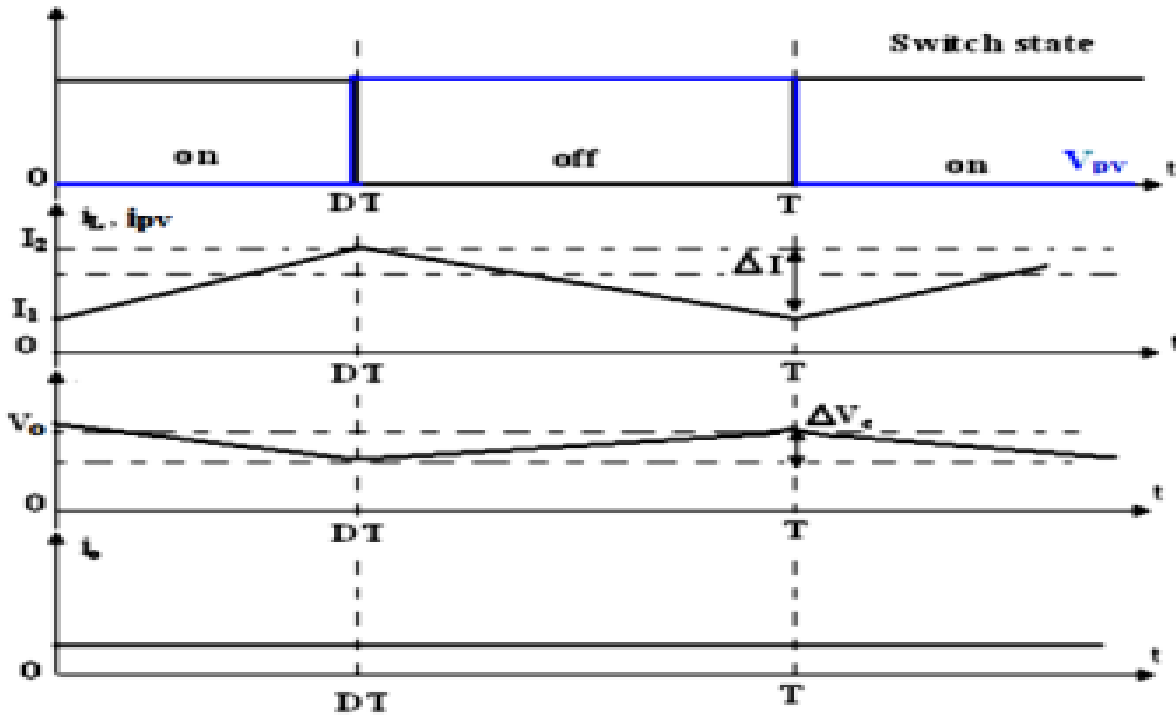
$$D = \frac{V_o - V_{in}}{V_o} \quad (8-2)$$

يعطي الجهد خرج المبدل بالعلاقة

العلاقة [26]

$$V_o = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (9-2)$$

بما أن الجهد المطلوب من قبل الحمل أكبر من جهد منظومة ال-PV ، فإن مبدل Boost يمكن أن يعمل مع دائرة MPPT بشكل ناجح كما هو مبين في الصورة (24-2)



الصورة (24-2) الجهود والتيارات تبعا لحالة المفتاح [25]

مبدل ال-Boost يستقر تيارا مستمرا ثابت المطال بمعظمه محتفظا بتموج صغير، ويكون ذو فعالية عند استقرار الاستطاعة من المنظومة الكهروضوئية

3.16.2. محول خافض-رافع (Buck-Boost Converter)

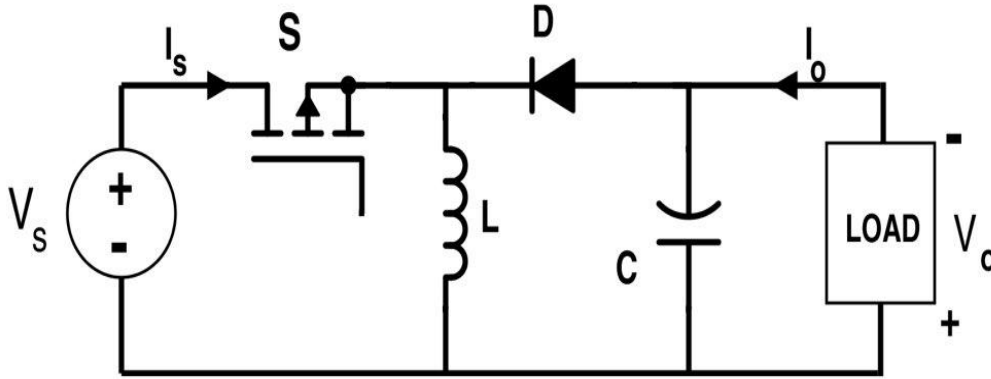
هو عبارة عن محول (DC/DC Converter) يعمل على تحويل جهد DC من قيمة مرتفعة إلى قيمة أقل (Buck) أو العكس (Boost) باستعمال دائرة إلكترونيات القوى (Power Electronics Circuit)، ويقوم أيضاً بتحويل التيار من قيمة منخفضة إلى قيمة أعلى أو العكس أي أن القدرة ثابتة

❖ مكوناته:

كما نرى بالدائرة المكافئة للمحول الخافض-الرافع للجهد بالصورة (23-2)

فإنه يتكون من:

- ✓ مصدر جهد DC.
- ✓ مفتاح إلكتروني (Electronic Switch) ومن أشهرها MOSFET و IGBT.
- ✓ محث (Inductor).
- ✓ دايود (Diode).
- ✓ مكثف (Capacitor).
- ✓ الحمل الذي سيتم تغذيته بجهد الخرج (V_{out}) ونلاحظ أن قطبية الحمل عكس قطبية المصدر.



صورة (25-2) الدائرة الكهربائية المكافئة للمحول الخافض-الرافع للجهد [25]

❖ آلية العمل:

كما تم تقسيم آلية عمل Buck Converter و Boost Converter إلى قسمين، أيضاً يمكننا تقسيم آلية العمل إلى قسمين هما:

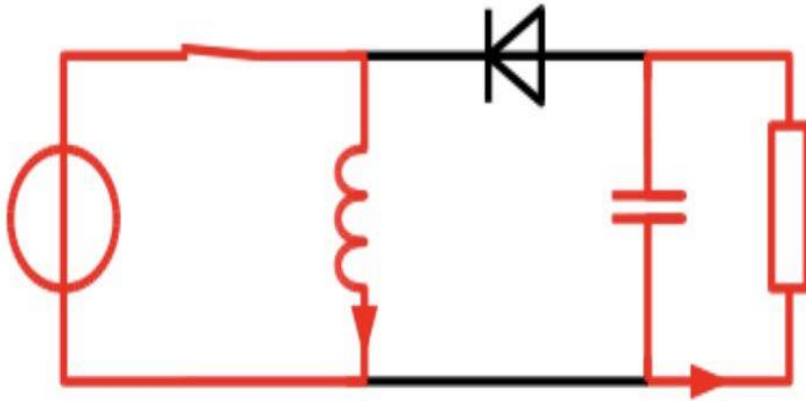
1. المفتاح الإلكتروني.(ON)
2. المفتاح الإلكتروني.(OFF)

وستحدث عن كل قسم، فيما يلي:

1. المفتاح الإلكتروني(ON) :

في هذه الحالة يتم تمرير التيار من المصدر إلى المفتاح الإلكتروني إلى الملف ليتم تخزين الطاقة فيها دون المرور إلى الجانب الآخر (الحمل)، كما هو مبين بالصورة (24-2)

On-State

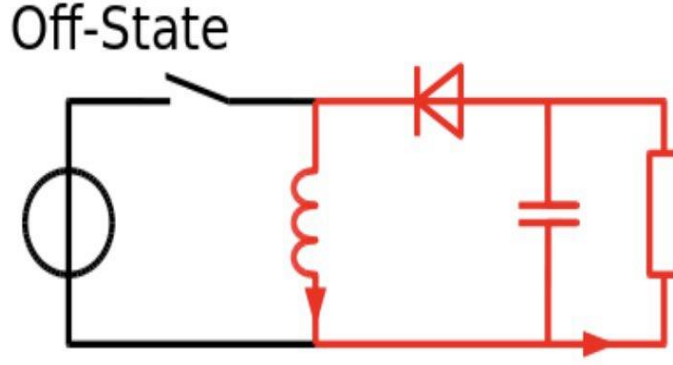


صورة (26-2) توضح آلية عمل المحول الخافض - الرفع في حالة المفتاح

الإلكتروني مغلق . [25]

المفتاح الإلكتروني(OFF) :

الآن وبعد أن تم فتح المفتاح الإلكتروني سيتم تفريغ الطاقة التي تم تخزينها في الملف إلى الحمل كما هو مبين بالصورة (25-2)، وسيبدأ المكثف بتخزين الطاقة ونلاحظ أن اتجاه تيار الحمل معاكس لاتجاه تيار المصدر بمعنى أن قطبية جهد الحمل معاكسة لقطبية جهد المصدر.



صورة (27-2) توضح آلية عمل المحول الخافض-الرافع في حالة المفتاح الإلكتروني مفتوح. [25]

وكما هو الحال في مبدلات خافضة للجهد (Converter Buck) و مبدلات رافعة للجهد (Buck – Boost Converter) أيضاً جهد الخرج (Vout) في مبدلات خافضة رافعة للجهد (Buck Converter) تعتمد على قيمة دور التشغيل Dut Cycle و تحسب باستخدام العلاقة التالية (10-2)، ويعمل ك Buck في حال إذا كانت قيمة D أقل من 0.5 وأكبر من 1 Boost في حال إذا كانت قيمة D أكبر من 0.5 وأقل من 1

العلاقة [26]

$$D = \frac{V_o}{V_{in}+V_o} \quad (10-2) \bullet$$

يعطي الجهد خرج المبدل بالعلاقة

العلاقة [26]

$$V_o = \frac{V_{in} \times D}{V_{in}+V_o} \quad (11-2) \bullet$$

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. ولا بد من الذكر بأنه يتم تجنب استخدام المبدل محول خافض-رافع (Buck-Boost Converter) بسبب تعقيد التصميم وكلفته العالية [27]

الفصل الثاني : تحليل وتقييم تقنيات الشحن في الطاقة الشمسية

Boost Converter المبدل الرافع للجهد	Buck Converter المبدل الخافض للجهد
يمتاز بمردود عالي [28].	تمتاز بالبساطة والمردود العالي الذي يزيد عن 90% [29]
جهد الخرج حساس جدا لتغيرات [30] Duty Cycle	تغيرات تيار الحمل مهمة نظرا لوجود المرشح (L-C) [29]
هناك صعوبة في تحقيق استقرار المبدل عند Duty Cycle [30.28] العالية	من السهل تحقيق استقرار المبدل عند قيم Duty Cycle [29] العالية

الجدول (2-2) مقارنة المبدلات التيار المستمر.

17.2. مبدل التيار المستمر- المتناوب (Converter Continu-Alternatif)

تعد مبدلات التيار المستمر المتناوب (DC-AC converters) أجهزة تستخدم لتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب. يتم ذلك من خلال تعديل الخصائص الكهربائية للتيار المستمر الوارد للحصول على تيار متناوب بمواصفات مختلفة من حيث التيار والجهد والتردد، وفقاً لمتطلبات التطبيق الخاصة. يتكون هذا النوع من المحولات عادةً من مكونات إلكترونية مثل المفاتيح النصفية (transistors) والترانزستورات (transistors) والمكثفات (capacitors) والملفات الحثية (inductors) ودوائر التحكم (control circuits). تقوم تطورات مبدلات التيار المستمر المتناوب بشكل كبير على تطوير مكونات أشباه الموصلات التي يمكن التحكم فيها بشكل كامل وفعال وسريع. ومن جهة أخرى، يعتمد تطور هذا النوع من المحولات بشكل شبه كامل على تقنية تعديل عرض النبضات (PWM)، التي تستند إلى أداء تردد تبديل أشباه الموصلات. وتستخدم مبدلات التيار المستمر المتناوب في مجالات متنوعة مثل تحويل الطاقة في أنظمة الطاقة المتجددة، وتنظيم السرعة في المحركات الكهربائية، وتحويل الطاقة في أنظمة التغذية الكهربائية. [26]

18.2. الخلاصة

تمثل هذه النتائج المعروضة في هذا الفصل جزءًا من الجهود المبذولة من قبل المهندسين والباحثين الكهربائيين في مجال تحسين كفاءة أنظمة الطاقة الشمسية. وتأتي هذه النتائج بعد دراسة وتحليل لأنواع منظمات الشحن، بما في ذلك MPPT و PWM، بالإضافة إلى مقارنة شاملة بينهما. وقد أظهرت الدراسة أن هناك اختلافًا في الاستخدامات الأساسية لكل تقنية في نظام الطاقة الشمسية. حيث أن الدور الأساسي لتقنية PWM هو الحفاظ على جهد مستقر للبطارية عن طريق تقديم دورة نبضية من التيار الكهربائي. أما الدور الأساسي لمنظم الشحن MPPT فهو تحديد نقطة القدرة القصوى على لوحات الطاقة الشمسية، مما يسمح بتحقيق أقصى كفاءة لنظام الطاقة الشمسية. وبعد المقارنة، يظهر أن منظم الشحن MPPT أكثر كفاءة من منظم الشحن PWM في ظروف معينة، خصوصًا عند وجود اختلاف كبير في الجهد بين اللوحات الشمسية والبطارية. منظم الشحن MPPT قادر على التكيف بفعالية مع تقلبات درجات الحرارة والإضاءة للحصول على أقصى كمية من الطاقة، ويمتاز بقدرته على تتبع النقطة القصوى لطاقة الشمس بدقة أكبر، مما يُمكنه من استخراج كمية أكبر من الطاقة في ظروف متغيرة. بينما يظل منظم الشحن PWM فعالًا في العديد من التطبيقات، خاصةً إذا كان هناك توافق كامل بين اللوحات الشمسية وجهد البطارية، أو إذا كان هناك اختلاف صغير في الجهد. في النهاية، يعتمد الاختيار على متطلبات. كما تم استعراض محولات DC-DC التي تلعب دورًا حيويًا في تحويل الطاقة بين مصادر الطاقة المتغيرة مثل الخلايا الشمسية والمحولات. ومن بين هذه المحولات، يبرز محول الخافض للجهد (Buck Converter) كأكثر فعالية واستخدامًا. وذلك لكفاءته العالية واستخدامه الشائع في مختلف التطبيقات الإلكترونية. ويتناسب مع متطلبات البطارية ويوفر تحكمًا مرئيًا في معدل الناتج، مما يجعله مثاليًا للعديد من الأجهزة المحمولة والتطبيقات الإلكترونية المتنوعة.

