

N° d'ordre:
N° de série:



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Sciences et de La Technologies Filière: Genie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En : Machine électrique

Par : CHETIOUI Abdallah, YOUMBAI Hamza, GOBI Houda

Thème

**Commande sans capteur d'un machine a induction
alimente par source photovoltaïque**

Devant le jury composé de:

| | | |
|--------------------|-----------|-----------|
| Pr. | PROFESSOR | Président |
| Mr. | MAA | Examineur |
| Mr. SERHOUD Hicham | MCA | Encadreur |

2023-2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

Louange à dieu le tout puissant pour la volonté, la santé, la patience et ses biens innombrables qu'il a bénis et accordés à son humble mortel pour qu'il puisse arriver à ce
.stade

*Je remercie mon encadreur **Mr SERHOUD Hichem***

Pour avoir assuré la direction scientifique de ce

.travail

Je remercie également les membres de jury qui nous a honorés en acceptant l'invitation de
discuter ce modeste travail

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants du département de génie électrique pour
leur patience durant mes études

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

A toute ma famille

Et A toutes mes amies,

A tous les gens qui me connaissent et que je connais.

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.

ABDALLAH

Dedication

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m' avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail:

à ma mère et au cheikh de l'ordre Tidjaniya, Sidi Muhammad al-Eid al-Tidjani, que dieu les garde et les protéger pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes frères

A mes sœurs

A l'esprit de mes grands pères

A l'esprit de ma grande mère

A mes chers amis

A tous les amis (es) d'études surtout ceux les Machines électriques promotion

HAMZA

Dedication

Dedicace Avant tous, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées. Je dédie ce modeste travail A ma très chère maman, que dieu la garde et la protège pour son soutien moral et financier, pour son encouragement et sacrifices qu'elle a enduré. a tous mes frères et sœur

HOUDA

Abstract



Résumé

Ce travail présente la performance d'un générateur photovoltaïque sous les différentes conditions climatiques (température et irradiation) et lors son raccordement avec un moteur asynchrone. Pour injecter de la puissance réelle produite par le GPV a la machine a induction en utilisant la commande scalaire.

Le système photovoltaïque comporte un convertisseur DC-DC commandé par MPPT P&O et un onduleur à deux niveaux commandés par MLI pour la commande scalaire en tension et par comparateur a hystéréses pour la commande scalaire en courant. Le régulateur de la tension

De bus continue à prouver son efficacité dans le maintien une vitesse de référence pour la commande de la machine.

Les résultats des simulations et des tests et justifient l'adéquation du système dans différentes conditions de fonctionnement.

Mots de clés:

Générateur photovoltaïque, Convertisseurs DC-DC, MPPT, Onduleur, commande scalaire, Machine asynchrone.

Abstract

This work presents the performance of a photovoltaic generator under different climatic conditions (temperature and irradiation) and its connection to an asynchronous motor. It aims to inject the real power produced by the PV generator into the induction machine using scalar control.

The photovoltaic system consists of a DC-DC converter controlled by MPPT (Maximum Power Point Tracking) P&O (Perturb and Observe) algorithm and a two-level inverter controlled by PWM (Pulse Width Modulation) for scalar control in voltage, and by a hysteresis comparator for scalar control in current. The continuous bus voltage regulator proves its effectiveness in maintaining a reference speed for machine control.

The simulation and test results justify the suitability of the system under different operating conditions.

Index Terms: PV array, MPPT, Boost Converter, Onduleur, V/F-controlled, Machine asynchrone.

خلاصة

يقدم هذا العمل أداء مولد الطاقة الشمسية تحت مختلف ظروف المناخ (درجة الحرارة والإشعاع) وأثناء توصيله بمحرك غير متزامن. لحقن الطاقة الفعلية التي ينتجها مولد الطاقة الشمسية في آلة التحريض باستخدام التحكم السلمي.

يتكون النظام الكهروضوئي من محول DC-DC يتم التحكم فيه بواسطة MPPT P&O ومحول ذو مستويين يتم التحكم فيه بواسطة MLI للتحكم السلمي في الجهد وبواسطة مقارنة بالتعتير للتحكم السلمي في التيار. يثبت مُنظم الجهد المستمر فعاليته في الحفاظ على سرعة مرجعية للتحكم في الآلة.

تبرر نتائج المحاكاة والاختبارات ملاءمة النظام تحت ظروف التشغيل المختلفة.

الكلمات المفتاحية: مُولّد طاقة شمسية، محولات التيار المستمر-التيار المستمر، تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT)، مُحوّل، تحكُّم سلمي، آلة غير متزامنة

Table des matières



Table des matières

| | Page |
|--|-------------|
| Remerciements | - |
| Dédicace | - |
| Résumé | - |
| Sommaire | II |
| liste de figure | VI |
| Liste de Tableau | VII |
| Notations et symbols | IX |
| Introduction General | 1 |
| Chapitre I: Généralité sur les systèmes photovoltaïques | |
| I.1.Introduction | 4 |
| I.2.Energie solaire | 5 |
| I.3.Rayonnement solaire | 5 |
| I.4.Types de Rayonnement | 6 |
| I.4.1.Rayonnement direct | 6 |
| I.4.2.Rayonnement diffus | 6 |
| I.4.3.Rayonnement réfléchi | 6 |
| I.4.4.Rayonnement global | 6 |
| I.5.Spectre du Ryonnement solaire | 7 |
| I.6. Le panneaux solaires | 7 |
| I.6.1 . Absorbeur | 7 |
| I.6.2. Vitrage isolant | 7 |
| I.6.3. Un isolant thermique | 8 |
| I.7.3 La cellule amorphe | 9 |
| I.7.4. Rendement d'une Cellules | 9 |
| I.8. L'effet photovoltaïque | 9 |

| | |
|---|-----------|
| I.9Types de Capteurs Solaires | 10 |
| I.9.1. Capteurs solaires photovoltaïques | 10 |
| I.9.2.Capteurs solaires thermiques | 10 |
| I.10Les paramètres physiques d'une cellule solaire | 10 |
| I.10.1 . Tension de circuit ouvert V_{co} | 11 |
| I.10.2 . Courant du court circuit I_{cc} | 11 |
| I.10.3. Rendement énergétique | 11 |
| I.11. Facteur de forme | 12 |
| I.12. Avantages et inconvénients d'énergie photovoltaïque | 12 |
| I.12.1. Avantages | 12 |
| I.12.2. inconvénients | 13 |
| I.13.Conclusion | 13 |
| Chapitre II: Technique de recherche de MPPT | |
| II.1.Introduction | 15 |
| II.2.Les convertisseurs DC-DC(hacheurs) | 15 |
| II.3 Généralité MPPT | 16 |
| II.4 La commande MPPT | 17 |
| II.5.Classification Des Commandes MPPT | 17 |
| II.5.1 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS | 18 |
| II.5.2 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur | 18 |
| II.6 Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche | 18 |
| II.6.1 MPPT Indirect | 18 |
| II.6.2 MPPT Direct | 19 |
| II.7 les différents algorithmes de contrôle | 19 |
| II.7.1 Méthode de perturbation et observation (P&O): | 19 |
| II.7.2Algorithme d'incrémentement de l'inductance | 21 |
| II.7.3.Commande avec correcteur (PI) | 24 |

| | |
|---|-----------|
| II.8 Simulation des méthodes MPPT | 25 |
| II.8.1.Simulation des Méthodes de perturbation et observation (P&O) | 26 |
| II.8.2 Résultat des Simulations des Méthodes de perturbation et observartion (P&O) | 27 |
| II.8.4 Résultat des Simulations d'Algorithme d'incrémentation de l'inductance | 29 |
| II.8.5.Commentaires sur les figures de Résultat des Simulation d'Algorithme INC et Méthode de P&O | 30 |
| II.9. Conclusion | 30 |
| Chapitre III : | |
| Commande sans capteur d'un machine à induction alimente par source photovoltaïque | |
| III.1.Introduction | 33 |
| III.2.Modélisation de la MAS | 33 |
| III.2.1.Description | 33 |
| III.2.2.Hypothèses simplificatrices | 34 |
| III.3 Equation générale de la machine | 35 |
| III.3.1 Equations des tensions | 35 |
| III.3.2 Equations des flux | 35 |
| II.3.3 Equations mécaniques | 35 |
| III.4 Modélisation de Park de la machine asynchrone | 36 |
| III.4.1 Equations des tensions | 36 |
| III.4.2 Equations magnétiques | 36 |
| III.4.3 Equation mécanique | 36 |
| III.4.4 Expression du couple électromagnétique | 36 |
| III..5.Choix du referentiel | 36 |
| III.5.1 Référentiel lié au stator | 37 |
| III.6. Modélisation de la machine asynchrone alimentée en tension | 38 |
| III.6.1 Equation mécaniques | 38 |
| III.7. Modélisation de l'onduleur | 38 |
| III.7.1. Mise en équation | 39 |
| III.7.2. Modélisation de la commande à modulation de largeur d'impulsion | 39 |

| | |
|---|-----------|
| III.7.3. Commande MLI sinus – triangle | 40 |
| III.7.4. Avantages de la commande MLI | 41 |
| III.7.5. Principe de commande par hystérésis | 41 |
| III.8. Commande de la machine asynchrone | 42 |
| III.8.1. Commande scalaire d'une MAS | 42 |
| III.8.2. Principe de la commande scalaire | 42 |
| III.8.3. Commande scalaire en courant | 43 |
| III.9.La commande sans capteur de vitesse par la méthode MRAS | 43 |
| III.9.1.Estimation de la vitesse par la technique MRAS | 43 |
| III.9.2.Estimateur basé sur le système adaptatif avec modèle de référence | 43 |
| III.9.3.Modèles basés sur le flux rotorique | 44 |
| III.9.3.1.Modèle de référence (tension) | 45 |
| III.9.3.2Modèle Ajustable (courant) | 45 |
| III.9.3.3.Mécanisme d'adaptation | 46 |
| III.10.SIMULINK de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS | 47 |
| III.10.1.Résultats de simulation | 48 |
| III.11.SIMULINK d'un panneau photovoltaïque contrôlé par IC connecté par de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS | 49 |
| III.11.1.Résultats de simulation | 50 |
| III.11.2Comment sur les figures | 53 |
| III.12.Conclusion | 53 |
| Conclusion générale | 55 |
| Références | 57 |

liste de figure

| Figures | Page |
|---|-------------|
| Chapitre I | |
| Figure I.1 :Spectre du rayonnement solaire | 7 |
| Figure I.2 : Cellule solaire de type mono- cristalline | 8 |
| Figure I.3 : Cellule solaire de type poly-cristalline | 9 |
| Figure I.4 : Cellule solaire de type amorpha | 9 |
| Figure I.5 : Panneaux photovoltaïque | 10 |
| Figure I.6 : Capteur solaire thermique | 11 |
| Chapitre II | |
| Figure II.1 :convertisseur DC-DC | 15 |
| FigureII.2 schéma d'une Structure système:photovoltaïque | 16 |
| Figure II.3 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge | 17 |
| Figure II.4 :la courbe de puissance-Tension de panneau solaire | 20 |
| Figure II.5 :L'algorithme de P&O | 21 |
| Figure II.6 :Caractéristique du point de puissance maximale MPP | 23 |
| Figure II.7 :Schéma fonctionnel de l'algorithme INC | 24 |
| Figure II.8 : zones de travail | 25 |
| Figure II.9 :Schéma bloc d'un system PV avec la commande MPPT perturbe & observe | 26 |
| Figure II.10 : variation de la température du panneau | 27 |
| Figure II.11 : variation de l'éclairement | 27 |
| Figure II.12 : variation du courant du panneau | 27 |
| Figure II.13 :variation de la tension du panneau | 28 |
| Figure II.14 : variation de la puissance du panneau | 28 |
| FigureII.15 : Schéma bloc d'un system PV avec la commande MPPT d'incrémentation d'inductance | 28 |
| FigureII.16 :variation de la température du panneau | 29 |
| FigureII.17 :variation de l'éclairement | 29 |
| FigureII.18 : variation du courant du panneau | 29 |
| FigureII.19 :variation du voltage du panneau | 30 |

| | |
|---|-----------|
| Figure II.20 : variation du puissance du panneau | 30 |
| Chapitre III | |
| Figure III.1 : Description du moteur asynchrone (catalogue Leroy-Somer) | 33 |
| Figure III.2 : Représentation des enroulements de la MAS triphasé dans l'espace électrique | 34 |
| Figure III.3 : Onduleur avec triphasé | 39 |
| Figure III.4 : Description de la commande M.L.I. sinus – triangle | 41 |
| Figure III.5 : Principe de commande par hystérésis | 42 |
| Figure III.6 : Configuration de base de la méthode MRAS | 44 |
| Figure III.7 : Commande scalaire de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS | 47 |
| Figure III.8 : Vitesse de rotation rad/sec | 48 |
| Figure III.9 : Variation de la erreur | 48 |
| Figure III.10 : Couple électromagnétique | 48 |
| Figure III.11 : Les courants i_{sa} , i_{sb} , i_{sc} de la machine | 49 |
| Figure III.12 : Commande scalaire de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRASet (PV et DC/DC et MPPT) | 49 |
| Figure III.13 : Variation de la température | 50 |
| Figure III.14 : Variation d'éclairement | 50 |
| Figure III.15 : Variation de la courant | 50 |
| Figure III.17 : Variation de la tension | 51 |
| Figure III.18 : Vitesse rotorique (rad/s) avec Zoom | 52 |
| Figure III.19 : Erreur de estimation de vitesse | 52 |
| Figure III.20 : Couple électromagnétique de MAS | 52 |
| Figure III.21 : Courant de phase statorique de MAS | |

Liste de Tableau

| Tables | Page |
|---|-------------|
| Tableau (I.1) : Différent types des cellules avec leur rendement | 9 |
| Tableau (I.2) : Le paramètres du convertisseur électrique Boost sont donnés par le tableau suivant | 25 |
| Tableau 2.2 : Fiche technique de KC200GT aux conditions STC | 26 |
| Tableau 3-1: Paramètres de la machine asynchrone | 47 |

Notations et symbols

V_s : [v] : Représentent respectivement les vecteurs tensions Statoriques .

V_r : [v] : représentent respectivement les vecteurs tensions Rotoriques .

φ_s, φ_r : [Wb] : Les vecteurs flux statoriques et rotoriques.

L_s : Matrice des inductances statoriques.

L_r : Matrice des inductances rotoriques.

M_{sr} : Matrice des mutuelles stator-rotor.

M_{rs} : Matrice des mutuelles rotor- stator.

$M_0[H]$: Inductance mutuelle entre une phase statorique et Une phase rotorique.

L_s [H] : Inductance propre d'une phase statorique.

L_r [H] : Inductance propre d'une phase rotorique.

l_{ss} [H] : Inductance mutuelle entre deux phases statorique.

l_{rr} [H] : Inductance mutuelle entre deux phases rotoriques.

θ [rad] : L'angle de rotation du rotor par rapport au stator.

θ_s [rad] : L'angle de rotation de stator.

θ_r [rad] : L'angle de rotation du rotor.

d : Indice de l'axe direct.

T_s, T_r : Constant de temps rotorique (statorique).

σ : Coefficient de dispersion.

ω_s, ω_r : Pulsation de fréquence statorique (rotorique).

Ω_r : Vitesse rotorique nominal.

i_s [A] : Les vecteurs courants statoriques.

i_r [A] : Les vecteurs courants rotoriques.

$\sigma = 1 - \frac{lm^2}{L_s L_r}$: Facteur de dispersion.

j : Inertie des masses tournantes.

$T_r = \frac{L_r}{R_r}$: Constante de temps rotorique.

R, L, L_m : Résistance, Inductance, Inductance mutuelle.

C_r [N. m] : Couple résistant imposé par la charge mécanique.

C_{em} [N. m] : Couple électromagnétique.

Ω [rad/s] : Vitesse mécanique de rotation.

g : glissement.

Transformations :

S : Opérateur de Laplace,

P : Transformation de Park,

Introduction Générale



Introduction Générale

Sans énergie, le monde n'aurait pas pu atteindre le niveau de développement actuel. En effet, l'homme, les machines et la nature en ont tous besoin ; donc la production de cette énergie est un défi de grande importance pour le présent et l'avenir. La demande totale d'énergie dans le monde s'accroît proportionnellement à la croissance démographique, à la disponibilité limitée des sources d'énergie et aux coûts sociaux et environnementaux de l'approvisionnement d'énergie. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement, surtout l'énergie électrique qui est un facteur essentiel pour ce développement et l'évolution des sociétés humaines que ce soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie que sur le développement des activités industrielles. Elle est devenue une forme d'énergie indispensable par sa souplesse d'utilisation et par la multiplicité des domaines d'activité où elle est appelée à jouer un rôle. Ces modes de production ainsi que les moyens de distribution associés sont amenés à subir de profonds changements au cours des prochaines décennies. Mais, De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. De plus, l'existence de la filière nucléaire qui pose des problèmes dont l'importance est croissante au fil des années. Il s'agit du stockage des déchets nucléaires non rétractables. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, par exemple : le pétrole, l'industrie et le transport public (ou personnel) sont des éléments importants de notre société qui demandent l'énergie basée sur le pétrole mais les sources de celui-ci deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 [1] si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation.

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

Le problème du couplage parfait entre un générateur photovoltaïque et une charge de type continue n'est pas encore entièrement résolu. Un des verrous technologiques qui existe dans ce type de couplage est le problème du transfert de la puissance maximale du générateur photovoltaïque à la charge qui souffre souvent d'une mauvaise adaptation. Le point de fonctionnement qui en découle est alors souvent très éloigné du point de puissance maximale (PPM). La littérature propose une grande quantité de solutions sur l'algorithme qui contrôle le dispositif qui effectue la recherche du PPM lorsque le GPV débite sur une charge.

Notre travail consiste à faire l'étude de MPPT qui utilise plusieurs techniques intelligentes. Notre memoire présente trois chapitres:

- ✓ Dans le chapitre 1, on expose quelques généralités sur le système photovoltaïque.
- ✓ Dans le chapitre 2 nous présentons une définition du convertisseur DC-DC, et une étude de la technique MPPT par les méthodes de perturbation et observation (P&O), et incrémentation d'inductance(IncCond)
- ✓ Le chapitre 3 nous présentons un commande sans capteur d'un machine a induction alimente par source photovoltaïque et commande scalaire de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS une conclusion est donnée a la fin de mémoire.

Chapitre 1:
*Généralités sur le système
photovoltaïque*



I.1. Introduction :

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque[2]

Le nom vient du Grec, il est composé de deux parties:

Photos : Lumière.

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta.

