الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية التكنولوجيـــــا

قسم: الهندسة الكهربائية

شعبة الكر وتقني تخصص: مــاستر تحكم كهربائي

مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

دراسة نظام توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة الشمسية موصول بالشبكة الكهربائية

من اعداد الطلبة:

- مجحـودة وئـــام
- نويـــر نجـــاح

تحت اشـــــــراف الأستاذ:

- شيخــة السعيـد

اعضــاء لجنة المناقشة

أستــاذ التعليم العالي. نذير مصباحي رئيسا

أستــاذ محاضر أ . لموشي زكريا مناقشا

السنة الجامعية: 2022/2023

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement

Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hamma Lakhdar-El Oued

Faculté des techniques

Département de génie électrique

Filière génie électrique

Spécialisée commande électrique

Mémoire pour l'obtention du diplôme Master Académique

Thème

Fonctionnement d'une chaine de conversion photovoltaïque raccordée au réseau électrique

Réalisé par :

MEDJHOUDA Ouiem

NOUIR Nadjah

encadré par :

Dr CHIKHA Said

Devant le Jury composé par :

Mr NADHIR Mesbahi	Professeur	présidant
Mr LAMOUCHI Zakaria	MCA	Examinateur

2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ مِنْ أَمْرِ رَبِّي
وَمَا أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا ﴾

سورة الاسراء (85)

شكر وعرفـــان

الحمد لله مجيب الدعاء كاشف الضر والبلاء، لا يرد سائلا ولا يخيب راجيا فهو اهل الفضل والثناء احمده على نعمه العظيمة التي لا تعد ولا تحصى واشكره في السر والنجوى ان من علي بإكمال هذا البحث

والصلاة والسلام على من بعث بالدين الأسمى والرسالة العظمى وعلى أله وصحبه ومن بهديهم اقتفى وبآثارهم اهتدى وسلم تسليما كثيرا مباركا

اما بعد:

كل التقدير الى البناء الذي احتواني ••جامعتي•• جامعة حمه لخضر والى القائمين عليها ويسعدني ان أقدم واسع الامتنان الى قسم الهندسة الكهربائية وجميع اعضاءه من دكاترة اجلاء وأساتذة افاضل لكم مني كل الشكر والاحترام والتقدير

ثم أتقدم بالشكر لكل أعضاء اللجنة المناقشة كل باسمه ومقامه على قبولهم مناقشة هذه المذكرة والشكر موصول الى كل من ساهم في إتمام هذه الدراسة وأخيرا الى كل فرد ساندني ودعمني وشد على يدي وازرني بالقول او الفعل او الدعاء في ظهر الغيب

مَحْمُودَة وِئَامْ – نوِير نجَاحْ

إهـــداء

إلى من كلله الله بهيبة الوقار وعلمني العطاء دون

انتظار إلى الذي أحمل اسمه بكل افتخار

أبي الغالي

إذا كان الإهداء يعبر ولو بجزء من الوفاء فالإهداء إلى

الينبوع الذي لا يمل من العطاء إلى من حاكت سعادتي

بخيوط منسوجة من قلبها إلى رمز الحب

أمي الغالية

إلى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي

إخواني واخواتي الغالين

إلى من سرنا سويا نشق الطريق معا نحو النجاح

والإبداع

إلى كل من نساه قلمي ولم ينساه قلبي

أهديكم هذا العمل راجيا

من المولى عز وجل القبول والنجاح

مَحْمُودَة وِئَامْ – نوِير نجَاحْ

فهرس

المحتويـــــــات

فهرس المحتويـات:

فهرس المحتويــات x

فهرس الاشكال a

فهرس الجداول c

فهرس الرموز d

المقدمـة العــامة ب-ت

الفصل الأول: معلومات عامة عن أنظمة تحويل الطاقة الشمسية

1.1. مقدمة 2

2.1. الطاقة الشمسية في الجزائر 2

3.1. النظام الكهروضوئي 4

4.1. الخلايا الكهروضوئية 5

1.4.1. تاريخ الخلية الكهروضوئية 5

2.4.1. وصف الخلية الكهروضوئية..... 5

3.4.1. أنواع الخلايا الكهروضوئية..... 6

5.1. التأثير الكهروضوئي 7

6.1. مبدأ تشغيل الخلية الكهروضوئية 7

1.6.1. تقاطع PN..... 7

2.6.1. مبدأ التحويل الكهروضوئي 8

7.1. مميزات وعيوب توليد الطاقة بواسطة الشمس 10

1.7.1. مميــزات الطاقة الشمسية 10

2.7.1. عيــوب الطاقة الشمسية 11

8.1. الخاتمــة 12

المراجع الببليوغرافية 13

الفصل الثاني: نمذجة نظام انتاج الطاقة الشمسية الموصولة بالشبكة الكهربائية

2.1. مقدمة 16

2.2. نمذجة الخلية الكهروضوئية 16

2.2.1. المولد الكهروضوئي 16

2.2.2. توصيل الخلايا الكهروضوئية على (التسلسل / التفرع) 18

2.2.3. نمذجة المولد الكهروضوئي GPV 19

2.2.4. خصائص الجهد الحالي (Power-Voltage) 21

2.3. العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الكهروضوئية 23

2.3.1. تأثير ضوء الشمس على الخصائص..... 23

2.3.2. تأثير درجة الحرارة على الخصائص..... 24

2.3.3. تأثير توصيل الخلايا الكهروضوئية على التسلسل..... 25

2.3.4 تأثير توصيل الخلايا الكهروضوئية على التفرع 26

2.3.5 تأثير التبريد والتهوية على كفاءة الخلية الكهروضوئية 26

2.4. نقطة الاستطاعة الاعظمية..... 26

2.5. الاتصال المباشر (مصدر الحمولة) 27

2.6. التوصيل بين المولد الكهروضوئي والحمولة..... 29

2.7. نمذجة المموج الساكن (onduleur NPC à 3 niveaux) 29

2.8. نمذجة الشبكة 30

2.8.1. نموذج الاتصال بالشبكة في معلم $\alpha-\beta$..... 30

2.9. الخاتمة..... 33

المراجع الببليوغرافية 34

الفصل الثالث: دراسة سلسلة تحويل الطاقة الشمسية عبر مموج NPC−3N الموصول مع الشبكة الكهربائية

1.3. مقدمـة 37

2.3. تشغيل المولد الكهروضوئي بطاقته القصوى 38

3.3. مبدأ إيجاد نقطة الطاقة القصوى MPPT 39

4.3. تقنية التحكم MPPT 41

1.4.3. تقنية تحكم الاضطراب والمراقبة – Perturbe and Observe (P&O) 42

2.4.3. الخوارزمية المتبعة..... 45

5.3. دراسة سلسلة تحويل الطاقة الشمسية عبر مموج NPC-3N الموصول مع الشبكة الكهربائية..46

1.5.3. المخطط العام للمموج NPC-3N 46

2.5.3. تمثيل أشعة المموج..... 47

3.5.3. المبدأ الأساسي للتحكم التنبئي..... 50

4.5.3. التحكم التنبؤي مع مجموعة التحكم المحدودة – La Commande Prédictive à états Finis (FS-MPC) 50

5.5.3. نمذجة تقنية التحكم FS-MPC المطبقة على مموج NPC-3N متصل بالشبكة الكهربائية..... 52

6.5.3. Fonction de coût 54

7.5.3. خوارزمية التحكم..... 55

6.3. نتيجة المحاكاة 57

1.6.3. اختبار كفاءة النظام من حيث التغير في درجة الحرارة..... 57

2.6.3. اختبار كفاءة النظام من حيث التغير في الاشعاع..... 59

7.3. خاتمـــة..... 62

المراجع الببليوغرافية 63

الخاتمـة العـــامة f

الملخص

فهرس الأشكـال:

الفصل الأول:

الشكل **1.1**: المناطق المناخية في الجزائر.....3

الشكل **2.1**: طريقة تشكيل الخلية الكهروضوئية. 4

الشكل **3.1**: هيكل الخلية الكهروضوئية. 7

الشكل **4.1**: معيار لقياس طيف الطاقة الضوئية المنبعثة من الشمس، مفهوم اتفاقية **AM**.....8

الفصل الثاني:

الشكل **1.2**: رسم تخطيطي لخلية كهروضوئية. 17

الشكل **2.2**: مبدأ تشغيل الخلية الكهروضوئية. .....,,,,,,,17

الشكل **3.2**: (مخطط **I–V**) لخلية كهروضوئية. 18

الشكل **4.2**: توصيل على التوازي للخلايا الكهروضوئية. 19

الشكل **5.2**: توصيل على التفرعي للخلايا الكهروضوئية. 19

الشكل **6.2**: (الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية. 19

الشكل **7.2**: خاصية **I–V** للمولد الكهروضوئي. 22

الشكل **8.2**: خاصية **V–P** للمولد الكهروضوئي. 22

الشكل **9.2**: تأثير الاضاءة على مميزة التيار بدلالة الجهد. 23

الشكل **10.2**: تأثير الاضاءة على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد. 24

الشكل **11.2**: تأثير درجة الحرارة على مميزة خواص التيار بدلالة الجهد. 24

الشكل **12.2**: تأثير درجة الحرارة على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد. 25

الشكل **13.2**: تأثير ربط الخلايا على التفرع. 25

الشكل **14.2**: تأثير ربط الخلايا على التفرع. 26

الشكل **15.2**: نقطة الاستطاعة العظمى. 27

الشكل **16.2**: توصيل مباشر لشحن **GPV** من خلال صمام ثنائي مسدود. 27

الشكل **17.2**: نقاط تشغيل **GPV** حسب حمول التوصيل مباشر. 28

الشكل **18.2**: توصيل **GPV** بحمول خلال مرحلة التكيف. 29

الشكل **19.2**: التحكم **MPC–FS** للمحول **CCR** 30

فهرس الأشكـال:

الشكل **20.2**: تمثيل مبسط لنظام **CCR** مرتبط بشبكة ثلاثية الطور.....31

الفصل الثالث:

الشكل **1.3**: سلسلة التحويل الكهروضوئية الأساسية. 38
الشكل **2.3**: إيجاد واستعادة نقطة الطاقة القصوى. 40
الشكل **3.3**: الشكل الأول من أشكال خوارزميات **MPPT**. 41
الشكل **4.3**: منحى الاستطاعة الاعظمية والجهد الأعظمي. 43
الشكل **5.3**: خاصية **Ppv=F(Vpv)** للوح الشمسي. 44
الشكل **6.3**: نموذج لخوارزمية **P&O**. 45
الشكل **7.3**: الشكل العام للمموج **NPC−3N** للنظام المدروس. 46
الشكل **8.3**: متجهات الجهد المحتملة وحالات التبديل الناتجة عن المموج **NPC−3N**.....48
الشكل **9.3**: مخطط مبدأ التحكم التنبؤي. 51
الشكل **10.3**: رسم تخطيطي كهربائي لمموج **NPC−3N** متصل بالشبكة الكهربائية.....52
الشكل **11.3**: نموذج لخوارزمية التحكم التنبؤي.....56
الشكل **12.3**: منحنى التغير في درجة الحرارة.....57
الشكل **13.3**: التيارات المارة في الشبكة الكهربائية.....57
الشكل **14.3**: استجابة جهد ناقل التيار المستمر.....58
الشكل **15.3**: استطاعة المولد الكهروضوئي..... 58
الشكل **16.3**: تيار المولد الكهروضوئي.....59
الشكل **17.3**: التغير في الإضاءة (25 درجة مئوية) 59
الشكل **18.3**: التيارات المارة في الشبكة الكهربائية (**en phase**) 60
الشكل **19.3**: استجابة جهد ناقل التيار المستمر كدالة للزمن والتغير في الإضاءة.....60
الشكل **20.3**: تكبير استجابة جهد ناقل التيار المستمر.....61
الشكل **21.3**: استطاعة مخرج المولد الكهروضوئي.....61

فهرس الجداول:

الفصل الأول:

الجدول **1.1:** الطاقة الشمسية الكامنة في الجزائر.....2

الجدول **2.1:** أداء تقنيات الخلايا الكهروضوئية المختلفة.....6

الفصل الثاني:

الجدول **1.2:** الخصائص الكهربائية النموذجية **GPV MSX-60**.....21

الفصل الثالث:

الجدول **1.3:** تمثيل الحالات لمرحلة واحدة من المموج.....47

الجدول **2.3:** حالات المفاتيح والمتجهات المقابلة.....49

فهرس الرموز:

FS-MPC : التحكم التنبئي لنموذج الحالة المحدودة.

DC : التيار المباشر.

GPV : المولد الكهروضوئي.

Icell : التيار الذي توفره الخلية .

Ic1 : تيار مكثف مرشح إدخال المروحية .

Isc : تيار الدائرة القصيرة للمولد الكهروضوئي .

Io : تيار التشبع العكسي.

Iop : التيار المثالي للمولد أو خلية.

Rs : سلسلة المقاومة للمولد الكهروضوئي.

T : درجة حرارة الخلية الفعالة .

Tr : درجة الحرارة المرجعية تساوي 25 درجة مئوية.

Vth : الجهد الحراري.

Vpv : جهد المولد الكهروضوئي.

Voc : جهد الدائرة المفتوحة.

Vop : الجهد المثالي لمولد أو خلية.

Pmax : الطاقة القصوى للمولد الكهروضوئي.

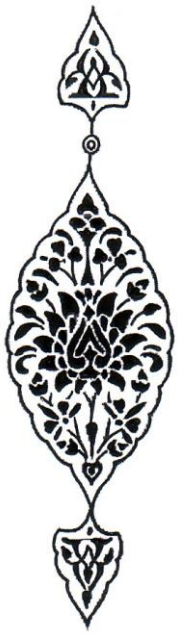
PV : الكهروضوئية.

PPM : نقطة العظمى للاستطاعة.

MPPT : أقصى استطاعة ممكنة.

NPC : نقطة محايدة ثابتة.

CS : المحول الثابت .



المقـــــــدمة

العـــــــامة

المقدمـــــــــــة العامة

تعتبر الطاقة الكهروضوئية (**PV**) مصدرًا صديقًا للبيئة للكهرباء وتعتبر ايضا من أكثر مصادر الطاقة الواعدة التي يكون مصدر الطاقة فيها أشعة الشمس، متجددًا، وخاليًا من التلوث، ووفيرًا ومتاحا على نطاق واسع. يمكن تقسيم تطبيقات الطاقة الكهروضوئية إلى فئتين، وهما: (1) الأنظمة مستقلة (ضخ المياه، والإنارة المنزلية والشوارع، والمركبات الكهربائية، والتطبيقات العسكرية والفضائية) التي تتطلب تخزينا مناسبا لأنظمة الطاقة المنخفضة. (2) الأنظمة المتصلة بالشبكة (الأنظمة الهجينة ومحطات الطاقة) التي لا تتطلب بطاريات تخزين وتستخدم لتطبيقات الطاقة المتوسطة والعالية.

يتكون النظام الكهروضوئي المتصل بالشبكة من مجموعة توصيل (متسلسلة / متوازية) من الألواح الكهروضوئية المتصلة بمرحلة نظام تكييف الطاقة المسؤولة عن التحويل المناسب للطاقة التي تنتجها مجموعة الالواح الكهروضوئية (PV) إلى الشبكة بشكل عام عبر محول DC / DC الذي يستخدم كوحدة تحكم MPPT ومحول يقوم بتحويل جهد التيار المستمر إلى جهد تيار متناوب أحادي أو ثلاثي الطور.

نظرًا لخصائص **I–V** اللاخطية للخلايا الكهروضوئية، تم اعتماد خوارزمية مسار الطاقة القصوى MPPT لاستخراج أقصى طاقة حسب التغيرات البيئية مثل شدة الاضاءة ودرجة الحرارة وتغيرات الحمولة. خلال العقدين الماضيين، تم تطوير العديد من الخوارزميات ومعالجتها من أجل تحقيق أقصى قدر من تعقب نقاط الطاقة، وتختلف هذه التقنيات فيما بينها في العديد من الجوانب، بما في ذلك البساطة، وسرعة التقارب، وتنفيذ الأجهزة، وأجهزة الاستشعار المطلوبة، والتكلفة، ومدى الفعالية والحاجة إلى تحديد المعايير. من أكثر الطرق الكلاسيكية شيوعًا هي (P&O) وتعني الاضطراب والمراقبة – **Perturb and Observe**، التوصيل المتزايد – **Incrémental Conductance (IncCond)**، وأيضا **Hill Climbing (HC)**

نموذج التحكم التنبؤي (MPC) هو استراتيجية تحكم قوية للغاية تستخدم نموذج النظام لحساب مسبق لسلوك النظام. تقوم الدالة g بتقييم النتائج المحسوبة مسبقًا وتحديد إجراءات التحكم المثلى. التحكم التنبؤي المعمم (GPC) هو الأسلوب الأكثر شيوعًا لأساليب عائلة MPC حيث يمكن تطبيقه على مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأنظمة حيث يمكن تعويض الأوقات الميتة بسهولة، والمفهوم بديهي للغاية وسهل الفهم، ويمكن أن تكون الحالة متعددة المتغيرات بسهولة يعتبر من السهل إدراج اللاخطية في النموذج.

تتمثل العيوب الرئيسية لعنصر التحكم GPC في الكم الهائل من الحسابات، مقارنةً بوحدات التحكم الكلاسيكية والتأثير المباشر للنموذج على جودة وحدة التحكم الناتجة.

في الآونة الأخيرة، ظهر التحكم التنبؤي بنموذج الحالة المحدودة (FS-MPC) على أنه بديل أصلي جذاب ويقدم نهجًا مختلفًا وقويًا تمامًا للتحكم في محولات الطاقة نظرًا لاستجابته الديناميكية السريعة، ولا حاجة إلى وحدات تحكم خطية، وعدم الحاجة إلى عامل تعديل (PWM أو SVM)، نهج مختلف تمامًا مقارنة بـ PWM. أداء بسيط للغاية، وجيد جدًا ويمكن تنفيذه باستخدام أجهزة Microprocesseurs القياسية التجارية.

تعتمد الطريقة على إنشاء عدد محدود من حالات التبديل الممكنة للقواطع ويمكن توليدها بواسطة محول الطاقة (7 حالات لمحول ثلاثي الطور من مستويين، 27 حالة لثلاثة مستويات، 64 حالة لأربعة مستويات) وأنه يمكن استخدام نموذج النظام للتنبؤ بسلوك المتغيرات لكل حالة تبديل.

تطرقنا خلال هذا العمل الى طريقة بسيطة للتحكم في سلسلة التحويل كهروضوئية المتصلة بشبكة تيار متردد ثلاثية الطور تستخدم الطريقة في البداية عنصر تحكما تنبئيا مرتبطا بمحول مصدر جهد ثلاثي الطور من مستويين للتحقق من صحة استراتيجية التحكم، ثم يتم استخدام محول ثلاثي المستويات لتحسين النتائج وتسليط الضوء عليها.

في الفصل الأول درسنا مجموعة معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية. لقد وصفنا بإيجاز الخلايا الشمسية الأكثر استخدامًا، وشرحنا التأثير الكهروضوئي الذي هو أصل استغلال الطاقة الكهروضوئية ومبدأ تشغيل الخلايا الكهروضوئية بالإضافة إلى خصائصها الرئيسية. وأخيرا، قمنا بذكر القليل من سلبيات وإيجابيات استخدام الطاقة بواسطة الشمس.

أما في الفصل الموالي قمنا بنمذجة للخلايا الكهروضوئية وتأثير ربطها على التسلسل والتفرع و (تسلسل/تفرع) وبنمذجة أيضا المموج NPC-3N بالإضافة الى نمذجة الشبكة الكهربائية.

في الفصل الأخير قمنا بدراسة تقنية التحكم MPPT من نوع P&O لالتقاط الطاقة القصوى لـGPV ودراسة خوارزمية التحكم التنبؤي المطبقة على المموج NPC-3N الموصول بالشبكة الكهربائية. حيث تحصلنا في الأخير على نتائج جيدة ومبهرة.

الفصل الأول:

معلومات عامة حول أنظمة تحويل الطاقة الشمسية

1.1. مقدمـة:

يقدم هذا الفصل حالة تقدم الطاقات المتجددة والطاقة الشمسية بشكل أساسي. حيث تعتبر الخلية الكهروضوئية هي العنصر الأساسي في تحويل الطاقة التي ترسلها الشمس إلى كمية من الطاقة الكهربائية. بالإضافة إلى ذلك، نذكر أهمية الطاقة الشمسية في الجزائر وأهمية استغلالها، ونذكر تاريخ موجز يصف الخلايا الشمسية وانواعها، ثم ندرس عن مبدأ التأثير الكهروضوئي، ونختم عملنا بذكر البعض من مميزات وعيوب الطاقة الشمسية.

2.1. الطـاقة الشمسية في الجزائر:

تبلغ مساحة الجزائر حوالي 2.4 مليون كيلومتر مربع يحدها البحر من الشمال والصحراء من الجنوب [1]. من موقعها المتميز، الجزائر لديها أكبر حقل من الطاقة الشمسية في حوض البحر الابيض المتوسط. كما ان متوسط اشراق الشمس في الاراضي الجزائرية يتجاوز 2000 ساعة سنويا، وبمجموع تلقى الطاقة الشمسية يقدر 169400 تيراواط ساعة / سنة، اي5000 مرة استهلاك الكهرباء السنوي في البلاد **[2]**. وإذا قارنا الطاقة الشمسية مع الغاز الطبيعي، فان امكانيات الطاقة الشمسية في الجزائر تساوي ما يعادل 37000 مليار متر مكعب، اي أكثر من 8 اضعاف احتياطات الغاز الطبيعي في البلاد [3].

الجدول (1.1) في الاسفل يوضح تلك الامكانيات.