في الفصل القادم، سنواصل دراسة نتائج جهود الباحثين والمهندسين الكهربائيين في تحسين كفاءة الألواح الشمسية، حيث بدأت هذه الجهود منذ اكتشاف تقنية MPPT ووصولاً إلى المتحكمات الذكية المستخدمة في تحسين هذه التقنية، مثل P&O و PSO و وحدات التحكم PID والمنطق الضبابي، وغيرها من المتحكمات. ومن بين هذه المتحكمات، يبرز دور وحدات التحكم والمنطق الضبابي كأهم المتحكمات وأكثرها استخدامًا. في هذا الفصل، سنقوم بدراسة طريقة عمل كل من وحدات التحكم والمنطق الضبابي بشكل عام، بهدف توضيح كيفية تحسين كفاءة الألواح الشمسية باستخدام هذه المتحكمات

الفصل الثالث:

دراسة تقنيتي المنطق الضبابي وتقنية

التوصيل التزايدي IC

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC

1.3 تمهيد

تتسارع التطورات في مجال تقنيات الطاقة الشمسية مع نمو نسبة كفاءة الألواح الشمسية، التي تتراوح بين 25 إلى 30% في أحسن الحالات. [14] يلعب نظام MPPT دورًا أساسيًا في تحقيق أداء ممتاز لأنظمة الطاقة الشمسية، حيث يساهم في تحديد النقطة القصوى للطاقة الشمسية والحفاظ عليها بشكل فعال. [18] بالإضافة إلى ذلك، تُظهر الأبحاث الحديثة رغبة العلماء والمهندسين في تطوير تقنيات أكثر فعالية وكفاءة في مجال الطاقة الشمسية. ومع استمرار الاستكشافات والابتكارات، يتم التركيز على تحسين أداء الألواح الشمسية وزيادة كفاءتها واستدامتها على المدى الطويل. ومع توجه العلماء نحو هذا الهدف، يبرز دور تقنيات التحكم مثل PSO و وحدات التحكم PID والمنطق الضبابي و تقنية التوصيل التزايدي IC وغيرها في تحسين أداء نظام MPPT ، وتعزيز كفاءة توليد الطاقة الشمسية واستدامتها كمصدر للطاقة النظيفة بشكل ملحوظ. [33.38.37]

في الفصل السابق قمنا بدراسة حول تقنيتين مختلفتين PWM و MPPT كأدوات لتحسين أداء الألواح الشمسية و من اهم نتائج هذه الدراسة هو ان منظمات الشحن تلعب دورا اساسيا في اداء الالواح الشمسية حيث تعمل على تحسين اداءها عن طريق تنظيم الطاقة المستخرجة منها وتحويلها بكفاءة أعلى إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام. ومن اهم النتائج ايضا هو تفوق MPPT على PWM في تتبع النقطة القصوى لطاقة

وفي هذا الفصل سنقوم بدراسة طريقة عمل كل من تقنية التواصل التزايدي IC والمنطق الضبابي بشكل عام، التي تعمل بدورها الاساسي على تحسين أداء نظام MPPT عن طريق تحقيق استقرار النظام وتكيفه مع التغيرات المتعددة في البيئة.

2.3. تقنية التوصيل التزايدي IC

تقنية التوصيل التزايدي (IC) ، أو Incremental Conductance ، هي تقنية تحكم في الطاقة تُستخدم في نظام تتبع نقطة الطاقة القصوى (MPPT) في أنظمة الطاقة الشمسية. تم تطوير هذه التقنية في الثمانينيات من قبل الباحثين هيروفومي أكاجي، و أتسوشي ناباي، وشوهي ساوامورا Hirofumi Akagi و Atsushi Nabae و Shohei Sawamura. وقد نشروا أساسيات هذه التقنية في ورقة بحثية "بعنوان متوازات الطاقة النشطة الفورية المكونة من أجهزة التبديل بدون مكونات تخزين الطاقة" في عام 1983. تتميز هذه التقنية بقدرتها على تحسين أداء نظم الطاقة الشمسية من خلال ضبط المتغيرات التحكمية مثل التيار والجهد بشكل دقيق. تعتمد تقنية التوصيل التزايدي على استخدام مفاتيح إلكترونية لضبط التيار والجهد في النظام بحيث يتم الحفاظ على نقطة الطاقة القصوى لوحدة الطاقة الشمسية في جميع الظروف المتغيرة للإضاءة وظروف البيئة. يتمثل الهدف الرئيسي لتقنية التوصيل

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC

التزايدي في زيادة كفاءة استخدام الطاقة الشمسية من خلال استخدام الطاقة بشكل أكثر فعالية وتحسين أداء النظام بشكل عام.

3.3. مبدأ عمل تقنية التوصيل التزايدي IC :

تقنية التوصيل التزايدي IC تُستخدم في أنظمة الطاقة الشمسية لتعقب نقطة القدرة القصوى (MPPT). تعتمد هذه التقنية على مبدأ تغيير التوصيل في الوحدة الكهروضوئية (GPV) وتحليل تأثيره على موضع نقطة العمل [31]

- لفهم مراحل عمل هذه التقنية بالتفصيل، سنستند إلى النص المقدم والمعادلات المرفقة

$$G = \frac{dPG}{dVG} = 0 \quad \text{المعادلة (1-3)}$$

حيث:

- ✓ G : التوصيل (Ω بالأوم)
 - ✓ P : طاقة خرج الوحدة الكهروضوئية (W بالوات)
 - ✓ V : جهد خرج الوحدة الكهروضوئية (V بالفولت)
- يمكن إعادة كتابة المعادلة كالتالي (2-3)

$$\frac{dPG}{dVG} = \frac{d(IG \times VG)}{dVG} = VG \times \frac{dIG}{dVG} + IG \times \frac{\Delta VG}{\Delta VG}$$

$$\frac{dPG}{dVG} = VG \times \frac{dIG}{dVG} + IG \quad \text{(3-3)}$$

وهذا يعني أن

$$\frac{dIG}{dVG} + \frac{IG}{VG} = 0 \quad \text{المعادلة (4-3)}$$

الفكرة الأساسية للتوصيل المتزايد مستوحاة من المعادلة (4-3) وفي التنفيذ العملي، نادراً ما يساوي ميل الخاصية (0) $P-V$ عند MPP. ومع ذلك، يمكن اكتشاف هذا الميل غير الصفري من خلال السماح بخطأ هامشي صغير، حيث تعتمد قيمة الخطأ على حساسية MPPT المطلوبة.. [35]

- يمكن إعادة صياغة المعادلة (5-3) على النحو التالي:

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

$$\frac{dIG}{dVG} + \frac{IG}{VG} = e \quad (5-3)$$

حيث e هو الخطأ بين التوصيل اللحظي والتوصيل المتزايد [31]

إذا كان $e > 0$: تكون نقطة التشغيل على يسار نقطة الطاقة القصوى (PPM).

✓ إذا كان $e = 0$: تكون نقطة التشغيل على نقطة الطاقة القصوى (PPM).

✓ إذا كان $e < 0$: تكون نقطة التشغيل في يمين نقطة الطاقة القصوى (PPM).

4.3. مراحل عمل التقنية التوصيل التزايدى IC :

1. القياس الأولي : يتم قياس القيم اللحظية للتيار (I_{pv}) والجهد (V_{pv}) للوحدة الكهروضوئية.

2. حساب التوصيل الحالي : يتم حساب التوصيل الحالي للوحدة الكهروضوئية باستخدام المعادلة (1-3)

3. حساب التوصيل المتزايد : يتم حساب التوصيل المتزايد باستخدام المعادلة (2-3)

4. حساب الخطأ : يتم حساب الخطأ (e) بين التوصيل الحالي والتوصيل المتزايد باستخدام المعادلة (5-3)

5. تحديد اتجاه نقطة العمل

إذا كان $e > 0$: تكون نقطة التشغيل على يسار نقطة الطاقة القصوى (PPM).

إذا كان $e = 0$: تكون نقطة التشغيل على نقطة الطاقة القصوى (PPM).

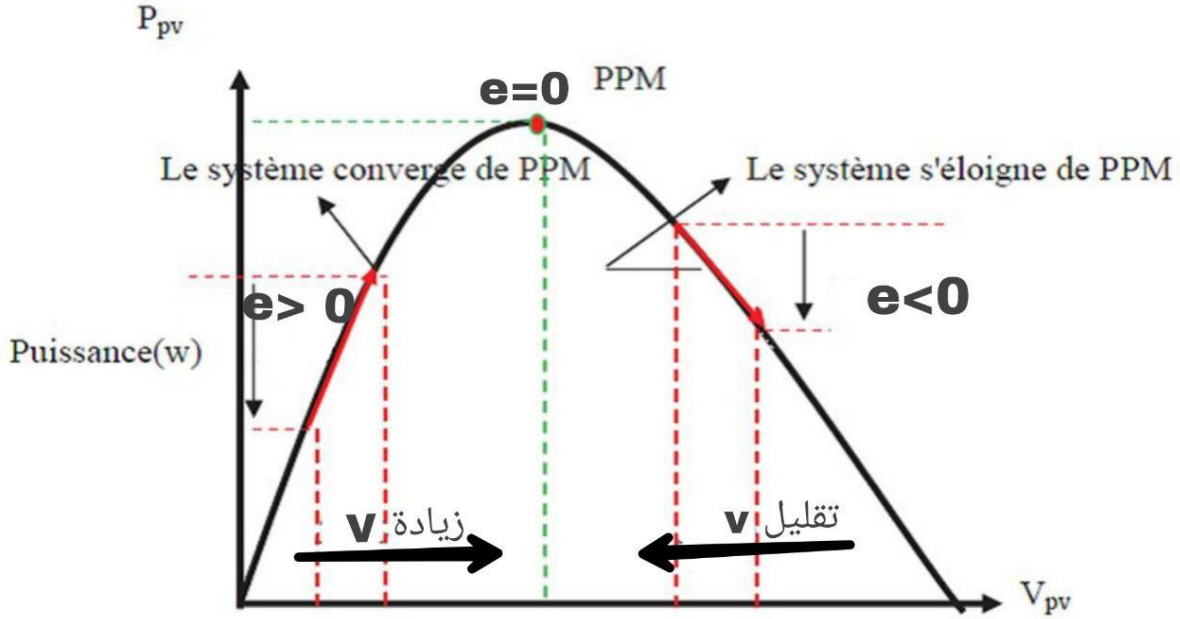
إذا كان $e < 0$: تكون نقطة التشغيل في يمين نقطة الطاقة القصوى (PPM).

6. تعديل التوصيل : بناءً على اتجاه نقطة العمل، يتم تعديل توصيل الوحدة الكهروضوئية. يتم زيادة التوصيل إذا كانت نقطة التشغيل على يسار نقطة الطاقة القصوى، ويتم تقليل التوصيل إذا كانت نقطة التشغيل على يمين نقطة الطاقة القصوى.

7. تكرار الخطوات من 1 إلى 6 : يتم تكرار الخطوات من 1 إلى 6 حتى يتم الوصول إلى نقطة الطاقة القصوى.

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

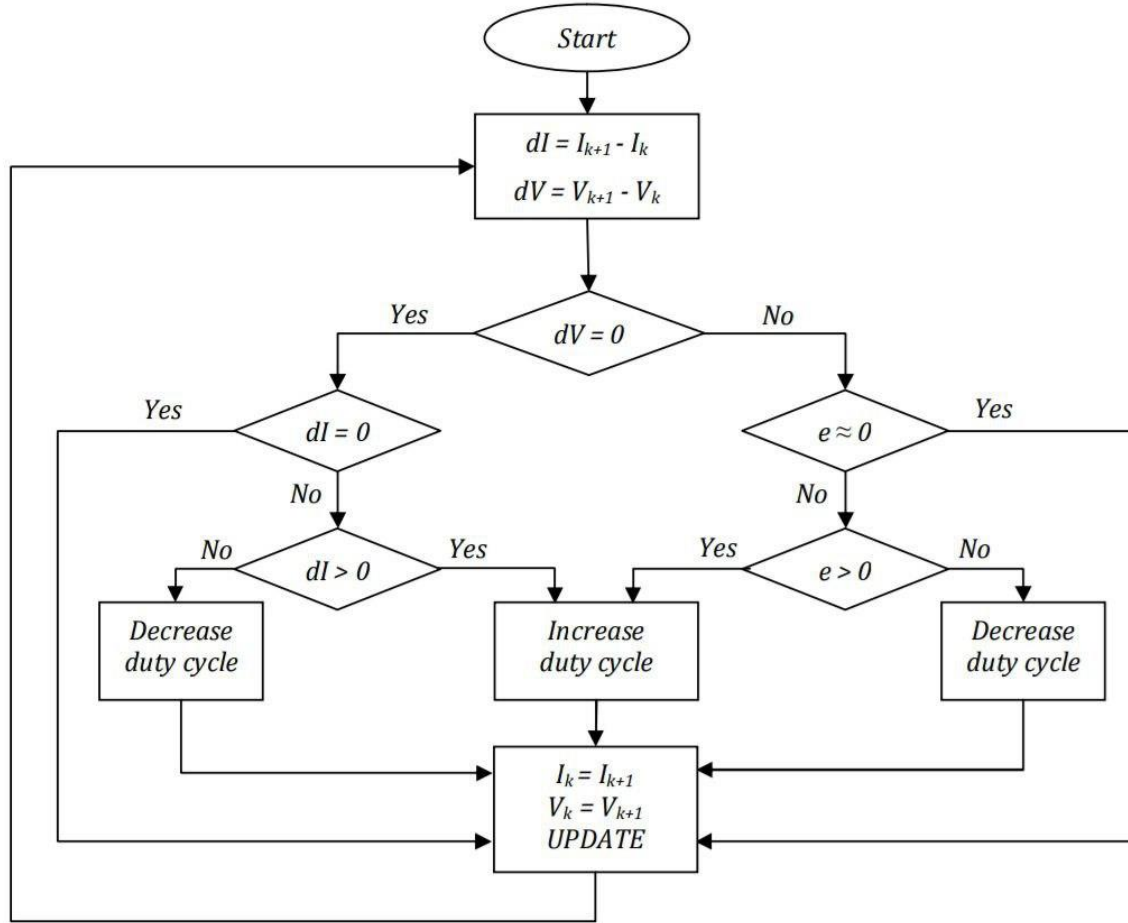
الهدف النهائي الهدف النهائي من تقنية "التوصيل التزايدى IC" هو تحسين كفاءة تحويل الطاقة في أنظمة الطاقة الشمسية عن طريق ضمان عمل النظام عند نقطة القدرة القصوى (MPPT) بأكبر قدر من الفعالية. بهذا الشكل، تضمن هذه التقنية تحقيق أقصى استفادة من الطاقة المتاحة في الظروف المتغيرة، مما يزيد من كفاءة وأداء الأنظمة الكهروضوئية.