Ce phénomène fut découvert au 19^{ème} siècle par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications. [3]

Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur les propriétés des semi-conducteurs, matériaux de base des cellules photovoltaïques.

Une fois ces rappels théoriques sont faits, il nous sera facile d'expliquer photovoltaïque le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système complet et à ses trois types à savoir:[4]

- Les systèmes autonomes,
- Les systèmes connectés au réseau
- Les systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage PV)

I.2Energie Solaire photovoltaïque:

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro-puissance calculé en watt crête (WC) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.

L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau.

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles.

Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement. [6]

I.3.Le rayonnement solaire:

Le Soleil existe depuis plusieurs milliards d'années. Les rayons solaires arrivent en permanence sur Terre et chauffent la surface de notre planète. Sans cet apport d'énergie, la Terre serait glaciale. Quel est donc ce rayonnement solaire indispensable à notre planète

L'énergie solaire arrive sur Terre sous forme d'un rayonnement électromagnétique dont la lumière visible fait partie. Un rayonnement électromagnétique se décompose en ondes radio et millimétriques, en émissions dans l'infrarouge, le visible et l'ultraviolet et, au-delà, en rayons X et gamma. Un corps froid comme la Terre émet principalement des ondes radio, millimétriques et infrarouges.

Un corps chaud comme le Soleil émet sur tout le spectre. Il nous envoie un flux d'énergie dominé par la partie visible du spectre. Une partie de ce rayonnement est absorbée par l'atmosphère. Les rayonnements ultraviolets et X sont principalement absorbés au-dessus de 100 km en altitude, tandis que les rayonnements visible et infrarouge sont en partie réfléchis par l'atmosphère et les nuages.

La surface de la Terre, qui n'est pas très chaude, 15°C en moyenne, réémet une partie de l'énergie solaire qui peut être absorbée par l'atmosphère (gaz à effet de serre) et les nuages. L'énergie solaire reçue par la Terre n'est pas constante dans le temps. Le cycle solaire, d'une périodicité de 11 ans, est observé depuis des siècles à travers la variation du nombre de taches à la surface du Soleil. Le flux d'énergie émis par le Soleil ne varie cependant que d'un millième environ au cours d'un tel cycle[2]

I.4.Types de rayonnement:

I.4.1:Rayonnement direct:

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil sans rencontrer d'obstacles..

Quand on dit "rayon de soleil", la première chose à laquelle on pense naturellement est le rayonnement solaire direct. Autrement dit, un rayon qui atteint directement la surface de la Terre sans être bloqué ou dispersé par des nuages notamment

I.4.2. Le rayonnement diffuse:

Elle est constituée de lumière diffusée par l'atmosphère (air, couverture nuageuse, aérosols). La dispersion est le phénomène de division des rayons parallèles en un certain nombre de rayons Allez dans une direction différente. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec un écran qui bloque le soleil.

I.4.3. Le rayonnement solaire réfléchi:

Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature du lien appelé Albédo 0.

I.4.4. Le rayonnement global:

Le rayonnement global est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran. Les

stations météorologiques généralement mesurent le rayonnement global horizontal par un pyranomètre placé horizontalement à l'endroit requis [1].

I.5 Spectre du rayonnement solaire:

Le spectre solaire fait référence à la distribution du rayonnement électromagnétique émis par le soleil en fonction de la longueur d'onde incidente sur la surface externe de l'atmosphère. Le rayonnement solaire atteignant la terre s'étend sur une gamme de longueurs d'onde allant de 250 nm (nanomètre) à environ 4000 nm (Figure I.5) [6]. Une partie est réfléchiée par l'atmosphère terrestre tandis que le reste est absorbé par la surface de la terre.

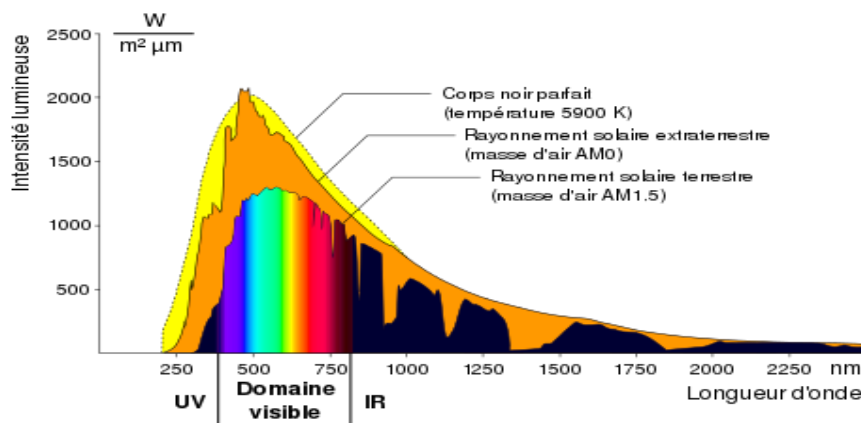


Figure I.1: Spectre du rayonnement solaire

I.6. Le panneaux solaires:

Les panneaux ou capteurs solaires sont des dispositifs dont le principe de fonctionnement est basé sur la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Les différents composants d'un capteur sont:

I.6.1 . Absorbeur :

Il a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre celle-ci à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes.[2]

I.6.2. Vitrage isolant :

La couverture est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur. [2]

I.6.3. Un isolant thermique :

limiter les pertes par transmission vers l'extérieur du capteur est primordial si on cherche à optimiser les performances de ce dernier. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation arrière et latérale. On Chapitre I. Composites naturels et Isolation thermique 2 place une ou plusieurs couches d'isolant, subsidiairement un coffrage étanche à l'eau et un système de support mécanique de l'ensemble. Les différents isolants existants et les critères de choix de notre matériau sont exposés dans ce qui suit.[2]

I.7.Type de cellule photovoltaïque:**I.7.1 Cellules monocristallines :**

Sont des cellules qui s'approchent le plus de modèle théorique, elles sont effectivement composée d'un seul cristal divise en deux couches. Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie, avec un rendement de 12-16% il est cependant plus efficace que la cellule poly-cristalline. [3]



Figure I.2: cellule monocristalline

I.7.2 Les cellules poly-cristallines :

Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées, elles représentent 49% de l'ensemble de la production mondiale en 2000. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elle nécessite 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication, leurs rendements sont de l'ordre 13 à 20%. [4]

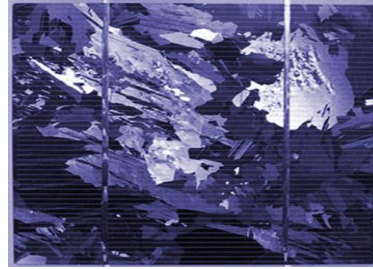


Figure I.3 : cellule poly-cristalline

I.7.3 La cellule amorphe :

Le coût de fabrication est sensiblement meilleur marché que ceux du silicium cristallin. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une alternative économique est recherchée, ou quand très peu d'électricité est nécessaire (par exemple, alimentation des montres, calculatrices). Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir. Cependant, leurs rendement est 2 fois inférieur à celui du silicium cristallin et nécessite donc plus de source.[4]



Figure I.4 : cellule amorphe

1.7.4.Rendement d'une cellule :

Le tableau suivant (1-1) présente les différents types de cellules avec leur rendement:

| Technologie de cellules | Rendement en Laboratoire | Rendement Production |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Silicium amorphe | 13% | 5 à 9% |
| Silicium poly cristallin | 19,8% | 11 à 15 % |
| Silicium monocristallin | 24,7% | 13 à 17% |

Tableau (1.1): Différent types des cellules avec leur rendement.

I.8. L'effet photovoltaïque :

Le terme est composé du mot grec ancien "photos" qui signifie lumière, clarté et de "volta" nom de famille du physicien italien (Alessandro volta), qui

définissait le volt comme l'unité de mesure de la tension électrique. L'énergie photovoltaïque désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la

lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur d'un photon en électron.

I.9.Types de Capteurs Solaires :

Principalement il y a deux types de capteurs solaires:

I.9.1. Capteurs solaires photovoltaïques :

C'est un appareil transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. Il compose des cellules solaires photovoltaïque[6]

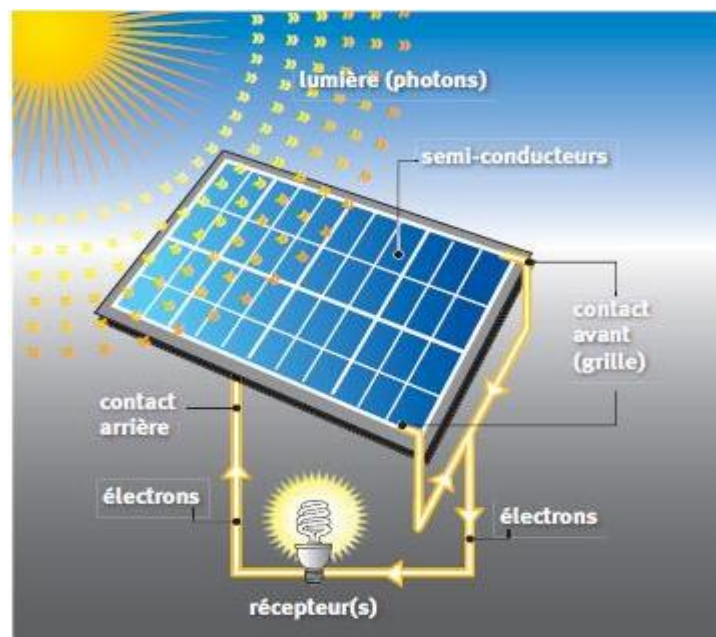


Figure I.5 : Panneaux photovoltaïque

I.9.2. Capteurs solaires thermiques:

Les capteurs solaires thermique sont des appareil permettant la conversion de l'énergie de rayonnement en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre, s'explique par les fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement Solaire alors chapitre I qu'il est presque opaque au rayonnement

infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouve donc piégé , Puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre.[7]

Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- Les capteurs plans
- Les capteurs par concentration

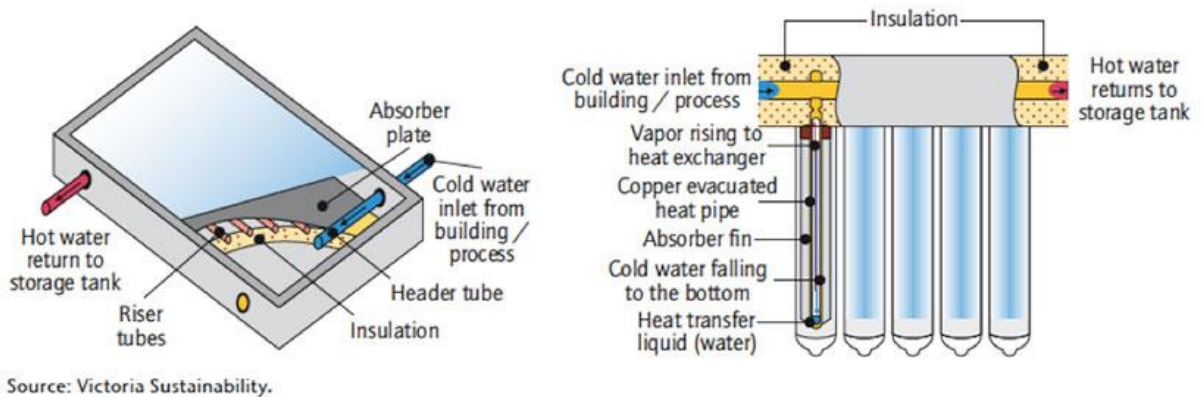


Figure I.6: Capteur solaire thermique

I.10. Les paramètres physiques d'une cellule solaire :

I.10.1 . Tension de circuit ouvert V_{co} :

La valeur V_{co} correspond à la tension en circuit ouvert ; c'est-à-dire $I = 0$. Elle est fonction des caractéristiques de la jonction électronique et des matériaux. Pour une cellule donnée, elle ne varie presque pas avec l'intensité lumineuse. On l'obtient en branchant directement un voltmètre aux bornes de la cellule.

I.10.2 . Courant du court-circuit I_{cc} :

La valeur de I_{cc} correspond à l'intensité du courant de court-circuit; c'est-à-dire $V=0$. Il est directement proportionnel à l'énergie rayonnante reçue, à la température ambiante, à la vitesse de circulation de l'air ambiant et à la surface de la cellule. On obtient sa valeur en branchant un ampèremètre aux bornes de la cellule.

I.10.3. Rendement énergétique:

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule P_{max} (I_{opt}) et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \quad \text{I.1}$$

Avec P_{inc} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

I.11. Facteur de forme:

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule ($I_{max,max}$) et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit-ouvert V_{co} (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule ; plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_s et R_{sh} . Il est défini

FF=

$$\frac{P_{max}}{I_{cc}V_{co}} \quad \text{I.2}$$

I.12. Avantages et inconvénients d'énergie photovoltaïque**I.12.1 Avantages:**

- Source d'énergie gratuite
- Pas de gaz polluant, ni de bruit
- Entretien minimal pour un bon fonctionnement
- Pas de parties mobiles, peu d'usure dans le temps
- Systèmes modulaires fonction du besoin, faciles à monter
- Autonomie

I.12.2Inconvénients:

- Technologie à ses débuts, encore peu diffusée, donc chère
- Energivore à la fabrication
- Production non continue d'énergie (jour/nuit, été/hiver), énergie intermittente
- Intégration au bâti (forme, couleur)
- Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

I.13.Conclusion:

Dans ce chapitre on a parlé de plusieurs points concernant l'énergie solaire d'une part, on a donné un état de l'art sur le système photovoltaïque son instruction et son fonctionnement et d'autre part l'effet de la variation météorologique (température et insolation) sur l'énergie produite ainsi qu'on a défini le phénomène d'ombrage et son effet sur le module PV.

Chapitre 2:
Technique de recherche de
MPPT



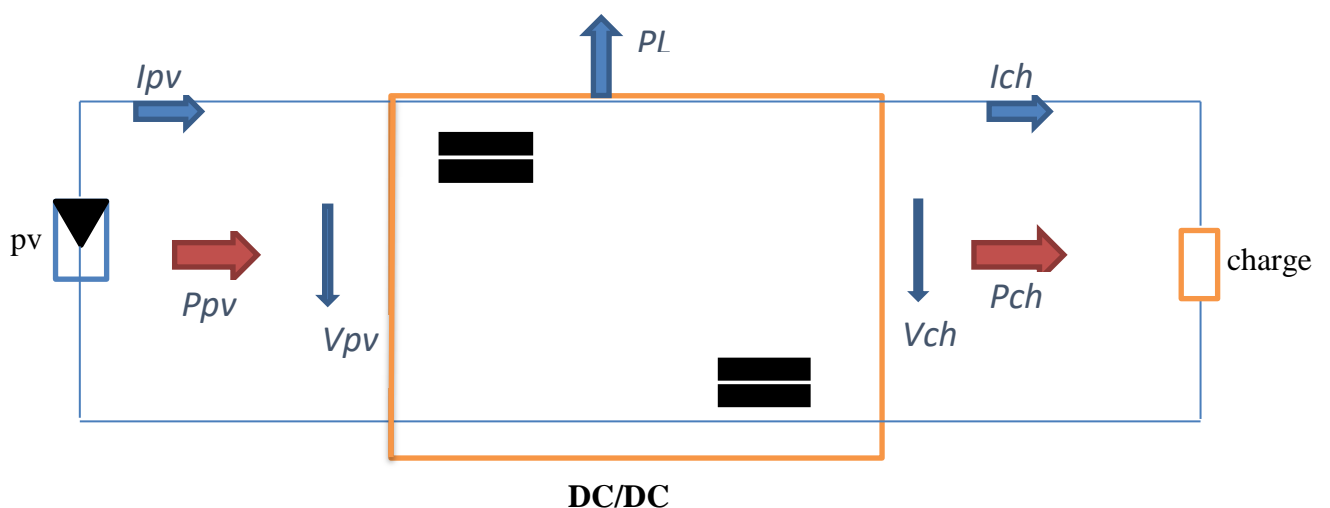
II.1 Introduction:

Un générateur photovoltaïque peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortes mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de la tension. En effet la caractéristique $I(v)$ du générateur dépend de l'éclairement solaire et de la température. Ces Variations climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximale. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et le récepteur un ou plusieurs convertisseurs statiques commandes permettant de rattraper à chaque fois le point de puissance maximale. Ces convertisseurs connus sous le nom de MPPT (maximum power point trac King) assurent le couplage entre le générateur PV et le récepteur en forçant le premier a délivrer sa puissance maximale

II.2 Convertisseur DC/DC:

Le rôle du convertisseur DC/DC (dans le cadre du PV) est de faire l'adaptation entre la source (GPV) et la charge pour un transfert de puissance maximal. Ceci est fait en maintenant le PF sur ou assez proche du MPP pour n'importe quelles conditions de fonctionnement (rayonnement, température, caractéristique de charge, etc.).

Contrairement au cas général où le convertisseur DC/DC est utilisé pour réguler la tension de sortie, ici c'est plutôt la tension d'entrée qui est régulée. La tension de référence (consigne) est alors constante ou imposée par un algorithme de commande.



FigureII.1: convertisseur DC-DC

- Concernant, les topologies isolées, ils emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence, elles sont très employées souvent dans les

alimentations à découpage. Les topologies les plus connues sont le Fly back, en demi-point et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté

- Concernant, les topologies non isolées, ils ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Ces topologies sont classées en trois catégories :
 - Elévateurs (Boost)
 - Abaisseurs (Buck)
 - Elévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost)

II.3 Généralité MPPT:

Les MPPT ou « suivi du point maximal de puissance » . C'est un montage électronique au niveau du régulateur qui permet de tirer le maximum d'énergie Ils permettent au panneau solaire de fonctionner à son point de puissance maximale, ou plus précisément

- Le régulateur MPPT permet d'optimiser le rendement des panneaux solaires jusqu'à 30%: pour un panneau photovoltaïque donné, les batteries recevront 30% d'électricité en plus par rapport à un régulateur solaire classique.



