



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Daria Adrar
Faculté des Sciences et de la Technologie



Mémoire

POUR OBTENIR LE DIPLOME DE MASTER

Filière : Sciences et technologies

Spécialité : Réseaux électrique

Thème

**Etude et Simulation d'un système photovoltaïque appliqué
machine asynchrone**

présenté par :

DJAAFRI houssin

Devant la commission d'examen composée de :

Président : Mr : Gaenfoude Mohamade

Université Ahmed Daria Adrar

Rapporteur : Masmodé Mohamade

Université Ahmed Daria Adrar

Examineur : Mr :TAZI Abdelkader

Université Ahmed Daria Adrar

Promotion : 2018

Dédicaces

Je suis dédié ce travail à :

* Ma très chère mère.

* Mon très cher père.

* Mes sœurs et mes frères

* toutes mes familles

* Tout mes amis.

* Tout la promotion 2017/2018

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie, **Mr : Masmodé Mohamade** d'avoir dirigé ma thèse avec beaucoup d'efforts et de patience, et, les membres du jury : la président **Mr : Gaenfoude Mohamade.** et l'examineur **Mr :TAZI Abd elkader .**

Pour tous mes amis qui m'ont apporté leur soutien moral pendant cet année d'études, je les en remercie sincèrement.

Enfin, un très grand MERCI à toute ma famille qui m'a gratifié de son amour et fourni les motivations. Je leur adresse toute ma gratitude du fond du cœur.

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
<i>Chapitre01 :GENERALITE SUR LES GENRATURS PHOTOVOLTAIQUES</i>	
i.1Introducti.....	3
I.2. gisement solaire.....	3
I.2.1. L'énergie solire.....	3
I.2.2. le spectre solire.....	3
I.3. Notions préliminaires sur le rayonnement solaire.....	4
I.3.1. Rayonnement.....	4
I.3.2. Rayonnement diffus.....	4
I.3.3. Rayonnement réfléchi.....	4
I.3.4.Rayonnement global.....	4
I.4.Potentiel solaire en Algérie.....	5
I.4.1.Les centrales pilote.....	5
I.4.2.centrale photovoltaïque400MW.....	5
I.5.effet photovoltaïque.....	6
I.6.la cellule photovoltaïque.....	7
I.6.1.principe de fonctionnement.....	7
I.6.2.LesDifférentstypesdecellulesolaires(cellulesphotovoltaïque).....	8
I.7générateurphotovoltaïque.....	9
I.7.1Constitution d'un générateur photovoltaïque.....	9
I.8modélisationetsimulationd'une cellule photovoltaïque.....	10
I.8.1modèlemathématique.....	10
I.8.2caracteristique $i(v)$ et $p(v)$ d' un panneau solaire.....	12
I.8.3differentparametres.....	13
I.8.4caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ du panneau.....	13
I.8.5association des panneaux en série, parallèle et mixte.....	14
I.9.1Influencedel'éclairément.....	15
I.9.2Influencedela température.....	15
I.10conclusion.....	16
Chapitre :02 COMMANDE SPECIFIQUES EN POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM(MPPT)	
Introduction :.....	17
II.2Modélisation des convertisseurs de puissance.....	17
II.2.1.Type des hacheurs :.....	17
II.2.2.Modélisation du hacheur boost :.....	18
II.2.3.Modélisation du hacheur buck :.....	19
II.2.5Modèle mathématique équivalent.....	21
II.2.6. Le convertisseur Buck-Boost :.....	22
II.3Poursuite du point de puissance maximale.....	22
II.3.1Définition.....	23
II.3.2CommandeMPPT.....	23
II.3.2.1Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entre.....	23

SOMMAIRE

II.3.2.3 les différentes techniques d'MPPT	25
II.2.2.4 Les commandes MPPT à algorithmes performants	25
II.2.2 Principe des commandes "Perturb and Observe" (P&O)	25
II.4. méthode a rendement constant du moteur	29
II.5 Résultats de simulation	31
II.6 Conclusion	32
Chapitre 03 : ASSOCIATION MACHINE ASYNCHRON-ONDULEUR	
III.1. Introduction	33
III.2 description et modélisation de la MAS	33
III.2.1 description	33
III.2.2 Hypothèse simplificatrices	33
III.2.3 Modélisation dans le plan abc	34
III.2.3.1 Equation générale de machine asynchrone	34
III.2.3.2 Equation électrique	34
III.2.3.3 Equation magnétique	35
III.2.3.4 Equations mécaniques	37
III.2.4 Modélisation de Park de la machine asynchrone	37
III.2.4.1 Principe de la transformation de Park	37
III.2.4.2 Modèle diphasée	38
III.2.4.3 Choix du repère dq	40
III.2.4.4 Référentiel lié au champ tournant	40
III.2.4.5 Equation électrique	41
III.2.4.6 Equations mécaniques	41
III.2.4.7 Le couple électromagnétique C_e	41
III.3 Référentiel lié au rotor	42
III.4 Référentiel lié au stator	42
III.4.1 Equations mécaniques	42
III.5 modélisation de l' onduleur a deux niveaux de tension et sa commande MLI	43
III.5.1 Définitions des convertisseurs DC-AC	43
III.5.2 principe de fonctionnement d'un onduleur de tension triphasé	43
III.5.3 Modélisation de l' onduleur de tension triphasé	43
III.5.4 Modélisation de l' onduleur a deux niveaux de tensions	45
III.5.5 Commande de l' onduleur par la stratégie triangle-sinusoïdale	45
III.5.5 La commande MLI est caractérisée par les deux paramètres	46
III.5.6 Modélisation de la commande MLI sinus-triangle	47
III.6 Schéma de Simulation du comportement du système	47
III.6.1 Schéma de Simulation du comportement du système en cas de défaut	48
III.7 Conclusion	50