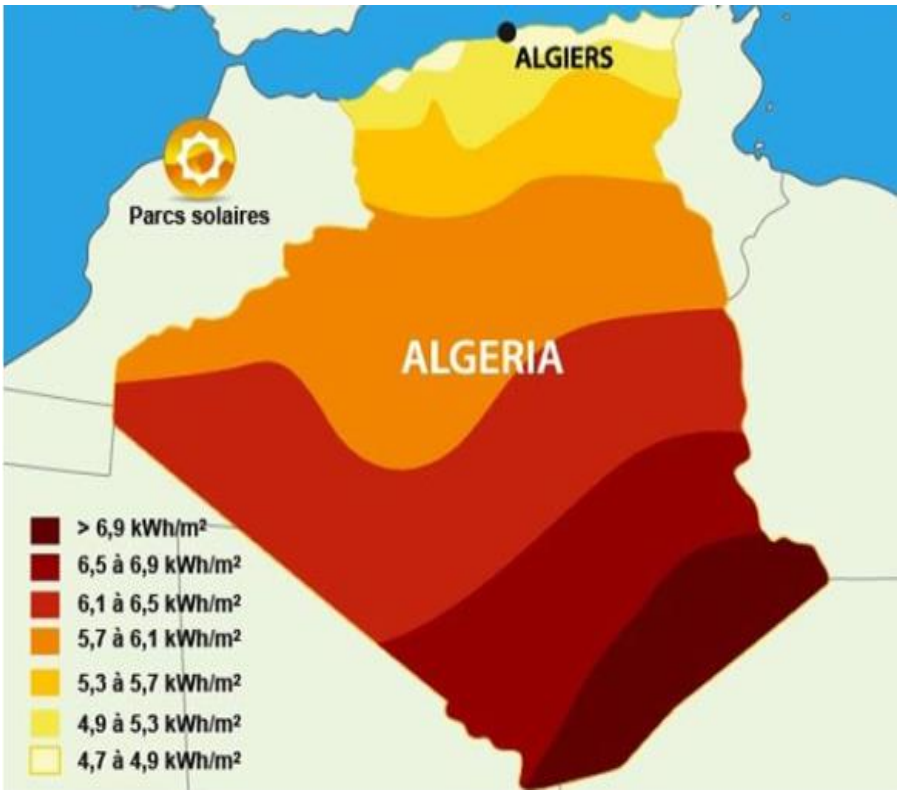
الاقالـــــيم	الساحل	الهضاب العليا	الصحـراء
المساحة (%)	4	10	86
المدة المتوسطة للتعرض للشمس (ساعة في السنة)	2650	3000	3500
الطاقة المتوسطة الممكنة (كيلو واط ساعي متر مكعب في السنة)	1700	1900	2650

الجدول (1.1): الطاقة الشمسية الكـامنة في الجزائر

Source : Le secteur des énergies renouvelables en Afrique du Nord, Nations Unies, Commission économique pour l'Afrique, Bureau pour l'Afrique du Nord, 2012, p18

كانت الطاقة الكهروضوئية (الناتجة عن التحويل عن طريق التأثير الكهروضوئي لتدفق الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية) هي البديل الواعد من بين المتغيرات الأخرى للطاقات المتجددة. ولكن العائق الرئيسي الذي يبطئ ظهور هذا النوع من الطاقة هو التكلفة العالية جدًا للتركيب (تظل تكنولوجيا الألواح الشمسية باهظة الثمن على حساب المردود المنخفض نسبيًا لخلايا أشباه الموصلات). على الرغم من أن تكلفة الألواح الكهروضوئية عالية وكفاءتها منخفضة، فقد تم إنشاء حدائق كبيرة للطاقة الكهروضوئية في السنوات الأخيرة حول العالم. المشروع الألماني للقرن، الذي أطلقه مؤخرًا كونسورتيوم من شركات وبنوك الطاقة، بقيمة تقارب 400 مليار يورو، المخطط له في السنوات القليلة المقبلة، سيتم تثبيته في البلدان المغاربية وفي الغالبية العظمى في **الجزائر** [4].

تتميز المناطق الشمالية من الجزائر ملبدة بالغيوم أكثر من تلك الموجودة في الجنوب، حيث تتلقى المناطق الصحراوية كمية أكبر من الطاقة ولكنها تتميز بدرجة حرارة عالية. بسبب هذا التنوع في المناخ، يتراوح متوسط الاشعاع الشمسي العالمي بين 4.5 و7.5 كيلو واط ساعة / متر مربع. يمكن تقسيم الجزائر إلى ثماني (08) مناطق مناخية والتي تتمتع تقريبًا بأشعة الشمس المتجانسة [5]. كما هو موضح في الشكل **(1.1)**.

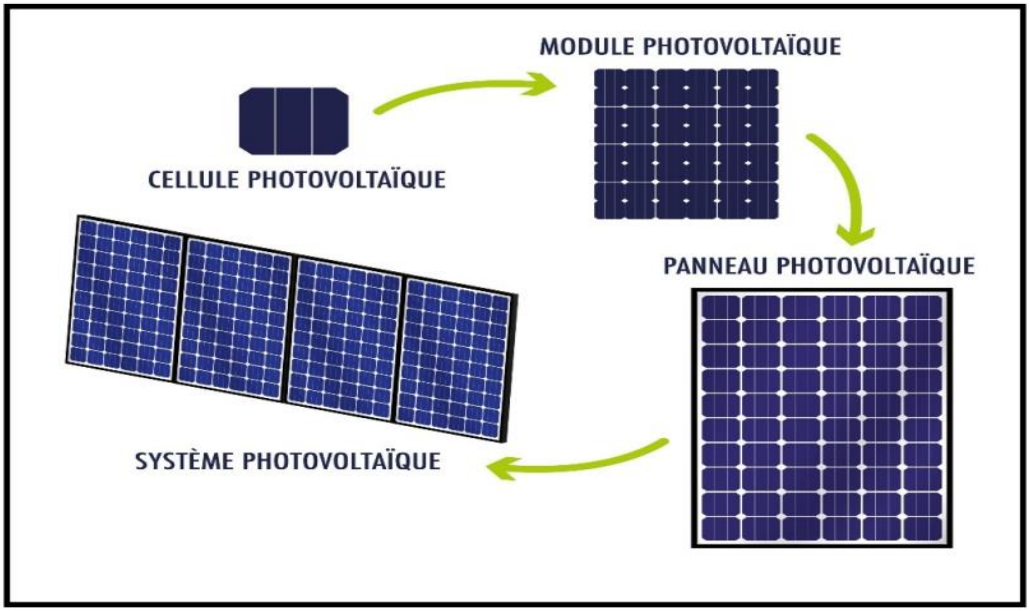


الشكل (1.1): المناطق المناخية في الجزائر [6]

3.1. النظـام الكهروضوئي:

توفر الأنظمة الكهروضوئية إمكانية إنتاج الكهرباء بطريقة نظيفة وهادئة وموثوق بها. تتكون الأنظمة الكهروضوئية من الخلايا الكهروضوئية والأجهزة التي تحول الطاقة الضوئية مباشرة إلى كهرباء. نظرًا لأن مصدر الضوء عادة ما يكون الشمس، فغالبًا ما يطلق عليها اسم الخلايا الشمسية. العناصر الرئيسية التي تتكون منها اغلبية الانظمة هي الألواح الشمسية والبطاريات، أجهزة التحكم والمحولات والحمولة.

الخلايا الكهروضوئية هي العناصر الأساسية للوحدات الكهروضوئية (**PV–Photovoltaïques**). بالنسبة لجميع التطبيقات تقريبًا، يكون الجهد الذي تنتجه خلية واحدة غير كافٍ. لذلك، يمكن توصيلها في **سلسلة لزيادة جهد التشغيل** الخاص بها **وبالتوازي لزيادة تيارها**. هذه المجموعة تسمّى (**Modules photovoltaïques**). يوضح الشكل **(2.1)** طريقة تشكيل الخلية الكهروضوئية. يمكن استخدام الطاقة التي يوفرها (**Modules photovoltaïques**). لشحن البطاريات التي ستوفر الكهرباء عند الحاجة. يمكن استخدامه أيضًا عن طريق التوصيل المباشر لملف وحدات الشحن بدون بطاريات (مثل المضخة الشمسية حيث يتم تخزين المياه)، أو عن طريق توصيلها بشبكة كهربائية. من الممكن أيضًا دمج ناتج (**Modules photovoltaïques**) مع مصادر الطاقة الأخرى مثل المولد أو التوربينات الريحية التي ستكون بمثابة نسخة احتياطية، إذا كانت أشعة الشمس غير كافية [7].



الشكل (2.1): طريقة تشكيل الخلية الكهروضوئية

4.1. الخلايا الكهروضوئية:

1.4.1. تاريخ الخلية الكهروضوئية:

التأثير الكهروضوئي اكتشف من قبل الفيزيائي ألكسندر ادموند بيكيرال سنة.1839مصطلح «**photo**» مصطلح يوناني يقصد به الضوء ومصطلح «**voltaique**»أطلقه الفيزيائي الإيطالي الجنسية اليساندرو فولتا الذي ساهم كثيرا في اكتشاف الكهرباء وهو الذي سمى وحدة فرق الكمون او التوتر ب فولط «**volt**». خلال 1940كانت اول انطلاقة لاستعمال الخلايا الكهروضوئية.

1839 :اكتشف الفيزيائي الفرنسي إدموند بيكريل التأثير الكهروضوئي.

1875 : كشف فيرنر فون سيمنز أمام أكاديمية برلين للعلوم مقالًا عن التأثير الكهروضوئي في أشباه الموصلات.

1954 : قام ثلاثة باحثين أمريكيين بتطوير خلية ضوئية عالية الكفاءة **Chapin** و **Pearson** و**Prince** .

1958 : تم تطوير خلية بكفاءة 9٪. يتم إرسال الأقمار الصناعية الأولى التي تعمل بالخلايا الشمسية إلى الفضاء.

1973 : تم بناء أول منزل يعمل بالخلايا الكهروضوئية في جامعة ديلاوير.

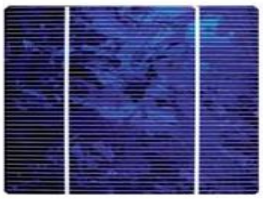
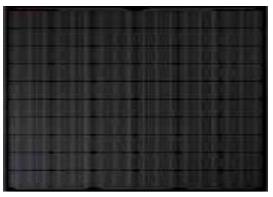
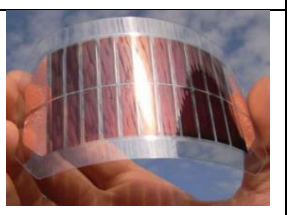
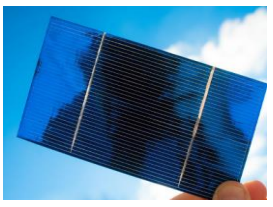
1983 : أول سيارة تعمل بالطاقة الكهروضوئية تقطع مسافة 4000 كيلومتر في أستراليا [8].

2.4.1. وصف الخلية الكهروضوئية:

يتكون النظام الكهروضوئي من مجموعة خلايا. والتي تعتبر العنصر الأساسي في هذا النظام، حيث يمكن للمرء ان يصل للاستطاعة المناسبة استنادا الى تركيبة معينة. الخلايا الكهروضوئية هي مكونات إلكترونية ضوئية تقوم بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء، التيار الذي يتم الحصول عليه هو تيار مباشر **(CC)** [9]. يتم تصنيعها باستخدام مواد شبه موصلة لها خصائص وسيطة بين الموصلات والعوازل. يقع هذا الموصل شبه الموصّل بين قطبين كهربائيين معدنيين والكل محمي بزجاج [10]. المادة الأساسية في معظم الحالات هي السليسيوم **(Si)** أو كبريتيد الكادميوم **(CdS)** أو تيلورايد الكاديميوم **(CdTe)**. اعتمادًا على عملية التصنيع، سيتم الحصول على خلايا شمسية أكثر أو أقل كفاءة [11].

3.4.1. أنواع الخلايا الكهروضوئية: الجدول يوضح (2.1) أكثر معلومات عن الخلايا الكهروضوئية:

الجدول (2.1): أداء تقنيات الخلايا الكهروضوئية المختلفة [12]

صورة الخلية	سلبيات الخلية	ميزات الخلية	مردود الخلية	نوع الخلية
	ارتفاع تكلفة التصنيع، وفقدان المواد أثناء التصنيع	أداء جيد للخلية الواحدة	**13-17%**	خلايا ذات سليسيوم احادي البلورية
	ارتفاع تكلفة التصنيع، وفقدان المواد أثناء التصنيع	أداء جيد للنموذج الواحد	**11-15%**	خلايا ذات سليسيوم متعدد البلورات
	أداء سيء	سهل التصنيع	**5-9%**	خلايا ذات سليسيوم غير متبلور
	شديد التلوث	تمتص 90% من فوتونات	**7-11%**	**CdTe**
	نقص في المواد الخام	طاقة قابلة للتعديل، 99% من الفوتونات الممتصة	**20%**	CIGS : Séléniure de cuivre indium gallium
	مردود منخفض جدا	تكلفة تصنيع منخفضة، ومرنة	أكبر من او يساوي **5%**	خلايا عضوية

5.1. التأثير الكهروضوئي:

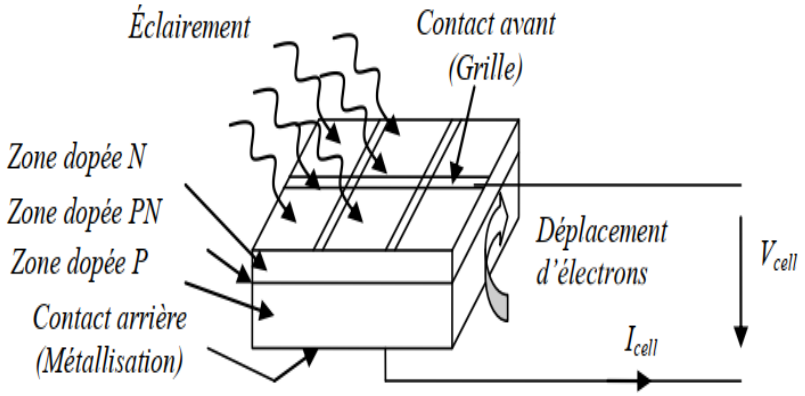
تعتمد الخلية الكهروضوئية على ظاهرة فيزيائية تسمى التأثير الكهروضوئي والتي تتكون من إنشاء قوة دافعة كهربائية عندما يتعرض سطح هذه الخلية للضوء. يمكن أن يختلف الجهد المتولد بين 0.3 فولت و0.7 فولت اعتمادًا على المادة المستخدمة وترتيبها بالإضافة إلى درجة حرارة الخلية وعمر الخلية [13].

6.1. مبدأ تشغيل الخلية الكهروضوئية:

1.6.1. تقاطع PN:

يجعل التأثير الكهروضوئي المستخدم في الخلايا الشمسية من الممكن تحويل الطاقة الضوئية لأشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء من خلال إنتاج ونقل مادة شبه موصلة لشحنات كهربائية موجبة وسالبة تحت تأثير الضوء. تتكون هذه المادة من جزأين، أحدهما يحتوي على فائض من الإلكترونات والآخر به عجز في الإلكترونات، ويسمى من النوع **(n– dopée)** والنوع الاخر **(p– dopée)** على التوالي. عندما يتلامس الأول مع الثاني، الإلكترونات الزائدة الموجودة في المادة **n** تنتشر في المادة **p** تصبح المنطقة في البداية مشحونة إيجابياً، وتصبح المنطقة المشبعة في البداية مشحونة سالبة. وبالتالي يتم إنشاء مجال كهربائي بينهما يميل إلى دفع الإلكترونات في المنطقة **n** والثقوب باتجاه المنطقة **p** تم تشكيل تقاطع يُعرف باسم**(p–n)** .

عن طريق إضافة ملامسات معدنية على منطقتي **n** و**p** يتم الحصول على الصمام الثنائي. عندما يكون التقاطع مضاءًا، فإن فوتونات الطاقة التي تساوي أو أكبر من عرض النطاق الممنوع تنقل طاقتها إلى الذرات، كل منها يمرر إلكترونًا من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل كما تترك ثقبًا قادرًا على الحركة، مما يولد زوجًا من الثقوب الإلكترونية. إذا تم وضع شحنة عبر أطراف الخلية، فإن إلكترونات المنطقة **n** تنضم إلى ثقوب المنطقة **p** عبر الاتصال الخارجي، مما يؤدي إلى اختلاف الجهد [14].



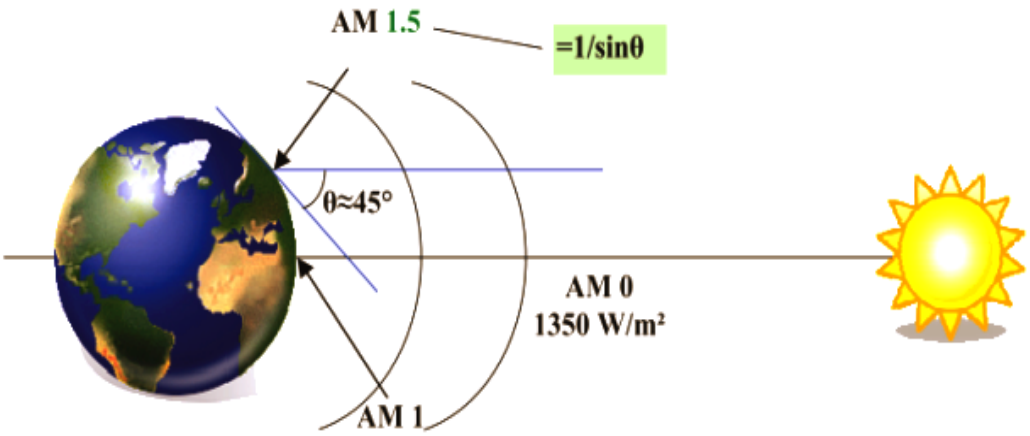
الشكل (3.1): هيكل الخلية الكهروضوئية

2.6.1. مبدأ التحويل الكهروضوئي: يتلخص مبدأه على النحو التالي:

يتكون الإشعاع الشمسي من فوتونات يتراوح طولها الموجي من الأشعة فوق البنفسجية (0.2 ميكرومتر) إلى الأشعة تحت الحمراء البعيدة (2.5 ميكرومتر). يستخدم مفهوم **AM** (الكتلة الهوائية – **Air Mass**) لتوصيف الطيف الشمسي من حيث الطاقة المنبعثة.

إجمالي الطاقة المنقولة بواسطة الإشعاع الشمسي على مسافة بين الشمس والأرض في حدود 1350 وات / متر مربع (**AM0**) في الفضاء خارج الغلاف الجوي للأرض شكل (4.1). عندما يمر الإشعاع الشمسي عبر الغلاف الجوي، فإنه يخضع لتوهين وتعديل طيفه نتيجة لظواهر الامتصاص والانتشار في الغازات والماء والغبار. وبالتالي، تمتص طبقة الأوزون جزءًا من طيف الضوء من الشمس، وخاصة جزءًا من الأشعة فوق البنفسجية التي تشكل خطورة على الصحة [15].

يصل الإشعاع الشمسي المباشر الذي يتم تلقيه على مستوى الأرض (عند 90 درجة ميل) إلى 1000 واط/متر مربع بسبب الامتصاص في الغلاف الجوي (**AM1**). تتغير هذه القيمة اعتمادًا على ميل أشعة الضوء بالنسبة للأرض. كلما كانت **θ** زاوية الاختراق أصغر، زاد سمك الغلاف الجوي الذي يجب أن تمر به الأشعة، مما يؤدي إلى فقدان الطاقة نتيجة لذلك. على سبيل المثال، الطاقة المباشرة التي يحملها الإشعاع الشمسي التي تصل إلى الأرض بزاوية 48 درجة تقترب من 833 واط/متر مربع (**AM1.5**) [16].



الشكل (4.1): معيار لقياس طيف الطاقة الضوئية المنبعثة من الشمس، مفهوم اتفاقية AM

إن تكامل الإشعاع على كامل الطيف يجعل من الممكن الحصول على القدرة **P (W.m2)** التي يوفرها الإشعاع. وللتبسيط، نستخدم المفاهيم التالية:

- **AM0** : خارج الغلاف الجوي (تطبيق الفضاء). الطاقة ≈1.36 كيلو واط. متر مربع.
- **AM1** : الشمس في ذروة مكان المراقبة (عند خط الاستواء).
- **AM1.5** : طيف قياسي ، الشمس عند 45 درجة. الطاقة ≈1.36 كيلو واط. متر مربع.

يتم تحديد شروط التوصيف القياسية بواسطة معيار **IEC-609004** للجنة الكهرو تقنية الدولية **(IEC)** وفقًا للتوزيع الطيفي الشامل **AM1.5** (مجموع الإشعاع المباشر والمنتشر)، بكثافة 100 ميجاوات / سم مربع ودرجة حرارة الخلية 25 درجة مئوية [17].

7.1. مميزات وعيـوب توليد الطاقة بواسطة الشمس:

1.7.1. مميــزات الطاقة الشمسية:

• صديقة للبيئة: تعدّ الطاقة الشمسية طاقة آمنة للبيئة وصديقة لجميع الكائنات الحية، إذ إن التقنية المستخدمة فيها ليس لها تأثير يذكر على البيئة المحيطة مقارنة بالوقود الأحفوري.

• الدوام: تعتبر الطاقة الشمسية البديل الأمثل لمنتجات الوقود الأحفوري التي تتضمن النفط، والغاز، والفحم الحجري، ذلك لأن هذه المصادر قاربت على الانتهاء، أما الطاقة الشمسية فهي غير قابلة للنفاذ لاعتمادها على أشعة الشمس التي يُتَوقع أن تستمر بالتوهج لمليارات السنين.

• الاكتفاء الذاتي في إنتاج الطاقة: توفر الطاقة الشمسية الاستقلالية في إنتاج الطاقة على المستوى الدولي، فالشمس تشع على جميع الدول في العالم.

• الحفاظ على الموارد المائية: لا تتطلب عملية توليد الطاقة الشمسية استهلاك للمياه أو تلويثها، مقارنة بالوقود الأحفوري ومحطات الطاقة النووية التي تستهلك أو تلوث الكثير من الماء.

• التأثير على الجانب الاقتصادي في العالم: تساهم التقنيات المتجددة على تقليل تكاليف الطاقة المتجددة قدر الإمكان، حتى تصبح على قدرٍ عالٍ من المنافسة أمام أنواع الطاقة الأخرى التقليدية، وبذلك أثرت الطاقة الشمسية على الجانب الاقتصادي على مستوى العالم.

• توفير فرص عمل: ساهمت الطاقة الشمسية بتوفير العديد من الفرص المحلية للعمل، وذلك لتوفرها في كل مكان في العالم، وليست مقتصرة على بيئة معينة.

• توفير المال: ان عملية تركيب خلايا الألواح الشمسية في بداية الأمر مكلفة نوعًا ما، لكن توفيرها للمال يكون كبير جداً على المدى البعيد، فهي تساهم في توليد طاقة كهربائية خاصة بالفرد، وتؤدي لتلاشي فواتير الكهرباء نهائيًا.

• الاستقلالية: تمنح الطاقة الشمسية الاستقلالية في توليد الطاقة الكهربائية، وتخزينها عند الحاجة، ويبقى المنزل مزودًا بالطاقة حتى لو حدث انقطاع في التيار الكهربائي.