FigureII.2: schéma d'une Structure système photovoltaïque

Le principe du MPPT est d'adapter l'impédance (\sim résistance) d'entrée afin de caler le point de fonctionnement du champ photovoltaïque sur le point de puissance maximale. On tire ainsi un maximum de puissance du champ photovoltaïque Un contrôleur MPPT est basé sur la variation du rapport cyclique du convertisseur statique(CS) en fonction de l'évolution des

paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP

II.4 La commande MPPT:

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un GPV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance Nous pouvons classifier d'une manière générale les commandes du MPPT selon le type d'implémentation électronique: analogique, numérique ou mixte Il est cependant plus intéressant de les classifier selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande du MPPT

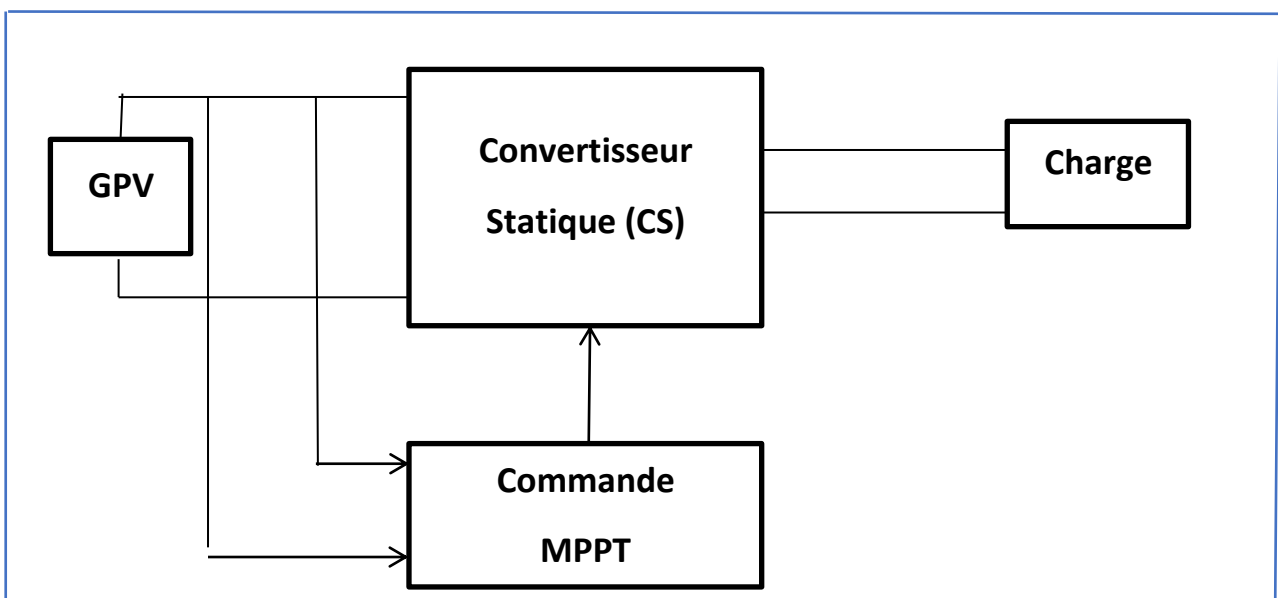


Figure II.3: Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge

II.5. Classification de commande MPPT:

Nous pouvons classifier d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classifier selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT [8]

II.5.1.Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS :

.Il y a un certain nombre de commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Comme la méthode de Perturb&Observe, les algorithmes d'incrément de conductance qui utilisent la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM ou bien Les commandes qui sont basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal (VOPT et IOPT) et les paramètres caractéristiques du module PV (VOC et ICC).Notamment, les MPPT inspirées des réseaux de neurones. Dans ces commandes, soit on fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction [8]

II.5.2.Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur:

Dans la littérature, il existe également des algorithmes basés sur les paramètres de sortie des CS. Par exemple Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui sont principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de Pmax est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [8]

II.6.Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche:

II.6.1 MPPT Indirect:

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (Isc ou Voc), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur. Ces

commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques [9]

II.6.2.MPPT Direct :

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction.[10]

II.7 les différents algorithmes de contrôle:

II.7.1 Méthode de perturbation et observation (P&O):

La méthode de perturbation et observation (P&O) est une approche largement répandue dans la recherche de MPPT, parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et de courant du PV, VPV et IPV respectivement, elle peut dépister le point maximum de puissance même lors des variations de l'éclairement et la température.

Le principe de cet algorithme est d'effectuer une perturbation sur la tension et le courant du panneau PV, Si la puissance de sortie a augmenté, V_{pv} est ajustée dans la même direction que dans l'instant précédent. Si la puissance de sortie a diminué, V_{pv} est ajustée dans la

direction opposée que dans le cycle précédent. En va avoir par suivant le figure (2.4) que représente la puissance fournie par ce panneau PV para pore la tension du module.

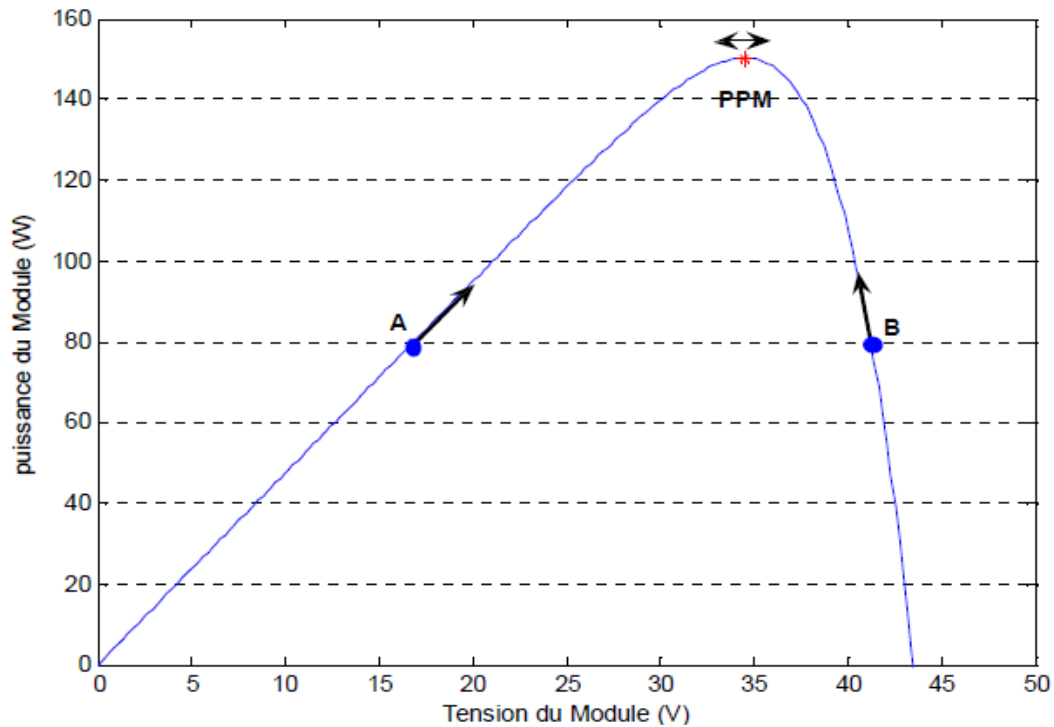


Figure II.4: la courbe de puissance-Tension de panneau solaire

Lorsque le point de puissance maximale est atteint, V_{pv} oscille autour de la valeur optimale V_{op} . Ceci cause une perte de puissance qui augmente avec le pas de l'incrément de la perturbation. On cas du le pas d'incrément est grande, l'algorithme du MPPT répond rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement.

D'un autre côté si le pas est petit, les pertes lors des conditions de changements atmosphériques lents ou stables, seront inférieures mais le système ne pourra pas répondre rapidement aux changements rapides de la température ou de l'éclairement. Le pas idéal est déterminé expérimentalement en fonction des besoins[11]

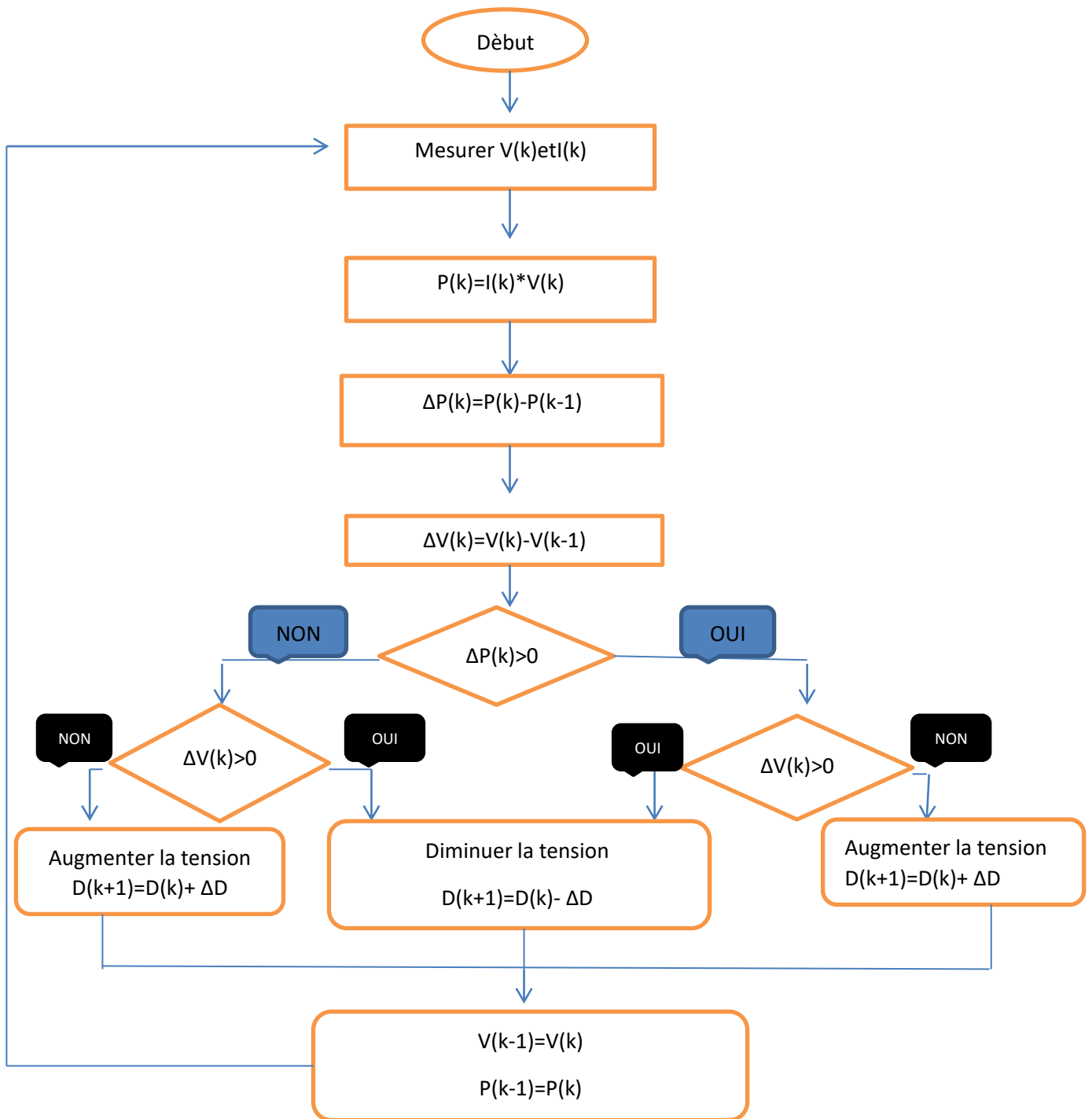


Figure II.5:L'algorithme de P&O

II.7.2Algorithme d'incrémentation de l'inductance:

L'algorithme de l'incrémentation de conductance (IC) est une technique MPPT classique qui utilise deux sondes pour la mesure de la tension V de fonctionnement et du courant I du module PV. Cette méthode repose sur le fait que la dérivée de la puissance P de

sortie par rapport à la tension V du module PV est égale à zéro au point de puissance maximale (MPP).

Donc on a l'ensemble d'équations suivant:

$$P(k)=I(k)*V(k)$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \longrightarrow \frac{dI}{dV} = \frac{-I}{V} \quad \text{II.1}$$

Au MPP ces deux membres doivent être égale, si le point de fonctionnement n'est pas sur le MPP alors une inégalité apparaisse sur l'équation $\frac{I_{mp}}{I_{sc}} = kc = 1$

fonctionnement et au-dessus ou au-dessous de la tension optimale comme le montre la figure ci-dessous :

Ceci nous conduit aux équations suivantes:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} > 0 \rightarrow \frac{dI}{dV} > \frac{-I}{V} \text{ À gauche du MPP} \quad \text{II.2}$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} < 0 \rightarrow \frac{dI}{dV} < \frac{-I}{V} \text{ À droite du MPP} \quad \text{II.3}$$

On emploie les équations (II.2), (II.3) pour déterminer la direction pour laquelle une perturbation est produite pour déplacer le point de fonctionnement au MPP, cette perturbation se répète jusqu'on arrive au fonctionnement MPP, et le MPPT continu à fonctionner avec cette valeur jusqu'à ce qu'un changement sera détecté. Si le changement de la tension n'est pas nul les équations peuvent être employés pour déterminer la direction dans laquelle la tension doit être changés afin d'atteindre le MPP [12]

Si $\frac{dI}{dV} > \frac{-I}{V}$ le point de fonctionnement est à gauche de MPP, donc il faut augmenter la tension pour atteindre le MPP.

Si $\frac{dI}{dV} < \frac{-I}{V}$ le point de fonctionnement est à droite de MPP, donc il faut diminuer la tension pour atteindre le MPP

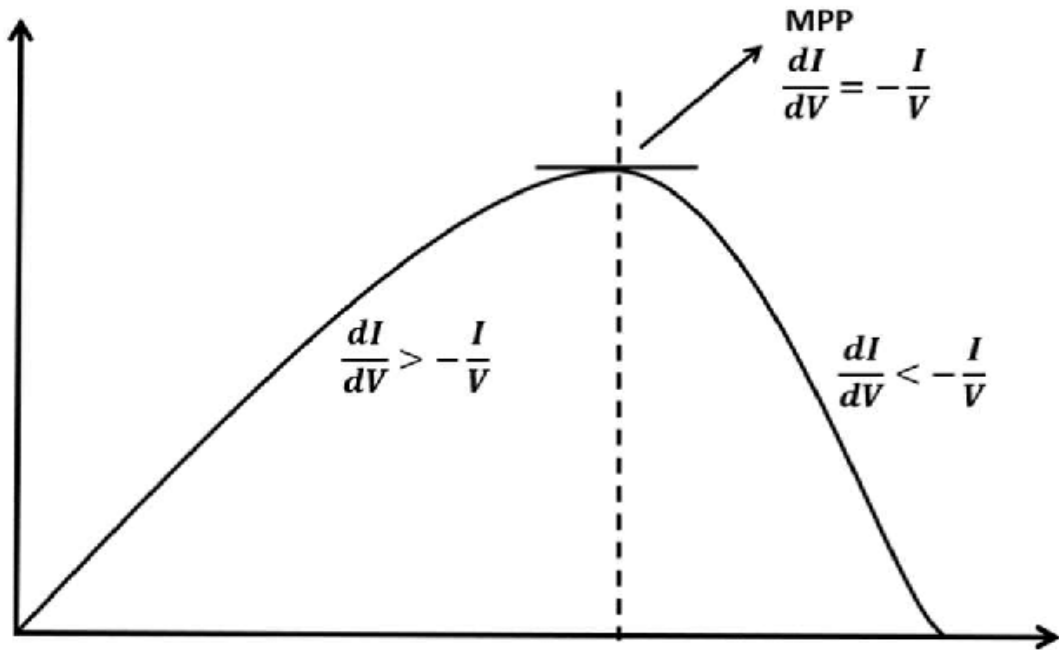


Figure II.6:Caractéristique du point de puissance maximale MPP

Si $\Delta V = 0$ et $\Delta I = 0$ on a les conditions atmosphériques qui n'ont pas changées et le MPPT fonctionne toujours au MPP.

Si $\Delta V = 0$ et $\Delta I > 0$ c'est l'ensoleillement qui a augmenté ceci exige à l'INC-MPPT d'augmenter la tension de fonctionnement pour retrouver le MPP.

Si $\Delta V = 0$ et $\Delta I < 0$ c'est l'ensoleillement qui à diminuer ceci exige à l'INC-MPPT diminuer la tension de fonctionnement pour retrouver le MPP. L'algorithme IC est représenté sur la Figure

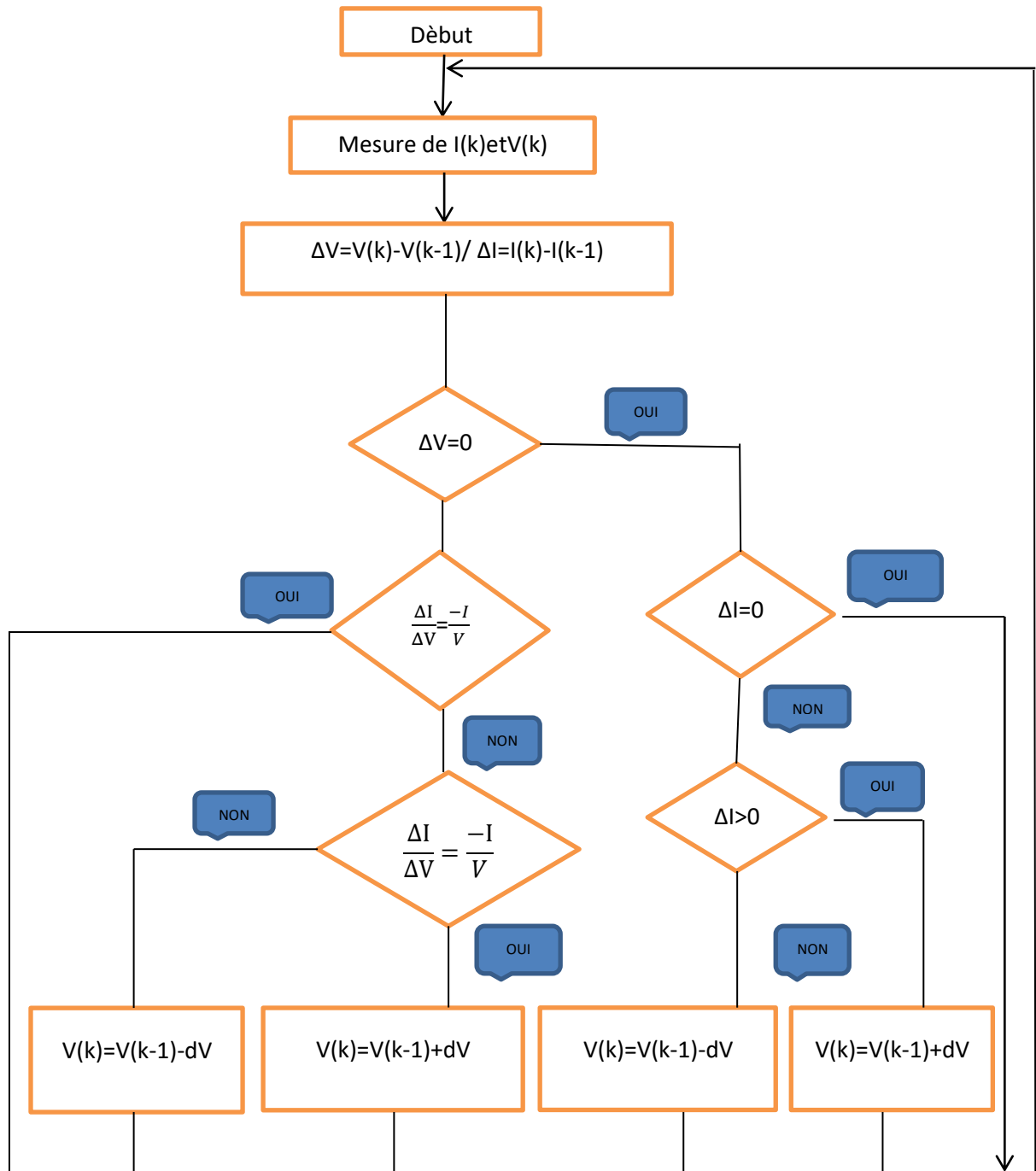


Figure II.7: Schéma fonctionnel de l’algorithme INC.