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Chapitre 01 :GENERALITE SUR LES GENRATURS PHOTOVOLTAIQUES

Figure I.1. Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	3
Figure I.2 Composantes du rayonnement solaire	5
Figure I.3 L'effet photovoltaïque	6
Figure I.4 Structure basique d'une cellule solaire	7
Figure I.5 Modèle équivalent de la cellule photovoltaïque	10
Figure I.6 Modèle du générateur PV	12
Figure I.7 Bloc de la cellule solaire dan Simulink Matlab.....	12
Figure I.8Caractéristique I(V).....	13
Figure I.9Caractéristique p(v)	13
Figure I.10Caractéristique $I=f(V)$ pour le groupement mixte des panneaux.....	14
Figure I.10 Influence de l'éclairement sur les Caractéristiques p(V)et I(V).....	15
Figure I.12 .Influence de température sur les Caractéristiques I(V) et P(v).....	15
Capitre02 : CONVERTISSEUR DC-DC DANS LES SYSTEMES PV ET COMMANDE SPECIFIQUES EN POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM (MPPT)	
Figure II.1 Symbole d'un convertisseur DC-DC.....	18
Figure II.2 Schéma électrique d'un hacheur boosta	18
Figure II.3 Schéma électrique d'un hacheur boosta fermé.....	19
Figure II.4 Schéma électrique d'un hacheur boosta ouvert.....	19
Figure II.5 Schéma électrique d'un hacheur Buck.....	20
Figure II.6 Schéma électrique d'un hacheur Buck fermé.....	21
Figure II.7 Schéma électrique d'un hacheur Buck ouvert.....	21
Figure II.8 P_{PV} (V_{PV}) d'un panneau solaire.....	25
Figure II.9 Algorithm type de la méthode P&O.....	25
Figure II.10 Divergence de la commande P&O lors de variations d'irradiation.....	28
Figure II.11 Tension de sortie du convertisseur.....	32
Figure II.12 Tension d'entrée du convertisseur.....	32
Chapitre03 : ASSOCIATION MACHINE ASYNCHRON-ONDULEUR	
Figure III.1 Représentation spatial des enroulements de la MAS.....	34
Figure III.2 Position des axes dq par rapport aux axes de la machine.....	38
Figure III.3Schéma d'un onduleur de tension triphasée alimenta stator de la MAS.....	44
Figure III.4 Schéma de simulation d'un onduleur triphasée.....	44
Figure II.5:Principe de la MLI Sinus-Triangle (DC/AC).....	45
Figure II.6 : Schéma de simulation d'une commande MLI.....	46
Figure III.7 : Bloc de simulation de l'alimentation de la MAS.....	47
Figure III.8 : Résultats de simulation de la MAS alimentée en tension	48

Liste des tableaux

Tableau1 : les centrales photovoltaïques en Algérie.....	6
Tableau2 : Types de cellules photovoltaïques	9
Tableau 3 :le Paramètre du panneau TE600.....	13



Nomenclature



Listes des Acronymes et Symboles

(*GPV*) :de générateur photovoltaïque

G_0 : Éclairement de référence ($G_0 = 1000 \text{ W/m}^2$).

K_0 : Coefficient de variation du courant en fonction de la température

I : Courant fournie par la cellule.

I_{ph} : Photo courant.

T_1 : Température de référence ($T_1 = 25^\circ\text{C} = 298^\circ\text{K}$).

I_D : Courant traversant la diode.

V_T Tension thermodynamique.

V_D : Tension aux bornes de la diode.

V : Tension aux bornes de la cellule.

R_s :la Résistance série.

V_{co} : La tension de circuit ouvert.

I_s : Courant de saturation.

P_{pv} :la puissance du générateur

E_L : La tension du système.

PPM: Point de Puissance maximum.

MPPT:Maximum power poin tracking.

s : Glissement.

I_{cc} (A) : courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'ensoleillement et de la température.

R_{sh} (Ω) : résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction

R_s (Ω) : résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.

J_t : Inertie totale entraînée (moteur J_m et charge J_{ch}).

f_v : Coefficient de frottement visqueux.

C_r : Couple résistant.

C : Couple de frottement de coulomb.

(t) : Une tension appelée f.é.m. (force électromotrice), proportionnelle à la vitesse angulaire.