• غير مكلفة: لا تحتاج معدات الطاقة الشمسية الى صيانات مكلفة جدا، وهي أيضا غير معقدة.

• مميزات أخرى: يزيد استخدام الألواح الشمسية في المنازل من قيمتها المادية، كم أنّها تعطي شعورًا بالراحة للشخص بعد أن يعلم بأنه يساهم في الحفاظ البيئة والكرة الأرضية [18].

2.7.1. عيـــوب الطاقة الشمسية:

على الرغم من الإيجابيات والمميزات التي تتمتع بها الطاقة الشمسية، إلا أنّه يمكن أن يكون لاستخدامها بعض العيوب، والتي سيتم بيانها على الشكل الآتي:

• لا تعدّ جودة الألواح الشمسية في تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء عالية بما يكفي، وتصل فقط إلى 20% على الرغم من تكلفتها المرتفعة.

• تعتمد الطاقة الشمسية على أشعة الشمس التي تسطع خلال النهار، وتختلف كمية الطاقة التي تجمعها الألواح الشمسية باختلاف المواسم واختلاف الوقت على مدار اليوم، وقد تتأثر جودة الطاقة الناتجة باختلاف المناطق والفصول.

• تقلّ فعالية الطاقة الشمسية باختلاف المنطقة، فكلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه الأقطاب، قلت القدرة على تجميع الطاقة الشمسية، فعلى سبيل المثال تعاني روسيا وكندا من نقص كبير في الطاقة الشمسية.

• تنخفض قدرة خلايا الطاقة الشمسية على تجميع الطاقة الشمسية عند تواجد الغيوم، والضباب، والأمطار.

• قد تتعرض الألواح إلى التلف تركيب الألواح الشمسية، بسبب تعرضها للظروف الخارجية، مثل المطر، والثلج، والأوساخ، والغبار، والرياح، واختلاف درجات الحرارة، إذ يتم تركيبها في الخارج وتكون معرّضة باستمرار لأشعة الشمس [19].

8.1. الخاتمـــة:

قمنا في هذا الفصل بسرد مجموعة من المعلومات حيث: بدانا أولا بتقديم بعض المعلومات حول إمكانيات الطاقة الشمسية بالتحديد في الجزائر، وذكرنا معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية. لقد وصفنا بإيجاز الخلايا الشمسية الأكثر استخدامًا، تم ذكر مزايا وعيوب كل نوع، والتي ستسمح لنا بفهم الفصول التالية بشكل أفضل، وقد شرحنا التأثير الكهروضوئي الذي هو أصل استغلال الطاقة الكهروضوئية ومبدأ تشغيل الخلايا الكهروضوئية بالإضافة إلى خصائصها الرئيسية. وأخيرا، قمنا بذكر القليل من سلبيات وإيجابيات استخدام الطاقة بواسطة الشمس.

المراجع الببليوغرافية

[1] **BOUZERIA HAMZA,** « Modalisation Idéalisation et Commande D'une Chaine de conversion photovoltaïque », Référence Susmentionnée,30/04/2016, pp 10.

[2] Les énergies renouvelables en Algérie, fiche de synthèse, Ubifrance et les Missions Economiques, 2010, p1,**ص 63, من مجلة : تجربة الجزائر في استغلال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح**

[3] **أ. سليمان, د. كعوان, جابر احمد, مجلة : تجربة الجزائر في استغلال الطاقة الشمسية و طاقة الرياح, جامعة عنابة, العدد 14 ,2015, ص 63.**

[4] **Chikha Said,** « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », MEMOIRE DE MAGISTER, Université Larbi Ben M`hidi Oum El Bouaghi Faculté des Sciences et de la Technologie, 2011/2012. pp 04.

[5] **BOUZERIA HAMZA,** « Modalisation Idéalisation et Commande D'une Chaine de conversion photovoltaïque », THÈSE Présentée pour obtention du diplôme de DOCTORAT 3ème cycle LMD en Électrotechnique, Université Hadj Lakhdar Batna Faculté de Technologie,30/04/2016. pp 10

[6] **BOUZERIA HAMZA,** « Modalisation Idéalisation et Commande D'une Chaine de conversion photovoltaïque », Référence Susmentionnée, pp 11.

[7] **BOUZERIA HAMZA,** « Modalisation Idéalisation et Commande D'une Chaine de conversion photovoltaïque », Référence Susmentionnée, pp 7-8.

[8] **Aziz TOULAIT, Rachid Aili,** « Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d'une systèmes photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou Faculté de Génie Electrique Et D'Informatique,29/09/2014, pp 07.

[9] **MEDDOUR Youcef, YAZI Zoubir,** « Etude de raccordement d'un système photovoltaïques au réseau électrique », Mémoire MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, Faculté des Sciences Appliquées, 08/06/2015, pp 24.

[10] **Aziz TOULAIT, Rachid Aili,** « Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d'une systèmes photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Référence Susmentionnée, pp08.

[11] **MEDDOUR Youcef, YAZI Zoubir,** « Etude de raccordement d'un système photovoltaïques au réseau électrique », Référence Susmentionnée, pp 24.

[12] **BOUZERIA HAMZA,** « Modalisation Idéalisation et Commande D'une Chaine de conversion photovoltaïque », Référence Susmentionnée, pp 08.

[13] **Chikha Said,** « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 07.

[14] **Sofiane FELLOUAH, Siham MESBAHI,** « ETUDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE CONNECTE AU RESEAU », Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE, 15/07/ 2015, pp07.

[15] **Chikha Said,** « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 05-07.

[16] **Sofiane FELLOUAH, Siham MESBAHI,** « ETUDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE CONNECTE AU RESEAU », Référence Susmentionnée, pp 03.

[17] **Aziz TOULAIT, Rachid Aili,** « Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d'une systèmes photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Référence Susmentionnée, pp 07.

[18] https://tsf7.com/%D9%85%D9%85%D9%8A%D8%B2%D8%A7%D8%AA-%D9%88%D8%B9%D9%8A%D9%88%D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9-pdf/#google_vignette , investopedia.com ،Solar Energy: Benefits and Drawbacks**2023/02/03** ، L'heure à laquelle il a été visionné 05/04/2023 ,11:09.

[19] https://tsf7.com/%D9%85%D9%85%D9%8A%D8%B2%D8%A7%D8%AA-%D9%88%D8%B9%D9%8A%D9%88%D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9-pdf/#google_vignette , bakerhomeenergy.com ،The benefits of home solar energy **2023/02/03** ، L'heure à laquelle il a été visionné 05/04/2023 ,11:09.

الفصل الثاني:

نمذجة نظام إنتاج الطاقة الشمسية

الموصول بالشبكة الكهربائية

1.2 مقدمة :

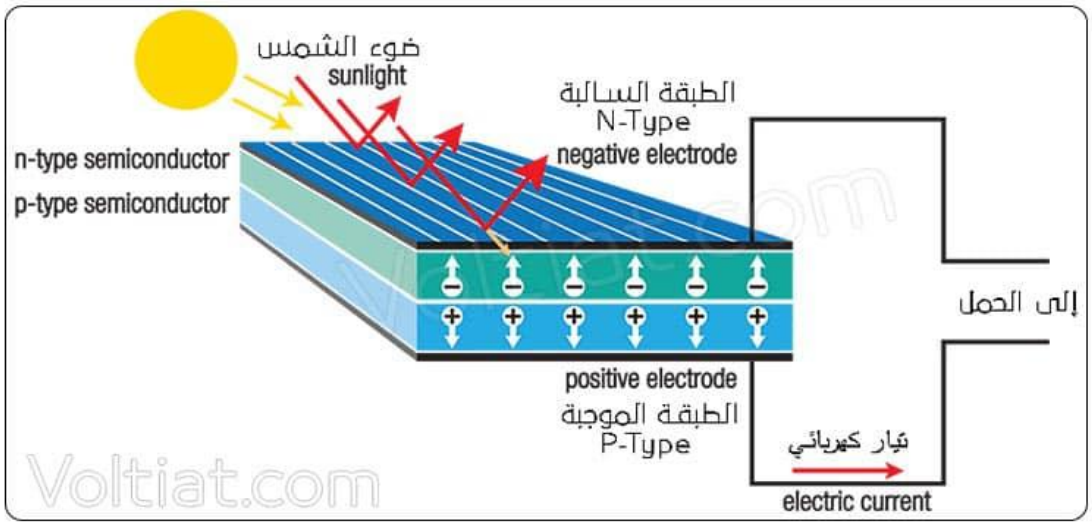
تسمى الطاقة الشمسية الكهربائية بالطاقة الشمسية الفوتوفولتية (Photovoltaic) ، حيث يتم تحويل جزء من الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية بفضل الخلية الكهروضوئية التي تنتج الطاقة الشمسية الكهروضوئي (مثل تولوريد الكادميوم والكاليوم أرسينايد، والتي تصنف ضمن أشباه الموصالت) . إن تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية يتم من خلال تراكيب الكترونية تسمى الخلايا الكهروضوئية . التأثير الكهروضوئي هو عملية يتم فيها تحويل الضوء إلى كهرباء ويتم التحكم في هذه المرحلة بواسطة MPPT مما يجعل المولد الكهروضوئي GPV يشتغل بشكل دائم باقصى استطاعة. وهذا مهما كانت الظروف الجوية ، وفي هذا الفصل سنقوم بشرح مفهوم المولد الكهروضوئي و الخلية الكهروضوئية و الدارة المكافئة لها و العوامل المؤثرة على كفائتها.

2.2 نمذجة الخلية الكهروضوئية (cells Photovoltaic) :

الطاقة الكهروضوئية (PV) هي التحويل المباشر للضوء إلى كهرباء.

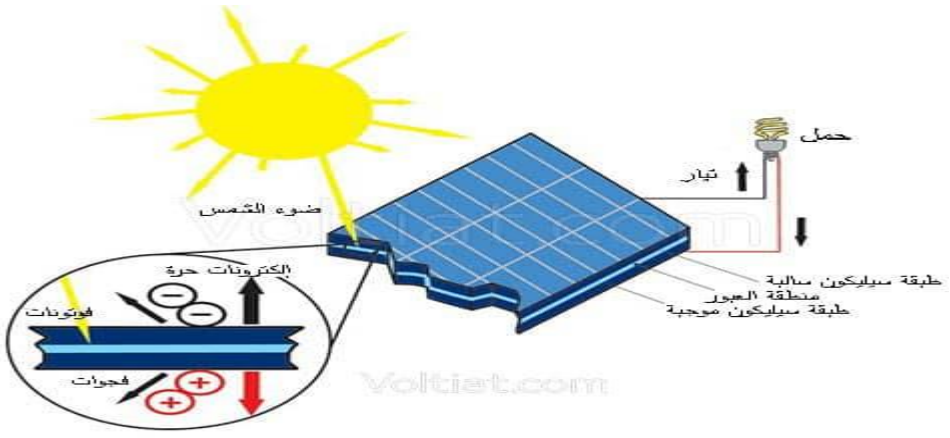
2.2 .1 المولد الكهروضوئي:

تعتمد الخلية الكهروضوئية على ظاهرة فيزيائية تسمى التأثير الكهروضوئي والتي تتكون من إنشاء قوة دافعة كهربائية عند سطح هذا الخلية حيث تتعرض للضوء. يمكن أن يختلف الجهد المتولد بين 0.3 فولت و0.7 فولت وفقا المواد المستخدمة وترتيبها وكذلك درجة حرارة الخلية وشيخوخة الخلية. يوضح الشكل (1.2) رسم تخطيطي لخلية كهروضوئية [1].



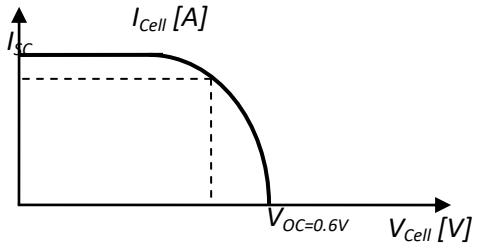
الشكل (1.2) رسم تخطيطي لخلية كهروضوئية [2]

عند سقوط ضوء الشمس على الخلية الشمسية يمر من خلال سطح الخلية حيث يمتص جزء منه بواسطة الطبقة الاولى للخلية وهي الطبقة التي تحتوي على الفسفور أما أغلبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك وهي الطبقة التي تحتوي على طبقتين من السيلكون بالبلوري، حيث يتكون من خلال هذه العملية الكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي في أطراف الخلية، وتزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على هذه الخلية. يمكننا توصيل حمل كهربائي على أطراف هذه الخلية وللاستفادة من حركة الاكترونات الناتجة من تسليط ضوء الشمس علي الخلية والشكل (2.2) يوضح آلية عمل الخلية الكهروضوئية [4].



الشكل (2.2) مبدأ تشغيل الخلية الكروضوية [3]

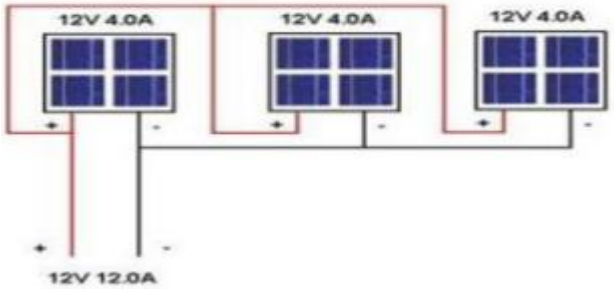
تتكون الخلية الكهروضوئية من العديد من الطبقات اهمها الطبقاتان الرئيسيتان (P,N) ، حيث N تمثل مادة السيليكون التي يكون فيها عدد الالكترونات غالبة (المادة الاكترونية) و P تمثل مادة السيليكون التي يكون فيها عدد الفجوات (الثقوب) وهي الغالبة (المادة الثقبية) ويدعى سطح التماس بين N وP بمنطقة العبور. عند امتصاص كمية من فوتونات الضوء او الاشعاع الشمسي تتحرر بعض الالكترونات شبكة البلورية من مادة السيليكون ويرافق ذلك تغيير في الطاقة الحركية لها عند اقتربها من منطقة العبور فان الازواج الالكترونية المكونة من الالكترون و ثقب تتجه بشكل جماعي حسب شحنتها الى الطرف المناسب للخلية N و P بالترتيب ، وبذلك تستطيع عبور المجال الكهربائي الداخلي فرق الجهد وبنتج عن ذلك تدفق تيار كهرضوئي . بالإضافة إلى ذلك يبلغ الحد الأقصى لجهد الخلية حوالي 0.6 فولت و يسمى هذا الجهد بجهد الدائرة المفتوحة (Voc). الحد الأقصى الحالي يحدث عندما تكون أطراف الخلية قصيرة الدائرة ، يطلق عليها تيارماس كهربائى الحالي (I cc) ، يوضح الشكل (3.2) مخطط (I–V) لخلية كهروضوئية [5]



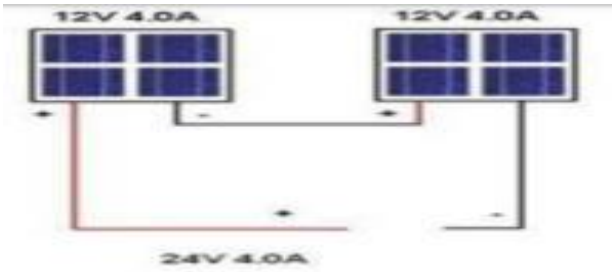
الشكل (3.2) مخطط (I–V) لخلية كهروضوئية [6]

2.2.2 توصيل الخلايا الكهروضوئية على (التسلسلي / التفرع):

توصيل الخلايا الكهروضوئية على التسلسلي عن طريق توصيل البدايات مع البدايات والنهايات مع النهايات (موجب مع موجب وسالب مع سالب)، وذلك من أجل الحفاظ على نفس الجهد ، ولكن مع جمع قيم التيارات المختلفة لجميع الخلايا الشمسية من أجل زيادة التيار الكلي ، وبالتالي رفع الاستطاعة الكلية كما هو مبين في الشكل (4.2) كما يمكن أيضا توصيل الخلايا الكهروضوئية على التفرعي ، حيث يتم توصيل النهايات مع البدايات أي موجب مع سالب وسالب مع موجب من أجل الحفاظ على نفس التيار، ولكن مع جمع قيم الجهود المختلفة لجميع الخلايا الشمسية من أجل رفع فرق الجهد الكلي [7]. كما هو مبين في الشكل (5.2) .



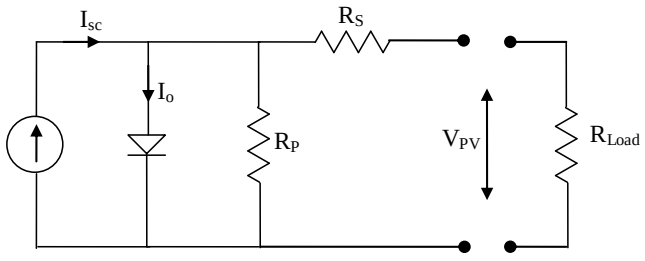
الشكل (4.2) توصيل على التوازي للخلايا الكهروضوئية



الشكل (5.2) توصيل على التفرعي للخلايا الكهروضوئية

3.2.2 نمذجة المولد الكهروضوئي (GPV):

تمثل الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية في الشكل (6.1) حيث تتكون تلك الدارة من منبع تيار وديود (Diode)على التفرع و مقاومتان : الاولى تفرعية والثانية تسلسلية تتعلقان بصناعة اللوح .



الشكل (6.2) الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية [8]

$$I_{PV} = I_{sc} - I_o\left[\exp\left(\frac{V_{PV} + R_s.I}{V_{th}}\right) - 1\right] - \frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{R_P} \qquad (1.1)$$

V_{pv} ,I_{PV} : التيار والجهد في GPV.

I_{SC} : تيار الدائرة القصيرة لـ GPV.

I_o : تيار التشبع العكسي.

R_s,R_p : المقاومة على التفرعي وعلى التسلسلية.

V_{th} : الإجهاد الحراري.

$$I_{PV} = I_{sc} - I_o\left[\exp\left(\frac{V_{PV} + R_s.I}{V_{th}}\right) - 1\right] \qquad (1.2)$$

$$I_o = \left(I_{sc} - I_o\right)\exp\left[-\frac{V_{op} + R_s I_{op}}{V_{th}}\right] \qquad (1.3)$$

$$V_{th} = \frac{\left(V_{op} + R_s I_{op} - V_{oc}\right)}{L_n\left(1 - \frac{I_{op}}{V_{op}}\right)} \qquad (1.4)$$

يتم إعطاء الكميات الكهربائية لـ GPV:

$$Isc = Np.Iscm \qquad (1.5)$$

$$Iop = Np.Iopm \qquad (1.6)$$

$$Ioc = Np.Iocm \qquad (1.7)$$

$$Vop = Np.Vo \qquad (1.8)$$

$$Rs = \frac{Ns}{Np}.Rsm \qquad (1.9)$$

Ns :عدد الخلايا الموصولة على التسلسلي

Np :عدد الخلايا الموصولة على التفرعي

الجدول (1.2): الخصائص الكهربائية النموذجية لـ MS60 GPV [9].

الطاقة القصوى (P_{max})	60 W
التوتر الأمثل (V_{opm})	17.1V
التيار الأمثل (I_{opm})	3.5 A
الحد الأدنى من الطاقة المضمونة	58 W
تيار ماس كهربائى (I_{ccm})	3.8 A
جهد الدائرة المفتوحة (V_{com})	21.1V
معامل درجة الحرارة (V_{com})	$-(80\pm10)mV/^{o}C$
معامل درجة الحرارة (I_{com})	$(0.065\pm0.015)\%/^{o}C$
معامل درجة الحرارة للطاقة	$-(0.5\pm0.005)\%/^{o}C$

4.2.2 خصائص الجهد الحالي (power – voltage) تتأثر بشكل أساسي باختلاف الاشعاع الشمسي بحيث يمكننا دراسة المعادلات الحالية لمستويات مختلفة من الاضاءة ودرجة الحرارة الجو :

$$\Delta T = T - Tr \quad (1.10)$$

$$\Delta I = \alpha(E/Er)\Delta T + (E/Er - 1)Icc \quad (1.11)$$

$$Rs.\Delta I - \Delta T.\Delta V = -\beta \quad (1.12)$$

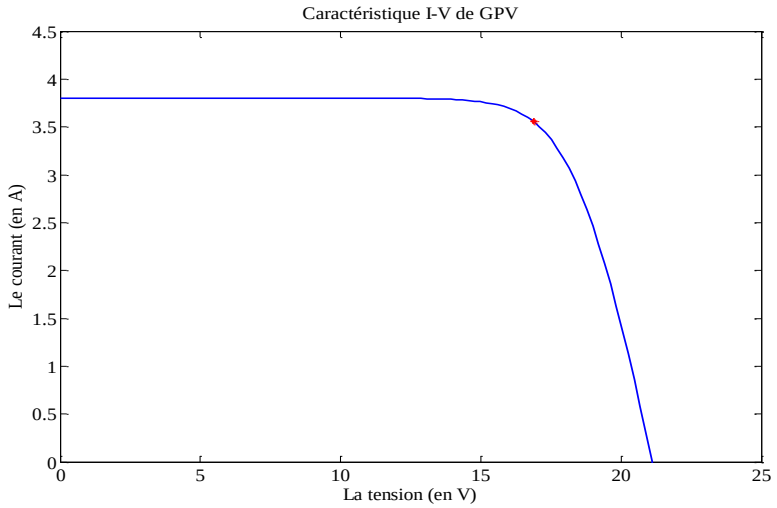
$$I = I + \Delta I \quad (1.13)$$

$$V = V + \Delta V \quad (1.14)$$

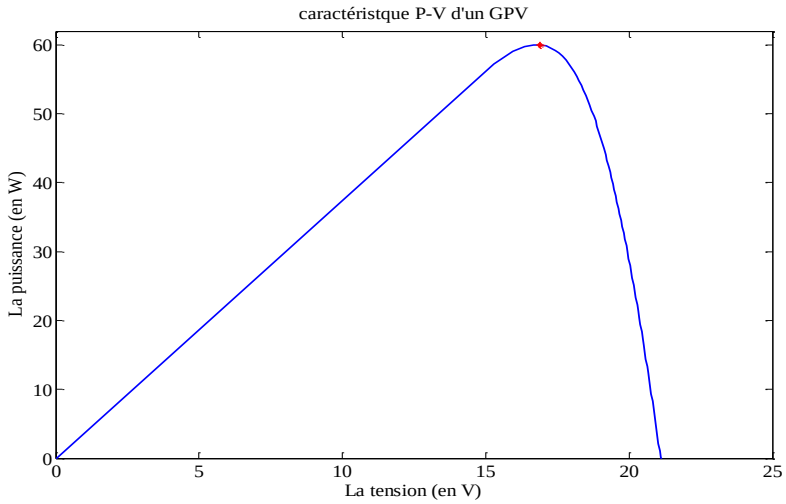
تشير اللاحقة "r" إلى الشروط الاسمية (القيم المقدرة) المعطاة بواسطة:

- الاشعاع الشمسي $Er=1000\ W/m^2$

- ودرجة الحرارة الاسمية Tr=25 C



الشكل (2 .7): خاصية V–I للمولد الكهروضوئي



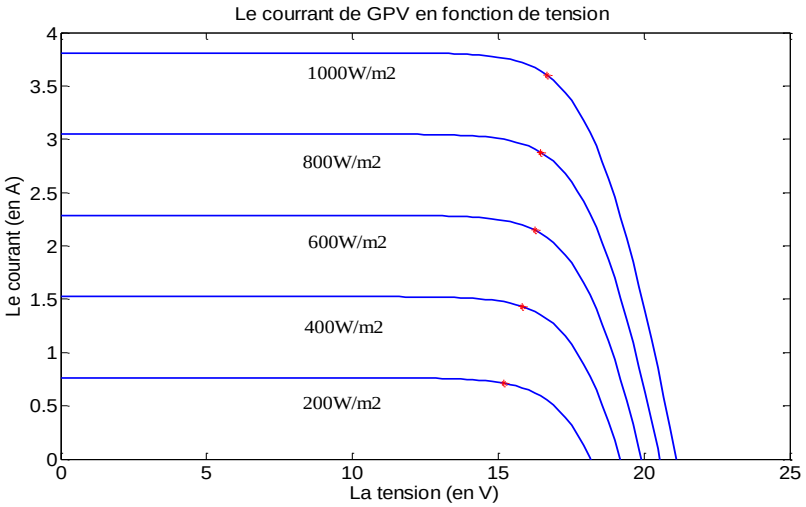
الشكل(8.2): خاصية V–P للمولد الكهروضوئي

3.2 العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الكهروضوئية:

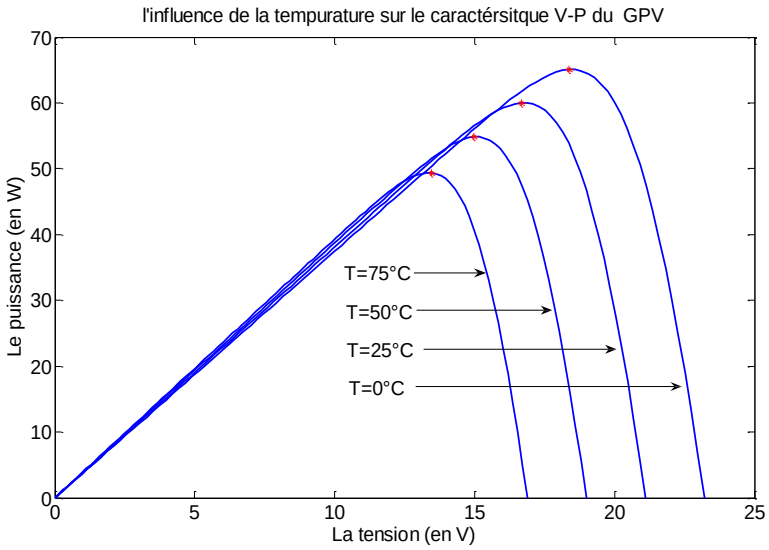
إن كفاءة الخلية الكهروضوئية تتأثر ببعض العوامل والتي منها زوايا ميل الخلية بالنسبة للشمس، الاختالفات اليومية والسنوية في الطاقة الشمسية التي تسلط على الخلية. وهناك عوامل أخرى تؤثر على الكفاءة مثل الضوء والحرارة.

1.3.2 تأثير ضوء الشمس على الخصائص:

يمكن ملاحظة أن تيار الدائرة القصيرة يتغير مع مستوى أشعة الشمس ، في حين أن جهد الدائرة المفتوحة ثابت تقريبًا، تزداد القدرة المستخرجة وفقًا لذلك ويكون لكل منحنى نقطة الحد الأقصى للطاقة PM (نقاط النجمة الحمراء) ، وهي نقطة التشغيل الأمثل للاستخدام الفعال للألواح الشمسية .

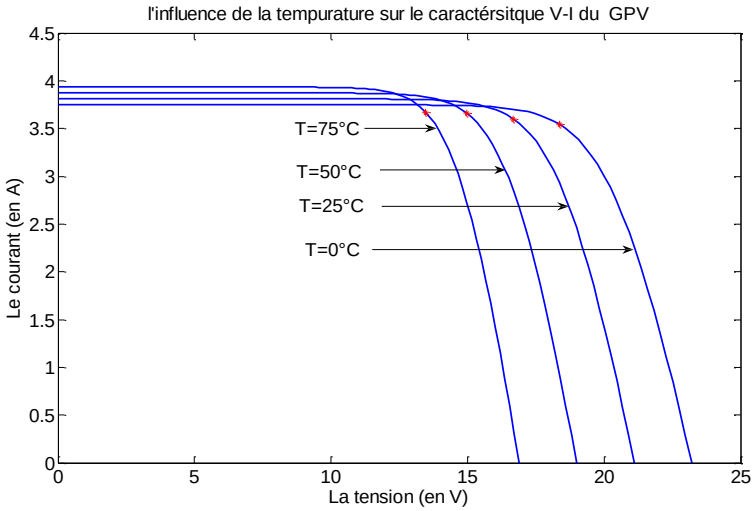


الشكل (9.2) تاثير الاضاءة على مميزة التيار بدلالة الجهد.

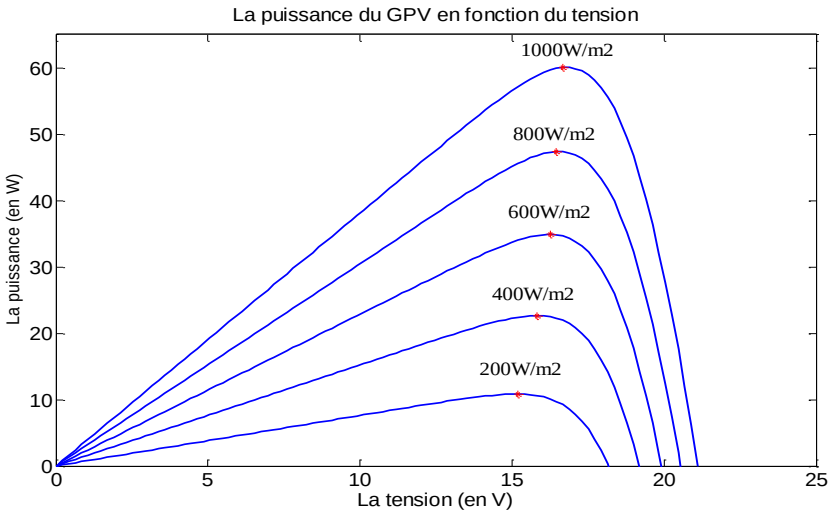


الشكل (10.2) تاثير الاضاءة على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد

2.3.2 تأثير درجة الحرارة على الخصائص: درجة الحرارة لها تأثير طفيف على التيار ، ولكن تؤدي الزيادة في درجة الحرارة إلى انخفاض واضح في جهد الدائرة المفتوحة والشكل (11.2)تبين تأثير درجة الحرارة على مميزة خواص الجهد والتيار، والشكل(12.2) تأثير درجة الحرارة على منحني كمية الطاقة المتولدة بدلالة الجهد.

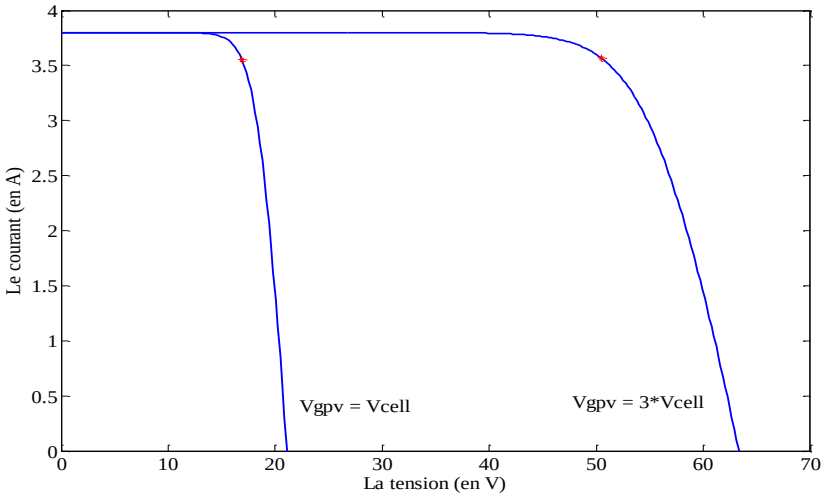


الشكل (11.2) تأثير درجة الحرارة على مميزة خواص التيار بدلالة الجهد.



الشكل (12.2) تأثير درجة الحرارة على مميزة الاستطاعة بدلالة الجهد.

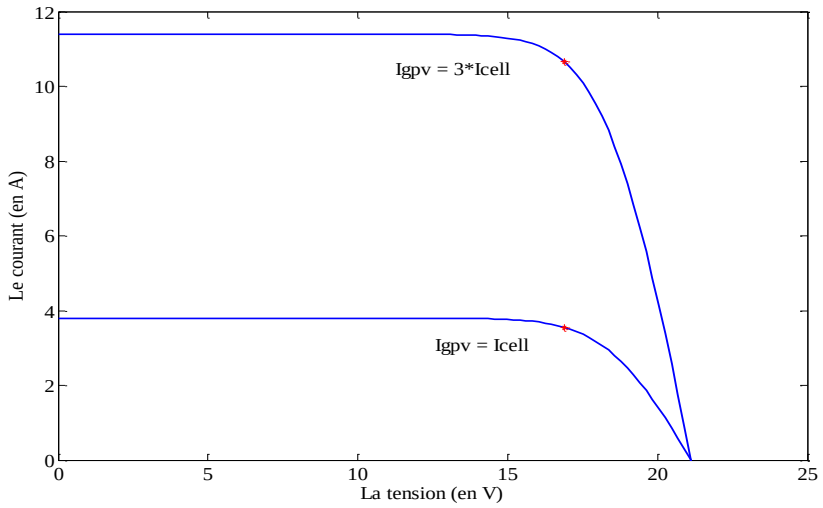
3.3.2 تأثير توصيل الخلايا الكهروضوئيةعلى التسلسل: الشكل (2 .13) يمثل الخاصية (I–V) عندما نقوم بربط خليتين على التسلسل يزداد جهد الدائرة المفتوحة عندها يزيد عدد الخلايا الموصول على التسلسل، القيمة لا يتأثر تيار الدائرة القصيرة بالزيادة في عدد الخلايا الموصولة على التسلسل .



الشكل (2 .13) تأثير ربط الخلايا على التسلسل .

4.3.2 تأثير توصيل الخلايا الكهروضوئية على التفرع :

الشكل(14.2) يمثل الخاصية (I–V) لاتحاد الخلية على التفرع يزداد تيار الدائرة القصيرة عندما يزداد عدد الخلايا على التفرع ، فإن قيمة جهد الدائرة المفتوحة لا تتأثر بالزيادة في عدد الخلايا على لتفرع مع زيادة الاستطاعة كما هي موضحة في الشكل (14.2).

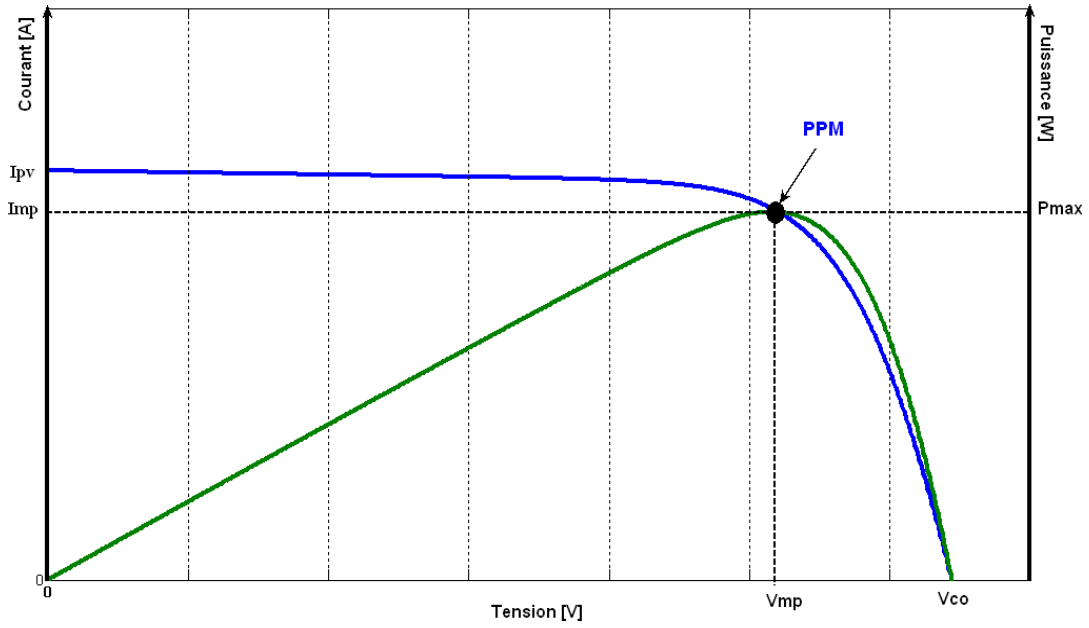


الشكل(14.2) تأثير ربط الخلايا على التفرع

5.3.2 تأثير التبريد والتهوية على كفاءة الخلية الكهروضوئية:

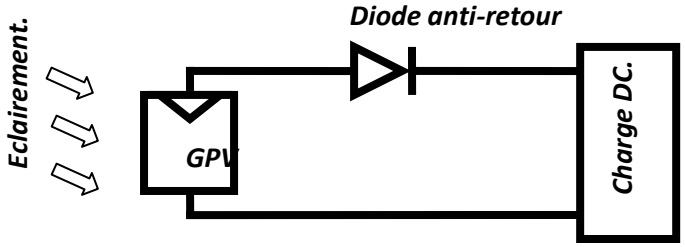
يعتبرا التهوية والتبريد بالنسبة للخلايا المصنوعة من السليكون البلوري مهمة جدا حيث يؤثران بشكل فعال على الكفاءة الانتاجية الطاقة التي تتعلق بزيادة درجة الحرارة. اما بالنسبة للخلايا الغير متبلورة والخلايا ذات الشرائح الرقيقة فإن نظم التهوية تمثل أهمية حيث تتأثر كفاءة توليد الطاقة بزيادة درجة الحرارة. [10]

4.2 نقطة الاستطاعة الاعظمية: هناك نقطة اعظمية (I، V) حيث تكون الألواح الشمسية قادرة على استخدام الطاقة قوتها القصوى (MPP) كما هو موضح في الشكل(15.2) .تم تسجيل خاصية I–V لخلية PV مسجلة على نفس نوع المادة وقد تختلف الشركة المصنعة نفسها من عنصر لآخر. وبالتالي ، فإن الحد الأقصى من باور بوينت (MPP) لخلية في ظل الظروف القياسية يمكن أن تنحرف بنسبة تصل إلى 10٪. نقطة الاستطاعة القصوى تختلف باختلاف الإشعاع ودرجة حرارة المحيط [11].



الشكل (15.2) نقطة الاستطاعة العظمى [12]

5.2 الاتصال المباشر (مصدر الحمولة) : هناك العديد من التطبيقات التي يوجد بها اتصال مباشر GPV.حيث يرتبط هذا الاختيار بشكل أساسي ببساطة العملية ودرجة الموثوقية العالية ، بسبب غياب الإلكترونيات والتكلفة المنخفضة . إذا كانت الحمول عندما لا تكون الوحدة مضاءة ، يمكن بالتالي تفريغ البطارية على المولد الكهروضوئي ، ولتجنب هذه العملية يجب ضمان الاتصال باستخدام الصمام الثنائي غير المرتجع (Diode anti-retour) يوضع بين GPV والحمولة. يوضحها في الشكل (16.2) . [13]



الشكل (16.2) توصيل مباشر لشحن GPV من خلال صمام ثنائي مسدود [14]

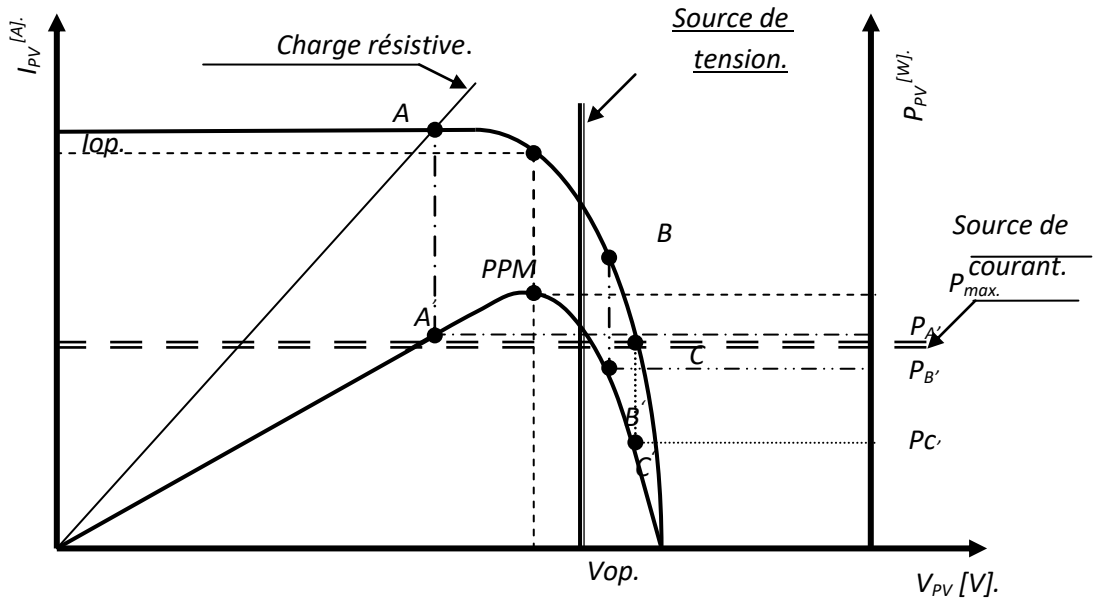
توجد ثلاثة أنواع من حمولة التيار المستمر النموذجية: حمولة مقاومة بحتة ، وحمولة نوع مصدر الجهد وحمول نوع المصدر الحالي ، يمكننا تحديد نقطة العملية التي تكون فيها طاقة التي يوفرها المولد هي الحد الأقصى Pmax ، التيارالأفضل Iopt والجهد الأمثل Voptللنقطة PPM . ثم يمكننا العثور على نقطة التقاطع بين المعالمI–V للمولد الموضح في الشكل (2. 17)

1) النقطة A لحمول مقاوم

2) النقطة B لحمول نوع مصدر الجهد

3)النقطة C لشحن المصدر الحالي

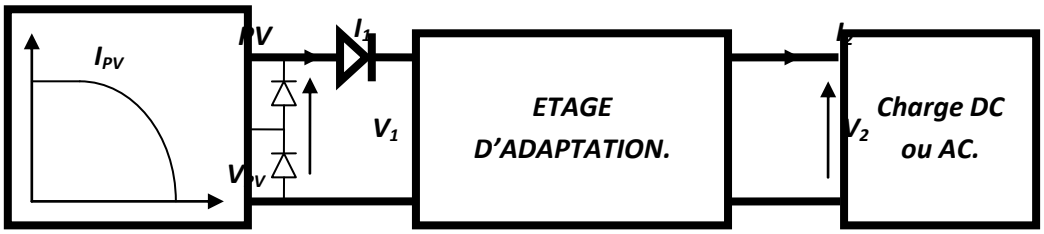
الطاقة التي يوفرها المولد على التوالي بالنسبة لهذه النقاط الثلاث ، تكون Pc P_B, P_A كما هو موضح في الشكل (2. 17) المقابل لقيم الطاقة الأقل من أقصى طاقة Pmax متاحة لذلك ، فقدان جزء من الاستطاعة يتم تسليمها إلى محطات المولد الكهروضوئي ينطوي على خسائر في إنتاج الطاقة .



الشكل (2. 17): نقاط تشغيل GPV حسب حمول التوصيل مباشر [15]

6.2 التوصيل بين المولد الكهروضوئي والحمول :

عندما تكون البطارية متصلة بـ GPV ، فإنها تعرض جهد البطارية أعلى من جهد الدائرة المفتوحة للمولد الكهروضوئي. ومن مزايا إدخال مرحلة التكيف هو التأكد من أن نقل الطاقة ممكن دائمًا، وأنه من الممكن تتم في ظل ظروف التشغيل المثلى لـ PV والحمول، لذلك يكفي أن تختار في مرحلة التكيف وفقًا لخصائص تحويل الاستطاعة ووجود درجة واحدة على الأقل من الحرارة تسمح لها بالتكيف مع التوترات والتيارات في القيمة والشكل بين منفذ الإدخال ومنفذ الإخراج الخاص به ،الموضح في الشكل (18.2) [16].