II.7.3. Commande avec correcteur (PI):

Pour régler la tension d'entrée du convertisseur on a introduit le correcteur proportionnel et intégral (PI), Sa tâche est de réduire l'erreur au minimum entre bref et la tension mesurée par l’ajustage du rapport cyclique. Le système contrôlé doit être linéaire, Une linéarisation de

la courbe VI , sera effectuée comme le montre la figure **, A la suite de linéarisation, la zone de travail est divisée en trois parties, Chaque région aura différents paramètres de commande.

L'algorithme MPPT PI besoin d'une méthode pour séparer la région de commande, la région de source de courant, et la région de source de tension, de telle sorte que l'action de la commande donnée peut être ajustée, cette méthode est donnée par Equation suivante:

$$C=P^n \left| \frac{dP}{dV} \right|$$

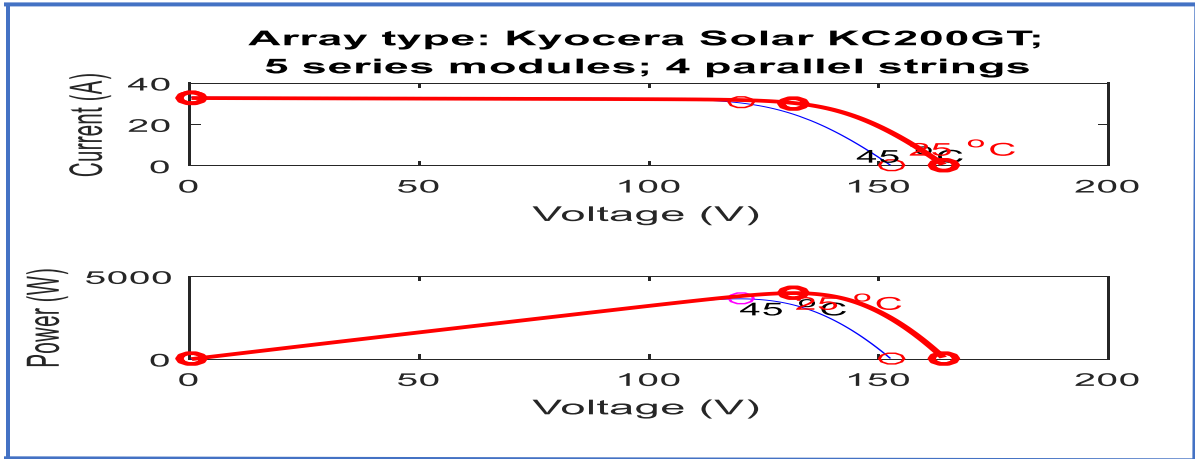


Figure II.8: zones de travail

II.8 Simulation des méthodes MPPT:

Le modèle de simulation utilisé pour la recherche de point maximum de puissance et cela pour deux technique de recherche MPP à savoir la méthode perturbe & observe et Algorithme d'incrémentacion de l'inductance.

Les paramètres du convertisseur électrique Boost sont donnés par le tableau suivant :

| C | Nom | Valeur |
|----|---|---------|
| Li | Inductance du convertisseur | 0.4 mH |
| Ci | Capacité d'entrée | 4700 uF |
| Co | Capacité de sortie | 250UF |
| R | Resistance de charge | 500Ω |
| Ns | Le nombre de cellules connectées en série | 5 |
| Np | Le nombre de cellules connectées en parallèle | 4 |

Tableau 2-1: Le paramètres du convertisseur électrique Boost sont donnés par le tableau suivant.

II.8.1.Simulation Méthode de perturbe et observe (P&O) :

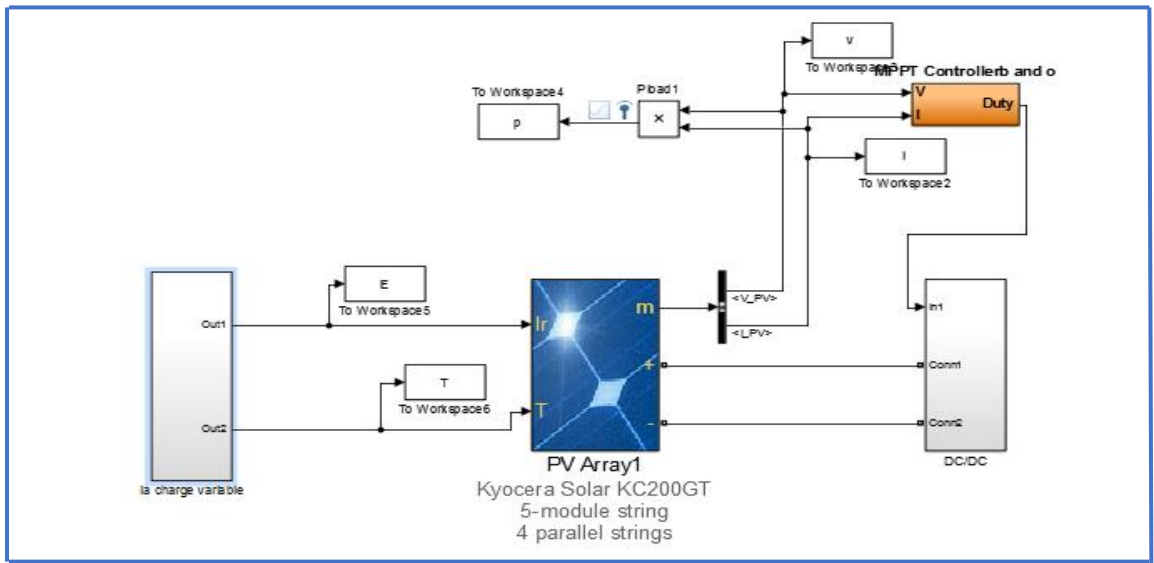


Figure II.9: Schéma bloc d'un system PV avec la commande MPPT perturbe & observe

Le tableau suivant (2-2) présente la *Fiche technique de KC200GT*:

| Éclairement (E), Température (T) | E = 1000 w/m ² , T = 25 °C |
|---|---------------------------------------|
| Nombre de cellule en série par panneau (Ns) | 54 |
| Puissance maximal (P_{max}) | 200.143 W |
| Courant de court-circuit (I_{cc}) | 8.21 A |
| Tension de circuit ouvert (v_{co}) | 32.9 V |
| Courant au point de MPP (I_{op}) | 7.61 A |
| Tension au point de MPP (v_{op}) | 26.3 V |
| Nombre de panneau en série (Nps) | 5 |
| Nombre de panneau en parallèle (Npp) | 4 |

Tableau 2.2 : Fiche technique de KC200GT aux conditions STC

II.8.2 Résultat Simulation Méthode de perturbe et observe (P&O) :

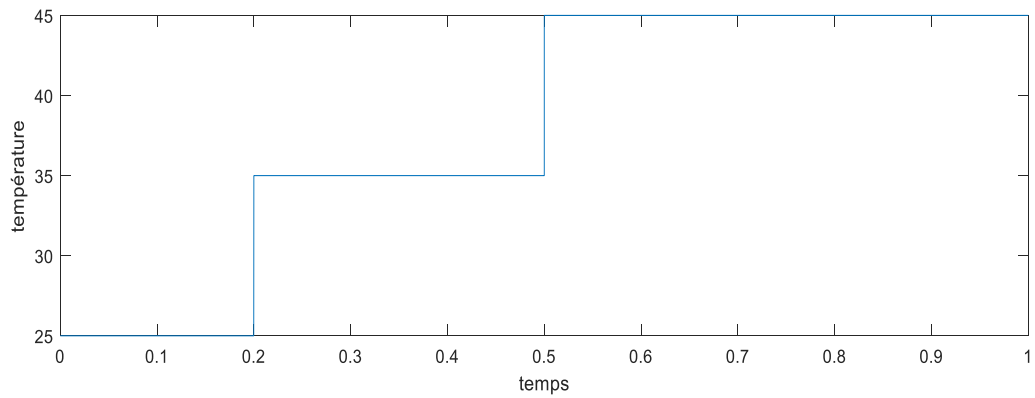


Figure II.10: variation de la température du panneau

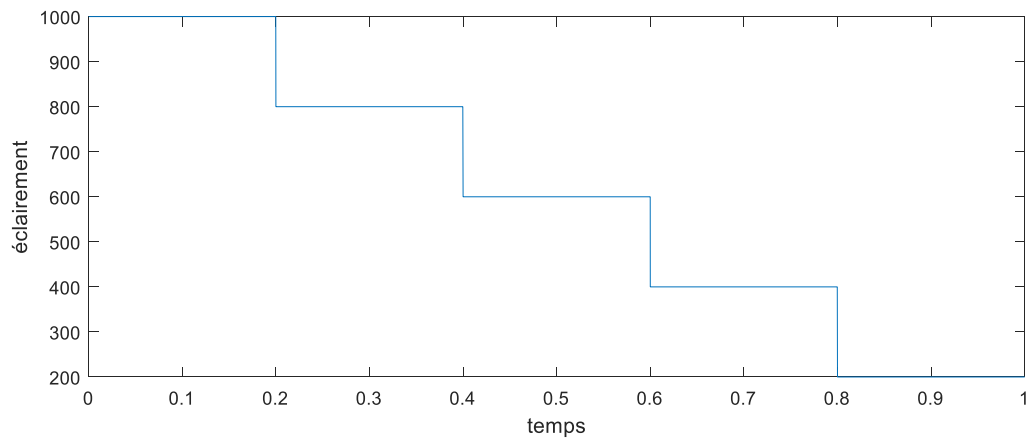


Figure II.11:variation de l'éclairément

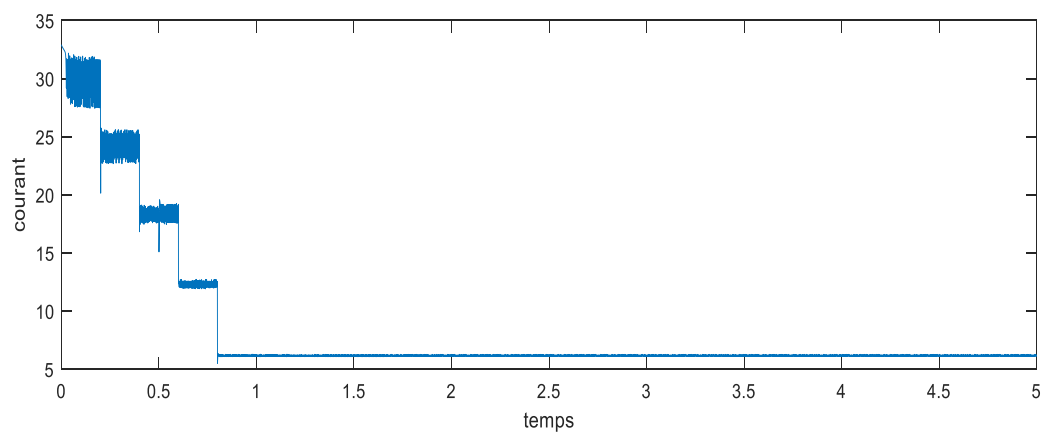


Figure II.12:variation du courant du panneau

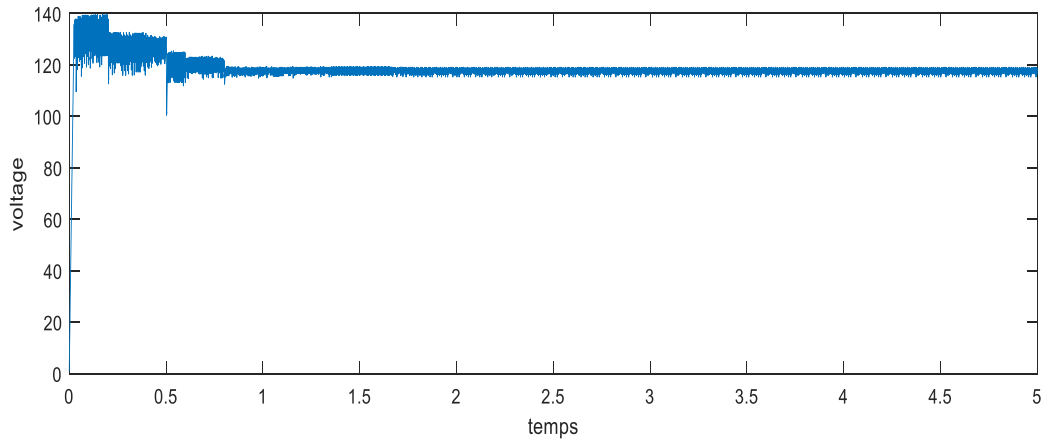


Figure II.13: variation de la tension du panneau

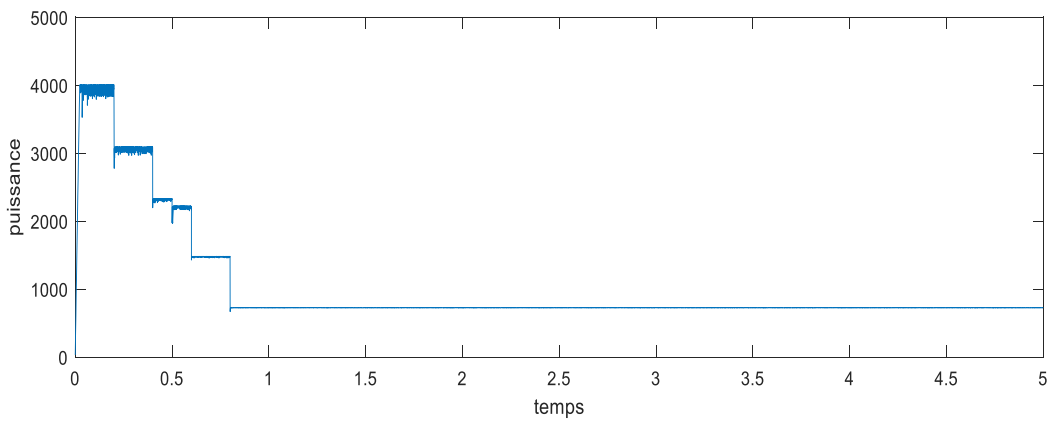


Figure II.14: variation de la puissance du panneau

II.8.3.Simulation d’algorithme d’incrémentacion de l’inductance:

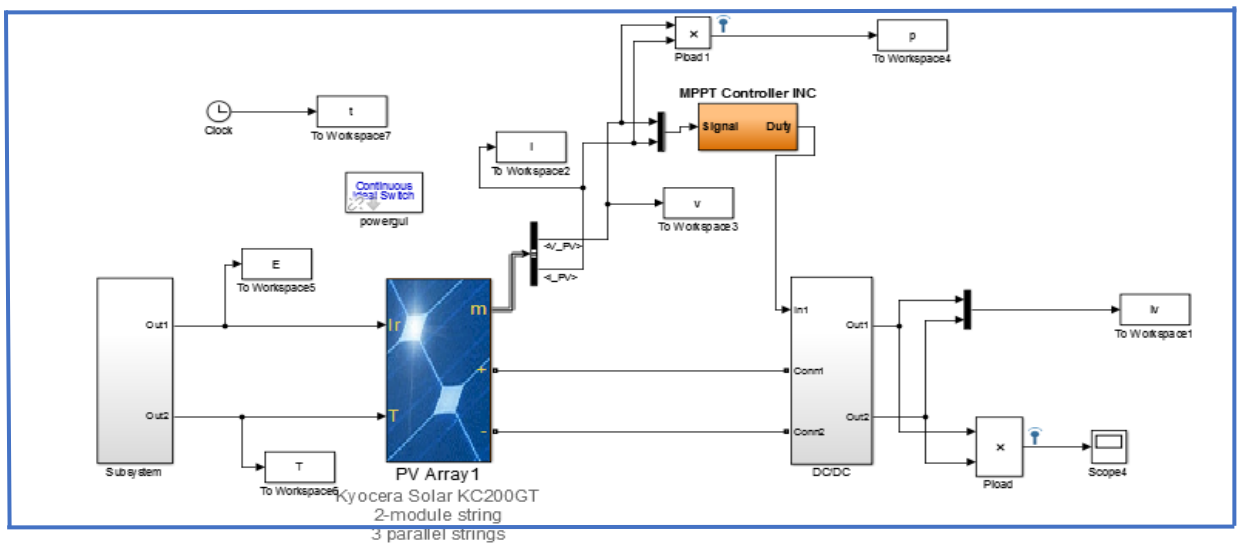


Figure II.15: Schéma bloc d’un system PV avec la commande MPPT d’incrémentacion d’inductance

II.8.4 Résultat des Simulations d'Algorithme d'incrémentation de l'inductance:

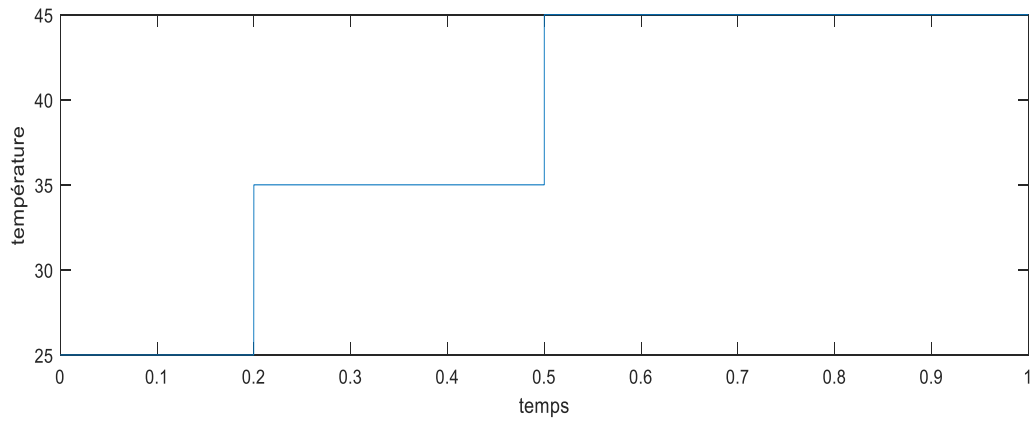


Figure II.16: variation de la température du panneau

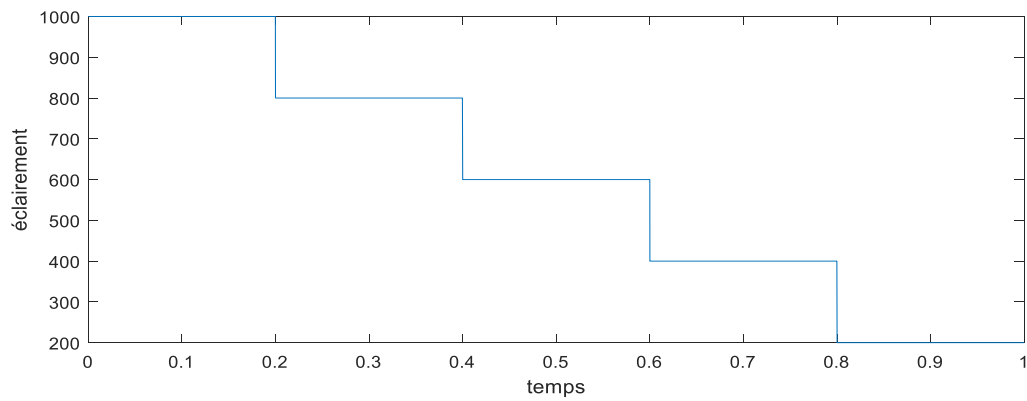


Figure II.17:variation de l'éclairement.