صورة (1-3) توضح طريقة تحديد موضع نقطة العمل بناءً على التغير في القدرة (dP/dV)

يؤدي اضطراب الجهد إلى تحريك نقطة التشغيل إلى نقطة أقرب إلى MPP ونستمر في إزعاج الجهد في نفس الاتجاه. سيؤدي هذا إلى نقل نقطة التشغيل حتى يتم الوصول إلى MPP على العكس من ذلك، إذا انخفضت القدرة، $\Delta P < 0$ ، فإن نقطة التشغيل تتحرك بعيداً عن MPP. بعد ذلك يجب أن نقوم بإزعاج الجهد بإشارة جبرية معاكسة للإشارة السابقة لتحريك نقطة التشغيل حتى الوصول إلى MPP. من خلال هذه التحليلات المختلفة حول عواقب تغير الجهد على الخاصية $(P-V)$ ، يصبح من السهل بعد ذلك تحديد نقطة التشغيل بالنسبة إلى PPM وجعل الأخيرة تتقارب نحو الطاقة القصوى من خلال ترتيب مناسب. باختصار، إذا زادت القدرة الكهروضوئية بعد اضطراب الجهد، يتم الحفاظ على اتجاه الاضطراب. وبخلاف ذلك، يتم عكسه لاستئناف التقارب نحو MPP الجديد [32] [33]

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC



الصورة (2.3):توضيح تقنية MPPT المعتمدة على طريقة IC

تستخدم طريقة "التوصيل التزايدى (Incremental Conductance, IC) "على نطاق واسع اليوم بسبب بساطتها. ومع ذلك، فإنها تعاني من بعض المشكلات المرتبطة بالتذبذبات حول نقطة القدرة القصوى (MPP) في الحالة المستقرة. يجب تكرار عملية البحث عن MPP بشكل دوري، مما يؤدي إلى تأرجح النظام باستمرار حول MPP بمجرد الوصول إليها. يمكن تقليل هذه التذبذبات عن طريق تقليل مقدار الاضطراب. ومع ذلك، إذا كانت قيمة التغير صغيرة جداً، فقد يحدث بطء في البحث عن نقطة القدرة القصوى. بعبارة أخرى، يجب إيجاد توازن بين الدقة والسرعة، مما يجعل تحسين هذه التقنية أمراً صعباً. [40].

5.3.3 مزايا وعيوب تقنية التوصيل التزايدى (IC)

❖ المزايا:

- هيكل تنظيمي بسيط : تعتمد على معادلات رياضية مباشرة، مما يجعل تصميمها وتنفيذها أسهل

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC

- انخفاض عدد معلمات القياس : تحتاج فقط إلى قياس الجهد والتيار، مما يقلل من التعقيد والتكلفة
 - كفاءة عالية في ظروف ثابتة : تقدم أداءً جيدًا في ظروف الإشعاع الشمسي المستقرة
 - تحسين الأداء : يمكنها التعرف بسرعة على تغييرات صغيرة في الإشعاع الشمسي وظروف البيئة
- ❖ العيوب:

- ✓ التذبذبات حول نقطة القدرة القصوى : تؤدي إلى تذبذب مستمر حول MPP في الحالة المستقرة، مما يقلل من كفاءة النظام [40]
- ✓ البطء في التكيف مع التغيرات السريعة : قد تتجاوز النقطة القصوى المثلى في حالة التغير السريع في الظروف الجوية.
- ✓ الحاجة إلى توازن بين الدقة والسرعة : يجب إيجاد توازن بين دقة التعقب وسرعته، مما يجعل تحسين الأداء تحديًا
- ✓ استهلاك الطاقة : التذبذبات المستمرة قد تؤدي إلى استهلاك طاقة إضافي.
- ✓ التعقيد في البرمجة : رغم بساطة الهيكل التنظيمي، فإن برمجتها لتحقيق التوازن المثالي بين السرعة والدقة يمكن أن يكون معقدًا.

6.3. استخدامات تقنية التحكم التزايدي (IC) :

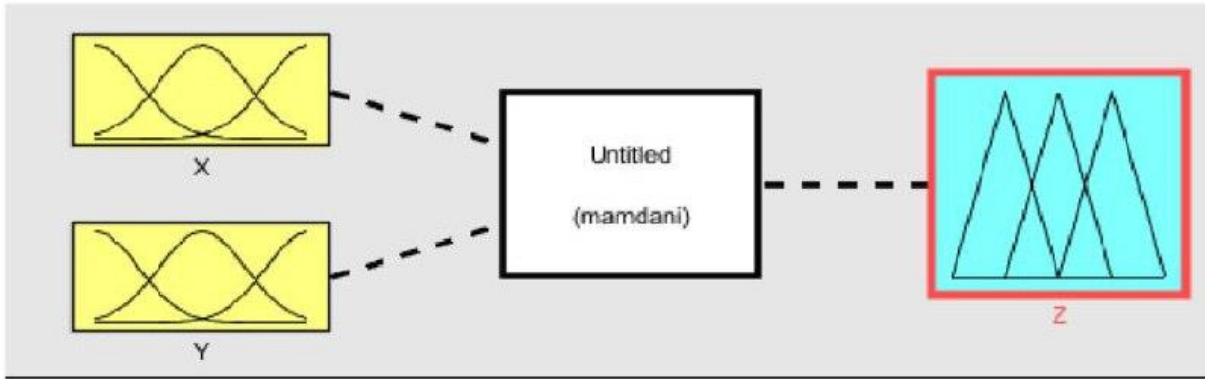
- ❖ في مجال الطاقة الشمسية: تستخدم لتحقيق تتبع فعال لنقطة الطاقة القصوى (MPPT) في أنظمة توليد الطاقة الشمسية
- ❖ أنظمة الطاقة الكهربائية: يمكن استخدامها في تحسين أداء وكفاءة أنظمة توزيع الطاقة الكهربائية من خلال تحسين التحكم في التيار والجهد.
- ❖ تطبيقات الإلكترونيات الصناعية: تُستخدم لتحسين كفاءة أنظمة التحكم الصناعية وتقليل استهلاك الطاقة
- ❖ السيارات الكهربائية: يمكن استخدامها في تحسين أداء نظم الدفع الكهربائية في السيارات الكهربائية وزيادة كفاءة الاستهلاك الطاقة
- ❖ أنظمة تحكم الروبوتات: يمكن استخدامها في تحسين أداء واستجابة أنظمة تحكم الروبوتات وزيادة دقتها وفعاليتها.

7.3. المنطق الضبابية Fuzzy logic :

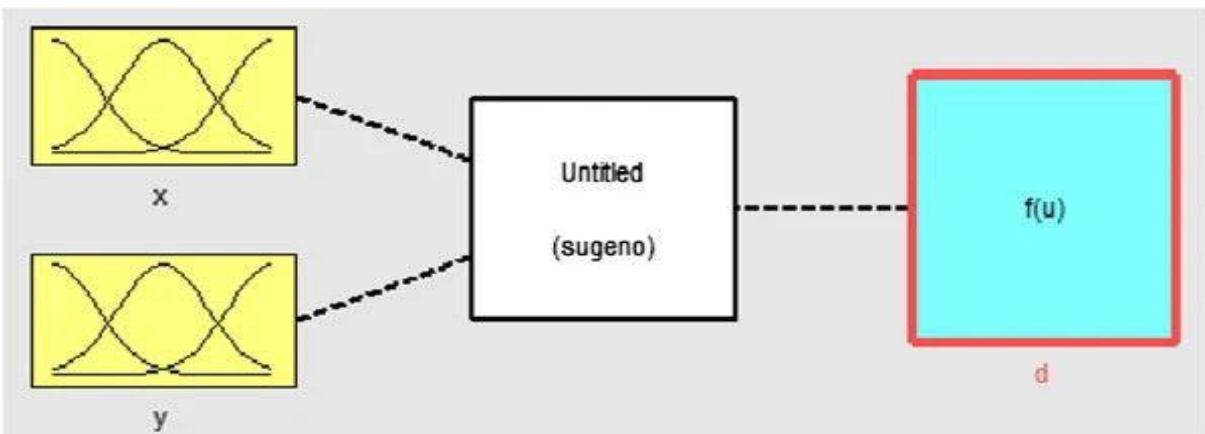
تُعدُّ تقنية المنطق الضبابي Fuzzy logic واحدة من الابتكارات المهمة في مجال الذكاء الاصطناعي، حيث تهدف إلى تعزيز قدرة الآلات على التفكير بطريقة مماثلة للبشر واتخاذ القرارات بناءً على ذلك. يعتمد هذا النوع من التحكم على تحويل الاستراتيجيات اللغوية إلى استراتيجيات تحكم آلية، مما يساهم في تحسين كفاءة العمليات والأنظمة، خاصة في الظروف المعقدة التي تكون فيها المعلومات غير واضحة ومتداخلة. تشمل المتحكمات

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

الضبابية على مجموعة من الخوارزميات التي تعتمد على نظرية المجموعات الضبابية التي قدمها العالم لطفى زادة في عام 1965. وقد شهدت هذه التقنية تطورًا كبيرًا في عام 1974 عندما استخدم منطق الغموض في تنظيم محرك بخاري [42]، مما أدى إلى زيادة اهتمام العلماء به وتتيح هذه المتحكمات تحويل المعلومات المتوفرة عن النظام المدروس إلى استراتيجيات تحكم آلية، مما يعزز فعالية العمليات والأنظمة، خاصة عندما تكون المعلومات المتوفرة غير دقيقة ومتنوعة [43.36]. و تتضمن المتحكمات الضبابية نوعين رئيسيين: متحكمات من نوع Mamdani ومتحكمات بالاعتماد على الدخل الضبابي. حيث أن المتحكم الأول يمكن الحصول على خرجه بالاعتماد على تقنية فلك التضييب (Defuzzification) بينما المتحكم الثاني Sugeno عن طريق متوسط الأوزان (Weight average). وتتميز كل من هذين النوعين بمجالات استخدام مختلفة، حيث يكون المتحكم من نوع Mamdani مفيدًا في الأنظمة التي تعتمد على التنبؤ والأمثلية، بينما يتم استخدام المتحكم من نوع Sugeno في تطبيقات الأنظمة الخبيرة والذكاء الاصطناعي [10].



صورة (3-3) للمتكم Mamdani [42]



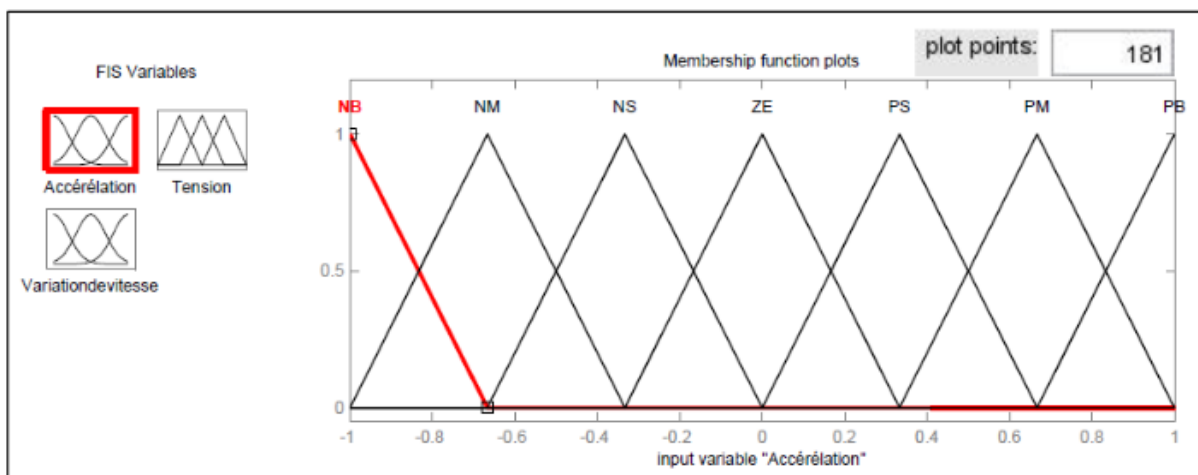
صورة (4-3) للمتكم Sugeno [42]

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام

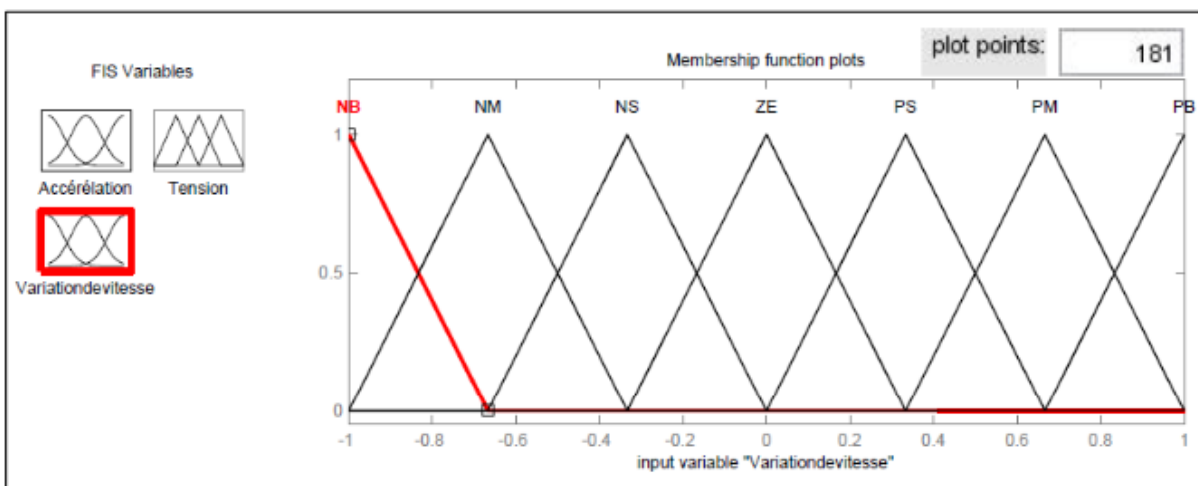
المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

NB	NEGATIVE BIG
NM	NEGATIVE MEDIUM
NS	NEGATIVE SMALL
ZE	ZERO
PS	POSITIVE SMALL
PM	POSITIVE MEDIUM
PB	POSITIVE BIG

الجدول (1-3) متغيرات غامضة لوظيفة العضوية.