P : Nombre de paire de pole.

Ω : vitesse angulaire de rotation.

MAS: machin asynchrone

ω_s : la pulsation statorique.

ω_r : la pulsation rotorique.

i_s : Le courants phases statoriques.

r_r : Résistance d'une phase rotoriques.

ϕ_s :Le flux enroulements.

r_s : Résistance d'une phase statorique.

r_r : Résistance d'une phase rotoriques.

k_{sh} : Coefficient de proportionnalité.

K : est une constante dépendant de la construction de la machine.

h : Constante de Planck ($h = 6.62 * 10^{-34} \text{ Js}$).

c : Vitesse de la lumière ($c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$).

E_{ph} : l'énergie transmise par les photons.

S : Surface de générateur.

η : Rendement du moteur.

f_{cs} : fréquence des courants statoriques.

Introduction générale

Aujourd'hui l'énergie solaire fournit un bon rendement de conversion énergétique. dans les pays industrialisés, les lois sur les énergies renouvelables ont permis de booster fortement le marché du photovoltaïque. L'Algérie, pays du soleil et de l'espace, peut s'inspirer de ces programmes pour une exploitation à grande échelle de l'énergie solaire. Elle a les moyens humains et financiers à la mesure de ces programmes. L'enjeu est grand, et vital. L'Algérie est dans le monde l'un des pays de fort potentiel d'exportation de l'énergie électrique solaire [2].

Le générateur photovoltaïque est le seul convertisseur direct pour transformer la lumière en énergie électrique [3], et offre la possibilité de produire de l'électricité directement à partir d'une ressource renouvelable et largement disponible. Leurs développements constituent de ce fait, un enjeu majeur dans la perspective d'un approvisionnement énergétique compatible avec la contrainte d'environnement local et global. Le champ d'utilisation des systèmes photovoltaïques est large avec beaucoup de configurations autonomes et reliées au réseau de distribution.

Une caractéristique importante des panneaux solaires est que la puissance maximale disponible est fournie seulement en un seul point de fonctionnement défini par une tension et un courant connus, appelé point de puissance maximale. En outre, la position de ce point n'est pas fixe mais elle se déplace en fonction de l'irradiation et de la température des cellules solaires ainsi que de la charge utilisée [5]. A cause du coût relativement onéreux de ce genre d'énergie, on doit extraire le maximum de puissance des panneaux solaires.

Plusieurs algorithmes sont proposés dans la littérature, une attention particulièrement a été portée sur la méthode des perturbations et observations. Le diagnostic industriel a une valeur impérative dans l'objectif de mettre la lumière sur quelques défaillances des matériels des systèmes industriels.

L'objectif de ce travail étant de simuler l'association d'un panneau Photovoltaïque avec un convertisseur DC/DC alimentant une machine asynchrone à partir d'un convertisseur DC/AC. De ce fait, le présent mémoire est subdivisé en Trois chapitres dont le contenu est succinctement résumé ci-dessous.

Nous aborderons dans le premier chapitre le principe de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque, sa simulation et modélisation mathématique et ses caractéristiques.

Le deuxième chapitre nous. Commenant par la modélisation de convertisseur DC/DC et étudions la commande MPPT et résultats de simulation à l'aide du logiciel Matlab/Simulink.

Dans le troisième chapitre nous présentons l'association de l'actionneur (onduleur-machin asynchrone) commençant par la modélisation de la machine dans le repère de Park. Ensuite,

nous rappelons le modèle de convertisseur DC/AC qui assure, l'alimentation de la MAS puis nous simulons l'association convertisseur-machine afin de valider nos modèles.
En fin, on terminera par une conclusion générale qui résume notre étude.

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

Photos : Lumière.

Volt: Unité de tension électrique, du nom Alessandro volta [1].

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses performances.

I.2Gisement solaire

I.2.1L'énergie solaire :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (K W c/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

- ✓ L'énergie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.
- ✓ L'énergie solaire photovoltaïque : qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [2].

I.2.2 Le spectre solaire

Le spectre solaire et la distribution spectrale en fonction de la longueur d'onde (λ) ou de la fréquence (n).Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde qui varie entre de 0,22 à 10 μ m .La figure(I.2) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 6,4% dans la bande des ultraviolets ($0,20 < \lambda < 0,38 \mu\text{m}$).
- 48% dans la bande visible ($0,38 < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$).
- 45,6% dans la bande des infrarouges ($0,78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$)