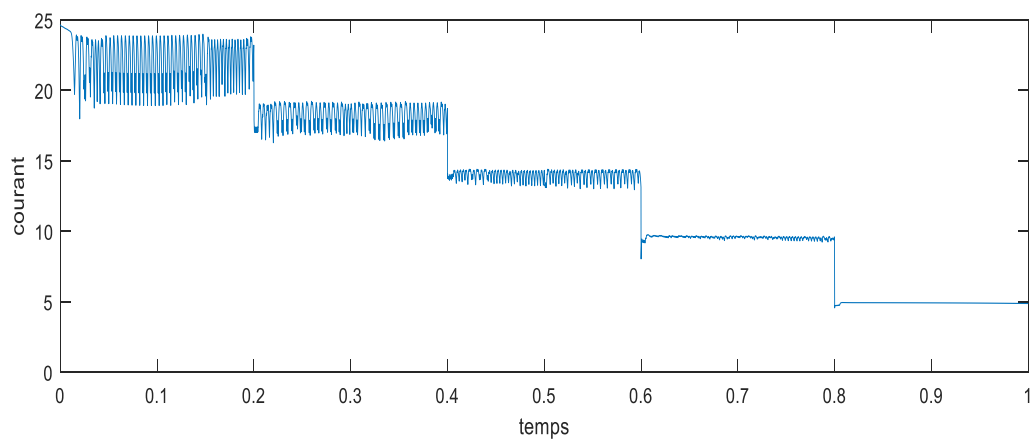


Figure II.18:variation du courant du panneau

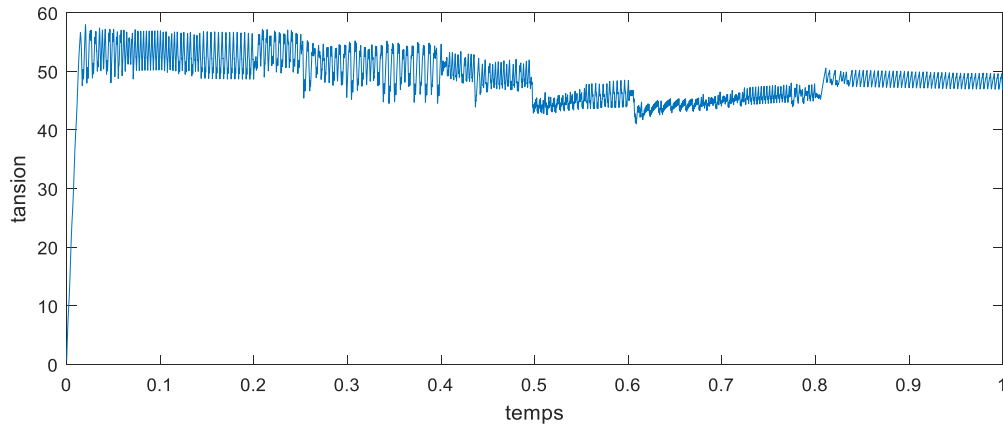


Figure II.19:variation du voltage du panneau

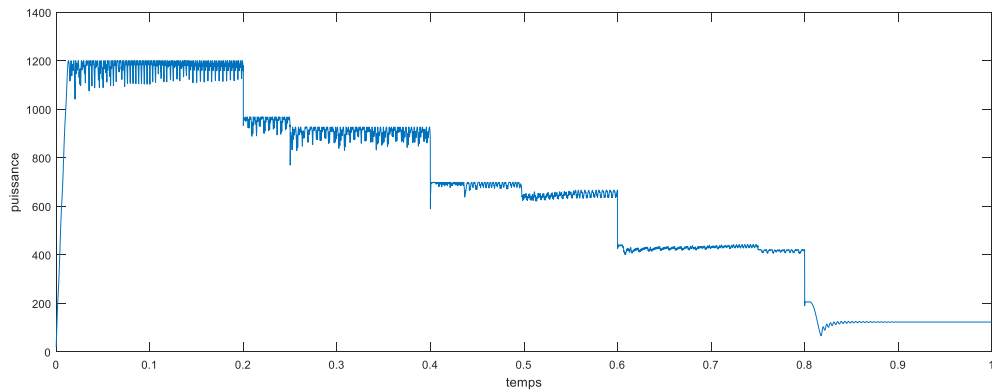


Figure II.20:variation du puissance du panneau

II.8.5.comment sur les figures Résultat Simulation Algorithmme INC et Méthode P&O:

- La figure (2.20)et La figure (2.14) présente allure de puissance en fonction de temps d'un système photovoltaïque commandé par un contrôleur IC et P&O dans une température et éclairements variable, on remarque que la puissance met un temps d'oscillation de (0.01s) pour se stabiliser à la valeur maximale de la puissance (1200W)et (4000W)
- Les figures (2.18), (2,19),(2,20) présentent allure de puissance et la tension en fonction de temps d'un système photovoltaïque commandé par un contrôleur IC dans une température Variable et différentes éclairements
- Les figures (2.12), (2,13),(2,14) présentent allure de puissance et la tension en fonction de temps d'un système photovoltaïque commandé par un Méthode P&O dans une température Variable et différentes éclairements

- Dans un premier temps, nous avons soumis le système à une variation de luminosité $E=200, 400, 600, 800,1000 \text{ W/m}^2$. À l'instant $t=1s$ avec une température variable($25,35,45^\circ\text{C}$). Par conséquent, nous constatons dans les figures (2.19, 2.20), une augmentation de la tension qui induit une diminution de la puissance, le point de fonctionnement du système s'éloigne du MPP, après 0.01s. La commande remonte le Point de fonctionnement est le stabilise au tour du MPP avec une certaine oscillation qui est causée par l'algorithme de commande

II.9. Conclusion:

Dans ce chapitre, On a présenté la commande MPPT des convertisseurs DC-DC pour rechercher le point où la puissance du générateur photovoltaïque est maximale, sous différentes conditions de fonctionnement. On a étudié les méthodes les plus utilises MPPT basées sur contre réaction de puissance, comme l'algorithme d'incrémentacion de conductance et méthode de perturbation et observation et l'Algorithme à base de la logique floue, l'Algorithme à base de la mesure d'une fraction de la tension et finalement l'Algorithme à Base de la Mesure d'une Fraction du Courant.

Chapitre 3:

*Commande sans capteur d'un
machine à induction alimente
par source photovoltaïque*



III.1 Introduction:

Entrainer des charges à vitesse variable, tout en contrôlant la vitesse ou le couple, est devenu incontournable dans les industries modernes. De la montre au concasseur, en passant par l'électroménager les systèmes de traction, de levage, les applications sont innombrables et variées de même que les solutions techniques. Toutefois, depuis une vingtaine d'années, les entrainements par moteurs électriques connaissent un essor important. Ceci est dû en grande partie aux progrès réalisés dans le domaine de la commande des machines a courant alternatif, et est grâce au développement de la technologie des composants de l'électronique de puissance, et l'apparition des processus numériques a fréquence élevée et a forte puissance de calcul

Dans ce chapitre, on présentera, dans une première partie, la modélisation d'une machine asynchrone associée à un convertisseur statique (un onduleur à MLI).

La simulation de la machine asynchrone en état sein, ainsi en cas de défaillance à la fin de ce III.2 Modélisation de la MAS

III.2 Modélisation de la MAS

III.2.1 Description:

La machine asynchrone dont nous allons étudier sa mise en équation correspond à la structure de principe représentée par la figure (III.1) dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Elle comporte deux armatures à champ tournant cylindriques et coaxiales, séparées par un entrefer constant: l'une est fixée, l'autre est mobile, aussi les appelle-t-on respectivement, stator et rotor.

Dans des encoches régulièrement réparties sur la face interne du stator sont logés trois enroulements (a_s , b_s , c_s) identiques à "p" paires de pôles. Un moteur asynchrone à cage se présente (**figure III.1**)[13]

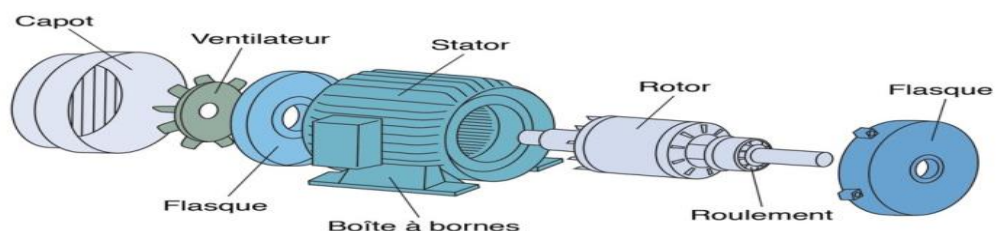


Figure III.1 : Description du moteur asynchrone (catalogue Leroy-Somer)

La structure électrique du rotor peut être réalisée :

- Soit par un système d'enroulement triphasé (rotor bobiné), raccordé en étoile à trois bagues sur lesquelles frottent trois balais fixes accessibles par la plaque à bornes et mis en court-circuit pendant les régimes permanents.
- Soit par une cage conductrice intégrée aux tôles ferromagnétiques (rotor à cage).
- Il sera admis que la deuxième structure est électriquement équivalente à la première.
- Cependant la structure électrique du rotor est représentée schématiquement par trois Enroulements a_r , b_r et c_r en court-circuit.

III.2.2 Hypothèses simplificatrices:

Afin de faciliter l'étude de la machine asynchrone et ça mise en équation, les hypothèses généralement admises sont [13]:

- Le bobinage est réparti de manière à donner une f.m.m. (force magnétomotrice) sinusoïdale s'il est alimenté par des courants sinusoïdaux.
- Régime non saturé, le phénomène d'hystérésis et les courants de Foucault en plus l'effet de peau sont négligés
- Le régime homopolaire est nul

La figure (III.2) représente la distribution spatiale des enroulements statoriques et rotoriques d'une telle machine asynchrone.[14]

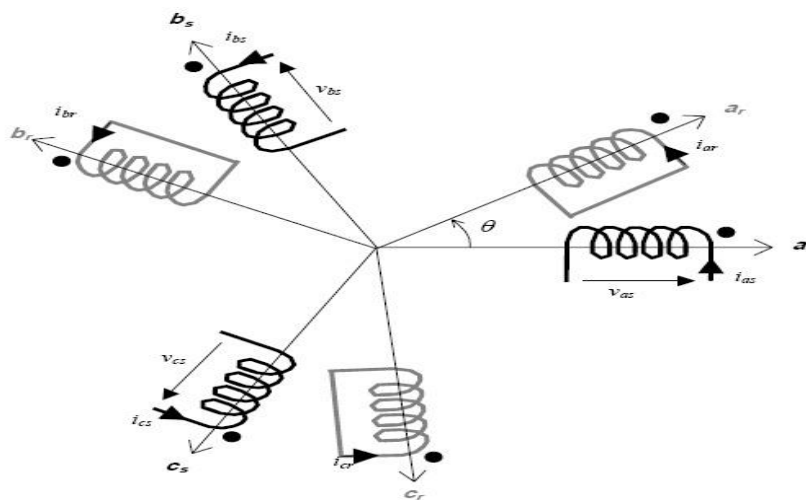


Figure III.2: Représentation des enroulements de la MAS triphasé dans l'espace électrique.

III..3 Equation générale de la machine

III.3.1 Equations des tensions:

Par application de la loi de Faraday a l'un des six enroulements statoriques et rotoriques de la machine, la loi des mailles s'exprime par la relation :

$$\blacksquare V = Ri + \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{III. 1})$$

On déduit pour l'ensemble des phases, statoriques :

$$\blacksquare [V_{sabc}] = [R_s] \cdot [i_{sabc}] + \frac{d}{dt} [\phi_{sabc}] \quad (\text{III. 2})$$

Et rotoriques :

$$\blacksquare [V_{rabc}] = [R_r] \cdot [i_{rabc}] + \frac{d}{dt} [\phi_{rabc}] \quad (\text{III. 3})$$

III.3.2 Equations des flux:

La matrice des flux réels fait apparaître quatre sous-matrices d'inductances.

$$\begin{bmatrix} \phi_{sabc} \\ \phi_{rabc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & M_{sr} \\ M_{rs} & L_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{sabc} \\ i_{rabc} \end{bmatrix} \quad (\text{III. 4})$$

Finalement :

$$[V_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + \left(\frac{d}{dt}\right) \{ [L_s][i_{sabc}] + [M_{sr}][i_{rabc}] \} \quad (\text{III. 5})$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + \left(\frac{d}{dt}\right) \{ [L_r][i_{rabc}] + [M_{sr}][i_{sabc}] \} \quad (\text{III.6})$$

II.3.3 Equations mécaniques:

L'équation fondamentale de la mécanique du rotor de la machine :

$$\begin{cases} J \frac{d\omega}{dt} + f_r \Omega = C_{em} - C_r \\ \omega = p \cdot \Omega \end{cases} \quad (\text{III. 7})$$

Avec :

- J : Moment d'inertie du rotor,
- Ω : Vitesse angulaire mécanique du rotor,
- f_r : Coefficient de frottement visqueux,
- C_{em} : Couple électromagnétique délivré par le moteur,
- C_r : Couple résistant, ou de charge,
- ω : Vitesse angulaire électrique du rotor.

III.4 Modélisation de Park de la machine asynchrone

III.4.1 Equations des tensions:

Les équations de Park statoriques et rotoriques est:

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\phi_{sd}}{dt} - \omega_s \phi_{sq} \\ V_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\phi_{sq}}{dt} + \omega_s \phi_{sd} \\ V_{rd} = R_r i_{rd} + \frac{d\phi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega) \phi_{rq} \\ V_{rq} = R_r i_{rq} + \frac{d\phi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega) \phi_{rd} \end{cases}$$

(III. 8)

III.4.2 Equations magnétiques:

$$\begin{cases} \phi_{sd} = L_s i_{sd} + M i_{rd} \\ \phi_{sq} = L_s i_{sq} + M i_{rq} \\ \phi_{rd} = L_s i_{rd} + M i_{sd} \\ \phi_{rq} = L_s i_{rq} + M i_{sq} \end{cases} \quad (III.9)$$

III.4.3 Equation mécanique:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_{em} - C_r - f_r \Omega \quad (III. 10)$$

III.4.4 Expression du couple électromagnétique:

Le couple électromagnétique peut prendre diverses formes, en fonction des variables que l'on élimine (où p est le nombre de paires de pôles)[11]:

$$C_{em} = PM(i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) \quad (III. 11)$$

$$i_{rd} = \frac{1}{L_r} (\phi_{rd} - M i_{sd}) \quad (III. 12)$$

$$i_{rq} = \frac{1}{L_r} (\phi_{rq} - M i_{sq}) \quad (III. 13)$$

En remplaçant (III. 13) et(III. 14) par(III. 12) , on trouve:

$$C_{em} = \frac{PM}{L_r} (i_{sq} \phi_{rd} - i_{sd} \phi_{rq}) \quad (III. 14)$$

III..5.Choix du référentiel :

Il y a trois transformations de référentiel qui sont couramment employées dans la simulation des machines électriques. Dans chaque cas il s'agit d'assigner une vitesse particulière au référentiel pour obtenir une transformation donnée. Ces transformations se font dans les référentiels suivants [15] :

- référentiel (d, q) fixé au stator ou stationnaire :

La transformation dans le référentiel (d, q) fixé au stator ou stationnaire porte aussi le nom de transformation de Clarke ou transformation (α, β). Ce référentiel étant fixe, la vitesse est nulle. Comme la vitesse est nulle, l'angle du référentiel demeurera constant et sa valeur est arbitraire. Nous avons choisi de travailler avec un angle nul

La vitesse du référentiel ainsi que sa position angulaire deviennent celles du rotor.

- référentiel (d, q) synchrone :

Ce référentiel tourne à la vitesse du champ tournant du stator.

Le choix de transformation de référentiel est essentiellement dicté par les variables de phase que nous voulons observer ainsi que l'application. Si les variables de phases au stator et au rotor ne nous intéressent pas, la machine peut être simulée dans le référentiel synchrone sans qu'aucune transformation ne soit nécessaire. Si l'on désire simuler cette machine dans des conditions équilibrées mais que cette fois, on désire observer les courants de phase statoriques, la transformation dans le référentiel stationnaire est celle qui requiert le moins de calculs. Si par contre on s'intéresse aux courants de phase rotoriques, la transformation dans le référentiel fixé au rotor sera la plus avantageuse.