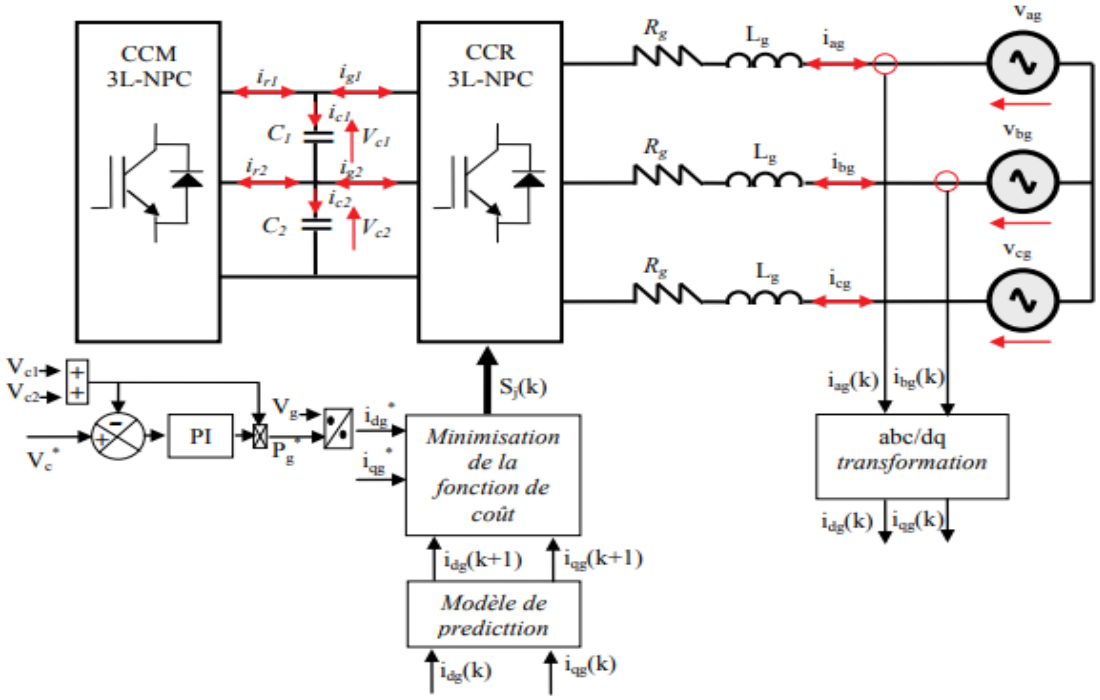
الشكل(18.2): توصيل GPV بحمول خلال مرحلة التكيف [17]

7.2 نمذجة المحول الساكن(onduleur NPC à 3 niveaux):

تتميز المحولات متعددة المستويات بالمزايا التالية:

- خفض معدل التشوه التوافقي على موجات التيار والجهد ، اما الجهد فهو المخرج الذي يحسن معامل القدرة للنظام في الواقع . حيث كلما زاد عدد مستويات الجهد في المحول ، كان شكل الموجة أفضل.
- منع الفولتية لمكونات الطاقة حيث يتم تخفيضها بشكل ملحوظ في الواقع ، تم حظر الجهد بواسطة كل مفتاح هو فقط (n −1) / Vdc، حيث n هو عدد مستويات جهد المحول.
- قليل من تغيرات الجهد المفاجئ (dV / dt) أثناء التبديل التي تولد جهودًا كبيرة لوضع مشترك عبر محطات الكلفة .
- إمكانية الاتصال بشبكات الجهد المتوسط وذلك بفضل زيادة جهد المخرج للمحولات ،بحيث يمكننا استخدام اقتران المحول.
- كفاءة أفضل في استخدام الطاقة. [18]

في القسم التالي ، يتم تطبيق الأمر FS–MPC على محول ثلاثة مستويات مثبتة بواسطة NPC محايد (Neutral point clamped) NPC– 3 L ، حيث تحل المحولات محل محولي نوع VSI–2 L كما هو موضح في الشكل(19.2).

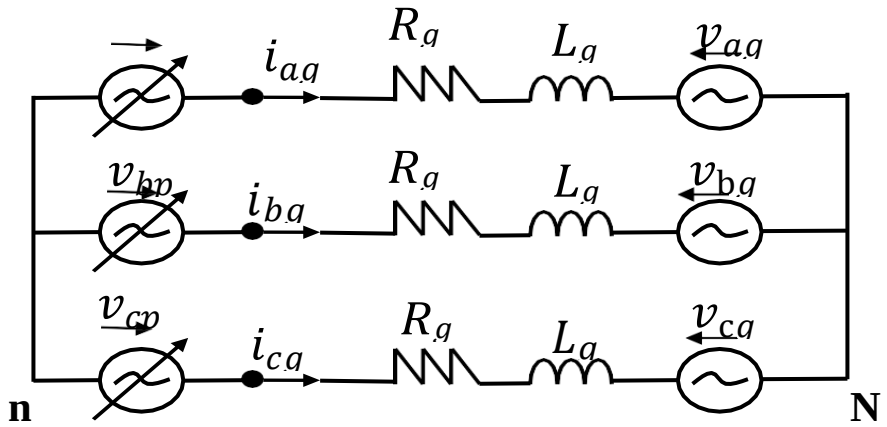


الشكل (2. 19): التحكم FS–MPC للمحول CCR.[19]

8.2 نمذجة الشبكة:

1.8.2 نموذج الاتصال بالشبكة في إطار α–β :

يوضح الشكل (20.2) اتصال محول الجانب الرئيسي بالشبكة الكهربائية، حيث ضغط الشبكة الجيبية ذات سعة وتردد ثابتين. وانتاج التيار الكهربائي التي يفرضها متغيرة في السعة والتردد.



الشكل (20.2): تمثيل مبسط لنظام CCR مرتبط بشبكة ثلاثية الطور[20].

N: محايد الحمولة

n: محول محايد

$$\boldsymbol{V}_{a,b,c,g}(\boldsymbol{t})\boldsymbol{t}) = R_g i_{a,b,c,g} + L_g \frac{d}{dt} i_{a,b,c,g}(t) +) V_{a,b,c,p} \qquad (15.1)$$

يُعطى نموذج ربط الشبكة في إطار Clark بواسطة:

$$V_{\alpha\beta}\ (\boldsymbol{t}) = R_g i_{\alpha g} + L_g \frac{didg}{dt} - W_s L_g\, i_{\beta g} + V_{\alpha g} \qquad (16.1)$$

$$V_{\alpha p}\ (\boldsymbol{t}) = R_g i_{\beta g} + L_g \frac{di\beta g}{dt} - W_s L_g\, i_{\alpha g} + V_{\alpha g} \qquad (17.1)$$

المعادلات التي تمثل ديناميكيات تيارات الشبكة:

$$\frac{di\alpha g}{dt} = \frac{1}{Lg}\left(V_{\alpha p} - R_g i_{\alpha g} + W_s L_g i_{\beta g} - V_{\alpha g}\right) \quad (18.1)$$

$$\frac{di\beta g}{dt} = \frac{1}{Lg}\left(V_{\beta p} - R_g i_{\beta g} - W_s L_g i_{\alpha g} - V_{\beta g}\right) \quad (19.1)$$

معادلات الاستطاعة النشطة والمتفاعلة هي:

$$\begin{cases} P_g = v_{\alpha g} i_{\alpha g} + v_{\beta g} i_{\beta g} \\ Q_g = v_{\alpha g} i_{\beta g} - v_{\alpha g} i_{\beta g} \end{cases} \quad (20.1)$$

9.2 خاتمة :

في هذا الفصل تطرقنا إلى وصف الخلايا الكهروضوئي ومبدأ عملها ونمذجة المولد الكهربائي GPV وخصائصه، أيضا تم توصيل الخلايا PV بالاضافة إلى العوامل المؤثرة على كفاءتها، وكيفية تشغيله بعد ذلك نمذجة المحول الساكن (Onduleur NPC) لثلاث مستويات واخيرا نمذجة الشبكة الكهربائية ثلاثية الطور .

المراجع الببليوغرافية

[1] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », MEMOIRE DE MAGISTER, Université Larbi Ben M`hidi Oum El Bouaghi Faculté des Sciences et de la Technologie, 2011/2012.[2] [3]

[4] 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

[5] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 07

[6] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 07

[7] PRINSLOO,G.DOBSON,R.solar tracking. South Africa,2015, ISBN: 978-0-620-61576-1

[8] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 09

[9] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 10

تحسين أداء متحكم ضبابي لمالحقة مسار نقطة االستطاعة ألعظمية في الخاليا الشمسية باستخدام الخوارزمية الجينية [10] المرجع **مـاسـتـر أكـادمـي تـخـصـص الـشـبـكـات الـكـهـربـائـيـة** المذكور اصدر 2020/ 20/ 21 ، ص15

[11] Mohammed Telidjane. Modélisation des panneaux photovoltaïques et adaptation de la cyclostationarité pour le diagnostic, par : 13/07/2017,

[12] BOUZERIA HAMZA, « Modalisation Idéalisation et Commande D'une Chaine de conversion photovoltaïque », Référence Susmentionnée,30/04/2016

[13] Angel Cid Pastor « conception et réalisation de module photovoltaïque électroniques », thèse de doctprat, l'‟Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 29/09/2006.

[14] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 13

[15] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 14

[16]]:A. Menadi, S. Abdeddaim, A. Betka and M. T. Benchouia, "Real Time Implementation of A Fuzzy Logic Based Mppt Controller for Grid Connected Photovoltaic System," International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol. 5, pp. 236-244, 2015

[17] Chika Said, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 15
[18]Chikha Said, « Contribution à l'optimisation de la commande prédictive des convertisseurs statiques intégrés dans les chaines de conversion d'énergie éolienne», Doctorat en sciences, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi Faculté des sciences et des sciences appliquées Département de génie électrique 03/07/2017
[19]Chikha Said, « Contribution à l'optimisation de la commande prédictive des convertisseurs statiques intégrés dans les chaines de conversion d'énergie éolienne», Référence Susmentionnée, pp 70
[20]Chikha Said, « Contribution à l'optimisation de la commande prédictive des convertisseurs statiques intégrés dans les chaines de conversion d'énergie éolienne», Référence Susmentionnée, pp 42

الفصل الثالث:

دراسة سلسلة تحويل الطاقة الشمسية عبر مموج NPC-3N الموصول مع الشبكة الكهربائية

1.3. مقدمـة:

كما رأينا في الفصل السابق، لا تعتمد الطاقة الكهربائية التي تولدها الألواح الكهروضوئية على الظروف المناخية فقط مثل شدة الإضاءة ودرجة الحرارة ولكن أيضًا على الحمولة. نظرًا لأن الإضاءة ودرجة الحرارة لا يمكن التحكم فيها وهي متغيرات عشوائية، فإن الطاقة المتولدة من الكهروضوئية تكون عشوائية أيضًا، حيث نعتمد على نقطة التشغيل ثلاثية الأبعاد (الضوء، درجة الحرارة، الحمولة). تشير الخاصية اللاخطية (I-V) للخلايا الكهروضوئية، الموصوفة سابقًا، إلى أن مقاومة مخرج الخلية ليست ثابتة، وأن منحنى الطاقة يمر عبر نقطة قصوى عندما تكون مقاومة الحمولة مساوية لمقاومة مخرج الخلية وهذا يعني أنه تم الوصول إلى الحد الأقصى من الطاقة، يتم التحكم بواسطة خوارزمية لتتبع أقصى نقطة طاقة تسمى والتي MPPT (بدون محول DC-DC). تتيح خوارزمية MPPT تحديد نقاط التشغيل المثلى للمنحنى (V-P) للمولد الكهروضوئي بغض النظر عن الاختلافات في ضوء الشمس ودرجة الحرارة.

للحصول على أقصى عائد من اللوحة في جميع الأوقات، وبغض النظر عن تقلبات الطقس. لتتبع أفضل لنقطة الطاقة القصوى اخترنا وحدة تحكم تعقب نقطة الطاقة القصوى والتي تستخدم نظرية الاضطراب والمراقبة "P&O" ثم قمنا بعد ذلك بدراسة التحكم التنبؤي لنموذج الحالة المحدودة من اجل تطبيق هذا التحكم على المموج NPC-3N والذي سيكون بدوره متصل بالمجال الكهروضوئي والمصب الى شبكة الكهرباء.

تم تخصيص هذا الفصل لدراسة خوارزمية استخراج أقصى طاقة من المولد الكهروضوئي، والتي تسمى "تتبع نقطة الطاقة القصوى" (MPPT)، ودراسة أيضا التحكم التنبؤي مع نموذج الحالة المحدودة المطبق على المموج NPC-3N الموصول بالشبكة الكهربائية.

2.3. تشغيل المولد الكهروضوئي بطاقته القصوى:

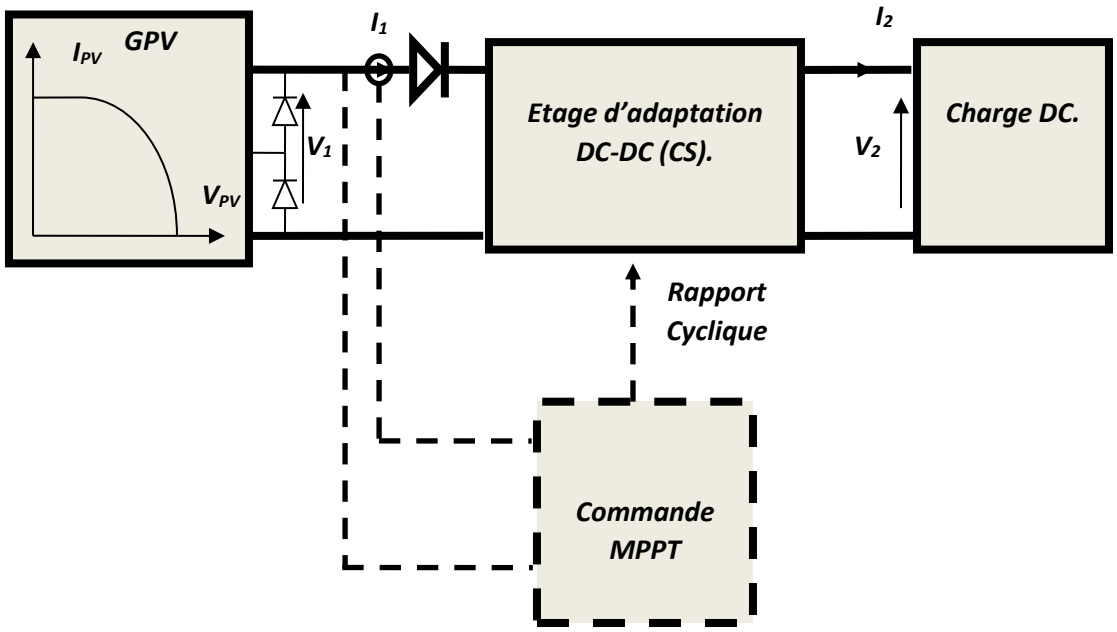
في نظام كهربائي يشمل على مصدر وحمولة، يعد البحث عن نقطة التشغيل المثلى من خلال تقنيات التحسين هو الأهم في حالة الخلايا الكهروضوئية، يكون هذا النهج أكثر تعقيدًا نظرًا لحقيقة أن خصائص الخلايا تعتمد بشدة على أشعة الشمس ودرجة الحرارة المحيطة، من بين أمور أخرى. يجب العثور على جهاز يسمح بالتشغيل في جميع الأوقات وفقًا لنقطة التشغيل المثلى. في السنوات الأخيرة، يراجع المؤلفون طرق استخراج الطاقة القصوى المصنفة إلى فئتين:

الطرق غير المباشرة والطرق المباشرة، يُترجم هذا إلى نقاط طاقة قصوى. غالبًا ما يُطلق على هذا النوع من التحكم (البحث عن نقطة الطاقة القصوى او تعقب نقطة الطاقة القصوى)

باللغة الإنجليزية " MPPT- Maximum Power Point Tracking "

باللغة بالفرنسية " Suivi Du Point De Puissance Maximale".

يمكن تمثيل سلسلة الطاقة الخاصة بـ GPV حيث يتم تغذية حمل التيار المستمر بواسطة مولد من خلال محول ثابت (CS) يتحكم فيه MPPT كما هو موضح في الشكل (1.3) يغير التحكم MPPT دورة عمل(**RC**) لـ Convertisseur Statique بحيث تكون الطاقة التي توفرها GPV أو P_{max} بحد أقصى.



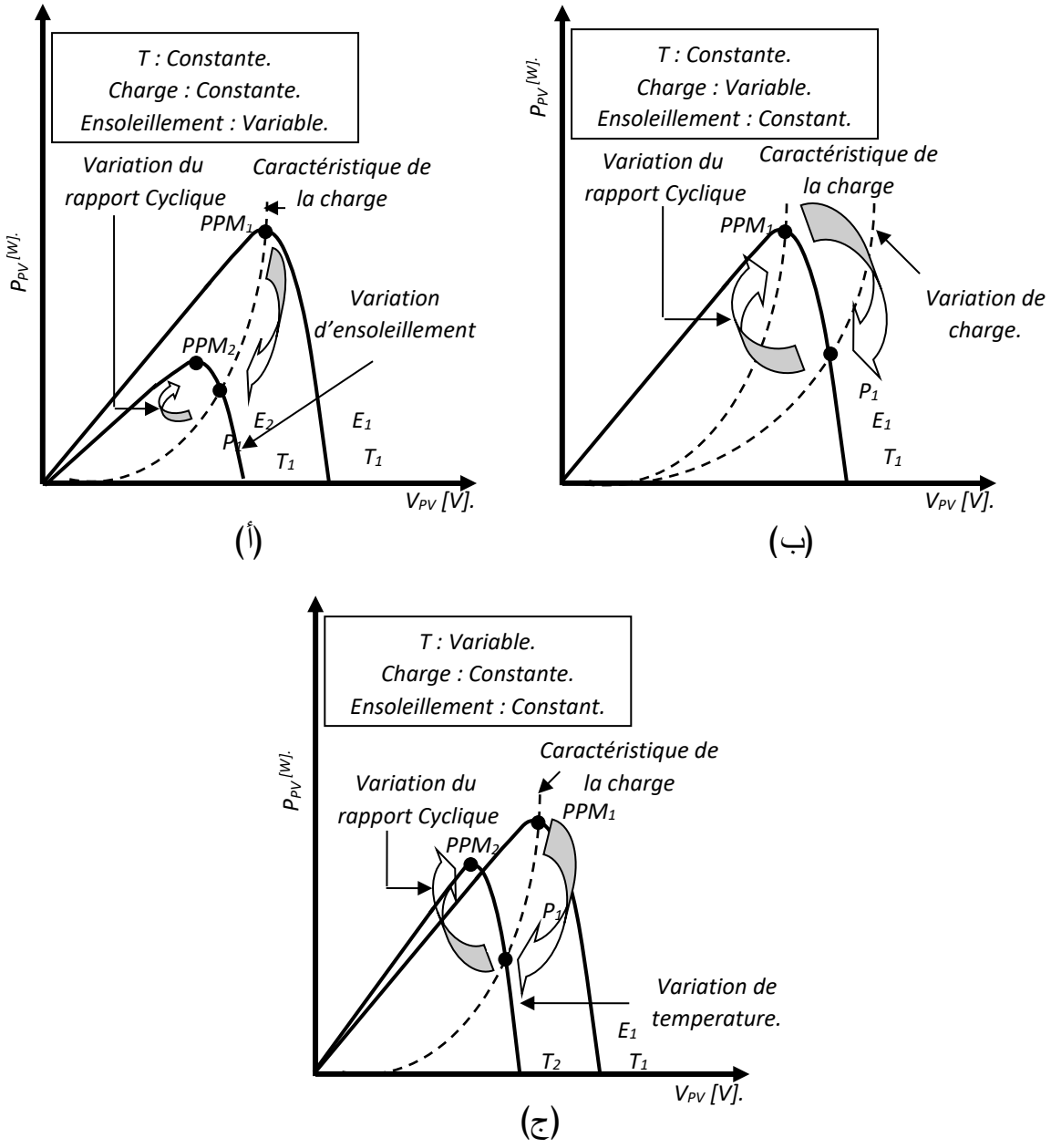
الشكل (1.3): سلسلة التحويل الكهروضوئية الأساسية [1]

لضمان تشغيل GPV عند أقصى نقطة للطاقة (MPP)، يتم استخدام خوارزميات MPPT، وتهدف هذه الخوارزميات إلى **تشغيل النظام باستطاعة عظمى** والتي تتغير اعتمادًا على الظروف المناخية بناءً على الطرق المثلى.

3.3. مبدأ إيجاد نقطة الطاقة القصوى MPPT:

يعد MPPT، مبدأ يجعل من الممكن اتباع نقطة الطاقة القصوى لمولد كهربائي غير خطي. وبالتالي، ستكون الطاقة التي يتم توصيلها مختلفة حسب الحمولة. لذلك، تتيح وحدة التحكم MPPT التحكم في Convertisseur Statique الذي يربط الحمولة واللوحة الكهروضوئية لتوفير أقصى طاقة بشكل دائم في جميع الأوقات.

ويوضح الشكل (2.3) ثلاث حالات اضطراب (اختلافات في الإضاءة والحمولة ودرجة الحرارة). اعتمادًا على نوع الاضطراب، تتحول نقطة التشغيل من نقطة الطاقة القصوى PPM1 إلى نقطة تشغيل جديدة P1 أكثر أو أقل بعدًا عن الأمثل. بالنسبة لاختلاف ضوء الشمس (الحالة أ)، يكفي إعادة تعديل قيمةRapport Cyclique للتقارب مع PPM2 نقطة الطاقة القصوى الجديدة. بالنسبة لتباين الحمولة (الحالة ب)، يمكننا أيضًا رؤية تغيير في نقطة التشغيل حيث يمكنه استعادة الوضع الأمثل الجديد بفضل تقنية التحكم المستعملة وبدرجة أقل، قد تحدث حالة أخيرة لتغير نقاط التشغيل بسبب الاختلافات في درجة حرارة التشغيل GPV (الحالة ج). باختصار، يتم تنفيذ تتبع PPM باستخدام أمر محدد يسمى MPPT والذي يعمل بشكل أساسي على دورة عمل Convertisseur Statique للبحث عن PPM الخاص والوصول إليه من GPV [1].



الشكل (2.3): إيجاد واستعادة نقطة القوة القصوى

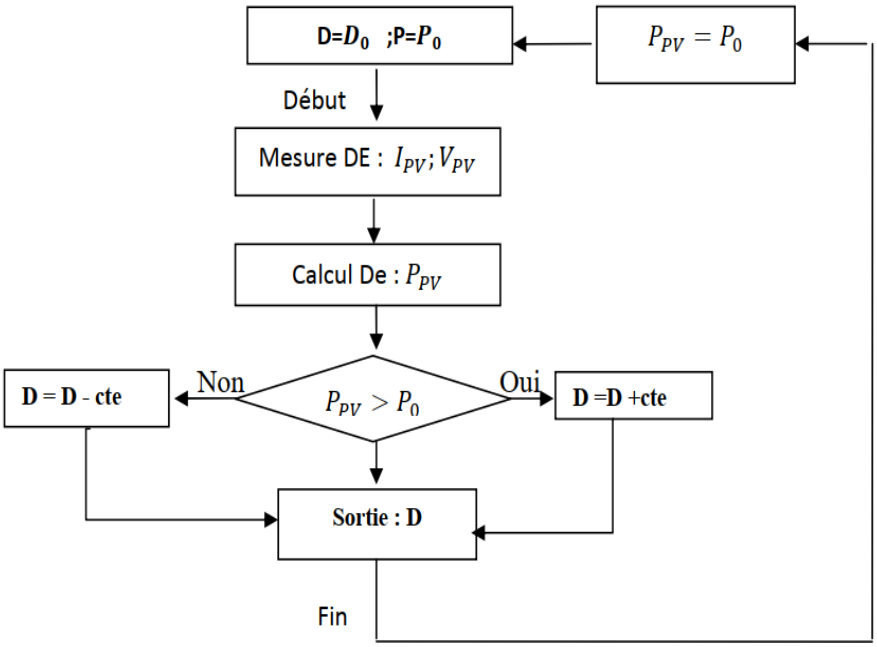
أ – بعد الاختلاف في ضوء الشمس.