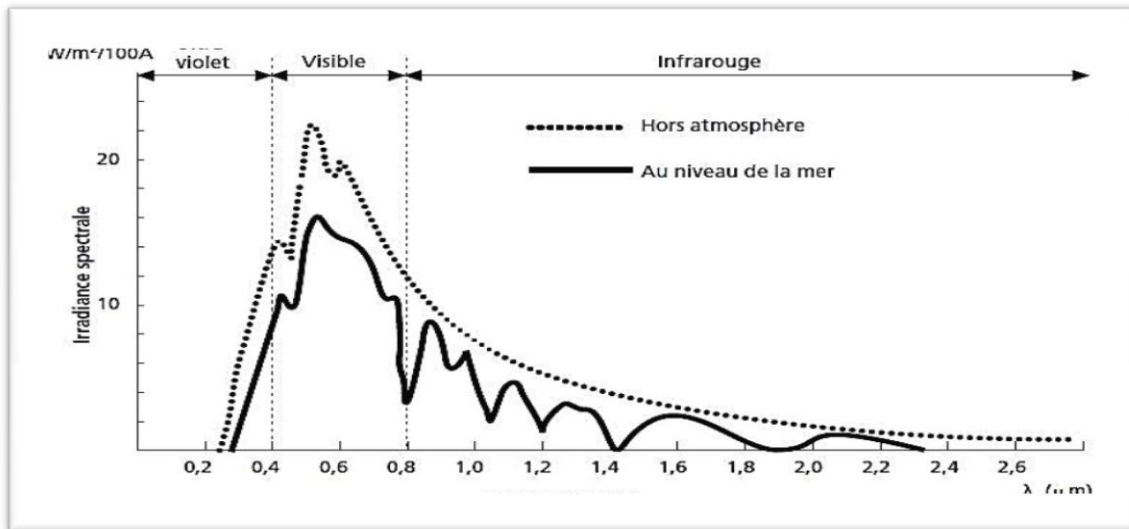


Fig. I.1: Analyse spectrale du rayonnement solaire[2].

Un élément essentiel dans la conversion photovoltaïque est l'énergie transmise par les photons (E_{ph}). On définit un rayon de lumière solaire comme la superposition d'ondes électromagnétiques de fréquences différentes. C'est aussi un faisceau de photons dont l'énergie est liée à la longueur d'onde λ par la constante de PLANCK :

$$E_{ph} = h \frac{c}{\lambda} \quad (I. 1)$$

Dans la quelle :

h : Constante de PLANCK ($h = 6.62 * 10^{-34} Js$).

c : Vitesse de la lumière ($c = 3 * 10^8 m/s$)

Il y a deux techniques pour exploiter l'énergie solaire; le solaire thermique et le solaire photovoltaïque

I.3 Notions préliminaires sur le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0.2 μ m) à l'infrarouge lointain (2.5 μ m). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise. Pour tenir compte de la Distance traversée par les rayons, il est nécessaire d'introduire une notion de masse d'air (AM) elle correspond à la longueur relative du parcours à travers l'atmosphère terrestre Traversée par le rayonnement solaire direct. Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes Principales [3] :

I.3.1. Rayonnement direct :

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère [3].

I.3.2. Rayonnement diffus :

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère [3].

I.3.3. Rayonnement réfléchi :

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lieu appelé Albédo[3].

I.3.4. Rayonnement global :

Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi [3]

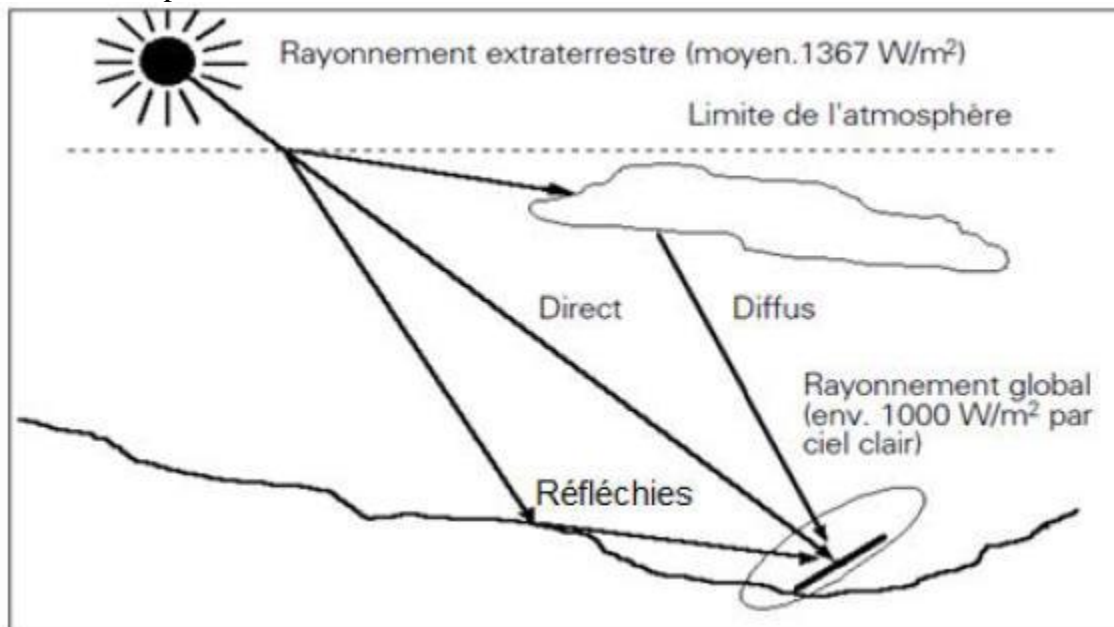


Fig.I.2 Composantes du rayonnement solaire[3]

I.4 .Potentiel solaire en Algérie :

A partir l'exploitation des plusieurs centrales solaire le recentrage de l'énergie solaire sur le réseau en Algérie est augment. Répartition des ces centrales comme suit :

I.4.1. Les centrales pilote :

-centrale pilote à Ghardaïa, d'une puissance de 1,1MW pour l'expérimentation des quatre technologies existantes.