III.5.1 Référentiel lié au stator:

Pour obtenir les équations de la machine asynchrone dans le référentiel (d, q) lié au stator, il suffit donc de substituer dans le système d'équations du référentiel (d, q) arbitraire (III.1) les valeurs (III.6), et en remplaçant « d » par « α » et « q » par « β ». Dans ces conditions, on obtient le système

équations (III.9):

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{s\alpha} = R_s i_{s\alpha} + \frac{d\phi_{s\alpha}}{dt} \\ V_{s\beta} = R_s i_{s\beta} + \frac{d\phi_{s\beta}}{dt} \\ V_{r\alpha} = R_r i_{r\alpha} + \frac{d\phi_{r\alpha}}{dt} + w_r \phi_{r\beta} \\ V_{r\beta} = R_r i_{r\beta} + \frac{d\phi_{r\beta}}{dt} - w_r \phi_{r\alpha} \end{array} \right. \quad (III.15)$$

C'est le repère le mieux adapté pour travailler avec les grandeurs instantanées, il possède des tensions et des courants réelles et peut être utilisé pour étudier les régimes de démarrage et de freinage des machines à courant alternatif.

III.6. Modélisation de la machine asynchrone alimentée en tension.

III.6.1 Equation mécaniques:

De (III.10), l'expression du couple électromagnétique exprimé dans notre référentiel (α, β) et celle du mouvement sont donnée par :

$$\begin{cases} C_{em} = \frac{pM}{L_r} (\Phi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Phi_{r\beta} i_{s\alpha}) \\ J \frac{d\omega}{dt} + C_r + f_r \Omega = C_{em} \end{cases} \quad (III. 16)$$

III.7. Modélisation de l'onduleur

Les' hypothèses simplificatrices :

- La commutation des interrupteurs est instantanée,
- La chute de tension aux bornes des interrupteurs est négligeable, supposés idéalisés,
- La charge est équilibrée couplée en étoile avec neutre isolé.

L'état des interrupteurs, supposés parfaits peuvent être définit par trois grandeurs booléennes de commande S_i ($i = a, b, c$):

- $S_i = 1$ le cas ou l'interrupteur de haut est fermé et celui d'en bas ouvert.
- $S_i = 0$ le cas ou l'interrupteur de haut est ouvert et celui d'en bas fermé. Dans ces conditions on peut écrire les tensions V_{io} en fonction des signaux de commande S_i et en tenant compte du point fictif "o".

On a, donc:

Les tensions composées sont données par :

$$\begin{cases} U_{ab} = V_{an} - V_{bn} \\ U_{bc} = V_{bn} - V_{cn} \\ U_{ca} = V_{cn} - V_{an} \end{cases} \quad (III. 17)$$

V_{no} : est la tension de neutre de la charge par rapport au point "o"

On a : $(V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0)$

$$V_{no} = \frac{1}{3}(V_{ao} + V_{bo} + V_{co}) \quad (III. 18)$$

En remplace (III. 23) dans (III.22) on obtient :

$$\begin{cases} V_{an} = \frac{2}{3}V_{ao} - \frac{1}{3}V_{bo} - \frac{1}{3}V_{co} \\ V_{bn} = -\frac{1}{3}V_{ao} + \frac{2}{3}V_{bo} - \frac{1}{3}V_{co} \\ V_{cn} = -\frac{1}{3}V_{ao} - \frac{1}{3}V_{bo} + \frac{2}{3}V_{co} \end{cases} \quad (III.19)$$

les équations instantanées des tensions simples en fonction des grandeurs de commande :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (\text{III. 20})$$

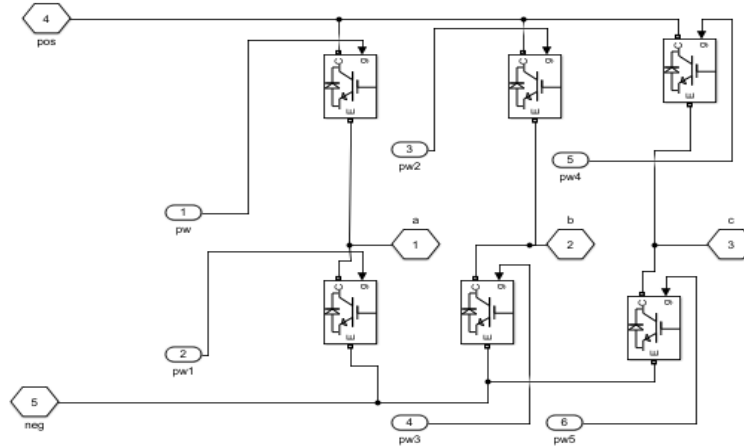


Figure III.3: Onduleur avec triphasé

III.7.1. Mise en équation

Le cas de l'onduleur de tension alimentant un moteur triphasé couple en étoile est envisagé figure (III.3) Le système étant triphasé équilibré

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0$$

L'expression des tensions simples aux bornes du moteur (figure III.3) en fonction de la tension d'entrée de l'onduleur E et des commandes C_i ($i= a,b,c$) est la suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_a \\ C_b \\ C_c \end{bmatrix} \quad (\text{III. 21})$$

III.7.2. Modélisation de la commande à modulation de largeur d'impulsion:

La commande de l'onduleur par MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) permet de produire à partir d'une source à fréquence et à tension fixes, des tensions alternatives variables en amplitude et en fréquence, avec un faible taux d'harmoniques.

La technique de commande MLI sinus – triangle va être développées dans cette section.

III.7.3. Commande MLI sinus – triangle

La tension et la fréquence de sortie sont contrôlées par l'onduleur en utilisant la technique MLI. Cette méthode consiste à adopter une fréquence de commutation supérieure à

la fréquence des grandeurs de sortie, et à former chaque alternance de la tension de sortie d'une succession de créneaux de largeurs convenables Il s'agit d'une modulante sinusoïdale d'amplitude A_r et de fréquence f_r combinée à une porteuse triangulaire d'amplitude A_p de haute fréquence f_p , les angles de commutation de la tension d'entrée d'un pont sont situés aux intersections de la porteuse et de la modulante Les tensions de références sinusoïdales sont exprimées par :

$$\begin{cases} V_{an} = V_m \sin(\omega t) \\ V_{bn} = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_{cn} = V_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

L'équation de la porteuse triangulaire est exprimée par :

$$V_p(t) = \begin{cases} V_{pm} [4(\frac{t}{TP}) - 1] & \text{Si } 0 \leq t \leq \frac{TP}{2} \\ V_{pm} [-4(\frac{t}{TP}) + 3] & \text{Si } \frac{TP}{2} \leq t \leq TP \end{cases} \quad (\text{III.22})$$

La commande MLI sinus triangle utilise la comparaison avec la porteuse des trois composantes de la tension de référence afin de calculer les états S_a , S_b et S_c des interrupteurs de l'onduleur. Ceux-ci sont donnés par l'équation III.22 suivantes :

$$S_{abc} = \begin{cases} 1 & \text{si } (V_{rabc} - x(t) \geq 0) \\ 0 & \text{si } (V_{rabc} - x(t) < 0) \end{cases} \quad (\text{III.23})$$

Cette technique est caractérisée par les deux paramètres suivants :

- 1- L'indice de modulation « m » égal au rapport de la fréquence de modulation (f_p) sur la fréquence de référence (f_r), ($m = \frac{f_p}{f_r}$)
- 2- Le taux de modulation r est égal au rapport de l'amplitude de la tension de référence (V_r) à la valeur crête de l'onde de modulation (V_p), $r = \frac{V_r}{V_p}$.

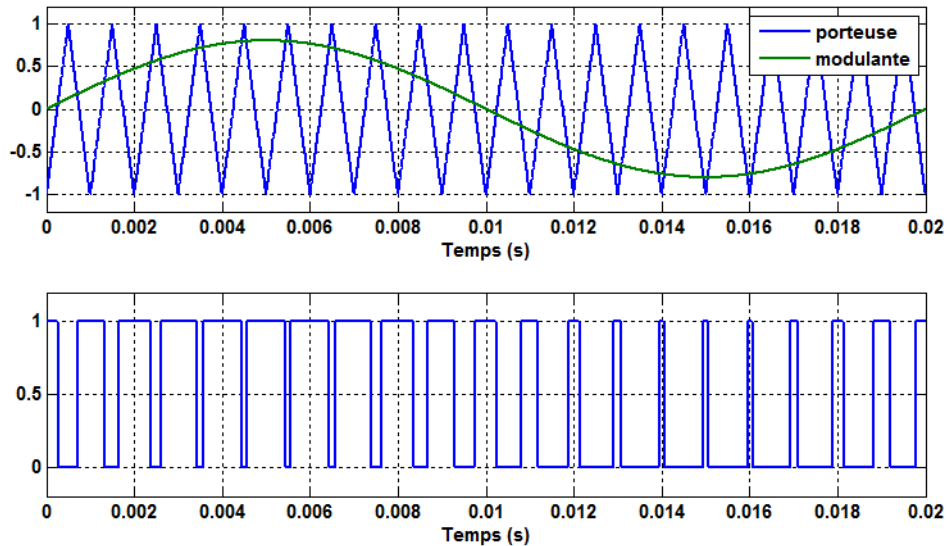


Figure III.4: Description de la commande M.L.I. sinus – triangle

III.7.4. Avantages de la commande MLI :

Comme la sortie de l'onduleur de tension n'est pas purement sinusoïdale, l'intensité de courant ne l'est pas aussi, donc elle comporte des harmoniques, seuls responsables des parasites (pulsation de couple électromagnétique) ce qui engendre des pertes supplémentaires. Cette –MLI sert à remédier ces problèmes et elle a comme avantages :

- ✓ Variation de la fréquence de la tension de sortie
- ✓ Elle repousse les harmoniques vers des fréquences plus élevées

D'autre part les conséquences de ces deux avantages est :

- ✓ Minimisation de la distorsion du courant
- ✓ Faible coût du filtre de sortie

III.7.5. Principe de commande par hystérésis:

Cette méthode fait appel à des régulateurs à hystérésis qui un système de contrôle des courants (flux), les sorties des correcteurs sont directement les ordres de commutations de l'onduleur.

Le schéma de principe de cette technique est représenté sur la figure suivante :[17]

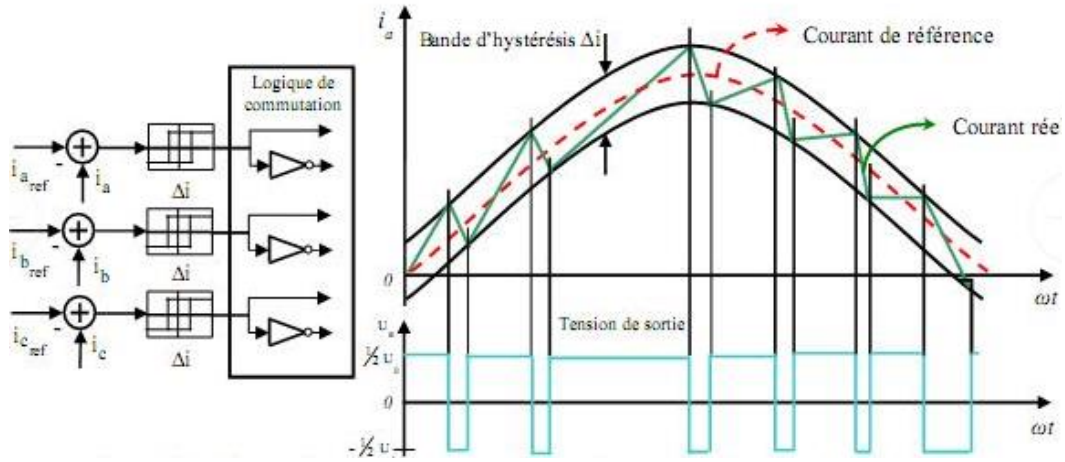


Figure III.5 : Principe de commande par hystérésis.

III.8. Commande de la machine asynchrone

III.8.1. Commande scalaire d'une MAS:

La commande scalaire de la MAS est basée à des considérations sur des expressions issues du régime permanent. Elle consiste à imposer : - Le module de la tension ou du courant. - La fréquence. Ce type de contrôle convient surtout pour des performances moyennes de fonctionnement de la machine asynchrone.

III.8.2. Principe de la commande scalaire:

Dans la machine asynchrone les champs stator et rotor restent synchronisés du fait que, par induction, la fréquence des courants rotoriques varie automatiquement avec la vitesse du rotor pour compenser cette variation. Le champ rotorique est mobile par rapport au stator à pulsation , contrairement au cas des machines synchrones où la fréquence du courant d'excitation reste constante et nulle quelle que soit la vitesse du rotor et où, par conséquence, le champ rotorique est fixe par rapport à celui-ci. Dans les machines asynchrones il n'y a donc pas de risque de décrochage par couple moyen nul mais seulement de blocage par couple résistant excessif, supérieur au couple maximal, qui provoque un arrêt et un fonctionnement en court-circuit puisqu'il n'y a plus de f.e.m. de rotation pour s'opposer à la tension statorique. Les machines asynchrones présentent des instabilités en régime transitoire. C'est le cas lors d'une alimentation directe en tension lorsque le filtre d'entrée présente des valeurs d'inductance et de capacité élevées. C'est aussi le cas lors d'une alimentation directe en courant avec fréquence statorique imposée.[18]

III.8.3. Commande scalaire en courant:

La différence avec la commande précédente, c'est que c'est un onduleur (commutateur) de courant qui est utilisé Figure (III.7). On impose directement des courants dans les phases de la machine. La fréquence du fondamental est calculée de la même manière. La valeur du courant de plateau I_d (courant continu) est égale à une constante près à la valeur efficace du courant imposé I_s . Elle est imposée par régulation à l'aide d'un pont redresseur contrôlé. Le dispositif est plus complexe qu'un contrôle scalaire de la tension.[19]

$$\begin{cases} I_s = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \\ I_d^* = \frac{\varphi_{snom}}{L_s} \sqrt{\frac{1+(w_r \tau_r)^2}{1+(\sigma w_r \tau_r)^2}} \end{cases} \quad (III.24)$$

III.9.La commande sans capteur de vitesse par la méthode MRAS

III.9.1.Estimation de la vitesse par la technique MRAS :

Le système adaptative à modèle de référence est basée su la comparaison des sorties de deux estimatems. Le premier, qui n'introduit par la grandeur à estimer (la vitesse dans notre cas), est appelé modèle de référence et le deuxième est le modèle ajustable. L'erreur eme ces deux modèles pilote un mécanise d'adaptation qui génère la vitesse. Cette dernière est utilisée dans le modèle ajustable [20]

III.9.2.Estimateur basé sur le système adaptatif avec modèle de référence :

L'approche par le système adaptatif avec modèle de référence MRAS a été proposée par échauder, par la suite, elle a été exploitée par plusieurs travaux .Comme son nom l'indique, elle est basée sur l'identification adaptative avec modèle de référence pour estimer la vitesse. Sous sa forme simple, la structure MRAS se compose de deux estimateurs qui calculent les mêmes variables de la machine, le premier est un modèle de référence que constituent le moteur asynchrone et le deuxième est un estimateur constituant le système adaptatif ou ajustable possédant comme entrée la vitesse estimée. La différence entre les sorties des deux estimateurs de vitesse est utilisée pour corriger l'estimation de vitesse. La commande adaptative avec modèle de référence a été principalement développée pour minimiser l'erreur entre une grandeur réelle et une grandeur estimée.[21]

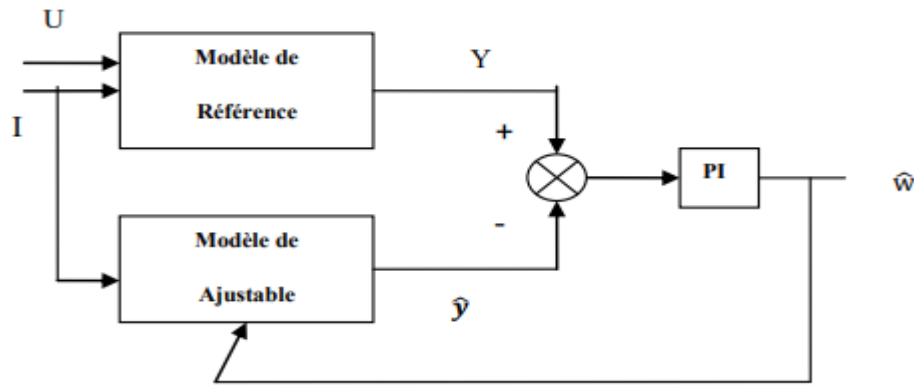


Figure III. 6: Configuration de base de la méthode MRAS

III.9.3. Modèles basés sur le flux rotorique

Différentes méthodes de la MRAS ont été proposées par les chercheurs, la première, est celle qui utilise le flux rotorique de la machine, et qui se base sur le modèle en tension choisi comme référence, et le modèle en courant qui sera le modèle ajustable.[21]

Le modèle de la machine asynchrone exprimé dans le repère général, tournant à la vitesse (en utilisant la notion complexe) est le suivant :

La méthode de tension:

$$\begin{cases} V_s = R_s i_s + \frac{d}{dt} \Phi_s + j w_s \Phi_s \\ V_r = R_r i_r + \frac{d}{dt} \Phi_r + j (w_s - w_r) \Phi_r = 0 \end{cases} \quad (III.25)$$

□□ Equations des flux :

$$\begin{cases} \Phi_s = L_s i_s + M i_r \\ \Phi_r = L_r i_r + M i_s \end{cases} \quad (III.26)$$

Avec:

$$M = L_m, w_r = (w_s - w_m) \quad (III.27)$$

L'erreur produit du décalage entre les sorties des deux estimateurs, cette dernière est appliquée au modèle ajustable.

$$e = \Phi_r - \Phi_{ref} \quad (III.28)$$

III.9.3.1.Modèle de référence (tension) :

Nous souhaitons estimer les composantes de Φ_{ref} à partir de la mesure des courants statoriques i_s et des tension statoriques . Pour cela, nous devons utiliser les équations (III.25) ,III.26, Avec $\omega_s = 0$

L'expression III.30 permet identifier i_r on à :

$$i_r = \frac{1}{l_r} (\Phi_{ref} - M i_s) \quad (III.29)$$

En reportant (III.29) dans (III.25), il vient :

$$\Phi_s = l_s i_s + M \cdot \left(\frac{1}{l_r} (\Phi_{ref} - M i_s) \right) \quad (III.30)$$

Ou encore :

$$\Phi_s = \frac{M}{l_r} \Phi_{ref} + \left(l_s - \frac{M^2}{l_r} \right) i_s \quad (III.31)$$

Avec le coefficient de dispersion σ :