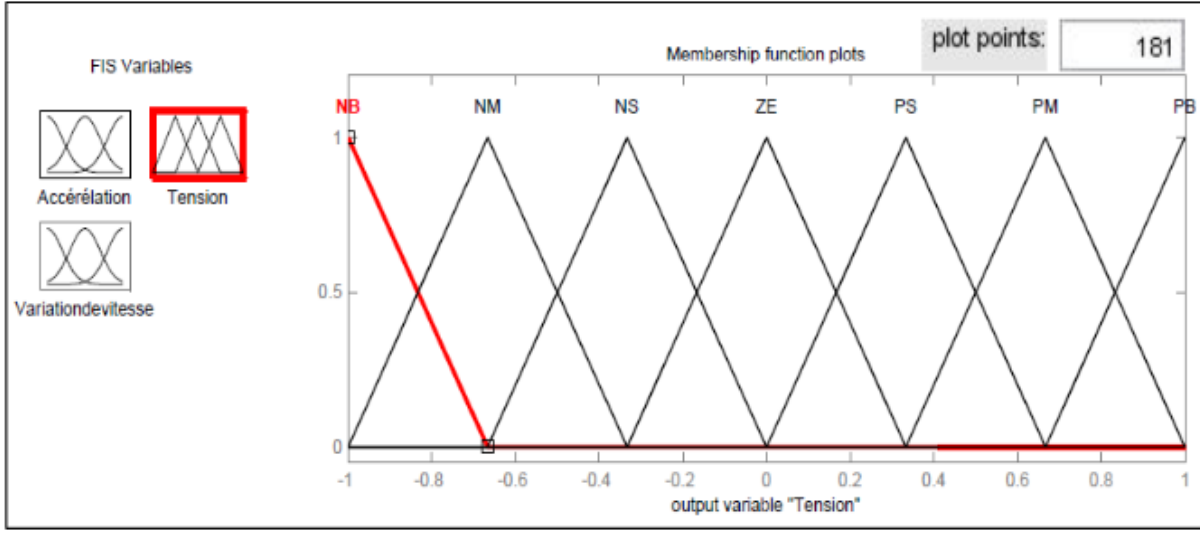


صورة (5-3) وظائف العضوية للتسريع



الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

صورة (3-6) وظائف العضوية لتغير السرعة.



صورة (3-7) وظائف العضوية للتوتر.

Variation de vitesse	Accélération						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS
NM	NB	NM	NM	NM	NS	NS	ZE
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	ZE	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	ZE	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	ZE	PS	PS	PM	PM	PM	PB
PB	PS	PM	PM	PB	PB	PB	PB

الجدول (3-2) قاعدة تحكم المنطق الغامض.

و يتميز المنطق الضبابي بأنه يستخدم في الأنظمة التقاربية اللاخطية، مما يجعله مناسباً للاستخدام في العديد من التطبيقات، بما في ذلك نظام الطاقة المتجددة مثل نظام الخلايا الشمسية وذلك باعتبار ان نظام الخلايا الكهروضوئية هو نظام لا خطي . يتيح هذا النوع من التحكم التعامل مع متغيرات الدخل التي قد تكون غير دقيقة، دون الحاجة إلى معالجة سريعة أو بيانات كبيرة. وبفضل تفوقه على العديد من المتحكمات التقليدية، يُعتبر المنطق الضبابي أداة قوية في مجال تحسين كفاءة الأنظمة اللاخطية [44]

8.3 دوال العضوية Membership Functions

تستعمل دوال العضوية في تحديد درجة انتماء العناصر إلى مجموعات ضبابية، حيث تتراوح قيمها بين 0 و 1. وتتيح هذه الدوال تعبيراً دقيقاً عن درجة الانتماء لكل عنصر، مما يجعل النتائج أكثر دقة واقتراً بالواقع.

في المنطق التقليدي، يتم تعبير عن درجة انتماء عنصر ما إلى فئة معينة بقيمة 1 إذا كان الانتماء صحيحاً، وبقيمة 0 إذا كان الانتماء خاطئاً. بينما في المنطق الضبابي، تُعبر درجة الانتماء بدرجة العضوية التي تتراوح بين 0 و 1، وتُحسب عن طريق دالة العضوية (μ_A) التي يتم ضبط معاملاتها بواسطة الخبرة البشرية أو البيانات التي يتم جمعها من النظام أو السجلات. [42] [44]

9.3 انواع دوال العضوية Membership Functions

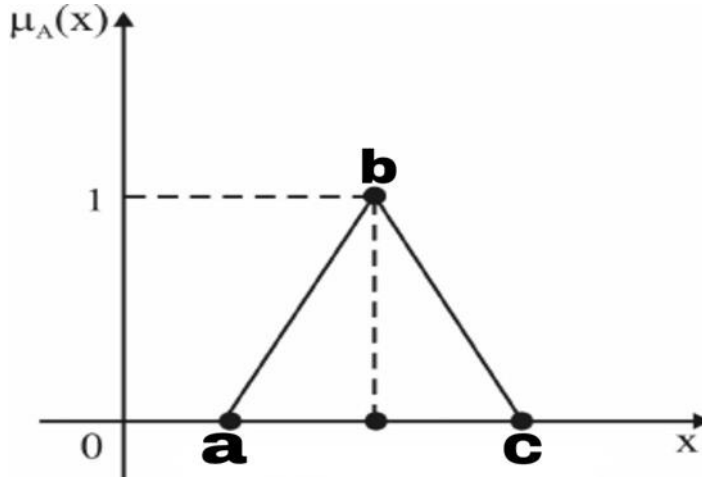
هناك العديد من دوال العضوية المستخدمة في التطبيقات العملية، ولكن الأشكال الأكثر شيوعاً واستعمالاً هي ثلاث انواع. دالة العضوية المثلثية والشبه منحرفة و ذات الشكل الجرسى [44]

1- دالة العضوية المثلثية Triangular Membership Function

تحدد الدالة العضوية المثلثية بثلاثة معاملات a, b, c حيث تكون لها قيمة خطية في النطاق (a, b) وخارجها صفر وتكون لها أقصى قيمة 1 عند النقطة b و كما هو موضح بالمعادلة الرياضية (3-6) وصورة (3-5) توضح شكل الدالة المثلثية

$$\mu_A(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \\ 0 & x \geq c \end{array} \right\} \text{المعادلة الرياضية}$$

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

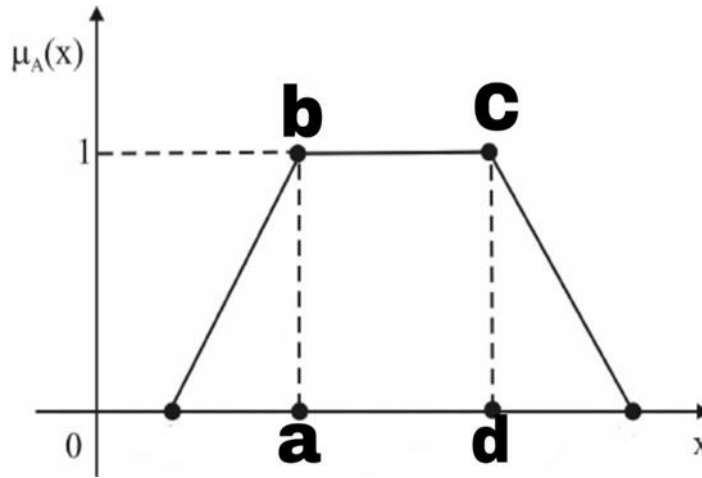


صورة (3-8) توضح شكل الدالة المثلثية [44]

2- دالة العضوية شبه المنحرف Trapezoid Membership Function

تحدد الدالة العضوية شبه المنحرف بأربعة معاملات a, b, c, d حيث a هو الحد الأدنى الأيسر و b الحد الأقصى الأيمن كما هو مشار إليه صورة (3-6) والمعبر عليها بالمعادلات الرياضية (3-7)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad \text{المعادلة الرياضية}$$



صورة (3-9) توضح شكل الدالة شبه المنحرفة [44]

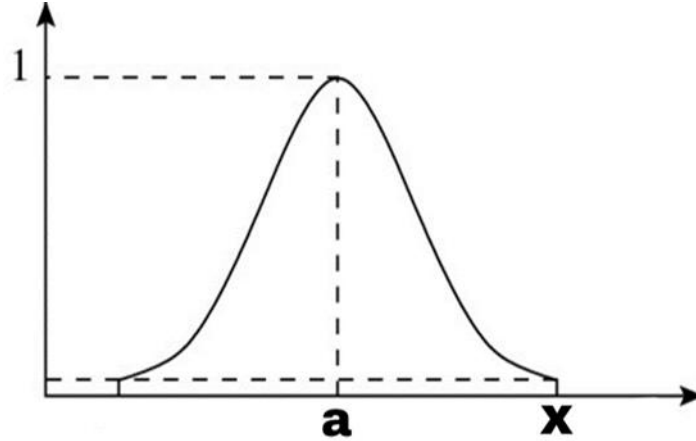
الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

3- الدالة العضوية ذات الشكل الجرسى (Bell-Shape) :

تسمى هذه الدالة أيضا بدالة غاوس (Gaussian Function) ويكون الشكل العام لها كما هو موضح في صورة (7-3) ومعادلتها الرياضية (8-3)

$$\mu A(x) = \frac{(x-a)^2}{2b^2}$$

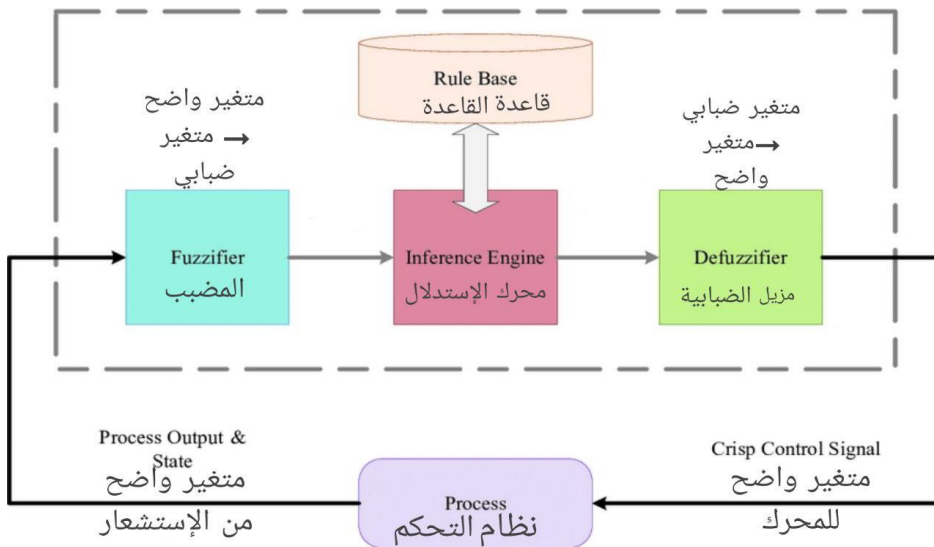
المعادلة الرياضية



صورة (3-10) توضح شكل الدالة ذات الشكل الجرسى [44]

10.3. مراحل عمل المتحكم الضبابى Fuzzy logic

يتكون المتحكم الضبابى، كما هو موضح في الصورة (3-8)، من ثلاث مراحل أساسية: [44]



الصورة (3-11) توضح مبدا عمل المنطق الضبابى [44]

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC

1.10.3. مرحلة التضييب (Fuzzification):

- هي أول مرحلة في عمل المتحكم الضبابي.
- في هذه المرحلة، يتم تحويل قيم الدخل العددية (Crisp) للمتحكم إلى قيم ضبابية تقع ضمن المجال [0, 1].
- يتم ذلك من خلال ربط كل قيمة مدخلة بمجموعة ضبابية محددة وإعطائها القيمة الضبابية المقابلة لها.

2.10.3. مرحلة القواعد الأساسية ومحرك الاستدلال (inference & Rule base engine):

- تتكون القواعد الأساسية من مجموعة من القواعد ذات الصيغة "If-Then".
- تحتوي هذه القواعد على معلومات حول معايير التحكم التي تضبط بناءً على خبرة الخبير وسلوك النظام المتحكم به.
- على سبيل المثال: "إذا كان خطأ القدرة (E) كبيراً وتغير خطأ القدرة (CE) موجباً، فستكون نسبة التشغيل (duty_ratio) عالية".
- يقوم محرك الاستدلال بتنفيذ سلوك منطقي بناءً على قواعد الاستدلال، ويقوم بتحويل القواعد إلى خرج ضبابي.

3.10.3. مرحلة فك التضييب (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 تابع مركز الجاذبية (COG):

- يُعدّ تابع مركز الجاذبية (Center Of Gravity) من أكثر التوابع دقة وسهولة في الاستخدام. يتميز بكونه يميل إلى إرجاع قيمة قريبة من القيمة الفعلية للمتغير المُتحكم به.