-ferme éolienne dans la région de Kabertene, à Adrar, d'une capacité de 10MW, Ces deux projets appartiennent à la phase pilote (expérimentale) et seront réceptionnés à la fin du 2eme trimestre 2014.[14]

I.4.2.Centrale photovoltaïque 400MW :

Consiste en la réalisation de 13 centrales photovoltaïques dans la région des hauts plateaux, totalisant une puissance de 265MW, et 07 centrales photovoltaïques dans la région sud ouest (Adrar et In Salah).

Hauts plateaux est (90MW)	Setif, Bordj Bouararidj, Batna, Mila et Souk Ahras, ce lot est attribué à YINGLI SOLAR.
Hauts plateaux centre (90MW)	M'sila, Djelfa, Laghouat, et Ouargla, ce lot est attribué à YINGLI SOLAR.
Hauts plateaux ouest (85MW)	Saida, Naâma, El Beyodh et Sidi Belabes, ce lot est attribué à BELECTRIC.
Sud ouest du pays (53MW)	Aoulef , Zaouat Kounta, Adrar, Timimoune, Kabertene, Reggane (relevant de la wilaya d'Adrar) et In Salah (relevant de la wilaya de Tamanrasset). Ce lot est attribué à YINGLI SOLAR

Tableau1.les centrales photovoltaïques en Algérie [4]

I.5.Effet.photovoltqaiiae.

C'est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs. Le plus connu d'entre eux est le silicium utilisé pour les composants électroniques. L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi- conducteur qui génère un courant. En effet, lorsque les photons heurtent une surface mince de ces matériaux, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière .ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique[5]. L'effet photovoltaïque, c'est-a-dire la production d'électricité directement de la lumière été mise en évidence pour la première foi par le physicien français Edmond. Becquerel en 1839 : il découvrit que certains matériaux délivraient une petite quantité d'électricité quand ils étaient exposés à la lumière .Albert Einstein expliqua le phénomène photoélectrique en 1912, mais il fallut attendre le début des années 50 pour sa mise en application pratique dans la réalisation d'une cellule PV en silicium d'un rendement de 4.5. Actuellement le rende ment est environ de 15 selon le type De la cellule.

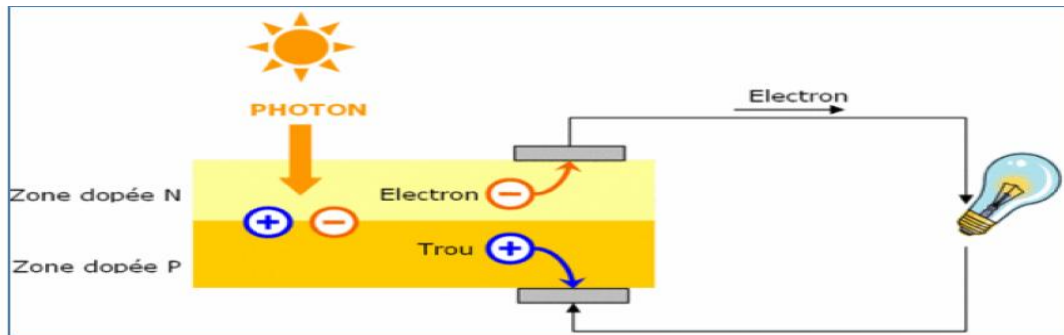


Figure I.3 L'effet photovoltaïque[5]

I.6. La Cellule photovoltaïque :

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- d'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le
- silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.
- d'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- d'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.
- les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

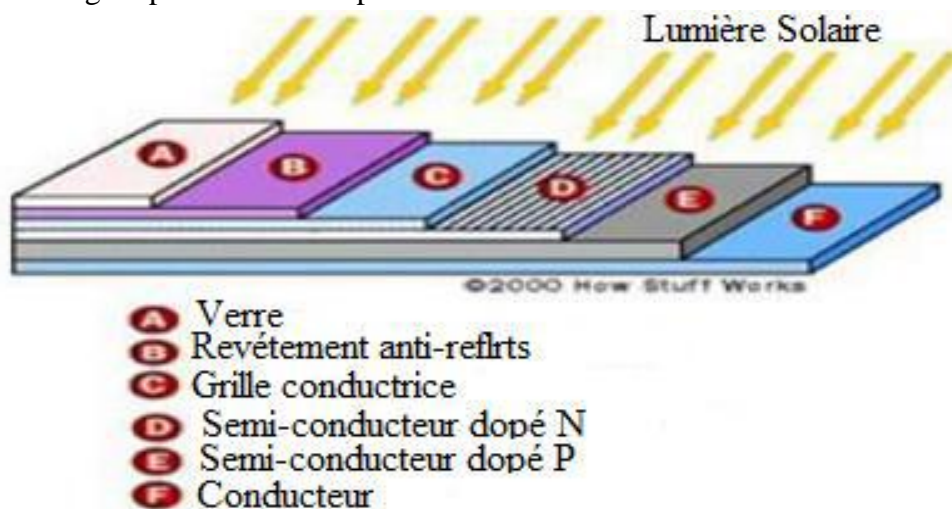


Figure (I.4) : Structure basique d'une cellule solaire[4].