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{l_r l_s} \quad (III.32)$$

A partir de l'expression (III.32) on obtient donc :

$$\Phi_s = \frac{M}{l_r} \Phi_{ref} + \sigma l_s i_s \quad (III.33)$$

En reportant (III.33):

$$v_s = R_s i_s + \frac{d}{dt} \left(\frac{M}{l_r} \Phi_{ref} + \sigma l_s i_s \right) \quad (III.34)$$

$$v_s = R_s i_s + \frac{M}{l_r} \frac{d}{dt} \Phi_{ref} + \sigma l_s \frac{d}{dt} i_s \quad (III.35)$$

$$\frac{d}{dt} \Phi_{ref} = \frac{l_r}{M} (v_s - R_s i_s - \sigma l_s \frac{d i_s}{dt}) \quad (III.36)$$

Ou encore :

$$\frac{d \Phi_{ref}}{dt} = \frac{l_r}{M} (v_s - R_s i_s - \sigma l_s \frac{d i_s}{dt}) \quad (III.37)$$

On peut tirer modèle de référence:

$$\begin{cases} \frac{d\phi_{r\alpha}}{dt} = \frac{l_r}{M} (v_s - R_s i_{s\alpha} - \sigma l_s \frac{di_{s\alpha}}{dt}) \\ \frac{d\phi_{r\beta}}{dt} = \frac{l_r}{M} (v_s - R_s i_{s\beta} - \sigma l_s \frac{di_{s\beta}}{dt}) \end{cases} \quad (\text{III.38})$$

III.9.3.2 Modèle Ajustable (courant) :

Pour trouver l'équation du Modèle Ajustable, nous exprimons i_r (équation (III.25) tel que:

$$i_r = \frac{1}{l_r} (\phi_r - M i_s) \quad (\text{III.39})$$

Puis nous exprimons aussi (équation (III.25) et l'équation (III.38)), ainsi nous avons :

$$\frac{R_r}{l_r} (\phi_r - M i_s) - j\omega_n \phi_r + \frac{d}{dt} \phi_r = 0 \quad (\text{III.40})$$

$$\frac{d}{dt} \phi_r = -\frac{R_r}{l_r} \phi_r + \frac{R_r}{l_r} M i_s + j\omega_n \phi_r \quad (\text{III.41})$$

$$\frac{d}{dt} \phi_r = \left(-\frac{1}{T_r} + j\omega_n\right) \phi_r + \frac{M}{T_r} i_s \quad (\text{III.42})$$

On peut tirer le modèle ajustable :

$$\begin{cases} \frac{d\phi_{r\alpha}}{dt} = \frac{1}{T_r} (M i_{s\alpha} - \phi_{r\alpha} - w_r \phi_{r\beta}) \\ \frac{d\phi_{r\beta}}{dt} = \frac{1}{T_r} (M i_{s\beta} - \phi_{r\beta} - w_r \phi_{r\alpha}) \end{cases} \quad (\text{III.43})$$

III.9.3.3. Mécanisme d'adaptation :

Le mécanisme d'adaptation est très important car, il doit assurer la stabilité du système, et que la valeur estimée vers la valeur de référence, que nous choisissons est un régulateur PI. Pour minimiser l'erreur entre les deux modèle (Référence et Ajustable).

$$\begin{cases} e_\phi = \phi_{\alpha r} \phi_{\beta r} - \phi_{\beta r} \phi_{\alpha r} \\ w_n = \left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) e_\phi \end{cases} \quad (\text{III.44})$$

III.10.SIMULINK de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS:

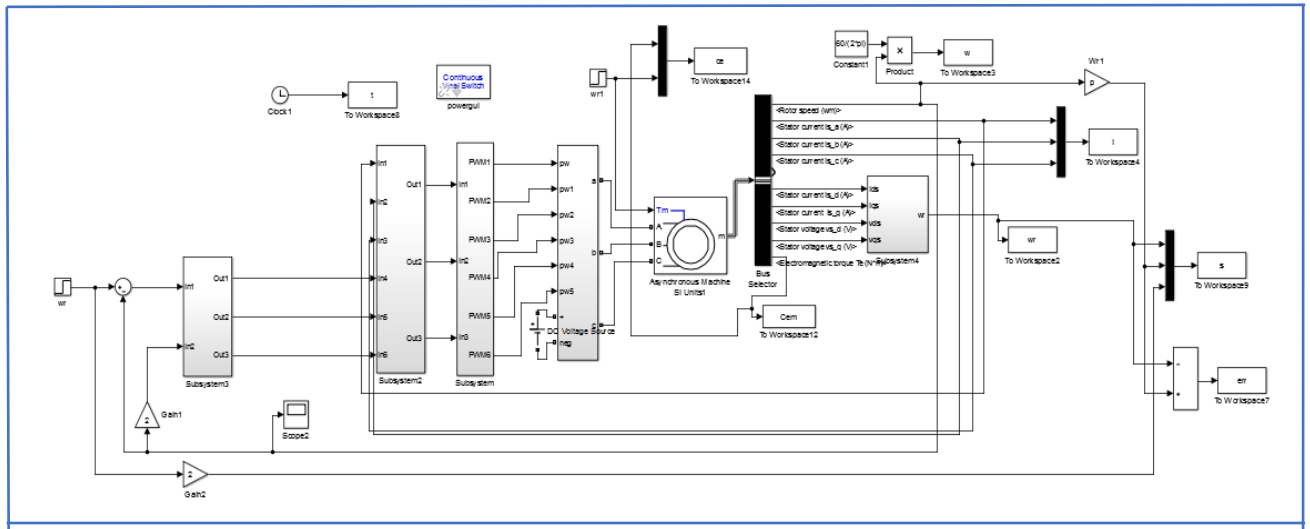


Figure III.7:Commande scalaire de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS

Les paramètres de la machine asynchrone sont donnés par le tableau suivant :

| | |
|--------------------------------|------------------------|
| Puissance nominale | 1.5KW |
| Tension nominale | 220V |
| Rendement nominal | 0.78 |
| Facteur de puissance nominal | 0.8 |
| Fréquence nominale | 50 Hz |
| Courant nominal | 6.31A |
| Résistance statorique | 1.2 Ω |
| Résistance rotorique | 1.8 Ω |
| Inductance cyclique statorique | 0.1558H |
| Inductance cyclique rotorique | 0.1568H |
| Inductance mutuelle | 0.15H |
| Nombre de paires de pôles | 2 |
| Moment d'inertie | 0.07 Kg/m ² |
| Coefficient de frottement | 0.N.m.s/rad |

Tableau 3-1: Paramètres de la machine asynchrone.

III.10.1.Résultats de simulation:

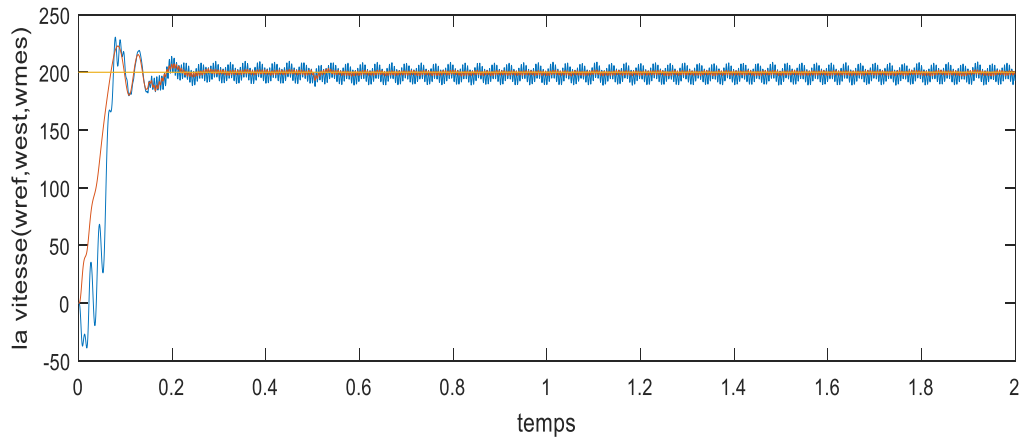


Figure III.8: Vitesse de rotation rad/sec.

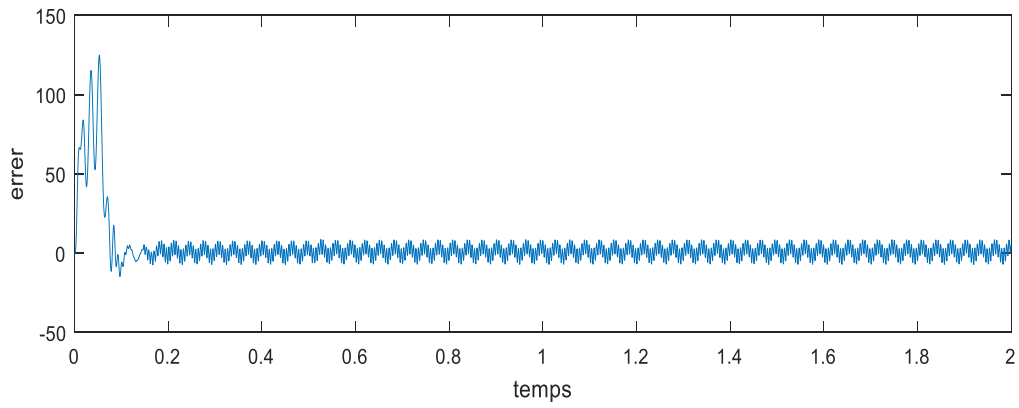


Figure III.9: Variation de la erreur

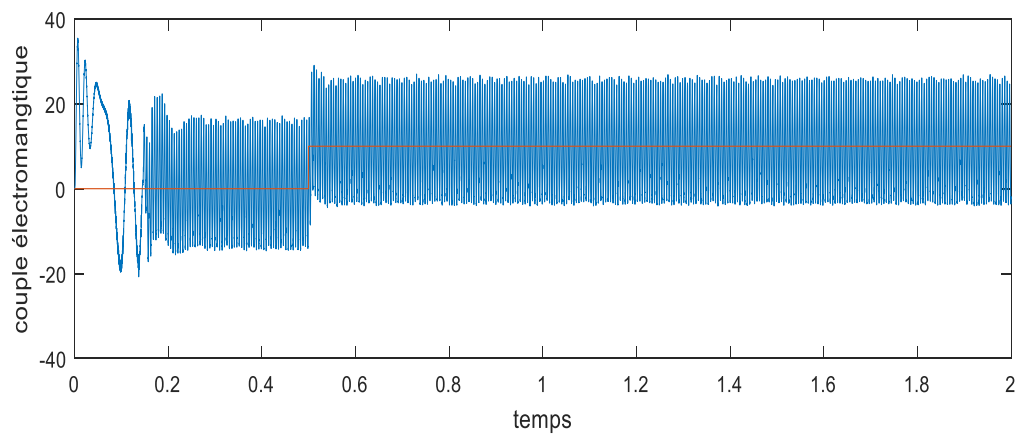


Figure III.10: Couple électromagnétique

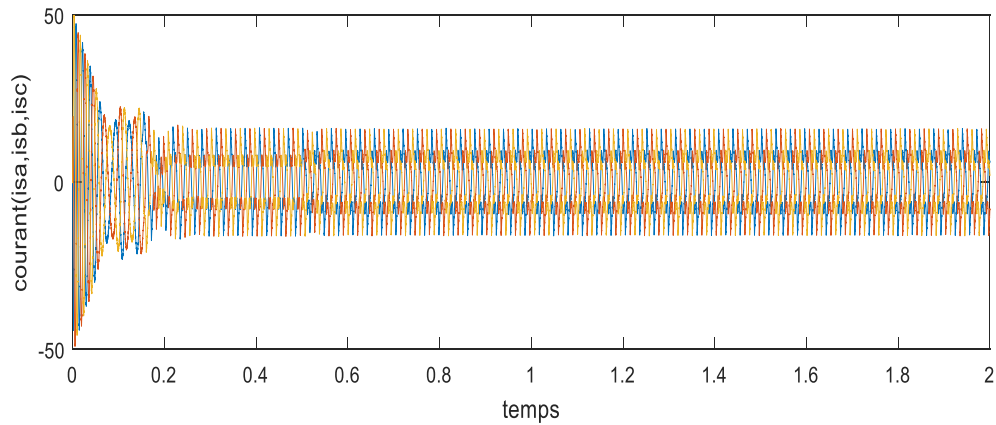


Figure III.11: Les courants isa, isb, isc de la machine.

III.10.2 Comment sur les figures:

- On remarque la figure III.18 La vitesse w_{ref} reste constante dans le domaine temporel à une vitesse de 200 rad/sec, tandis que les vitesses w_{est} et w_{mes} restent croissantes dans le domaine (0-0,2 s) puis restent constantes pour le reste du domaine temporel. remarquez sur la figure III.19 le facteur de correction qui combine (w_{est} ; w_{mes}) n'est pas stable à l'instant (0-0,2s) puis revient à la normale à la valeur 0.
- la figure III.20 il est Le couple électromagnétique est instable à (0-0,5s), puis à l'instant 0,5s il se stabilise à environ 10N.m.
- Sur la figure III.21 on remarque que les courants isa, isb, isc sont périodiques dans le domaine temporel en fonction du sin.

III.11. SIMULINK d'un panneau photovoltaïque contrôlé par IC connecté par de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS:

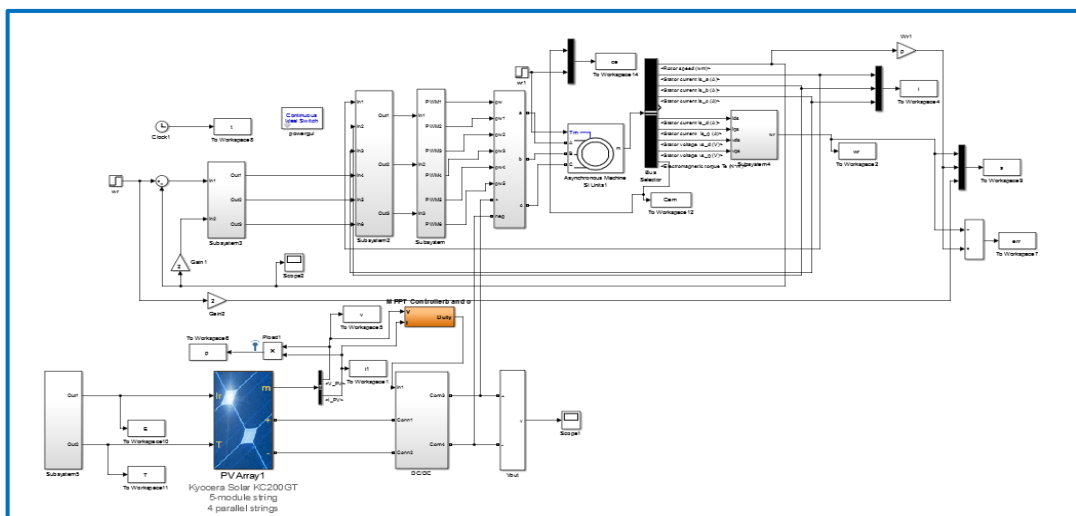


Figure III.12: Commande scalaire de la MAS sans capteur avec la technique d'estimation MRAS et (PV et DC/DC et MPPT)

III.11.1.Résultats de simulation:

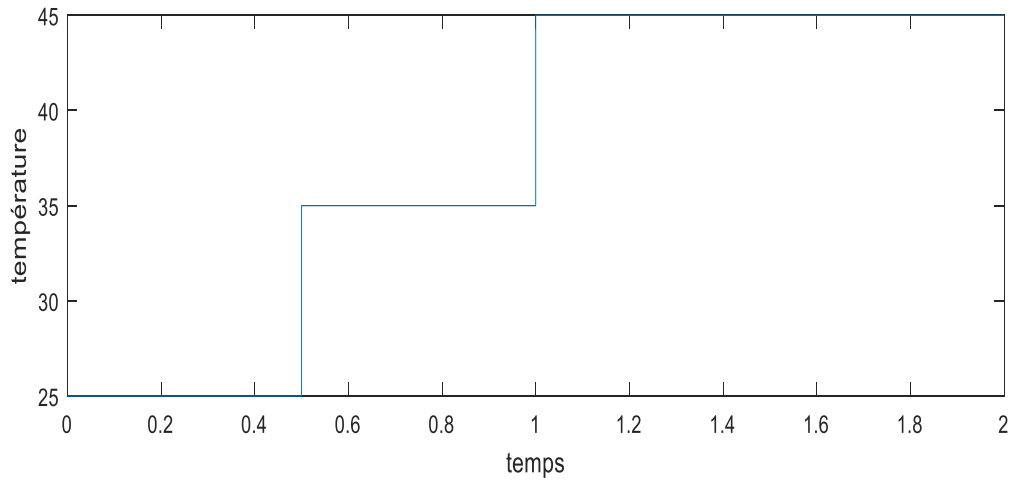


Figure III.13:Variation de la température.