الصيغة: [44]

$$u * = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{العلاقة (9-3)}$$

- $u *$ خرج المتحكم الضبابي = $\sum (w_i \text{ وزن القاعدة } * u_i \text{ القيمة الضبابية}) / \sum w_i$ مجموع الأوزان

- ✓ خرج المتحكم الضبابي: هو القيمة العددية المُستخرجة من النظام بعد عملية
- ✓ وزن القاعدة: هو وزن القاعدة المُطبّقة في عملية الاستدلال.

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC

✓ القيمة الضبابية: هي القيمة الضبابية المُقابلة للوزن المُحسَّب عند كل قاعدة.
 • تابع المتوسط الأعظمي (MOM):

يعتمد هذا التابع على تحديد أعظم قيم تم اختيارها من توابع الانتماء (Membership Function) المُستخدمة في النظام. ثم يتم إيجاد المتوسط الحسابي لهذه القيم العظمى. [44]
 الصيغة:

$$u * = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x)}{n} \quad \text{العلاقة (10-3)}$$

- $u *$ خرج المتحكم الضبابي $\Sigma = \mu(x)$ أعظم قيمة ضبابية) / n عدد التوابع ذات القيم العظمى
 حيث:

✓ خرج المتحكم الضبابي: هو القيمة العددية المُستخرجة من النظام بعد عملية فك التضييب.

✓ أعظم قيمة ضبابية: هي أعظم قيمة تم اختيارها من توابع الانتماء لكل قاعدة مُطبَّقة.

✓ عدد التوابع ذات القيم العظمى: هو عدد القواعد التي أوجدت قيمًا عظمى.

❖ تابع المعدل الموزون (WA):

يُستخدم هذا التابع بشكل أساسي مع المتحكمات الضبابية من نوع Sugeno. حيث يتم إيجاد مجموع جداء كل وزن مع قيمته الضبابية المُوافقة، ثم قسّمته على مجموع الأوزان. [44]

الصيغة:

$$u * = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times \mu_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{العلاقة (11-3)}$$

- $u *$ خرج المتحكم الضبابي $\Sigma = (w_i \text{ وزن القاعدة } * \mu_i \text{ القيمة العددية}) / \sum w_i$ مجموع الأوزان

خرج المتحكم الضبابي $\Sigma = (\text{وزن القاعدة } * \text{القيمة العددية}) / \text{مجموع الأوزان}$

حيث:

✓ خرج المتحكم الضبابي: هو القيمة العددية المُستخرجة من النظام بعد عملية فك التضييب.

✓ وزن القاعدة: هو وزن القاعدة المُطبَّقة في عملية الاستدلال.

✓ القيمة العددية: هي القيمة العددية المُستخرجة من تابع الخلاصة في كل قاعدة.

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

اختيار تابع فك التضييب:

يعتمد اختيار تابع فك التضييب المناسب على نوع المتحكم الضبابي المستخدم وخصائص التطبيق.

✓ المتحكمات الضبابية من نوع Mamdani: تُستخدم معها عادةً تابع مركز الجاذبية (COG).

✓ المتحكمات الضبابية من نوع Sugeno: تُستخدم معها عادةً تابع المعدل الموزون (WA).

❖ وملاحظات:

- ان كنا نبحث عن الدقة: يميل تابع مركز الجاذبية (COG) إلى إرجاع قيمة قريبة من القيمة الفعلية للمتغير المُتحكم به، مما يجعله أكثر دقة من التوابع الأخرى.
- اما عن السهولة: يتميز تابع مركز الجاذبية (COG) و تابع المعدل الموزون (WA) بسهولة حساب قيمة الخرج.

وتتوفر العديد من التوابع الأخرى لفك التضييب، مثل تابع bisector و تابع lom و تابع som.

هذه المراحل تمثل خطوات عملية المنطق الضبابي لتحويل المعلومات الغير واضحة إلى معلومات واضحة وقابلة للفهم. دعني أوضح كل مرحلة:

11.3. خطوات تشكل عملية تحليل ومعالجة المعلومات في المنطق الضبابي

شرح الخطوات التي تشكل عملية تحليل ومعالجة المعلومات في المنطق الضبابي، كما هو موضح في صورة (3-9) يوضح الخطوات التي تشكل عملية تحليل ومعالجة المعلومات في المنطق الضبابي [44.42]

وتظهر أهمية تحسين جودة المعلومات وتحديد العلاقات المنطقية بين المعلومات المختلفة في سياق الضبابية للوصول إلى نتائج واضحة وموثوقة.

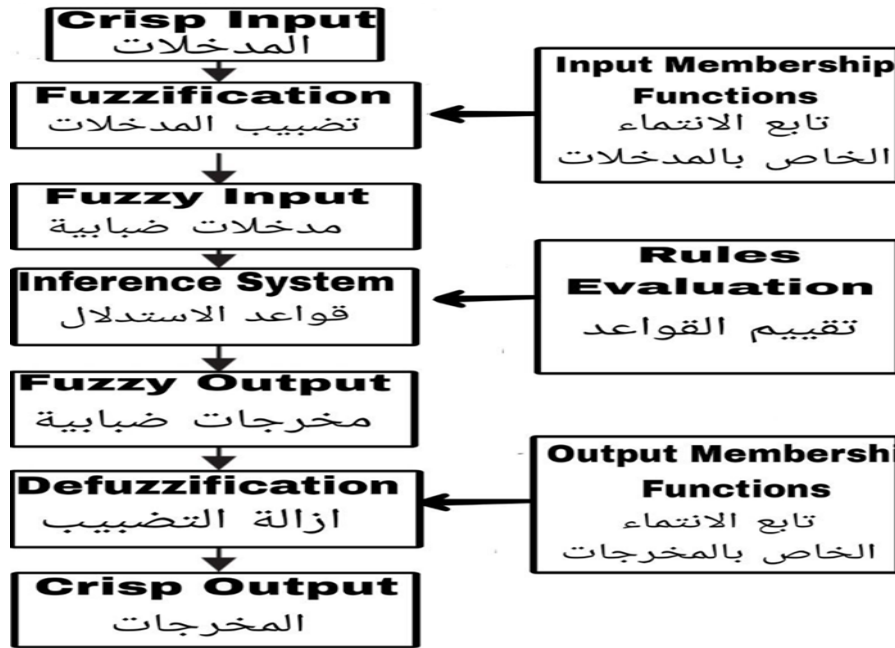
1. **الدخل الغامض** : يمثل البيانات الأولية التي قد تكون غير واضحة أو غامضة، وتحتاج إلى تنقية وتوضيح.

2. **تضييب المدخلات** : عملية تطبيق تقنيات معينة لتحسين جودة ووضوح المعلومات الغامضة، مما يسهل معالجتها

3. **مدخلات ضبابية** : بعد عملية التضييب، قد تظل بعض الغموض أو العدم اليقين في المعلومات.

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC

4. القواعد / الإستدلالات : تشمل القواعد اللوجيستية أو القوانين التي يتم استخدامها لتحليل المعلومات واستنتاج النتائج.
5. تقييم قواعد الاستدلال : عملية تقييم القواعد المعتمدة للتأكد من مدى ملاءمتها للسياق الحالي وجودتها
6. مخرجات ضبابية : نتائج المعالجة التي قد تكون غير واضحة أو مبهمه وتحتاج إلى مزيد من التحسين
7. تابع الانتماء بالمدخلات : يقيس مدى تناغم المخرجات مع المعلومات الأولية المقدمة، ومدى ملاءمتها لها
8. تابع الانتماء بالمخرجات : يحدد مدى انتماء المخرجات إلى مجموعات معينة أو فئات، مما يساعد في تحديد مدى وضوحها
9. إزالة التضييب : عملية تنقية المخرجات وإزالة العناصر غير الواضحة أو غير المرغوب فيها
10. المخرجات الواضحة : النتائج النهائية والتي يمكن فهمها واستخدامها بسهولة ودقة. هذه الخطوات تشكل عملية تحليل ومعالجة المعلومات في سياق الضبابية



صورة (3-12) يوضح الخطوات التي تشكل عملية تحليل ومعالجة المعلومات في

المنطق الضبابي[42]

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC

مزايا و عيوب المنطق الضبابي:

❖ المزايا:

- التعامل مع عدم اليقين: يتعامل المنطق الضبابي بشكل فعال مع عدم اليقين والغموض في البيانات، مما يجعله مناسباً لتطبيقات الطاقة الشمسية حيث قد تكون ظروف التشغيل غير مؤكدة.
- الدقة العالية: يمكن للمنطق الضبابي تحقيق دقة عالية في تتبع نقطة القدرة القصوى (MPP)، حتى في ظروف الإضاءة المتغيرة.
- الاستقرار: يوفر المنطق الضبابي استقراراً أفضل للنظام مقارنة بتقنية التوصيل التزايدي، مما يقلل من التذبذبات حول نقطة القدرة القصوى.
- سهولة التكيف: يمكن تعديل قواعد المنطق الضبابي بسهولة لتناسب التطبيقات المختلفة وظروف التشغيل.

❖ العيوب:

- التعقيد: هيكل المنطق الضبابي أكثر تعقيداً من تقنية التوصيل التزايدي، مما يزيد من صعوبة التصميم والتنفيذ.
- الحاجة إلى بيانات تدريب: يتطلب المنطق الضبابي بيانات تدريب كافية لضبط قواعده بشكل صحيح.
- التفسير: قد يكون من الصعب تفسير كيفية اتخاذ المنطق الضبابي للقرارات، مما قد يجعل من الصعب استكشاف الأخطاء وإصلاحها.

12.3. الاستخدامات المتحكم الضبابي

- ✓ تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT): المتحكم الضبابي يُستخدم في تتبع نقطة القدرة القصوى لأنظمة توليد الطاقة الشمسية. يتم استخدامه لتحسين كفاءة استخدام الطاقة الشمسية عن طريق ضبط مستوى جهد وتيار النظام للحصول على أقصى كفاءة لتوليد الطاقة
- ✓ التحكم في الجهد والتيار: يستخدم المتحكم الضبابي في تنظيم جهد وتيار النظام الكهروضوئي بحيث يتم الحفاظ على استقرار النظام وتحسين كفاءة استخدام الطاقة

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

- ✓ **تحسين كفاءة النظام** : يساعد المتحكم الضبابي في تحسين كفاءة استخدام الطاقة في النظام الكهروضوئي عن طريق ضبط المتغيرات الضبابية مثل الجهد، التيار، والقدرة لتحقيق أفضل أداء ممكن.
- ✓ **تقديم الطاقة للشبكة الكهربائية**: يُستخدم المتحكم الضبابي في أنظمة توليد الطاقة الشمسية لتنظيم تدفق الطاقة المولدة وتقديمها بشكل مستقر ومتوازن للشبكة الكهربائية .
- 5. التحكم في
- ✓ **الشحن والتفريغ للبطاريات** : يُستخدم المتحكم الضبابي في أنظمة تخزين الطاقة الشمسية لضبط عمليات شحن وتفريغ البطاريات بطريقة تحافظ على عمر البطارية
- ✓ **الروبوتات والتحكم في الحركة**: يمكن استخدام المتحكم الضبابي في تحسين تحكم الروبوتات والمركبات الذكية، حيث يمكنه تعزيز دقة الحركة وتكيفها مع المتغيرات المحيطة بنظم
- ✓ **التكييف وتحكم المناخ**: يمكن استخدام المتحكم الضبابي في تحسين كفاءة أنظمة التدفئة والتبريد وتنظيم درجة الحرارة في المباني والمنشآت
- ✓ **أنظمة التحكم في المرور**: يُستخدم المتحكم الضبابي في تحسين أداء أنظمة التحكم في المرور لتنظيم تدفق حركة المرور وتقليل الازدحامات وتحسين سلامة الطرق .
- الأنظمة
- ✓ **الصناعية والتصنيعية**: يمكن استخدام المتحكم الضبابي في تحسين عمليات التصنيع والتحكم في العمليات الصناعية، مما يساهم في زيادة الإنتاجية وتحسين جودة المنتجات
- ✓ **أنظمة التحكم في الروبوتات الجراحية**: يمكن استخدام المتحكم الضبابي في تحسين أداء أنظمة التحكم في الروبوتات الجراحية لزيادة الدقة والتحكم الدقيق في العمليات الجراحية.
- ✓ **أنظمة التحكم في المركبات الذاتية القيادة**: يمكن استخدام المتحكم الضبابي في تحسين أداء أنظمة التحكم في المركبات الذاتية القيادة لزيادة السلامة والكفاءة وتحسين تجربة القيادة

الفصل الثالث: تحسين نقطة القدرة القصوى MPPT في أنظمة الطاقة الشمسية باستخدام المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC

13.3. خلاصة

في هذا الفصل، تم استعراض مراحل وخطوات عمل كل من المنطق الضبابي و تقنية التوصيل التزايدى (IC). يسعى المنطق الضبابي إلى تحسين أداء النظام من خلال التعامل مع الظروف غير الدقيقة باستخدام اللغة الطبيعية والقواعد الضبابية. وتتضمن عملية المنطق الضبابي عدة خطوات، منها تقسيم المدخلات وتحديد قواعد التحكم وتطبيق الاستنتاج الضبابي.