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule

I.6.1.Principe de fonctionnement :

Il existe différentes techniques permettant la conversion directe de la lumière solaire en électricité, la plus connue est la conversion photovoltaïque effectuée à l'aide de matériaux semi-conducteurs tel que le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se) ou les composés semi-conducteurs tel que l'arséniure de gallium (GaAs), le tellure de cadmium (Cpte). Les cellules solaires de type GaAs sont très coûteuses dans leur fabrication, leur utilisation est aujourd'hui essentielle tellement limitée aux applications spatiales. La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du silicium cristallin, car il possède la caractéristique d'être non toxique contrairement au cadmium ou au sélénium, en plus, il permet d'atteindre des Efficacités de conversion remarquables, il constitue environ 28% de l'écorce terrestre sous forme de composés (silicates, silice)[6], ce qui en fait une source quasi inépuisable.

La cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Son principe de fonctionnement se résume comme suit: Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie ($E_p = h \nu$) pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette

Énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi des paires «électron- trou». Les électrons (charges N) et les trous (charges P), sont alors maintenus séparés par un champ électrique qui constitue une barrière de potentiel.

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel et un courant électrique circule[6] .

I.6.2.Les Différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque) :

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quelque soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules [7]:

a. Les Cellules mono cristallines:

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24% en laboratoire) Cependant, Elles coûtent trop chers dues à leur fabrication complexe[7].

B .lés cellules poly cristallines : Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible (de 11% à 15% voir jusqu'à 19.8 en la dortoir)[7].

c. Les Cellules amorphes: Elles ont un faible rendement (de 5% à 8% voir jusqu'à 13% en laboratoire) , mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé . Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des

calculatrices solaires ou encore des montres. L'avantage de ce damier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment)[7].



	Silicium monocristallin	Silicium polycristallin	Silicium amorphe
Types			
Rendement	De 15% à 19%		7% à 10%
Durée de vie	35 ans	35 ans	< 10 ans
Avantage	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe)	Souplesse Prix moins élevé que les cristallins Bon rendement en diffus
Inconvénient	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...) Prix élevé.	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...) Prix élevé.	Mauvais rendement en plein soleil

Figure.2 Types de cellules photovoltaïques[7].

I.7 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque".

Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement.

Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et nulle la nuit[1]. Mais, très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement et nécessitent une intensité régulière (éclairage ou alimentation de réfrigérateurs, par exemple).

On équipe alors le système de batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'électricité et de la restituer en temps voulu[1].

Un régulateur est alors indispensable pour protéger les batteries contre les surcharges ou les décharges profondes nocives à sa durée de vie.

Pour un certain nombre d'applications, le courant continu produit, par le générateur photovoltaïque, est converti à l'aide d'un onduleur en courant alternatif

I.7.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque

Afin d'augmenter la tension d'utilisation, les cellules PV sont connectées en série. La fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre. Le tout est appelé un module

photovoltaïque. Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle pour construire le champ photovoltaïque afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Toute fois, il est important de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces et l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dues à de l'ombrage, de la poussière, etc...), peuvent endommager les cellules de façon permanente.

I.8 Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque

I.8.1 Modèle mathématique

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque est constitué d'une source de courant en parallèle avec une diode, en série avec une résistance (R_s) et parallèle avec une résistance (R_{sh}). La résistance shunt étant généralement très importante, selon [23] on peut la négliger sur le schéma équivalent, donc le modèle de la cellule photovoltaïque devient alors comme présentée sur la figure 3.2.

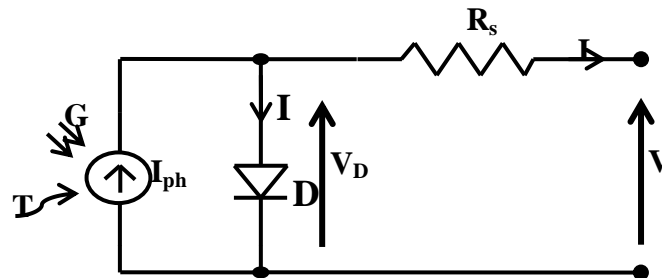


Figure I.5. Modèle équivalent de la cellule photovoltaïque démunie de la résistance shunt[23]

D'après la loi de Kirchhoff :

$$I = I_{ph} - I_D \quad (I.1)$$

$$I_{ph} = I_{ph}(T_1) \times [1 + K_0 \times (T - T_1)] \quad (I.2)$$

$$I_{ph}(T_1) = I_{cc}(T_1) \times \left(\frac{G}{G_0}\right) \quad (I.3)$$

$$K_0 = \frac{I_{cc}(T_2) - I_{cc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (I.4)$$

Avec,

I : Courant fournie par la cellule.