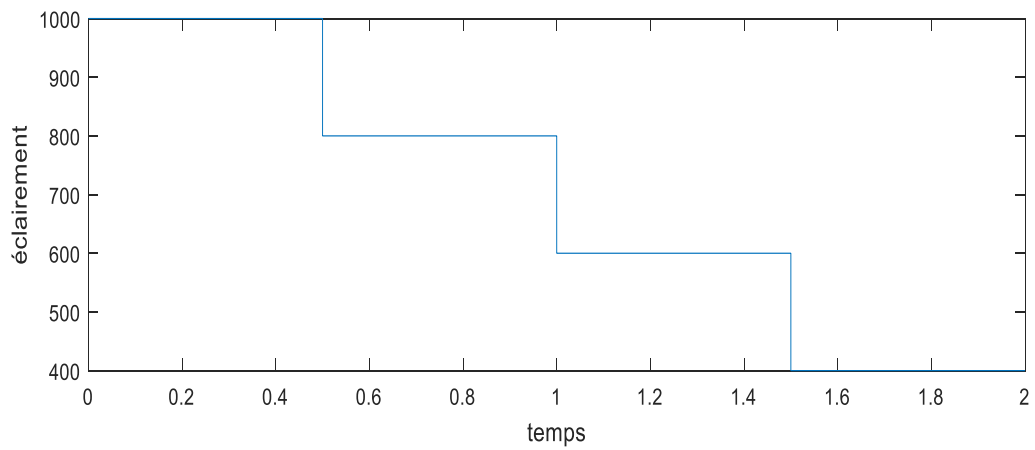


Figure III.14: Variation d'éclairément

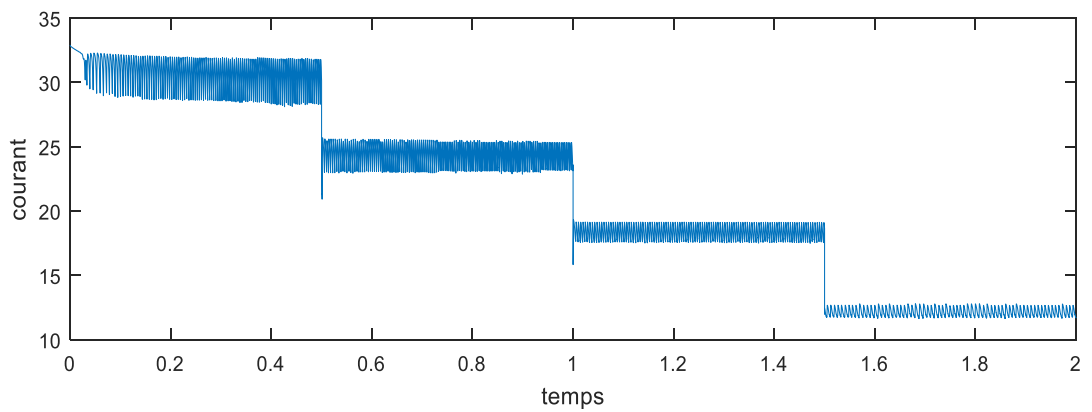


Figure III.15: Variation de la courant

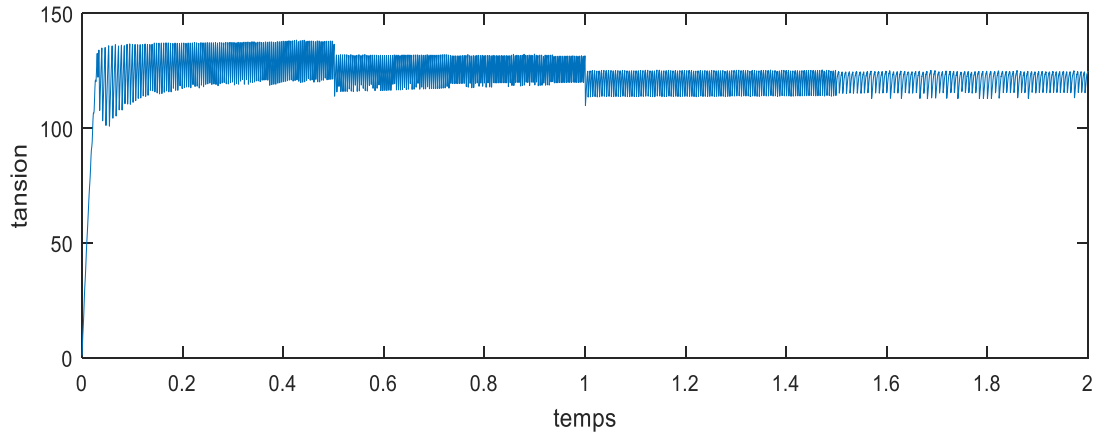


Figure III.16: Variation de la tension

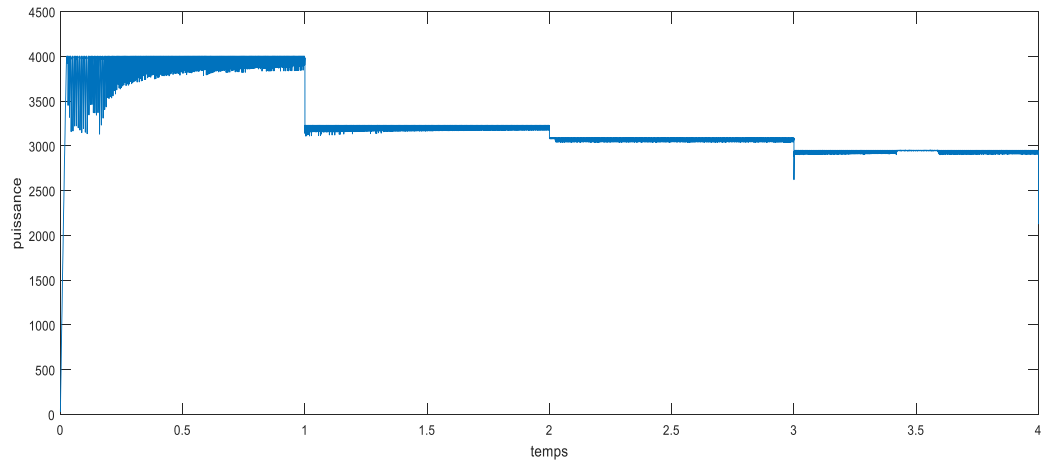


Figure III.17: Variation de la puissance

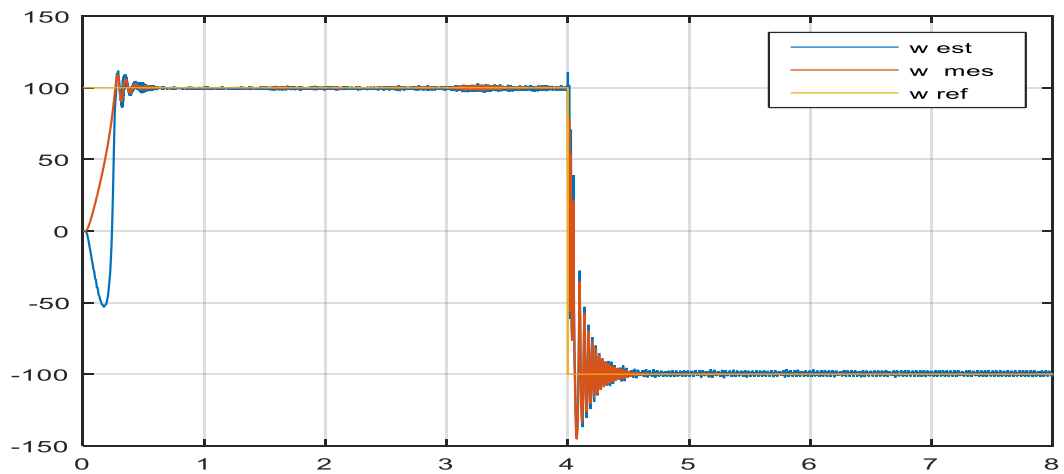


Figure III.18: Vitesse rotorique (rad/s) avec Zoom

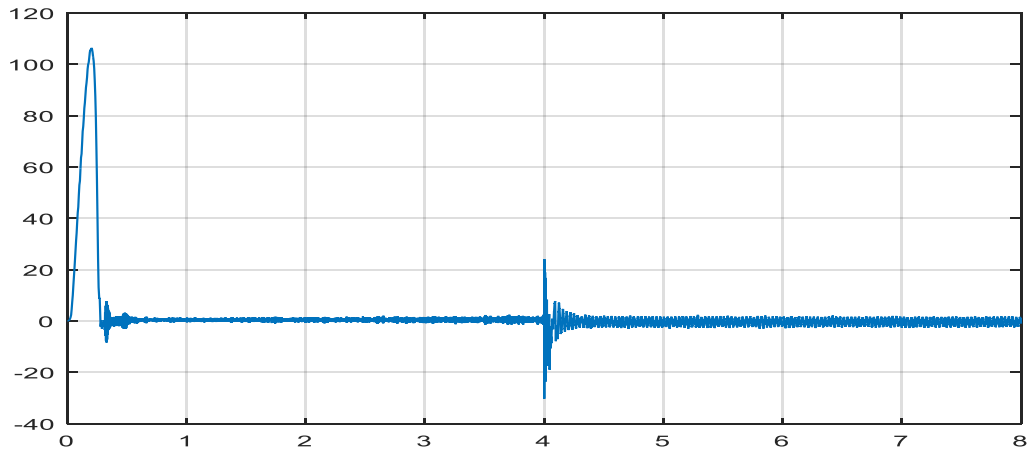


Figure III.19: Erre de estimation de vitesse

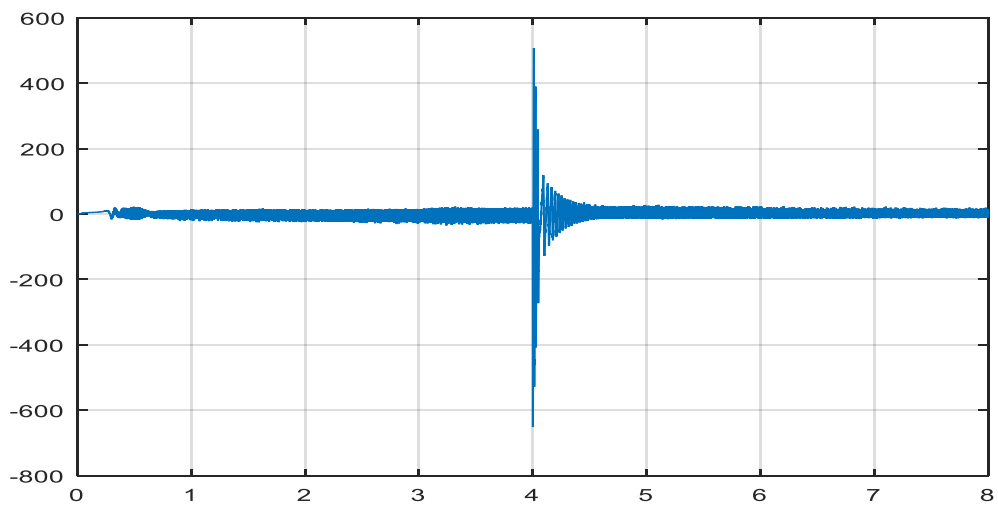


Figure III.20: Couple électromagnétique de MAS

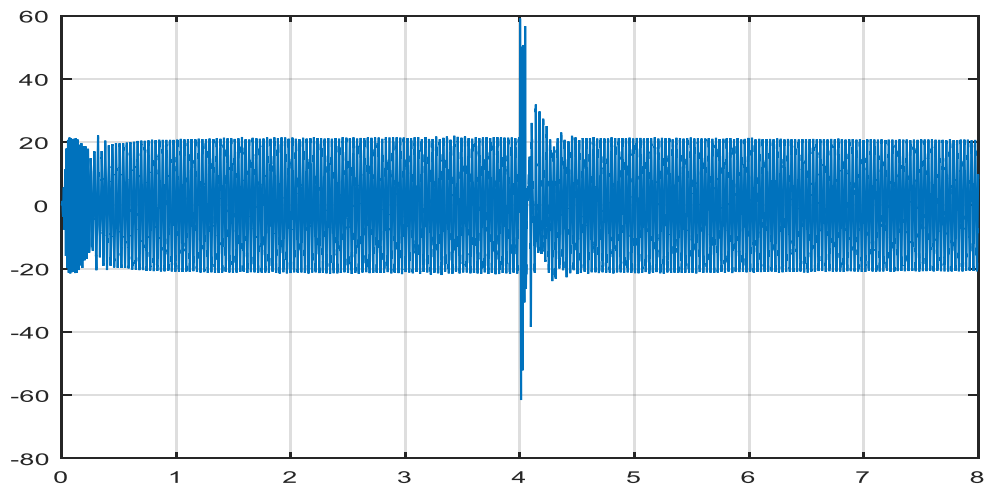


Figure III.21: Courant de phase statorique de MAS

III.11.2 Comment sur les figures:

Dans un premier temps, nous avons soumis le système à une variation de luminosité $E=200, 400, 600, 800, 1000 \text{ W/m}^2$). À l'instant $t=1\text{s}$ avec une température variable (15,25,35°C). Par conséquent, nous constatons dans les figures (3.23, 2.24), le point de fonctionnement du système s'éloigne du MPP. La commande remonte le Point de fonctionnement est le stabilise au tour du MPP avec une certaine oscillation qui est causée par l'algorithme de commande.

On remarque que la vitesse de rotation de la machine (**Fig. 3.28**) suit acceptable sa référence et même la vitesse estimée par le MRAS.

Dans ce chapitre, nous avons présenté la commande salaire sans capteur appliquée à la MAS, cette stratégie permet le maximalisé le couple de la machine afin d'assurer une commande souple de sa vitesse A été testée par simulation pour un moteur à induction dont les principaux paramètres sont donnés en annexe pour démontrer l'efficacité de l'estimateur MRAS proposé.

III.12. Conclusion:

À travers ce chapitre, nous sommes parvenus à deux conclusions importantes:

- Dans ce chapitre, une opération optimale d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil est présentée. Le problème d'optimisation consiste en l'amélioration du rendement de la machine par l'ajustement de la fréquence fournie par l'onduleur de tension .
- Les résultats obtenus montrent qu'avec la technique proposée, on améliore la puissance du moteur avec même puissance maximal fournie par PV
- À travers ce chapitre, nous avons pu introduire notre commande sans capteur MRAS. L'avantage de cette commande est que a une solution potentielle pour mettre en application des systèmes de contrôle de haute performance, particulièrement quand éliminer ce capteur mécanique Dans le dernier chapitre, nous avons testé les simulateurs à travers le logiciel **MATLAB/SIMULINK** qui montre comment utiliser la vitesse mécanique sans capteurs, ce qui le rend plus fiable avec moins d'encombrement et de coût.

Conclusion Générale



Conclusion Générale

Ce travail, qui est destiné à modéliser et à simuler un système photovoltaïque comporte un générateur photovoltaïque, associé à un hacheur DC-DC contrôlé par la commande MPPT P&O et un onduleur commandé par MLI Sinus- Triangle afin d'entraîner un moteur asynchrone.

Pour cela, le début de notre étude décrit l'effet photovoltaïque et les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un modèle mathématique. Cela, nous permet de modéliser un panneau solaire et prendre une idée sur le comportement d'un champ photovoltaïque et d'un générateur photovoltaïque. Ce dernier, est destiné pour alimenter un moteur asynchrone. On a présenté aussi les applications possibles du système photovoltaïque. L'objectif de la simulation est de voir l'influence de la température et de l'ensoleillement sur le fonctionnement du GPV et implicitement sur sa caractéristique courant-tension.

le système solaire étudié a été conçu et simulé dans l'environnement MATLAB/SIMULINK. Dans lequel, un groupe motopompe alimenté par une installation photovoltaïque solaire par l'intermédiaire d'un onduleur triphasé où ce dernier est connecté à un convertisseur DC-DC de type élévateur. Le moteur est entraîné suivant la technique du contrôle scalaire où le couple et le flux rotorique ont été contrôlés à maximal. Le moteur est démarré en douceur. La vitesse de référence est générée par la régulation de la tension photovoltaïque réelle avec celle de référence. L'onduleur triphasé assure l'alimentation du moteur à induction où les signaux de déclenchement sont produits à l'aide du contrôleur hystérésis des courants. Le générateur photovoltaïque a maintenu le point de puissance maximale avec un temps de suivi réduit pendant la canalisation de l'irradiation. Ceci est obtenu en utilisant un algorithme MPPT avancé basé sur l'incrément de conductance (INC) et la méthode de perturbation et observation (P&O). Les résultats de la simulation ont montré que ce système étudié fonctionne de manière satisfaisante dans diverses conditions de fonctionnement. La performance du système était bonne au démarrage, en régime transitoire et en régime permanent dans des conditions de changement de niveau d'irradiance et la température du générateur photovoltaïque

Références



Références

- [1] Abdelhak Aziz << Propriétés électriques des composants électronique minéraux et organiques conception et modélisation d'une chaîne photovoltaïques pour une meilleure exploitation de l'énergie solaire>> DOCTEUR DE L'UNIVERSITE TOULOUSE2006
- [2].BOUDIAF Djihane BELLIMA Rayene <<Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque>> MÉMOIRE DE MASTER ,Université Mohamed Khider de Biskra 2022
- [3] : Mourad CHIKHI.<< METROLOGIE ET MODELISATION DES TRANSFERTS DANS LES COMPOSITES NATURELS A FAIBLE COUT POUR L'ISOLATION THERMIQUE DANS LES PANNEAUX SOLAIRES>>DOCTEUR EN PHYSIQUE DE L'UNIVERSITE HADJ LAKHDAR DE BATNA.2013.
- [4]. Mlle AZIZI ZINEB Mlle MENAD IMANE<<Etude de Faisabilité d'Utilisation d'un Système Photovoltaïque pour Sécuriser un Réseau GSM.>> MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE
- [5] - Notes des cours Azoui ,master energie renouvelables 2019/2020
- [6]-Sedrati youcef et Nouar hatem(Memoire Master Académique) 2016
- [7]Chaib Sawséne - Cherfi Rania<<Etude technico-économique et environnementale de capteur solaire hybride photovoltaïque / thermique (PV/T)>> MASTER ACADEMIQUEUNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2021 2022
- [8]:M. Angel Cid Pastor,<< conception et réalisation de module photovoltaïque électroniques >>docteur de l'institut national des Sciences appliquées de toulouse, 2006
- [9]:Ben Nadel Faiza - Etude <<Etude et Simulatia d'une commande MPPT Pour système PV.UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-MSILA 2016
- [10]:HAKOUMi Ahmed-BENAMAR Abdeldjalil<< Commande MPPT et controlé d'une système photovotaique3kw par logique floue>> UNIVERSITE Ahmed draia Adrar-2019
- [11]:<http://www.cder.dz/vlib/rewe/pdf/v013-n1-texe-4pdf>
- [12]Aissaoui Anis- Hamitouche Akli: <<Projet de Fin d'étude>>-2021
- [13]:Senigra Abd el Karim et Saidi Bachir et Selim Abd El Kader « commande scailair d'un moteur Asynchrone Alimente Par énergie photovoltaïque>> universite echahid Hamma lakhder el-oued - 2023
- [14]:DJERIOU SALIM, << Simulation d'un Système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone>> , Master Academic, UNIVERSITE FERHAT ABBAS- setif -2011
- [15]:https://elearning.univ-msila_dz
- [16]:GHATTAOUI ELMOULAT, KHELIFI HOUDA << Alimentation d'un Moteur Asynchrone à partir d'un Generateur photovoltaïque>> Master Academic Universite De. Tahar Moulay. Saïda 2021
- [17]:NECHMA MOHAMED LAMINE<< commande et simulation d'un moteur Asynchrone à cage>> Master Academic, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA-2019
- [18]: AMIROUCHE OUALI, MUSTAPHA TAHRI << Commande scalaire d'un moteurAsynchrone >> Master Academic UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU-2018
- [19]:L. BAGHLI « Cours modélisation et commande de la machine Asynchrone>> UNIVERSITE Aboubekr Belkaid -TELMCEN-2020

- [20]:CHEBBAH CHOUAIB-<<ystème adaptatif avec modèle de référence pour l'estimation de la vitesse d'une machine asynchrone>>Master Academic .université de jijle -2014
- [21]: IDER ZAHIR BENYOUCEF LAKHDER TAIBI DJAMEL << Commande sans capteur de vitesse d'un moteur asynchrone>> Mémoire MASTER Machines électriques -2018
- [22]: M. R. Khan, and A. Iqbal, "Model reference adaptive system with simple sensorless flux observer for induction motor drive: MRAS with simple sensorless flux observer for induction motor drive." pp. 1-6.