ب – بعد الاختلاف في الحمولة.

ج – بعد التغير في درجة الحرارة.

4.3. تقنية التحكم MPPT:

كانت الخوارزمية MPPT بسيطة نسبيًا. والواقع أن قدرات أجهزة التحكم الدقيقة المتاحة في ذلك الوقت كانت ضعيفة، وكانت التطبيقات، أقل بكثير من الإجهاد من حيث درجة الحرارة وتباين الضوء مقارنة بالتطبيقات الأرضية. يعتمد هذا الأمر على خوارزمية تحكم تكيفية، والتي تحافظ على النظام عند أقصى نقطة طاقة (PPM). والشكل (3.3) يوضح ذلك:



الشكل (3.3): الشكل الأول من أشكال خوارزميات MPPT

يتكون الشكل أولا من حساب الطاقة عند k من قياسات $\boldsymbol{I_{pv}(k)}$ و$\boldsymbol{V_{pv}(k)}$، ومقارنتها بتلك المخزنة في الذاكرة، المقابلة للوقت k-1. من هناك، يتم حساب Rapport Cyclique (D) جديد ويتم تطبيقه على Convertisseur Statique. لا يزال هذا المبدأ ساريًا من الناحية النظرية ويتم تطبيقه في الوقت الحاضر على خوارزميات رقمية أكثر كفاءة. ومع ذلك، فقد تم تحسين وقت رد الفعل بالإضافة الى دقة البحث في PPM جنبًا إلى جنب مع عدد من الاحتياطات لتجنب فقدان PPM [2].

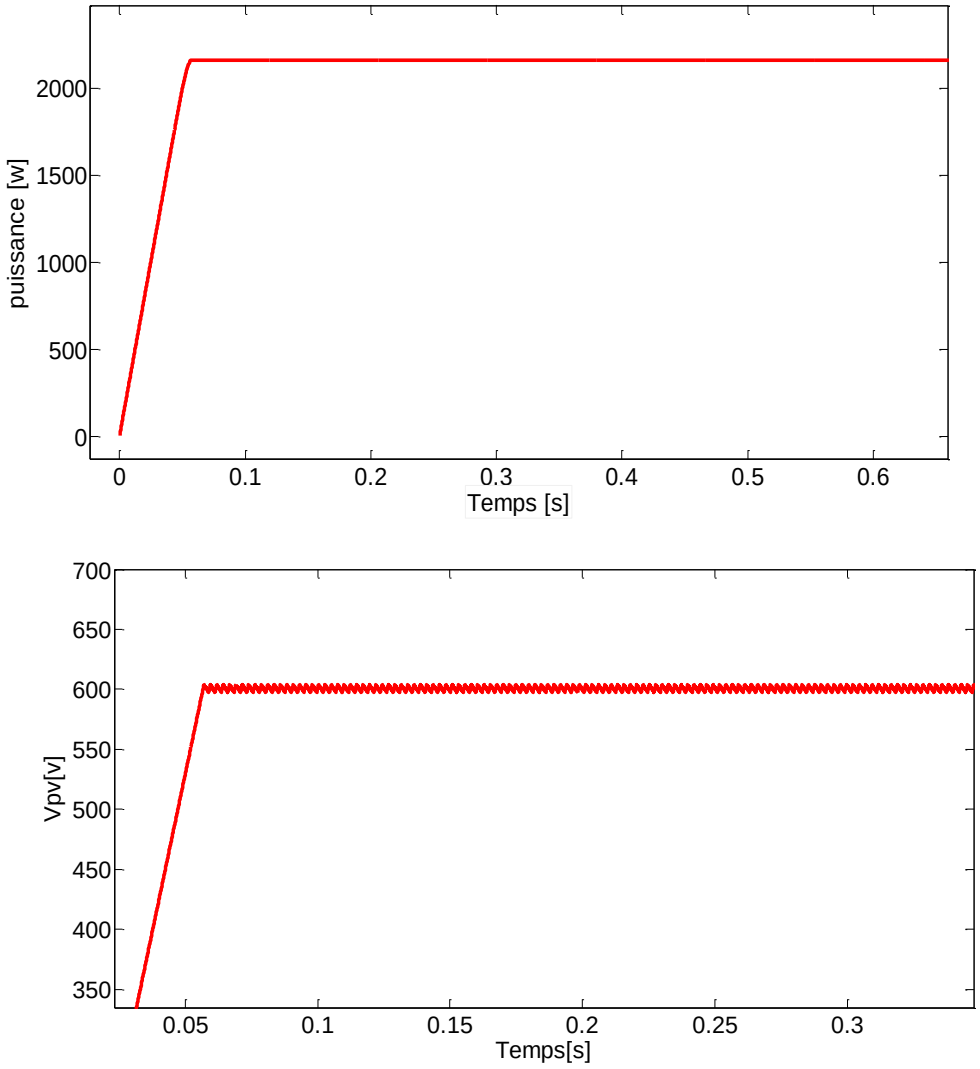
هناك العديد من خوارزميات MPPT والأكثر استخدامًا هي:

- خوارزمية الجهد الثابت (CV-Constant Voltage).
- خوارزمية التيار الثابت (Constant Current).
- الاضطراب والمراقبة (P&O-Perturb and Observe).
- التوصيل المتزايد (IncCond, Incrémental Conductance) [3].

1.4.3. تقنية تحكم الاضطراب والمراقبة – Perturbe and Observe (P&O):

هذه هي خوارزمية تتبع PPM الأكثر شيوعًا، ويمكن تلخيص مبدأها على النحو التالي: "في حالة حدوث اضطراب في الجهد، تزداد قوة GPV، ويتم الحفاظ على اتجاه الاضطراب. وفي حالة خلاف ذلك، يتم عكسها لاستئنافها التقارب مع PPM الجديد". تعتمد هذه الخوارزمية على اضطراب النظام عن طريق زيادة أو انخفاض الجهد $\boldsymbol{V_{pv}}$ بسعة صغيرة حول قيمته الأولية وتحليل سلوك منحنى الطاقة $\boldsymbol{P_{pv}}$ الناتج كما هو مبين في الشكل (4.3). يمكن استنتاج أنه إذا كانت الزيادة الموجبة للجهد $\boldsymbol{V_{pv}}$ تولد زيادة في الطاقة $\boldsymbol{P_{pv}}$، فهذا يعني أن نقطة التشغيل تقع على يسارPPM. على العكس من ذلك، إذا انخفضت الطاقة، فهذا يعني أن النظام قد تجاوز PPM. يمكننا تقديم تفسير إذا كانت قيمة الطاقة الحالية $\boldsymbol{P(k)}$ للوحة أعلى من القيمة السابقة $\boldsymbol{P(k-1)}$ ثم نحافظ على نفس اتجاه الاضطراب السابق، وإلا فإننا نعكس اضطراب الدورة السابقة.

باختصار، في حالة حدوث اضطراب في الجهد، تزداد الطاقة الكهروضوئية، ويتم الحفاظ على اتجاه الاضطراب. وبخلاف ذلك، يتم عكس ذلك لاستئناف التقارب مع PPM الجديد [4].

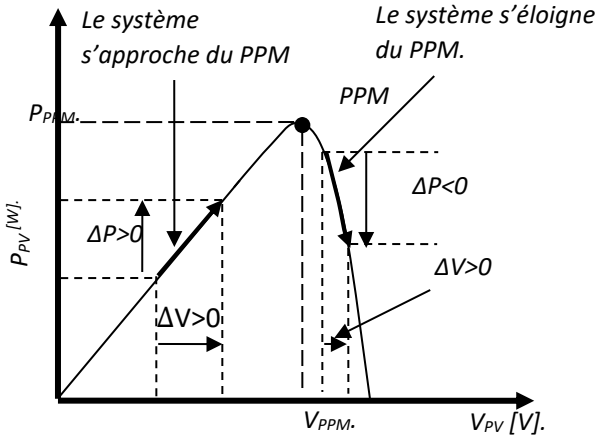


الشكل (4.3):

حيث يبين:

المنحنى الأول: يوضح الاستطاعة الأعظمية للوح الشمسي **MSX-60** باستعمال خوارزمية **P&O**.

المنحنى الثاني: يوضح الجهد الأعظمي للوح الشمسي **MSX-60** باستعمال خوارزمية **P&O**.



الشكل (5.3): خاصية Ppv=F(Vpv) للوح الشمسي

أولاً يتم قياس الجهد $\boldsymbol{V_{pv}}$ والتيار $\boldsymbol{I_{pv}}$ الحالي لحساب الطاقة $\boldsymbol{P_{pv}(k)}$ تتم مقارنة قيمتها مع قيمة الطاقة التي تم الحصول عليها أثناء قياس $\boldsymbol{P_{pv}(k-1)}$ الأخير. إذا زادت الطاقة التي توفرها اللوحة منذ القياس الأخير، فستستمر زيادة الجهد $\boldsymbol{V_{ref}}$ في نفس الاتجاه كما كان الحال خلال الدورة الأخيرة ويتم ذلك عن طريق الاختبار على $\boldsymbol{\Delta V_{pv}}$.

إذا كانت $\boldsymbol{\Delta V_{pv} > 0}$ فهذا يعني أن $\boldsymbol{V_{pv}}$ قد تمت زيادته خلال الدورة الأخيرة، أي:

$$\boldsymbol{V_{ref}(k+1) = V_{ref}(k) + \Delta V}$$

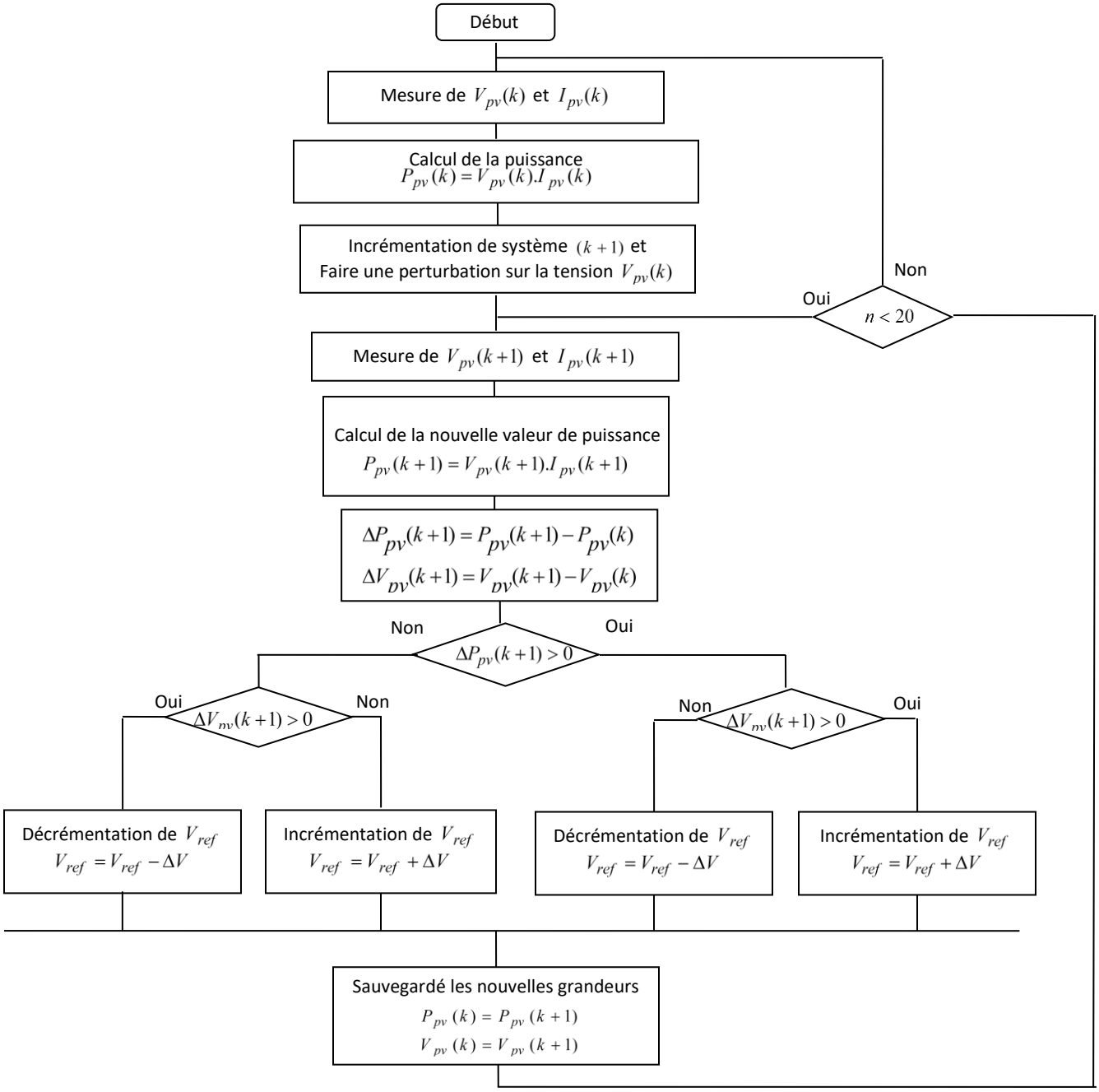
إذا كانت $\boldsymbol{\Delta V_{pv} < 0}$ فهذا يعني أننا قمنا بتخفيض $\boldsymbol{V_{pv}}$ خلال الدورة الأخيرة، أي اننا سنضع:

$$\boldsymbol{V_{ref}(k+1) = V_{ref}(k) - \Delta V}$$

لذلك ينتهي بنا المطاف في المسار حيث تستمر P في الزيادة [5].

2.4.3. الخوارزمية المتبعة:

يمثل الشكل (6.3) الخوارزمية الكلاسيكية المرتبطة بعنصر تحكم MPPT من نوع P&O، حيث يتم تحليل تطور القدرة بعد كل اضطراب في الجهد. بالنسبة لهذا النوع من التحكم، من الضروري وجود مستشعرين (التيار $\mathbf{I_{pv}}$ والجهد $\mathbf{V_{pv}}$ الخاص بـ GPV) لتحديد الاستطاعة في كل لحظة [6].



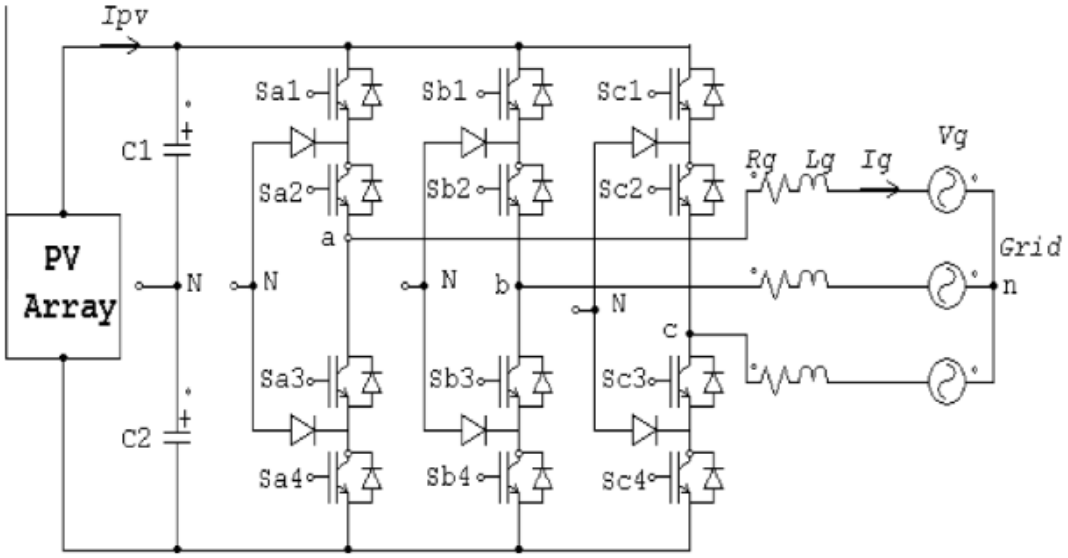
الشكل (6.3): نموذج لخوارزمية P&O

5.3. دراسة سلسلة تحويل الطاقة الشمسية عبر مموج NPC-3N الموصول مع الشبكة الكهربائية:

تم إجراء بحث دقيق لتقنيات التحكم الرقمية، بما في ذلك التحكم التنبؤي، لما يقرب من ثلاثة عقود. تم اقتراح مجموعة التحكم المحدودة (FCS-MPC) MPC منذ ما يقرب من عقد من الزمان لمموج جهد ثلاثي المستوى (NPC-3N). ومنذ ذلك الحين، أصبحت أنشطة البحث والتطوير في هذا المجال نشطة وهامة.

1.5.3. المخطط العام للمموج NPC-3N:

يوضح الشكل (7.3) مموج من نوع NPC-3N الذي يتألف من ثلاثة أذرع متناظرة. يتكون كل ذراع من أربعة أزواج (Diode – Transistor) يمثل كل منها مفتاح تيار ثنائي الاتجاه واثنين من الثنائيات الوسطى مما يسمح بمستوى الجهد الصفري. يتطلب هذا الهيكل استخدام مفاتيح يمكن التحكم فيها عند البدء والغلق. في حالتنا، سنستخدم IGBTs مع الثنائيات المضادة [7].



الشكل (7.3): الشكل العام للمموج NPC-3N للنظام المدروس [8]

يتم تعريف وظيفة التبديل S_{ki} على النحو التالي حيث لكل مفتاح $\mathbf{T_{ki}\ (k) = a, b, c\ est\ i =}$ $\mathbf{1, 2, 3, 4}$):

$$S_{ki} = \begin{cases} 1 & si \quad T_{ki} \quad est\ ferme \\ 0 & si \quad T_{ki} \quad est\ ouvert \end{cases} \tag{1.3}$$

يوفر المموج 3N، عند المخرج، ثلاثة مستويات للجهد **Vdc/2**− و0 و**Vdc/2**+ اعتمادًا على حالات المفاتيح أي Interrupteurs كما هو موضح في الجدول (1.3):

الجدول (1.3): تمثيل الحالات لمرحلة واحدة من المموج

S_i	S_{i1}	S_{i2}	S_{i3}	S_{i4}	v_{io}
+	1	1	0	0	$+v_{dc}/2$
0	0	1	1	0	0
-	0	0	1	1	$-v_{dc}/2$

2.5.3. تمثيل أشعة المموج:

يمكن كتابة الجهد أو التوتر عند مخرج NPC -3N في معلم − Clarke ($\boldsymbol{\alpha, \beta}$) على النحو التالي:

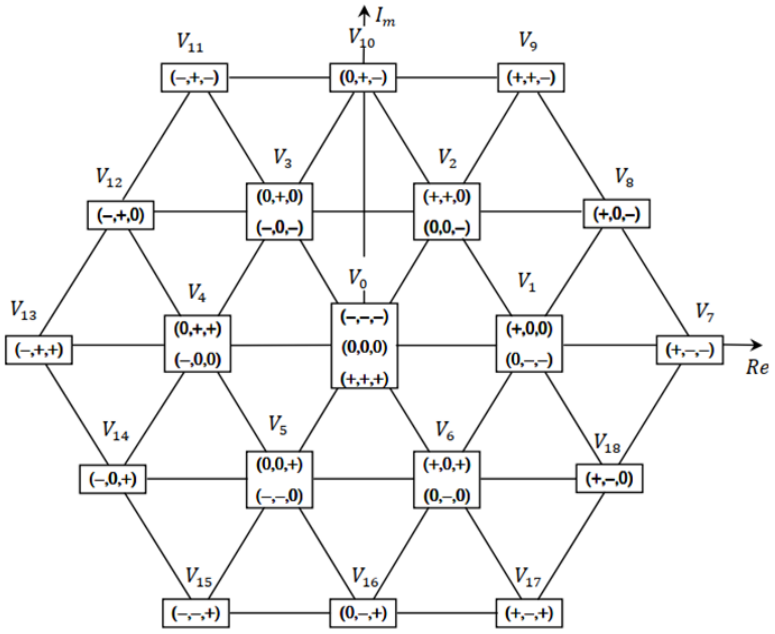
$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

حيث V_{an} وV_{bn} وV_{cn} هي توترات phase-Neutre (N) الخاصة بالمموج ويتم التعبير عن Vecteur de tension V عند مخرج المموج في المعلم ($\boldsymbol{\alpha, \beta}$) على النحو التالي: $\mathbf{V = V_\alpha + jV_\beta}$ من المعادلتين **(1.3)** و **(2.3)** يعطى تعبير Vecteur de tension V كالاتي [10]:

$$\mathrm{V} = \frac{2}{3}(\mathrm{V_{\alpha n}} + \mathrm{aV_{bn}} + \mathrm{a^2 V_{cn}}) \tag{3.3}$$

$$avec:\ a = e^{-j2\pi/3} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

تولد مجموعة حالات مفاتيح الأذرع الثلاثة 27 متجها أي (27 Vecteurs) في المعلم $(\boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta})$ كما هو موضح في الشكل (8.3)، 24 منها نشطة و3 صفر. الجدول (2.3) يبين تكوينات المفاتيح المختلفة مع متجهات الجهد المقابلة.