اما تقنية التوصيل التزايدى (IC) فتهدف إلى تحسين أداء النظام عن طريق ضبط المتغيرات التحكمية مثل التيار والجهد. تتضمن خطوات عمل تقنية التوصيل التزايدى عدة خطوات منها قياس مستمر للجهد والتيار، وحساب التغيرات، وتحديد الميل، ثم تعديل الجهد بناءً على الميل المحسوب

وعلى الرغم من اختلاف مراحل وخطوات عمل المنطق الضبابي ووحدات التحكم التزايدى (IC)، إلا أن هدفهم المشترك هو تحسين أداء تتبع نقطة الطاقة القصوى، وبالتالي تحسين أداء النظام وزيادة كفاءته ككل. وفي النهاية، يبقى السؤال حول أيهما أفضل بين المنطق الضبابي ووحدات التحكم التزايدى (IC) في تتبع نقطة الطاقة القصوى، وهذا ما سيتم دراسته في الفصل الأخير من هذه الدراسة

الجزء التطبيقى

الفصل الرابع:

تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي
والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة
القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

1.4. مقدمة

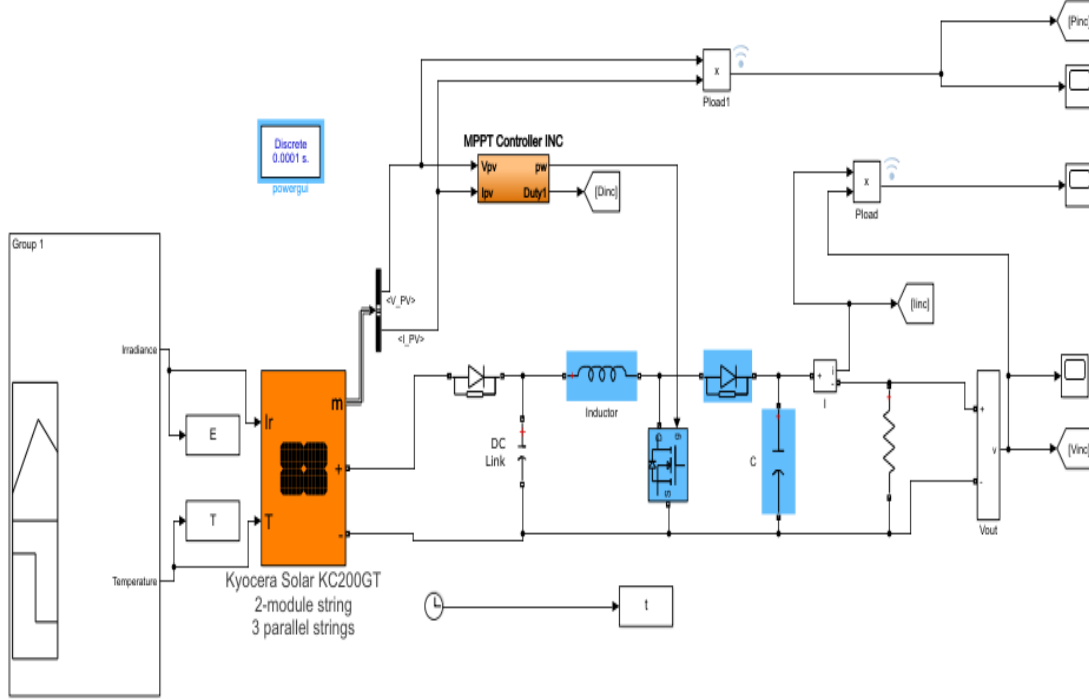
تتناول هذه الدراسة مقارنة بين اثنين من أساليب تتبع نقطة الطاقة القصوى لأنظمة الطاقة الشمسية، وهما المنطق الضبابي والمتحكم التزايدى (IC). تُعد تقنية تتبع نقطة الطاقة القصوى (MPPT) أحد المفاهيم الرئيسية في مجال الطاقة الشمسية، حيث تهدف إلى ضمان استخراج أقصى كمية من الطاقة من الخلايا الشمسية في ظل التغيرات المستمرة في شدة الإضاءة وظروف البيئة.

يستخدم المنطق الضبابي والمتحكم التزايدى طرقاً مختلفة لتحقيق هذا الهدف، وتقدم هذه الدراسة تحليلاً مقارناً لأداء كل منهما مقارنة دقيقة بين أداء المنطق الضبابي والمتحكم التزايدى في تتبع نقطة الطاقة القصوى، باستخدام مجموعة متنوعة من الشروط البيئية والظروف المختلفة. سيتم تنفيذ هذه المقارنة باستخدام بيئة محاكاة MATLAB/Simulink ، حيث سيتم دمج ومحاكاة النظام الكهروضوئي المقترح بناءً على كل من المنطق الضبابي والمتحكم التزايدى. سيتم تحليل النتائج بشكل شامل لتوضيح الفروق في الأداء بين الطريقتين، وسيتم اختيار الأفضل بناءً على المقارنة والتحليل العلمي.

ستوفر هذه الدراسة إضاءة شاملة على كفاءة وفعالية كل من المنطق الضبابي والمتحكم التزايدى في تحسين أداء أنظمة الطاقة الشمسية، وستساهم في تطوير تقنيات أكثر دقة وفعالية في مجال الطاقة المتجددة.

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

2.4. نموذج MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية التوصيل التزايدي (IC)



الشكل (1.4): رسم تخطيطي لـ MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية التوصيل التزايدي (IC)

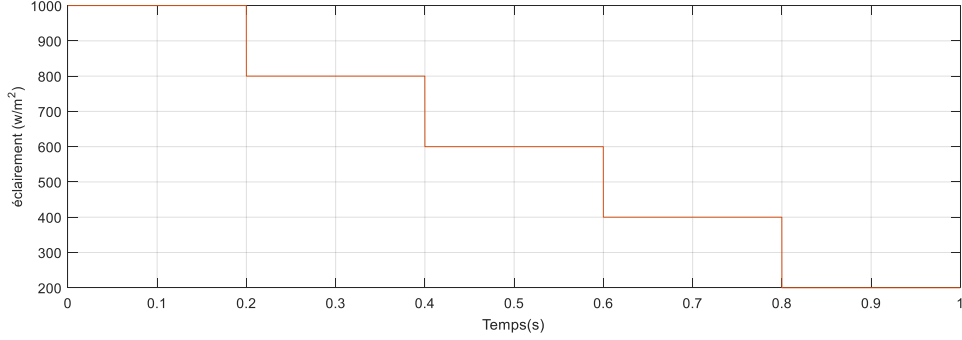
❖ يتم إعطاء معلمات المحول الكهربائي Boost في الجدول التالي:

القيمة Value	الاسم the name	المتغير Parameter
4 mH	محاثة المحول Converter inductance	L_i
4700 uF	سعة الإدخال Input Capacity	C_i
470 UF	الطاقة الانتاجية Output capacity	C_o
200Ω	مقاوم الحمل Load resistance	R

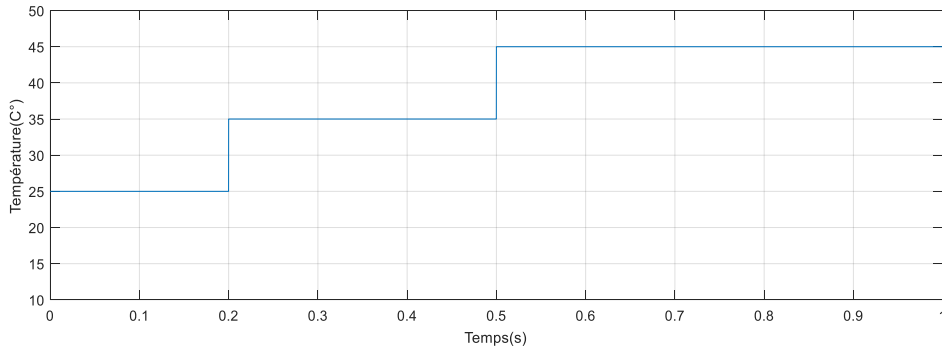
الجدول (2.1): معلمات المحول.

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

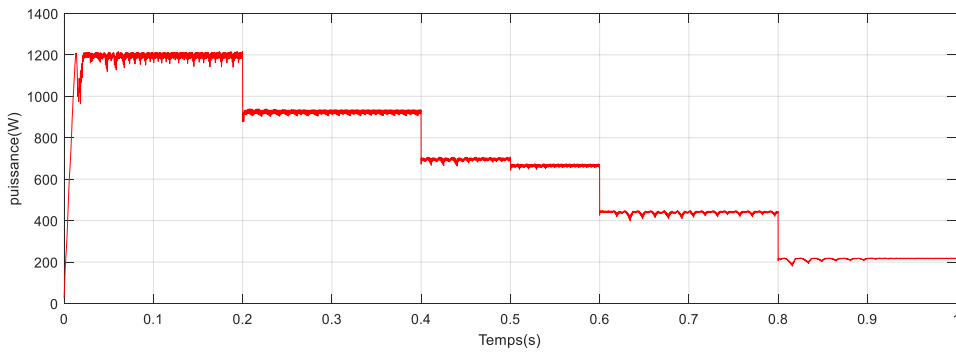
أولاً، قمنا بإخضاع النظام لتغيير في السطوح $E=(200.400.600.800.1000)$ W/m² في الوقت $t=1$ s مع درجة حرارة متغيرة (25.35.45) درجة مئوية.



الشكل (2.4): تباين الاستضاءة.

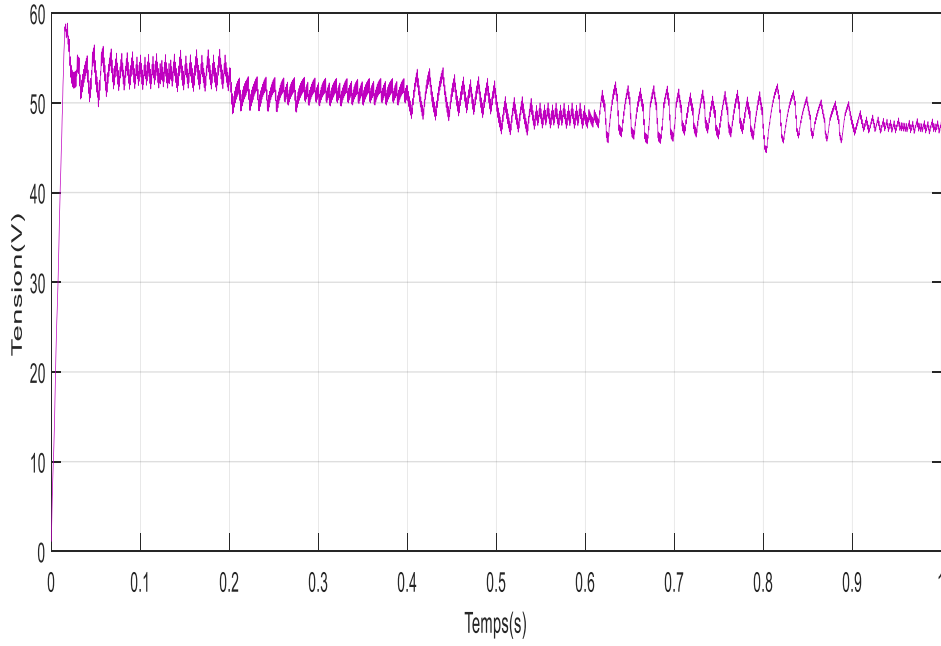


الشكل (3.4): تغيير درجات الحرارة.

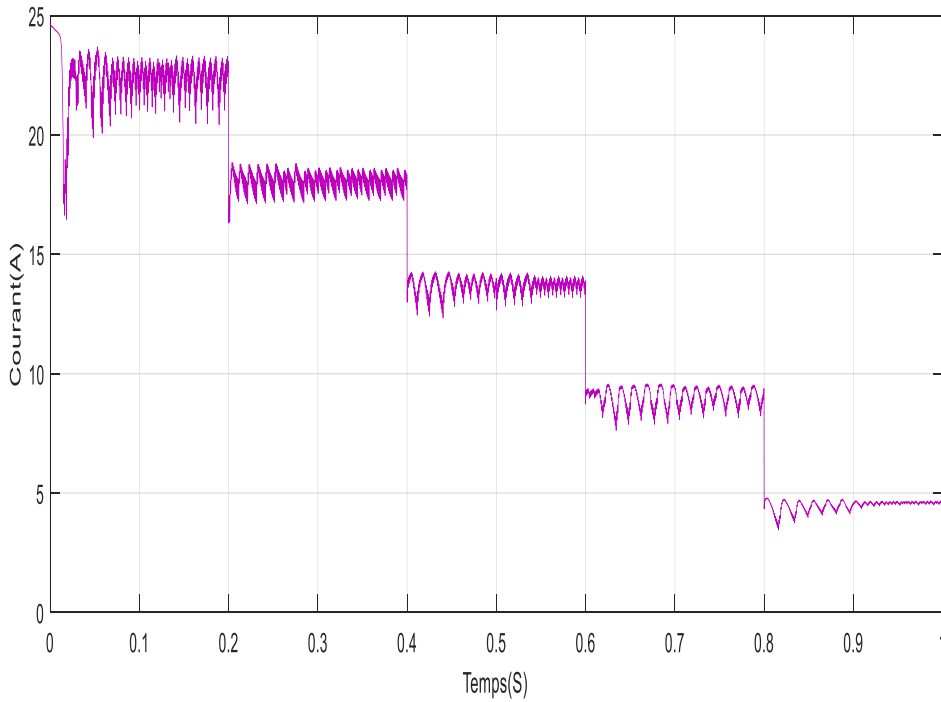


الشكل (4.4): خصائص $P(t)$ للنظام الكهروضوئي.

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

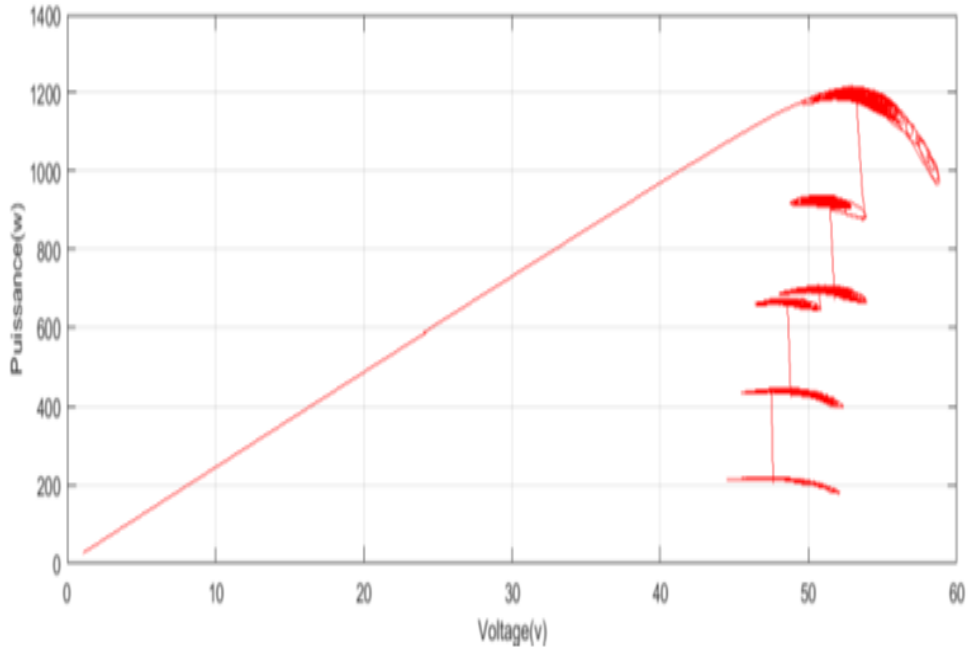


الشكل (5.4): خصائص $v(t)$ للنظام الكهروضوئي.