I_{ph} : Photo courant, proportionnel à l'éclairement G :

T_1 : Température de référence ($T_1 = 25^\circ\text{C} = 298^\circ\text{K}$).

G_0 : Éclairement de référence ($G_0 = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$).

K_0 : Coefficient de variation du courant en fonction de la température :

I_{cc} : Courant de court-circuit (le courant qui circule à travers la jonction sous illumination lorsque la cellule est court-circuitée).

I_D : Courant traversant la diode, il est donné par :

$$I_D = I_s \left(e^{\left(\frac{V_D}{V_T} \right)} - 1 \right) \quad (I.5)$$

Où ,

V_T Tension thermodynamique défini par :

$$V_T = \frac{nKT}{q} \quad (I.6)$$

V_D : Tension aux bornes de la diode :

$$V_D = V + R_s I \quad (I.7)$$

V : Tension aux bornes de la cellule et R_s est la Résistance série.

$$R_s = - \frac{dV}{dI_{V_{co}}} - \frac{1}{X_V} \quad (I.8)$$

$$X_V = \frac{I_s(T_1)}{V_T(T_1)} \cdot e^{\frac{V_{co}(T_1)}{V_T(T_1)}} \quad (I.9)$$

V_{co} : La tension de circuit ouvert (la tension mesurée lorsqu'aucun courant ne circule dans le dispositif photovoltaïque).

I_s : Courant de saturation défini par :

$$I_s = I_s(T_1) * \left(\frac{T}{T_1} \right)^{3/n} e^{\left(\frac{-q.V_g}{n.K} \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)} \quad (I.10)$$

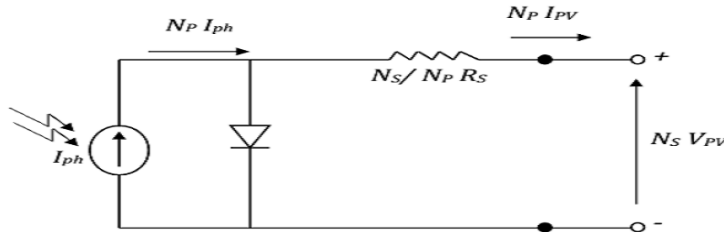
$$I_s(T_1) = \frac{I_{cc}(T_1)}{e^{\left(\frac{V_{co}(T_1)}{V_T(T_1)} \right)} - 1} \quad (I.11)$$

Et la relation liant le courant et la tension d'une photopile est alors devient :

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\left(\frac{q(V+R_s I)}{nKT} \right)} - 1 \right) \quad (I.12)$$

Pour avoir une puissance suffisante, il va falloir interconnecter plusieurs cellules en série et en parallèle pour former un module PV et atteindre la puissance désirée, ces modules à leur tour sont interconnectés entre eux en série/parallèle afin d'avoir des puissances très grandes, ce qui introduit la notion du générateur photovoltaïque GPV.

En conséquent N_s et N_p sont respectivement, le nombre de modules connectés en série dans une branche et le nombre de branches connectées en parallèle, on obtient le schéma équivalent de la figure 3.3 (I_{PV} et V_{PV} sont respectivement le courant et la tension aux bornes de chaque module interconnecté).



I.8.2 Caractéristique I(V) et P(V) d'un panneau solaire

1- Courant de court-circuit, I_{cc}

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V=0$ Dans le schéma équivalent). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule [14]

2- Tension à circuit ouvert V_{co} .

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse.

3- FACTEUR DE FORME

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairement. Cette puissance est maximale pour un point de fonctionnement $P_m (I_m, V_m)$. On peut définir le facteur de forme FF par la relation suivante[14]

$$FF = \frac{P_m}{I_{cc} * V_{CO}} \tag{I.13}$$

4- La puissance maximale :

C'est la puissance électrique maximale que peut fournir le module, qui est associé à une tension maximale v_m et à une intensité maximale i_m . Lorsqu'il est question de puissance maximale dans les conditions normalisées d'ensoleillement **STC** standard (25° et un éclairement $1000 \frac{W}{m^2}$).

Modèle de simulation du panneau.