الشكل (8.3): متجهات الجهد المحتملة وحالات التبديل الناتجة عن المموج NPC–3N [9]

الجدول (2.3): حالات المفاتيح والمتجهات المقابلة [11]

N^o	S_a	S_b	S_c	Vecteur de tension V	N^o	S_a	S_b	S_c	Vecteur de tension V
1	0	0	0	$V_0 = 0$	14	+	-	0	$V_{13} = \frac{1}{2}v_{dc} - j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$
2	+	0	0	$V_1 = \frac{1}{3}v_{dc}$	15	-	-	-	$V_{14} = 0$
3	+	+	0	$V_2 = \frac{1}{6}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$	16	+	-	-	$V_{15} = \frac{2}{3}v_{dc}$
4	0	+	0	$V_3 = -\frac{1}{6}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$	17	+	+	-	$V_{16} = \frac{1}{3}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{3}v_{dc}$
5	0	+	+	$V_4 = -\frac{v_{dc}}{3}$	18	-	+	-	$V_{17} = -\frac{1}{3}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{3}v_{dc}$
6	0	0	+	$V_5 = -\frac{1}{6}v_{dc} - j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$	19	-	+	+	$V_{18} = -\frac{2}{3}v_{dc}$
7	+	0	+	$V_6 = \frac{1}{6}v_{dc} - j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$	20	-	-	+	$V_{19} = -\frac{1}{3}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{3}v_{dc}$
8	+	+	+	$V_7 = 0$	21	+	-	+	$V_{20} = -\frac{1}{3}v_{dc} - j\frac{\sqrt{3}}{3}v_{dc}$
9	+	0	-	$V_8 = \frac{1}{2}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$	22	0	-	-	$V_{21} = \frac{v_{dc}}{3}$
10	0	+	-	$V_9 = j\frac{\sqrt{3}}{3}v_{dc}$	23	0	0	-	$V_{22} = \frac{1}{6}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$
11	-	+	0	$V_{10} = -\frac{1}{2}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$	24	-	0	-	$V_{23} = \frac{1}{6}v_{dc} + j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$
12	-	0	+	$V_{11} = -\frac{1}{2}v_{dc} - j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$	25	-	0	0	$V_{24} = -\frac{v_{dc}}{3}$
13	0	-	+	$V_{12} = -j\frac{\sqrt{3}}{3}v_{dc}$	26	-	-	0	$V_{25} = -\frac{1}{6}v_{dc} - j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$
					27	0	-	0	$V_{26} = \frac{1}{6}v_{dc} - j\frac{\sqrt{3}}{6}v_{dc}$

3.5.3. المبدأ الأساسي للتحكم التنبؤي:

التحكم التنبؤي، يسمى أيضًا التعويض أو التصحيح الاستباقي، هو تقنية تحكم متقدمة. هدفه هو التحكم في الأنظمة الصناعية المعقدة بمدخلات ومخرجات متعددة حيث تكون وحدة التحكم البسيطة PI غير كافية. مبدأ هذا الأمر هو استخدام نموذج ديناميكي للعملية التي يتم التحكم فيها داخل وحدة التحكم في الوقت الفعلي لتوقع السلوك المستقبلي للعملية. الرقابة التنبؤية هي إحدى تقنيات الرقابة النموذجية الداخلية [12].

4.5.3. التحكم التنبؤي مع نموذج الحالة المحدودة – La Commande Prédictive à états Finis (FS−MPC):

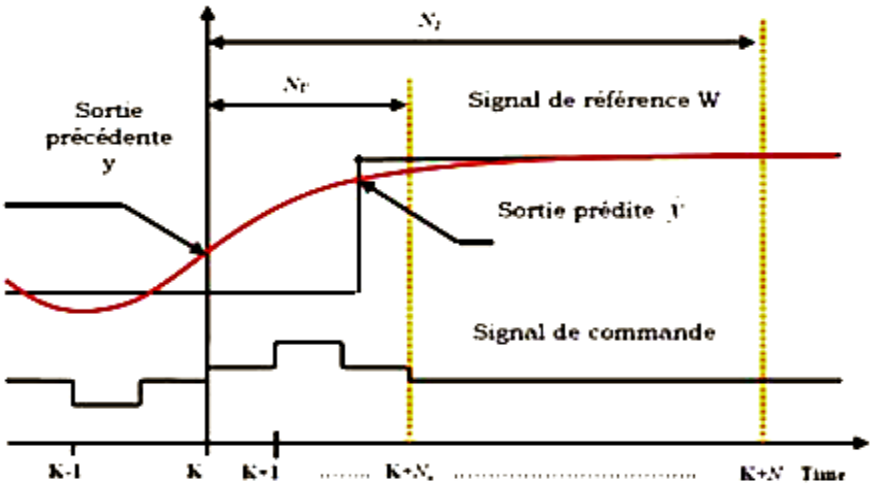
يمكننا التنبؤ بجميع متغيرات النظام الممكنة ($\boldsymbol{x^p(k+1)}$) خلال فترة أخذ العينات $\boldsymbol{T_s}$ اعتمادًا على نموذج النظام والقيم المقاسة. بعد ذلك، ثم يمكن تحديد الدالة $\mathbf{g}$ التي تعتمد على الترتيب. سيكون المثال النموذجي لهذه الدالة هو الخطأ المطلق بين القيم المتوقعة ومراجعها [13].

$$\boldsymbol{g = \left| x^*(k+1) - x^p(k+1) \right|} \qquad (\mathbf{4.3})$$

استراتيجية التحكم التنبؤية تشبه إلى حد بعيد الإستراتيجية المستخدمة في قيادة السيارات. يعرف السائق المسار المرجعي المطلوب (مسار الطريق) على أفق تحكم محدود (مجال رؤيته)، ومع مراعاة خصائص السيارة يقرر ماذا يجب تنفيذ الإجراءات (التسريع، أو الفرملة، أو تدوير عجلة القيادة) من أجل اتباع المسار المطلوب.

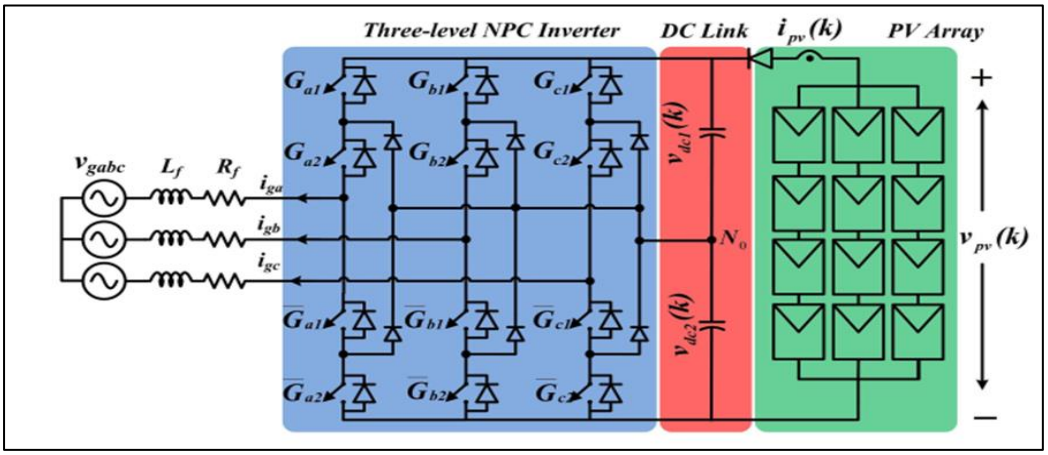
يتم تنفيذ إجراء القيادة الأول فقط في كل لحظة، ويتم تكرار الإجراء مرة أخرى للإجراءات التالية. يتكون هذا التصميم من الأخذ في الاعتبار، في الوقت الحاضر، السلوك المستقبلي، من خلال استخدام نموذج رقمي للنظام بشكل صريح من أجل التنبؤ بالمخرجات في المستقبل على مدى أفق محدود. ومع ذلك، لا توجد استراتيجية واحدة بل مجموعة كاملة من طرق التحكم التنبؤية، متشابهة تمامًا، مبنية على مبادئ مشتركة، ولكنها مع ذلك تقدم بعض الاختلافات في تفسير المفاهيم الأساسية.

تأتي إحدى ثروات هذه الأساليب من حقيقة أنه بالنسبة لنقطة ضبط معروفة أو محسوبة مسبقًا، وبالتالي من الممكن الاستفادة الكاملة من معلومات المسارات المحددة مسبقًا الموجودة في المستقبل، الغرض من الاستراتيجية التنبؤية هي جعل ناتج العملية يتطابق مع نقطة التحديد هذه في المستقبل، على مدى أفق محدود وفقًا للرسم البياني الزمني في الشكل (9.3)، وهذا هو السبب في أن هذه الطريقة تبدو مناسبة جدًا لتتبع المشكلات والمزيد خاصة لتتبع المشاكل تتبع المسار. هذا هو الحال بالنسبة للعديد من الآليات المؤازرة وخاصة بالنسبة للتحكم في المحور في أدوات الآلات أو الروبوتات، حيث تكون المجالات التي يتم فيها اتباع المسارات معروفة تمامًا [14].



الشكل (9.3): مخطط مبدأ التحكم التنبئي

5.5.3. نمذجة تقنية التحكم FS-MPC المطبقة على مموج NPC-3N متصل بالشبكة الكهربائية:



الشكل (10.3): رسم تخطيطي كهربائي لمموج NPC-3N متصل بالشبكة الكهربائية

يوضح الشكل أعلاه مصدر جهد ثنائي الاتجاه، جميع المراحل الثلاث متصلة بإمدادات الطاقة عن طريق الممانعة الحثية (R-L). نفترض أن الجهد $\mathbf{V_{dc}}$ المستمر الذي يوفره النظام الكهروضوئي ثابت. من قانون العروات، نجد: حيث التوترات V_a وV_b وV_c هي جهد مخرج المموج.

باستخدام Transformation De Clarke، سننتقل من نظام المعلم الثلاثي **(5.3)** إلى نظام المعلم الثنائي التالية:

$$\begin{cases} V_{an} = L\dfrac{d_{ia}}{dt} + R_{ia} + e_a \\ V_{bn} = L\dfrac{d_{ib}}{dt} + R_{ib} + e_b \\ V_{cn} = L\dfrac{d_{ic}}{dt} + R_{ic} + e_c \end{cases} \tag{5.3}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d_{i\alpha}}}{\mathrm{dt}} = -\dfrac{\mathrm{R}}{\mathrm{L}}\,\mathrm{i_\alpha} + \dfrac{1}{\mathrm{L}}(\mathrm{V_\alpha} - \mathrm{e_\alpha}) \\ \dfrac{\mathrm{d_{i\beta}}}{\mathrm{dt}} = -\dfrac{\mathrm{R}}{\mathrm{L}}\,\mathrm{i_\beta} + \dfrac{1}{\mathrm{L}}(\mathrm{V_\beta} - \mathrm{e_\beta}) \end{cases} \tag{6.3}$$

لتقريب المشتقات، نستخدم Méthode d'Euler، والتي يمكن التعبير عن مشتقها الحالي بواسطة:

$$\frac{di}{dt} = \frac{i(k+1) - i(k)}{T_S} \tag{7.3}$$

بالإضافة الى:

Ts : فترة اخذ العينات

K : لحظة اخذ العينات

$$i_{\alpha}^{P}(K+1) = \left(1 - T_s\frac{R}{L}\right) i_{\alpha}(k) + \frac{T_s}{L}\left(V_{\alpha} - e_{\alpha}(k)\right) \quad (8.3)$$

$$i_{\beta}^{P}(K+1) = \left(1 - T_s\frac{R}{L}\right) i_{\beta}(k) + \frac{T_s}{L}\left(V_{\beta} - e_{\beta}(k)\right) \quad (9.3)$$

• يتم إعطاء تعبيرات الطاقة في المعلم $(\boldsymbol{\alpha, \beta})$ من خلال:

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{\alpha} & e_{\beta} \\ e_{\beta} & -e_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad (10.3)$$

• ويعبر عن تيار كل قدرة كالاتي:

$$i_c = C\frac{dV_{dc}}{dt} \quad (11.3)$$

• وترد العبارات الحالية $(\boldsymbol{i_{c1}}، \boldsymbol{i_{c2}})$ التي تمر عبر المكثفات $(\boldsymbol{C1, C2})$:

$$i_{c1}(k) = i_{dc}(k) - H_{1\alpha}i_{\alpha}(k) - H_{1b}i_b(k) - H_{1c}i_c(k) \quad (12.3)$$

$$i_{c2}(k) = i_{dc}(k) - H_{2\alpha}i_{\alpha}(k) - H_{2b}i_b(k) - H_{2c}i_c(k) \quad (13.3)$$

• تحسب المتغيرات $(\boldsymbol{H_{1x}}، \boldsymbol{H_{2x}})$ وفقا لحالات التبديل في NPC−**3**N على النحو التالي:

$$H_{1x} = \begin{cases} 1 \ si \ S_x = " + " \\ 0 \ autre \end{cases} \quad (14.3)$$

$$H_{2x} = \begin{cases} 1 \ si \ S_x = " - " \\ 0 \ autre \end{cases} \quad (15.3)$$

• أخيرًا، للحصول على النموذج المنفصل لتوترات المكثفتين، استخدمنا approximation d'Euler:

$$\frac{dV_{cx}}{dt} \approx \frac{V_{cx}(k+1) - V_{cx}(k)}{Ts} \quad (16.3)$$

• يتم إعطاء المعادلات الزمنية التي تسمح بالتنبؤ بجهد ناقل التيار المستمر بواسطة [14]:

$$V_{c1}^{P}(K+1) = V_{c1}(k) + \frac{1}{C} i_{c1}(k) T_s \quad (17.3)$$

$$V_{c2}^{P}(K+1) = V_{c2}(k) + \frac{1}{C} i_{c2}(k) T_s \quad (18.3)$$

6.5.3. Fonction de coût: نقترح الوظيفة التالية:

الغرض من نظام الرقابة الحالي هو تقليل الخطأ بين تيارات المموج ومراجعها. يمكن كتابة هذا المطلب كدالة g. يتم التعبير عن هذه الدالة في إحداثيات متعامدة [16]:

$$g = \left| i_{\alpha}^{*} - i_{\alpha}^{P} \right| + \left| i_{\beta}^{*} - i_{\beta}^{P} \right| + \lambda_{dc} \left| V_{c1}^{p} - V_{c2}^{p} \right| \quad (19.3)$$

يسمح استخدام الدالة g المحددة في (19.3) باختيار Vecteur تحكم مثالي واحد ليتم تطبيقه خلال كل فترة تبديل.

تقوم الدالة g بتقييم:

• القيمة المطلقة للفرق بين التيارات المتوقعة للمموج، معبراً عنها على طول المحاور (α, β) ومراجعها؛

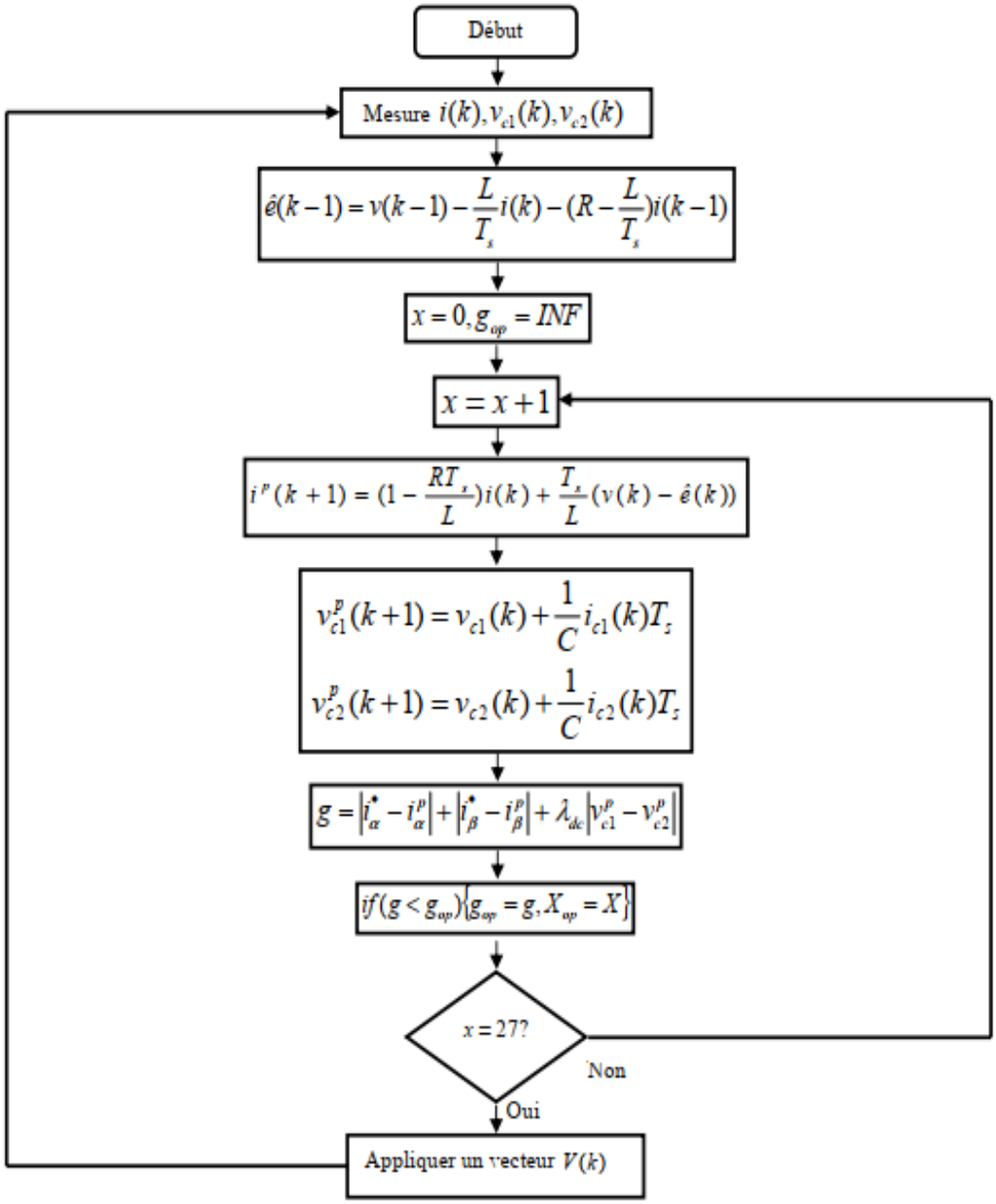
• القيمة المطلقة للفرق بين القيم المتوقعة للجهود عبر المكثفات.

في التعبير عن الدالة g، يحدد عامل الترجيح λ_{dc} أولوية هدف واحد بالنسبة للآخر. على سبيل المثال، تؤدي زيادة قيمة λ_{dc} إلى إعطاء أولوية أكبر لتنظيم جهد النقطة الوسطى مقارنة برصد التيارات المرجعية [17].

7.5.3. خوارزمية التحكم:

بالنسبة لجميع حالات التبديل الممكنة، يمكننا التنبؤ بتطور قيم التيار المموج والجهد المستمر لسعة الناقل في الوقت $t = (k+1)T_S$ بناءً على قيمها المقاسة في الوقت $t = k_{Ts}$ وعلى النموذج المنفصل للنظام. سيتم تقييم الدالة g لكل حالة تبديل. إنه يمثل الخطأ بين التيارات المرجعية وتيارات المموج، بالإضافة إلى الفرق بين جهد سعات الناقل المستمرة. سيتم اختيار حالة التبديل التي تقلل من هذه الدالة وتطبيقها في اللحظة التالية $\mathbf{t = (k+1)T_S}$.

يمثل الشكل (11.3) مخطط تفصيلي يشرح الخطوات الرئيسية للتحكم التنبؤي المطبق. في هذا المخطط الانسيابي، تمثل الدالة g المحسوبة لحالة التبديل i وتمثل X_{opt} حالة التبديل التي تقلل إلى أدنى حد من وظيفة التكلفة.

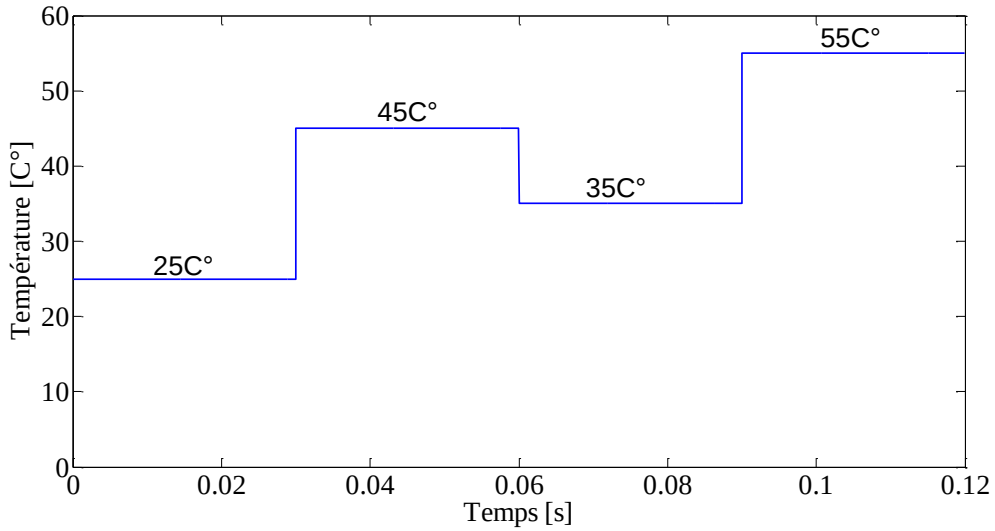


الشكل (11.3): نموذج لخوارزمية التحكم التنبؤي

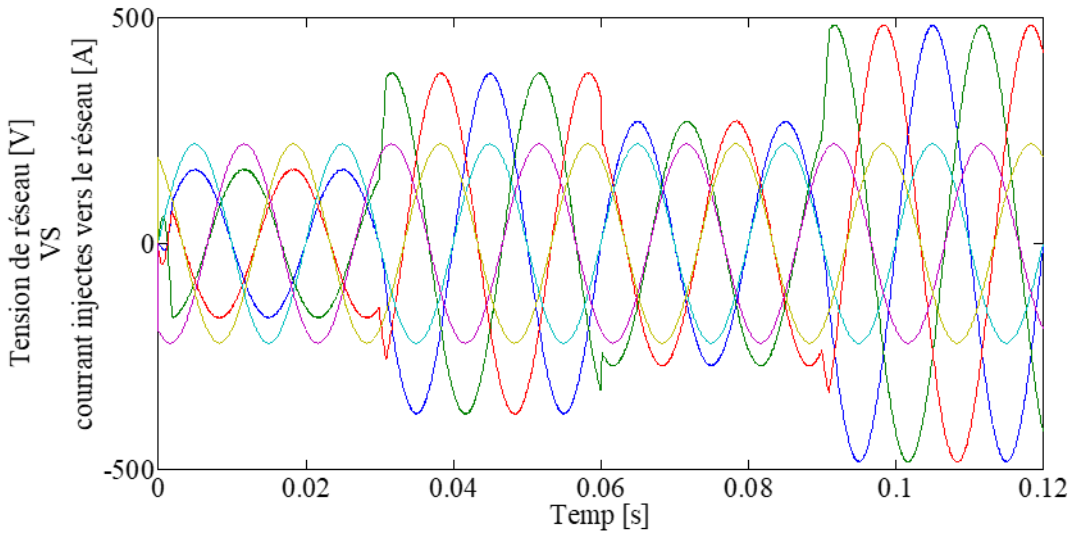
6.3. نتيجة المحاكاة:

يتم توفير نتائج المحاكاة باستخدام Matlab / Simulink للطوبولوجيا المعدلة مع FS-MPC لإظهار كفاءة وأداء التحكم.