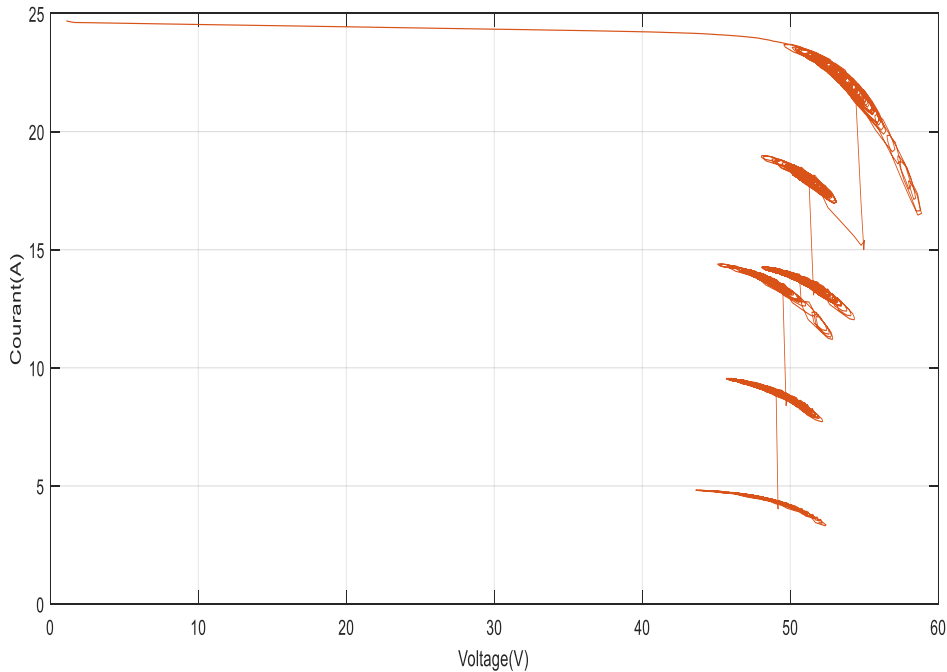


الشكل (6.4): خصائص $i(t)$ للنظام الكهروضوئي

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية



الشكل (7.4): خصائص $p(v)$ للنظام الكهروضوئي.



الشكل (8.4): الخصائص $i(v)$ للنظام الكهروضوئي.

3.4. تعليق على نتائج محاكاة طريقة تتبع نقطة القدرة القصوى باستخدام التوصيل التزايدى (IC)

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

✓ يظهر الشكل (1) و (2) و (3) شكل الطاقة و الجهد و التيار على مدار الزمن لنظام كهروضوئي يتم التحكم فيه بواسطة متحكم IC في ظل تغير في درجات الحرارة والإضاءة المتغيرة. نلاحظ أن الطاقة تستغرق زمن تذبذب قدره (0.01 ثانية) حتى تستقر عند القيمة القصوى للطاقة

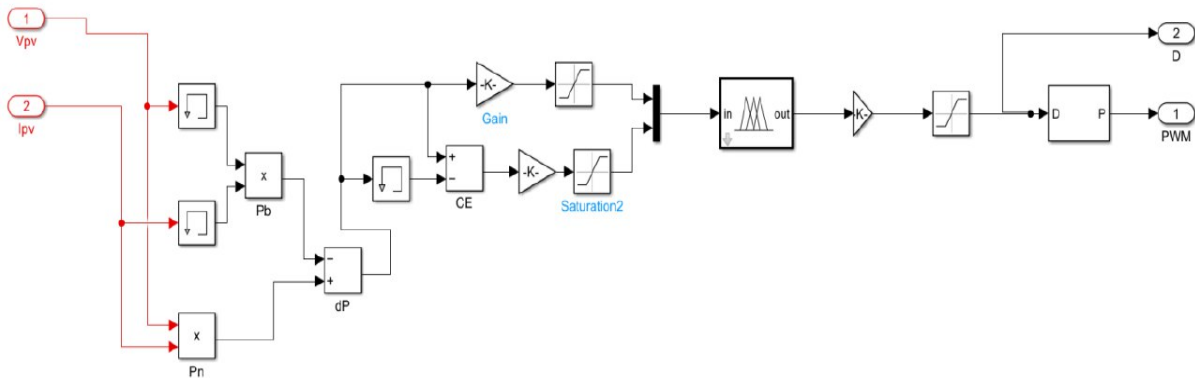
✓ نلاحظ في الأشكال (1) و (2) و (3) زيادة في الجهد تؤدي إلى انخفاض في الطاقة، و سبب ذلك هو ابتعاد نقطة التشغيل لنظام عن نقطة الطاقة القصوى MPP، ونلاحظ بعد 0.01 ثانية. يعيد التحكم نقطة التشغيل ويستقر عند نقطة القدرة القصوى مع بعض التذبذب الناتج عن المتحكم IC

✓ الأشكال (7.4)، (8.4)، يُظهران شكل الطاقة والجهد على مدار الزمن لنظام كهروضوئي يتم التحكم فيه بواسطة متحكم IC في درجة حرارة متغيرة وإضاءة مختلفة

4.4. نتائج محاكاة طريقة تتبع نقطة القدرة القصوى باستخدام تقنية MPPT الضبابية:
تعتبر تقنية MPPT الضبابية من الأساليب الذكية المستخدمة للتحكم في نقطة الطاقة القصوى لنظام الطاقة الشمسية.

سنستخدم نفس نموذج المحاكاة المستخدم في تقنية IC MPPT ، وقمنا بإجراء بعض التعديلات على حسابات E و CE، بالإضافة إلى تكييف مخرجات المتحكم التي هي تغيير نسبة التشغيل. توضح الشكل (9.4) مخطط الكتل للتحكم بتقنية MPPT الضبابية تحت المحاكاة

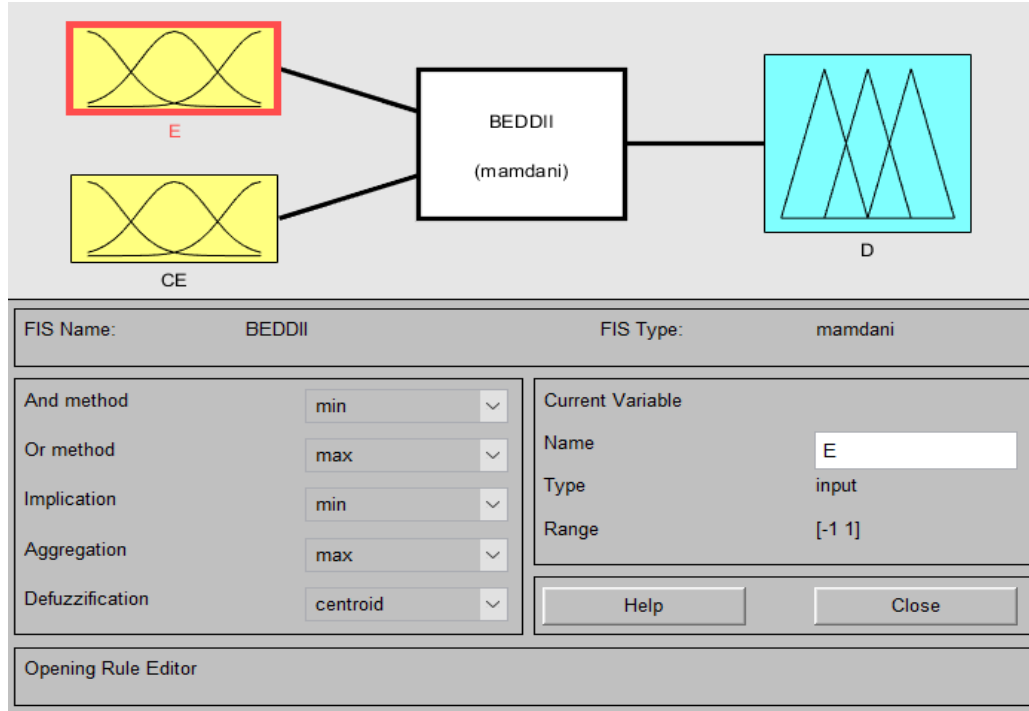
5.4. نموذج MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية المنطق الضبابي.



الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

الشكل (9.4): نموذج MATLAB/Simulink للوحة كهروضوئية يتم التحكم فيه بواسطة تقنية المنطق الضبابي.

بعد تحديد أبعاد جميع عناصر المتحكم الضبابي، سنقوم بدمجه في نظامنا باستخدام مجموعة الأدوات الضبابية في برنامج المحاكاة (شكل 10.4)



الشكل (10.4): مخطط عام للتحكم بتقنية MPPT الضبابية.

لإجراء دراسة عن استقرارية تحكم تقنية MPPT الضبابية في مختلف الظروف البيئية، سنقوم بتنفيذ نفس الاختبارات المستخدمة في طريقة IC.

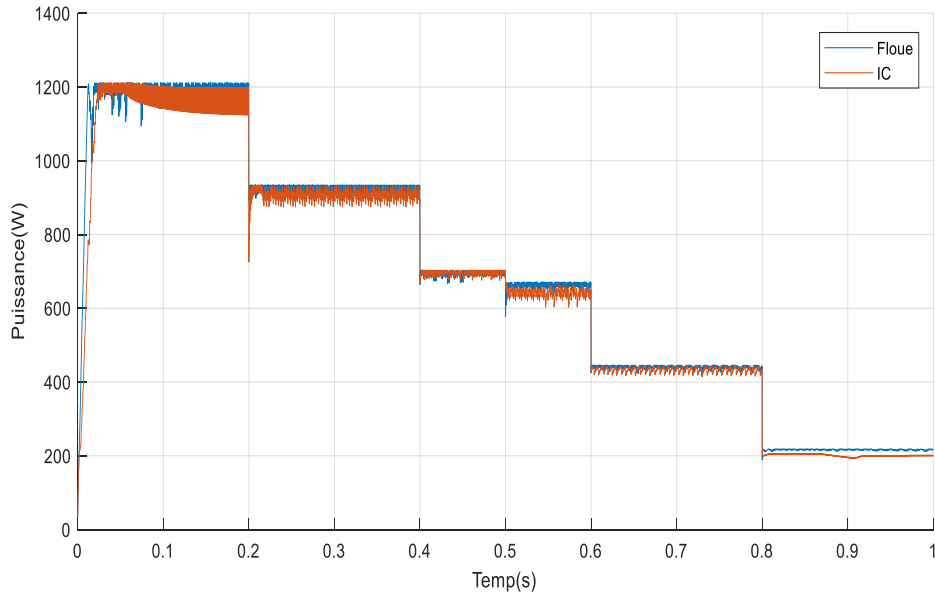
❖ التشغيل تحت ظروف متغيرة لدرجات الحرارة والإضاءة:

لقد استخدمنا نفس ملف البيانات لدرجات الحرارة والإضاءة المستخدم سابقاً في الشكل (2.4) و (3.4) لإجراء مقارنة بين الطريقتين المقترحتين، حيث تم الحفاظ على مستوى الإشعاع الشمسي عند قيمة مختلفة لدرجات الحرارة والإضاءة.

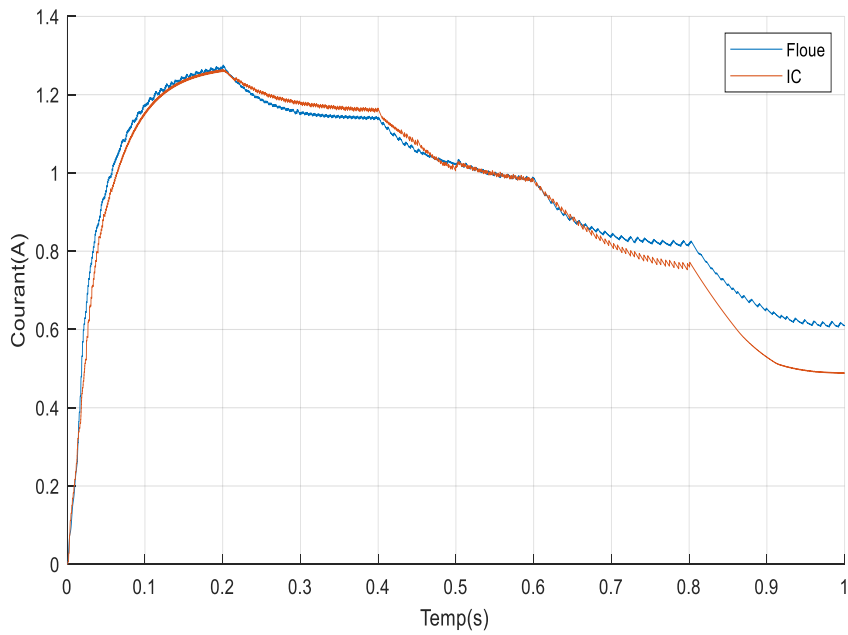
6.4 مقارنة بين الأوامر الاثنين لتتبع نقطة القدرة القصوى IC (MPPT) والتي تعتمد على المنطق الضبابي:

مع انخفاض في سطوع الشمس من 1000 واط/م² إلى 200 واط/م² للأوامر الاثنين، MPPT المعتمد على المنطق الضبابي و MPPT المعتمد على التوصيل التزايدي IC، نحصل على النتائج الموضحة في الشكلين (11.4) و (12.4) و (13.4)

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

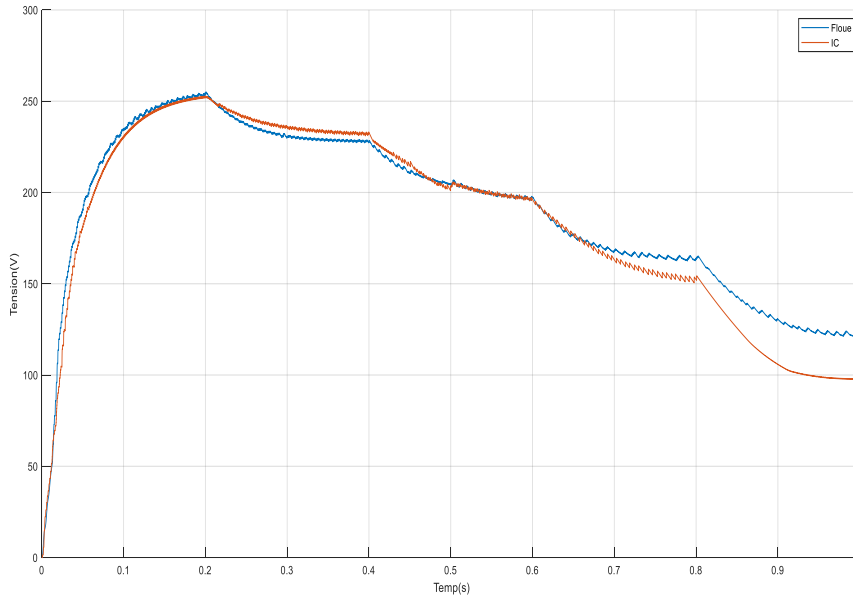


الشكل (11.4): تغيّر في القدرة مع الوقت باستخدام المنطق الضبابي والتحكم التزايدي في نظام الخلايا الشمسية



لشكل (12.4): تغيّر في التيار مع الوقت باستخدام المنطق الضبابي والتحكم التزايدي في نظام الخلايا الشمسية.

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدى IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية



الشكل (13.4): تغيير في الجهد مع الوقت باستخدام المنطق الضبابي والتحكم التزايدى في نظام الخلايا الشمسية

- ✓ من الشكل (1) و(2) و(3)، نلاحظ بوضوح مزايا التحكم بتقنية MPPT المعتمدة على المنطق الضبابي. الموضحة بالمنحنى الأزرق الذي يمثل التحكم بالمنطق الضبابي يظهر أداءً قوياً، وسرعة استجابة أكبر، ودقة أعلى، وخطأ منخفض جداً في حالة الاستقرار مقارنة بالتحكم بتقنية MPPT المعتمدة على التوصيل التزايدى IC
- ✓ كما تشير النتائج إلى تفوق تقنية التحكم بالمنطق الضبابي على التحكم التزايدى IC، مما يعكس تقارباً بين التحكم الدقيق الرياضي واتخاذ القرار البشري. وتؤكد النتائج أن التحكم بالمنطق الضبابي يوفر دقة أكبر واستجابة أسرع.
- ✓ بدمج الطريقتين، أثبتت تقنية التحكم بالمنطق الضبابي أداءً ممتازاً مع زمن استجابة أسرع وخطأ ضئيل في الحالة الثابتة وعدم وجود تجاوز تقريباً.
- ✓ الدراسة المقارنة بين نظامي التحكم (الكلاسيكي والحديث) تشير و تؤكد أن التحكم بالمنطق الضبابي يحسن أداء النظام بشكل أفضل من التحكم التزايدى IC

الفصل الرابع: تحليل مقارن بين المتحكمين المنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC في تتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT للأنظمة الكهروضوئية

9.4 جدول يلخص المقارنة بين تقنية التوصيل التزايدي IC والمنطق الضبابي:

الخاصية	تقنية التوصيل التزايدي IC	المنطق الضبابي
الهيكل التنظيمي	بسيط	معقد
عدد معلمات القياس	قليل	كثير
الكفاءة في ظروف ثابتة	عالية	عالية
سرعة التكيف مع التغيرات السريعة	بطيئة	سريعة
الدقة	متوسطة	عالية
الاستقرار	منخفض	مرتفع
سهولة التكيف	متوسطة	عالية
التعقيد	منخفض	مرتفع
الحاجة إلى بيانات تدريب	غير ضرورية	ضرورية
سهولة التفسير	سهلة	صعبة

خلاصة الفصل

قمنا بدراسة مقارنة بين طريقتين لتتبع نقطة الطاقة القصوى MPPT. قدمنا أولاً طريقة التحكم التقليدية المعروفة باسم IC وثانياً طريقة جديدة تعتمد على التحكم بالمنطق الضبابي . تم تنفيذ مجموعة من البلوكات اللازمة للمحاكاة باستخدام برنامج المحاكاة.

MATLAB/Simulink

حصلنا على نتائج متنوعة لقيم مختلفة من شدة الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة، لكل من التحكم بالمنطق الضبابي والتوصيل التزايدي IC. هذه النتائج تؤكد على فاعلية المتحكم التقليدي المعروف باسم التوصيل التزايدي IC. ولكنها تظهر تفوق أداء التحكم بالمنطق الضبابي. حيث كان لديه زمن استجابة أسرع وخطأ في الحالة الثابتة كان ضئيلاً للغاية، كما أظهرت قدرته على التكيف مع تغيرات الظروف الجوية بشكل فعال.

الخاتمة

الخلاصة

تُعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة، وقد شهدت نمواً كبيراً في السنوات الأخيرة بفضل توفرها الواسع وتأثيرها البيئي المحدود. تعتمد الأنظمة الشمسية على الخلايا الفوتوفولتية لتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء، لكن كفاءتها قد تتأثر بعوامل مثل درجة الحرارة والإشعاع الشمسي وتغيرات الحمل.

أهمية تقنيات تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT) لتحقيق أقصى استفادة من القدرة المولدة بواسطة الأنظمة الفوتوفولتية، يتم استخدام تقنيات تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT). تقوم هذه التقنيات بتعديل نقطة التشغيل للأنظمة الفوتوفولتية لتتوافق مع الظروف المحيطة والمتغيرات الداخلية، مما يضمن تحقيق أفضل أداء ممكن.

❖ أساليب تقنيات MPPT

تعمل تقنيات MPPT من خلال التحكم في مفتاح محول DC/DC الذي يعمل كوسيط بين المولد الفوتوفولتي والحمل. هناك العديد من أساليب التحكم في MPPT ، ولكل منها ميزات وعيوبه. في هذا البحث، تم التركيز على طريقتين رئيسيتين: خوارزمية التوصيل التزايدية (IC) والمنطق الضبابي.

❖ دراسة مقارنة قنا بمحاكاة نظامين:

أحدهما يستخدم خوارزمية التوصيل التزايدية IC والآخر يستخدم المنطق الضبابي. تم إجراء مقارنة بين الطريقتين تحت ظروف مختلفة من درجات الحرارة والإشعاع الشمسي لدراسة سلوك كل منهما.

❖ النتائج والملاحظات

- تأثير الظروف البيئية : يتضح أن المولد الفوتوفولتي يفقد جزءاً من قدرته عند انخفاض الإشعاع الشمسي أو ارتفاع درجة الحرارة.
- أداء خوارزمية IC : تسمح خوارزمية IC بمتابعة نقطة القدرة القصوى لكن بدقة وسرعة أقل مقارنة بالمنطق الضبابي.
- أداء المنطق الضبابي : أظهرت تقنية المنطق الضبابي كفاءة أعلى في متابعة نقطة القدرة القصوى بدقة وسرعة أكبر، مما يجعلها أكثر فعالية.

❖ الاستنتاجات والتوصيات

تبين أن تقنية MPPT المعتمدة على المنطق الضبابي توفر متابعة ممتازة لنقطة القدرة القصوى بكفاءة أعلى. ومع ذلك، تعتمد هذه النتائج على محاكاة نظرية، لذا يجب تطبيق هذه التقنية ميدانياً للحصول على نتائج دقيقة. نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث والتجارب العملية للتحقق من فعالية تقنية المنطق الضبابي في الظروف الواقعية.

❖ أهمية تطوير تقنيات MPPT

يُعتبر تطوير وتحسين تقنيات MPPT أمراً حيوياً لتحسين كفاءة أنظمة الطاقة الشمسية وزيادة الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، مما يساهم في تحقيق أهداف الاستدامة البيئية. يعزز تحسين كفاءة الأنظمة الشمسية من قدرتها ويقلل من الحاجة إلى مصادر الطاقة التقليدية. تؤكد هذه الدراسة على أهمية الاستمرار في البحث والتطوير لتحقيق نتائج أفضل وأكثر كفاءة في المستقبل.

قائمة المراجع

[1]Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems"written by Olindo Isabella ، Klaus Jäger ،Arno Smets ،And Martin Zeman.

[2] the book "Solar Energy Engineering: Processes and Systems" by Soteris A. Kalogirou. The mentioned text is discussed in Chapter instead of Chapter 3, titled "Solar Radiation". The book was published in 2009.

[3] Recent advances in photovoltaic solar energy conversion: efficiency, environmental impacts and perspectives” published in the journal Renewable and Sustainable Energy Reviews, conducted by researchers such as M. A. Green, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop. * 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 BOUDIAFM'SILA JUIN 2016*

[4]Photovoltaic Systems Engineering" by Roger A. Messenger and Jerry Ventre.Handbook of Photovoltaic Science and Engineering" edited by Antonio Luque and Steven Hegedus. First published:25 April 2003

[5] 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)

[6] SWATI,S. LINI, M, SHIMI,S,L. Design and Simulation of Intelligent ControlMPPT Technique for PV Module Using MATLAB/ SIMSCAPE, International Journal of Advanced Research in Electrical, Vol. 2, Issue 9, September 2013.

- [7] 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.
- [8] PRINSLOO,G.DOBSON,[R.solar](#) tracking. South Africa, 2015, ISBN: 978-0-620- 61576-1.
- [9] ASHOOR,F. Maximum power point tracking techniques for photovoltaic water pumping system. University of Bath, May, 2015.
- [10]. O.Gerglud, "Analysis and experimental validation of various photovoltaic system models ",PhD-thesis, Mc Gill University Montreal, Canada, 2002
- [11] 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.
- [12] LAL,S. DHIMAN, R..SINHA,M. Analysis Different MPPT Techniques for Photovoltaic System International Journal of Engineering and Innovative Technology (JEIT) Volume 2, Issue 6, December 2012.
- [13] 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.
- [14] Solmetric, Guide To Interpreting I-V Curve Measurements of PV Arrays, 1 March 2011. <http://www.solmetric.com/newsletters.html>. [Accessed 5 April 2017].
- [15] 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.
- [16]<https://www.universalis.fr/encyclopedie/conversion-d-energie/>

- [17] 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
- [18] BOUALEM, DENDIB, "Technique conventionnelles et avancée de poursuite MPPT pour des application photovoltaïque: étude comparative.," Université Ferhat Abbas-Sétif Mémoire de Magister, Département d'électronique TS4/6338, 2007.
- [19] 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
- [20] ONS Z. AYMEN I. MOHAMMED, 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,
- [21] 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
- [22] ONAT, N; Recent Developments in Maximum Power Point Tracking Technologies for Photovoltaic Systems. International Journal of Photoenergy, 2010
- [23] 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
- [24] ALGARÍN, C. R. GIRALDO, J. T. ALVAREZ, R. Fuzzy Logic Based MPPT Controller for a PV System. Energies, 2017. [29] M. Boukli-Hacene Omar, «Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure

Gestion Energétique », These de Magister, Universite Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2010.

[25] 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.

[26] GOWDA, M, KIRANY; 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.

[27] 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

[28]IRENA. Solar [Photovoltaics.International](#) Renewable Energy Agency, Vol. 1, Issue4/5.june,2012.

[29] 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.

[30] LEE,C,C.fuzzy logic in control systems fuzzy logic controller part-LIEEE transactions on systems man and cybernetics.vol.20,No,2,march/april, 1990,404-418.

[31] Tawfik Radjai, Lazhar Rahmani, Saad Mekhilef, Jean Paul Gaubert "Implementation of a modified incremental conductance MPPT algorithm with direct control based on a fuzzy duty cycle change estimator using dSPACE" Solar Energy 110 (2014) 325-337

[32]Aamarouayache Mohamed, « Contribution À L'optimisation D'une Chaîne DeConversion D'énergie Photovoltaïque », Doctorat En Sciences En Electrotechnique

Option ,2014.

[33]Belkacem M., ‘’ Etude Et Optimisation Du Transfert D'énergie Électrique EnConversion Photovoltaïque Par La Recherche Du Point De Puissance Maximale(Mppt) ‘’, Mémoire De Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2015.

[34] N. Kamala, "Multivariable control of Nonlinear Process using Soft Computing Techniques", Journal of Advances in Information Technology, Vol. 3, 2012.

[35]Aamarouayache Mohamed, « Contribution À L'optimisation D'une Chaîne DeConversion D'énergie Photovoltaïque », Doctorat En Sciences En Electrotechnique, Option ,2014.

[36] Dimiter Driankov Rainer Palm, "Advances in Fuzzy Control", Physica-Verlag,

[37] S. N. Sivanandam, S. Sumathi and S. N. Deepa, " Introduction to Fuzzy Logic 2013. using MATLAB", Springer, 2007.

[38] James J. Buckley and Esfandiar Eslami, "An Introduction for Fuzzy Logic and Fuzzy Sets", Physica-Verlag 2002,

[39] Her-Terng Yau, Po-Hsien Yu and Yuan-Hung Su, "Design and Implementation of Optimal Fuzzy PID Controller for DC Servo Motor", Appl. Math, Inf. Sci. 8, No. IL, 231-237 (2014).

[40]S. AISSOU, « Caractérisation et optimisation de puissance des systèmes photovoltaïques », Thèse de doctorat, Université Abd Arrehmane MIRA de Bejaia, 2016.

[41] BENADEL Faiza. Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV. UNIVERSITEMOHAMED BOUDIAF –M'SILA.

[42] 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.

[43] LEE,C.C.fuzzy logic in control systems fuzzy logic controller part-IIEEE transactions on systems man and cybernetics.vol.20,No,2,march/april, 1990,404-418

[44] 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, 2