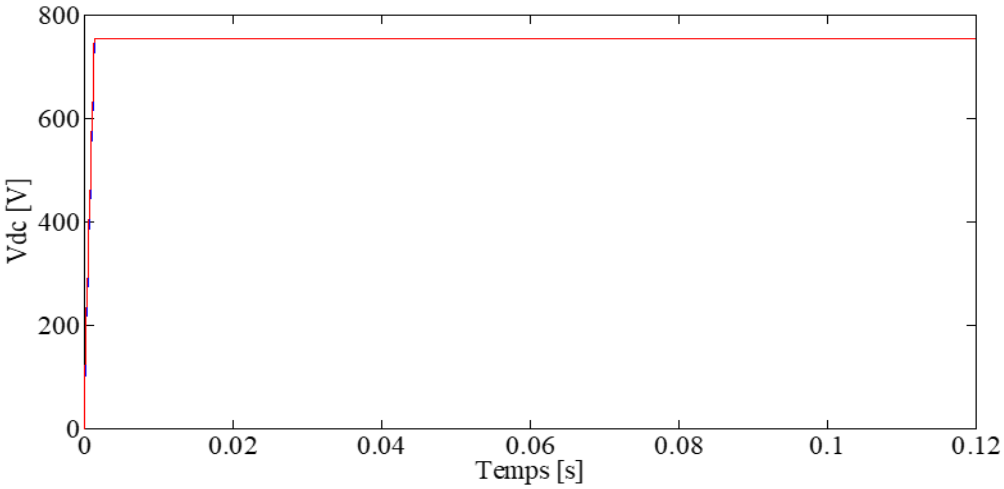
1.6.3. اختبار كفاءة النظام من حيث التغير في درجة الحرارة:



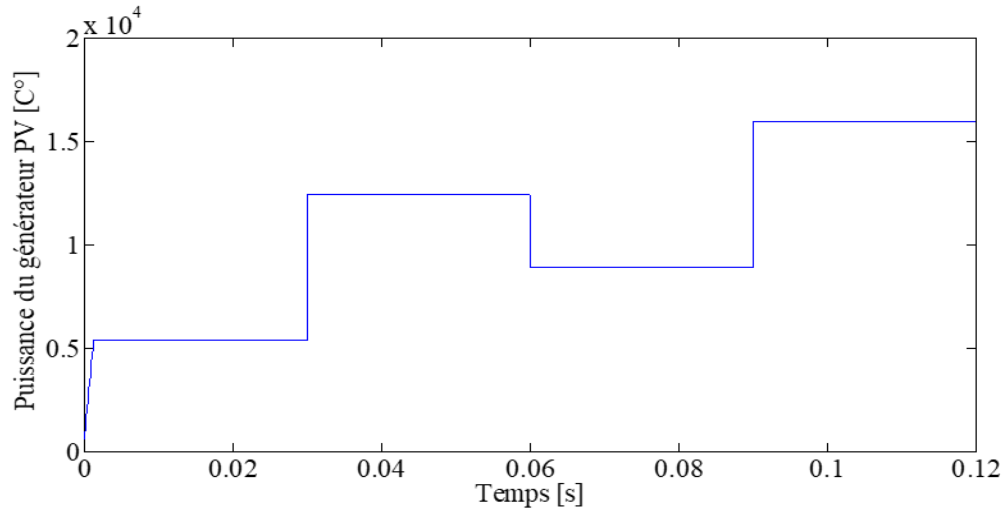
الشكل (12.3): منحنى التغير في درجة الحرارة



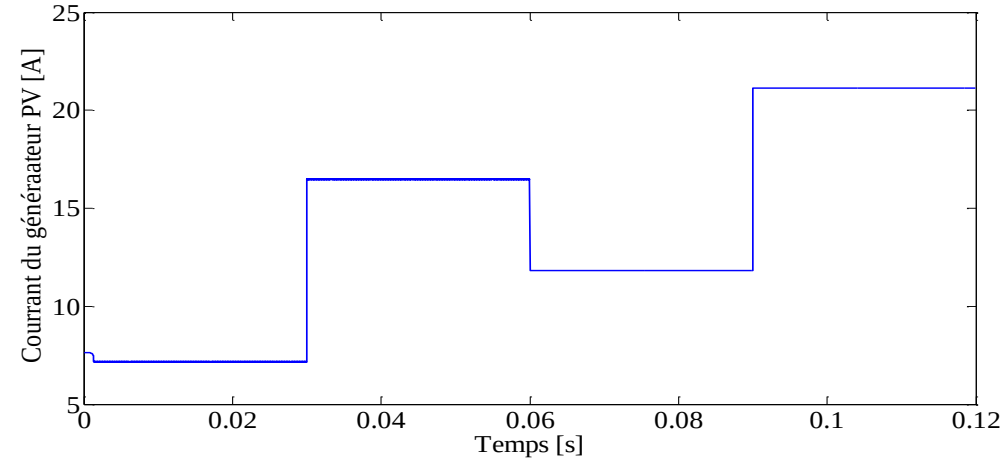
الشكل (13.3): التيارات المارة في الشبكة الكهربائية



الشكل (14.3): استجابة جهد ناقل التيار المستمر



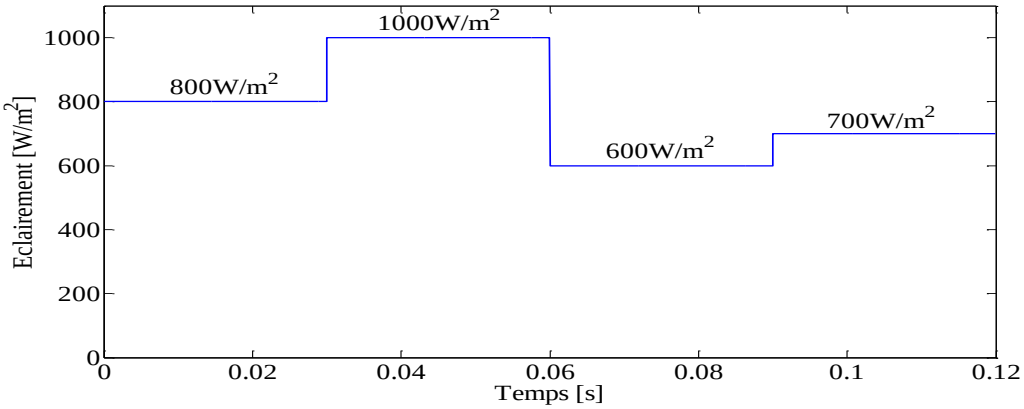
الشكل (15.3): استطاعة المولد الكهروضوئي



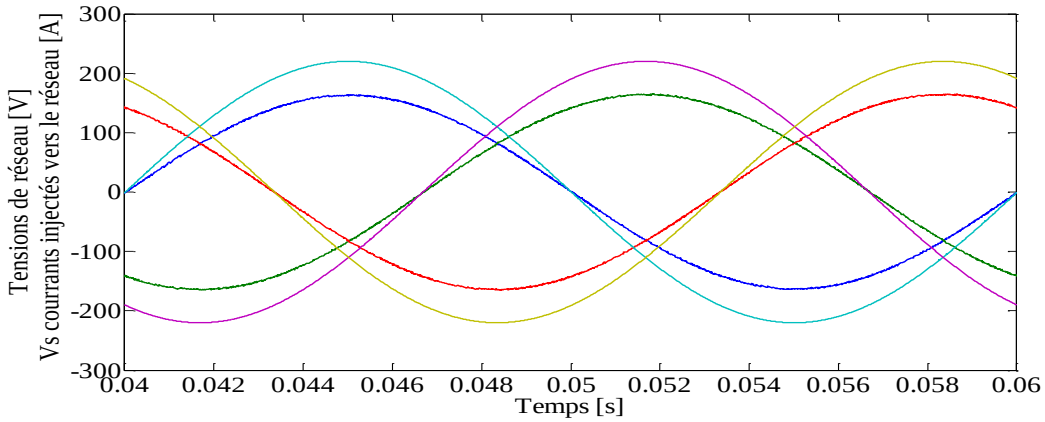
الشكل (16.3): تيار المولد الكهروضوئي

2.6.3. اختبار كفاءة النظام من حيث التغير في الاشعاع:

في هذه الدراسة، نجري عمليات محاكاة باستخدام برنامج Matlab لدراسة سرعة الاستجابة للتغيير في النظام عند حدوث تغير سريع في الإشعاع (1000 w / m² → 900 w / m² → 800 w / m² → 600 w / m²) بدرجة حرارة 25 درجة مئوية.

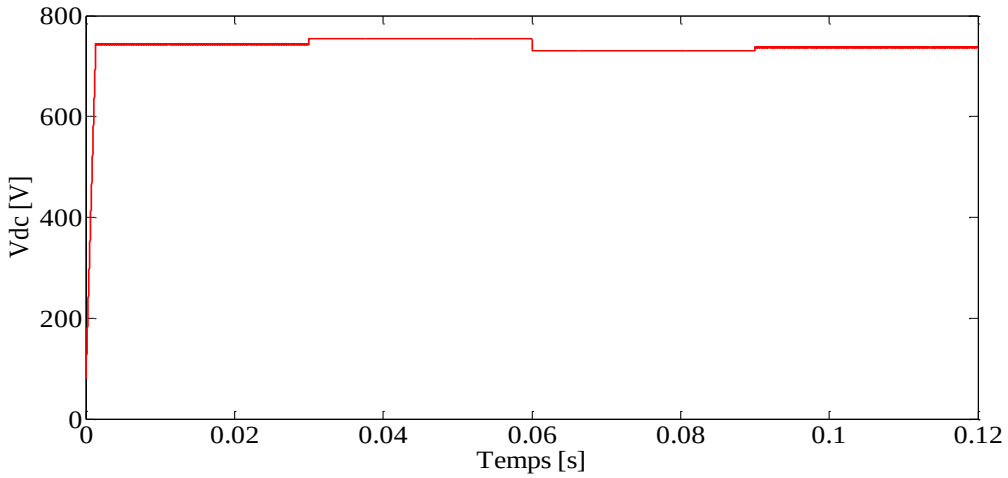


الشكل (17.3): التغير في الإضاءة (25 درجة مئوية)

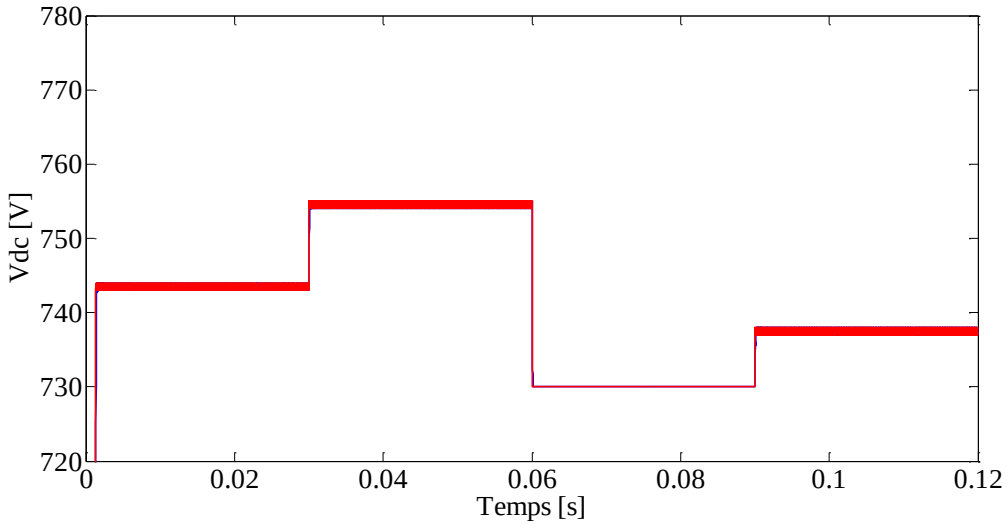


الشكل (18.3): التيارات المارة في الشبكة الكهربائية (en phase)

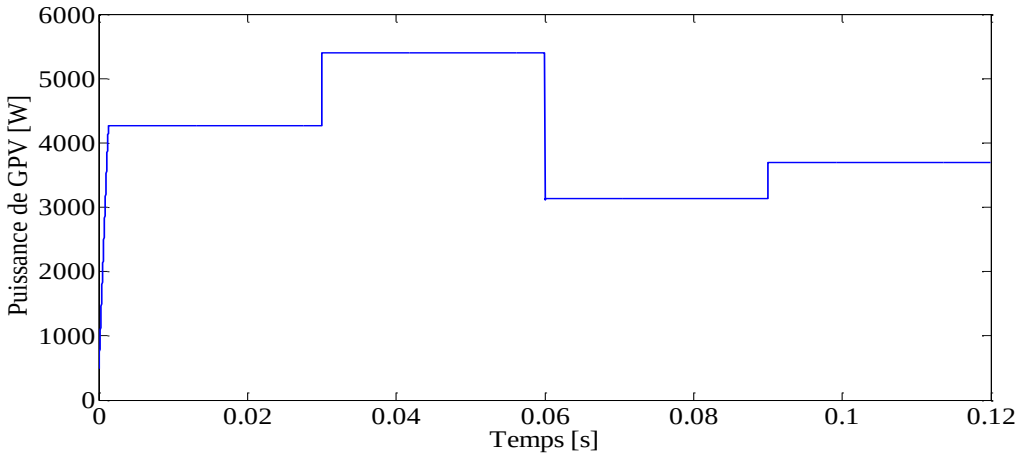
حيث يبين الشكل (18.3) استجابة النظام عند حدوث تغير سريع في الاشعاع بدرجة حرارة 25 درجة مئوية (1000 w / m² → 900 w / m² → 800 w / m² → 600 w / m²) ويمكن أن نرى أن التيار الموجود في الشبكة الكهربائية المختلفة يتبع تباين الإشعاع وهو في مرحلة مع جهد الشبكة.



الشكل (19.3): استجابة جهد ناقل التيار المستمر كدالة للزمن والتغير في الإضاءة



الشكل (20.3): تكبير استجابة جهد ناقل التيار المستمر



الشكل (21.3): استطاعة مخرج المولد الكهروضوئي

7.3. خاتمـــــة:

أحد التطبيقات المثيرة للإهتمام في مجال الطاقة الشمسية هو دمج الطاقة المتولدة من المولد الكهروضوئي في شبكة ثلاثية الطور، وهو يمثل مثالًا موضعيًا وواحدًا من أهم مجالات البحث منذ اللحظة. في هذا النظام، اخترنا تقنية التحكم (P&O) "Perturbe and Observe" لالتقاط الطاقة القصوى لـ GPV وتقنية التحكم-FS MPC لغرض ضخ الطاقة القصوى في الشبكة الكهربائية بالطريقة المثلى.

المراجع الببليوغرافية

[1] **Chikha Said,** « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », MEMOIRE DE MAGISTER, Université Larbi Ben M`hidi Oum El Bouaghi Faculté des Sciences et de la Technologie, 2011/2012. pp 16.

[2] **Aziz TOULAIT, Rachid Aili**, « Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d'une systèmes photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou Faculté de Génie Electrique Et D'Informatique,29/09/2014, pp 46.

[3] **Mr. HAMIDI Mokhtar, Mr. CHEIKH Abdelhai Mohamed,** « Commande prédictive d'un onduleur photovoltaïque Connecté au réseau Electrique », Mémoire De Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme de Master en Electrotechnique, Université Mohammed Sedik Jijel Faculté des Sciences et de la Technologie, Juin 2015, pp 33

[4] **Aziz TOULAIT, Rachid Aili,** « Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d'une systèmes photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Référence Susmentionnée, pp 47.

[5] **Chikha Said,** « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 18-19

[6] **Chikha Said,** « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », Référence Susmentionnée, pp 19

[7] **HARIZ BELGACEM Belal, MOUSSAOUI Saci,** « Commande Prédictive d'un Onduleur de Tension Triphasé NPC à Trois Niveaux », Mémoire de Fin d'Étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued Faculté de Technologie, Juin 2020, pp 21.

[8] **Kamel Barra, Djamel Rahem,** Article du magazine Elsevier, Energy Conversion and Management, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi, 23 Octobre 2013

[9] **Kamel Barra, Djamel Rahem,** Article du magazine Elsevier, Référence Susmentionnée.

[10] **HARIZ BELGACEM Belal, MOUSSAOUI Saci,** « Commande Prédictive d'un Onduleur de Tension Triphasé NPC à Trois Niveaux », Référence Susmentionnée, pp 22.

[11] **HARIZ BELGACEM Belal, MOUSSAOUI Saci,** « Commande Prédictive d'un Onduleur de Tension Triphasé NPC à Trois Niveaux », Référence Susmentionnée, pp 25.

[12] **Mr. HAMIDI Mokhtar, Mr. CHEIKH Abdelhai Mohamed,** « Commande prédictive d'un Onduleur photovoltaïque Connecté au réseau Electrique », Référence Susmentionnée, pp 52.

[13] **HARIZ BELGACEM Belal, MOUSSAOUI Saci,** « Commande Prédictive d'un Onduleur de Tension Triphasé NPC à Trois Niveaux », Référence Susmentionnée, pp 34.

[14] **Kir aimen, Mehellou abdelhai,** « Commande prédictive des convertisseurs AC/CC », Mémoire de fin d'études Présenté pour obtenir le diplôme de MASTER ACADÉMIQUE, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued Faculté de Technologie, Juin 2022, pp 44-45.

[15] **HARIZ BELGACEM Belal, MOUSSAOUI Saci,** « Commande Prédictive d'un Onduleur de Tension Triphasé NPC à Trois Niveaux », Référence Susmentionnée, pp 39.

[16] **Kir aimen, Mehellou abdelhai,** « Commande prédictive des convertisseurs AC/CC », Référence Susmentionnée, pp 46-47.

[15] **HARIZ BELGACEM Belal, MOUSSAOUI Saci,** « Commande Prédictive d'un Onduleur de Tension Triphasé NPC à Trois Niveaux », Référence Susmentionnée, pp 41.

الخاتمـــــــــة العـــــــامة

الخاتمـــــــــــة العامة

كانت الطاقة الكهروضوئية هي البديل الواعد من بين المتغيرات الأخرى للطاقات المتجددة. العائق الرئيسي الذي يعيق ظهور هذا النوع من الطاقة هو التكلفة العالية جدًا للتركيب (تظل تكنولوجيا الألواح الشمسية باهظة الثمن على حساب الكفاءة المنخفضة نسبيًا لخلايا أشباه الموصلات). يركز العمل المقدم في هذه الرسالة على تحسين إنتاج الطاقة الكهروضوئية وكذلك نقلها إلى شبكة كهربائية مع أقل خسائر ممكنة باستخدام خوارزميات التحكم المطورة والمقترحة على أساس **FS–MPC**.

في البداية، قدمنا العموميات على الأنظمة الكهروضوئية وأوضحنا كيفية تشغيل الخلية الكهروضوئية. ثم قدمنا هيكل الألواح الكهروضوئية بالإضافة إلى الأنواع المختلفة للأنظمة ومزايا وعيوب الأنظمة الكهروضوئية.

ثانيًا، قدمنا النمذجة الرياضية للخلية الكهروضوئية والمولد و المموج **NPC** ثلاثي المستويات ودرسنا أيضًا تأثير درجة الحرارة والإضاءة على الطاقة التي تنتجها الخلية الكهروضوئية، وكذلك تأثير ربط الخلية (سلسلة، متوازية وسلسلة / متوازية) على الطاقة المنتجة.

من التطبيقات المثيرة للاهتمام في مجال الطاقة الشمسية دمج الطاقة المولدة من المولدات الكهروضوئية في شبكة من ثلاث مراحل، فهي تمثل مثالًا موضعيًا وواحدًا من أهم مجالات البحث في الوقت الراهن. في هذا النظام، اخترنا تقنية التحكم "**Perturbe and Observe**" **(P&O)** لالتقاط الطاقة القصوى لـ **GPV** وتقنية التحكم **FS–MPC** لغرض ضخ الطاقة القصوى في الشبكة الكهربائية بالطريقة المثلى.

الملخص

========== ملخص ==========

يقـدم هذا العمل سلوك نظام توليد الطاقة الكهروضوئية المتصل بشبكة الكهرباء. هدفنا هو دراسة الحد الأقصى للطاقة الناتجة عن **GPV** مع ضمان جودة طاقة جيدة من خلال مرحلة واحدة تعتمد على مموج **3N- NPC** مع وحدة تحكم **MPPT** (بدون محول **DC-DC**) المطبقة لمتابعة نقطة الطاقة القصوى للنظام الكهروضوئي في ظل ظروف متغيرة من الإضاءة ودرجة الحرارة التي يتحكم فيها التحكم التنبؤي المباشر للتيارات. تم تقديم النتائج باستخدام المحاكاة باستخدام برنامج **Matlab**.

الكلمات المفتاحية: الخلايا الكهروضوئية، **MPPT**، **P&O**، **NPC**، التحكم التنبئي، النظام الكهروضوئي المتصل بالشبكة.

========== Résumé ==========

Ce travail présente le comportement d'un système de génération photovoltaïque connecté au réseau. Notre objectif est d'étudier la puissance de sortie maximale du GPV tout en garantissant une bonne qualité de puissance par monophasé basé sur un onduleur 3N-NPC avec contrôleur MPPT (sans convertisseur DC-DC) appliqué pour suivre le point de puissance maximale du système PV dans des conditions changeantes d'éclairage et température. Qui est contrôlé par le contrôle prédictif direct des flux. Les résultats ont été présentés à l'aide de simulations à l'aide du logiciel Matlab.

Mots clés : photovoltaïque, MPPT, P&O, NPC, contrôle prédictif, système photovoltaïque connecté au réseau.

========== Abstract ==========

This work presents the behavior of a grid-connected photovoltaic generation system. Our aim is to study the maximum output power of GPV while ensuring good power quality by single phase based on 3L- NPC inverter with MPPT controller (without DC-DC converter) applied to follow the maximum power point of the PV system under variable conditions of illumination and temperature. which is controlled by direct predictive control of streams. The results were presented using simulations using MATLAB software.

Keywords: photovoltaics, MPPT, P&O, NPC, predictive control, grid-connected photovoltaic system.