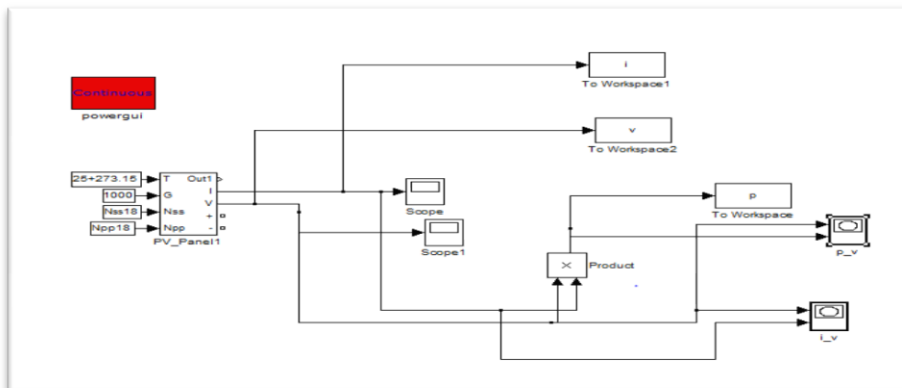


Fig I.7 Bloc de la cellule solaire dan Simulink Matlab

I.8.3 Différents paramètres :

Nous avons choisi le modèle photovoltaïque de type TE600, ce générateur PV est composé de 36 cellules connectées en série ($n_s = 36$).

Puissance maximal	P_m	61 W
Tension à puissance maximal	V_{pm}	17.6 V
Courant à puissance maximal	I_{pm}	3.396 A
Courant de court-circuit	I_{cc}	3.7 A
Tension de circuit ouvert	V_{co}	22 V
Coefficient de température (I_{cc})	K_0	$(0.065 \pm 0.015) \%/^{\circ}C$

Tableau 3 : Paramètre du panneau TE600[23].

Ces données représentent la performance typique du panneau TE600 qui mesuré à ces bornes de sortie, et non inclure l'effet d'équipement supplémentaire comme les diodes et les câbles. Les données sont basées sur les mesures dans les conditions standards SRC (*Standard Reporting Conditions*, savoir aussi : STC ou *Standard Test Conditions*) lesquels :

- Un éclairage de $1 \text{ kW}/\text{m}^2$.
- Une température de cellule de 25° .

Résultat de simulation.

I.8.4 Caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ du panneau

Dans la section précédente, nous avons présenté les bases de la modélisation mathématique du générateur PV. Ce modèle a été développé sous l'environnement Matlab Simulink.

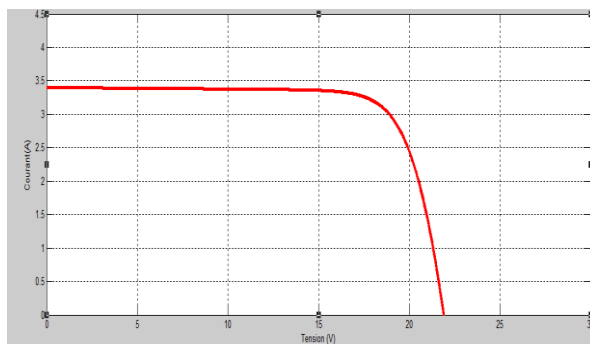


Figure I.8 Caractéristique $I(V)$

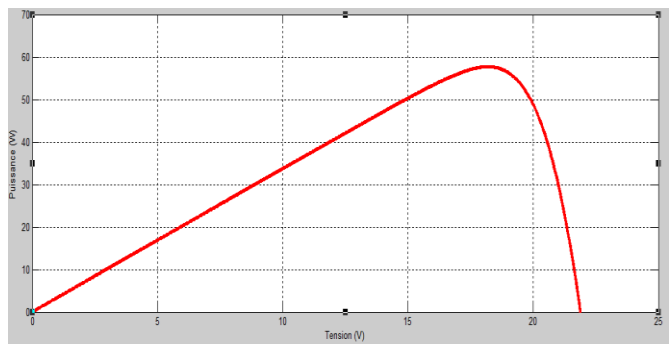


Figure I.9 Caractéristique $P(V)$

La caractéristique $I(V)$ nous montre que le panneau PV est considéré comme une source de courant constant pour des faibles valeurs de la tension avec un courant approximativement égal au courant de court-circuit (I_{cc}). Avec l'augmentation de la tension, le courant commence à diminuer exponentiellement jusqu'à la valeur zéro où la tension est égale à la tension de circuit ouvert (V_{co}). Sur la gamme entière de tension, il y a un seul point, c'est le Point de Puissance Maximum (PPM)

La caractéristique $P(V)$ montre bien qu'un module ne peut être assimilé à aucun générateur classique (générateur de courant ou générateur de tension), un panneau PV est considéré alors comme une source de puissance. On observe que la puissance maximale délivrée par le panneau TE600 est de 61W, cette dernière est obtenue lorsque $\frac{dP}{dV} = 0$. On observe dans les trois points essentiels :

- Le point de fonctionnement maximal PPM (V_{pm}, I_{pm})
- Le courant de court-circuit I_{cc}
- La tension de circuit ouvert V_{co} ètres :

I.8.5 Association des panneaux en série, parallèle et mixte (série et parallèle) :

Pour obtenir une augmentation de la tension du générateur on associe "Ns" modules en série et pour augmenter le courant on associe "Np" modules en parallèle. Afin d'obtenir, une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série et/ou en parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque, on obtient la caractéristique $I(V)$ comme illustrée dans la Figure I.10.

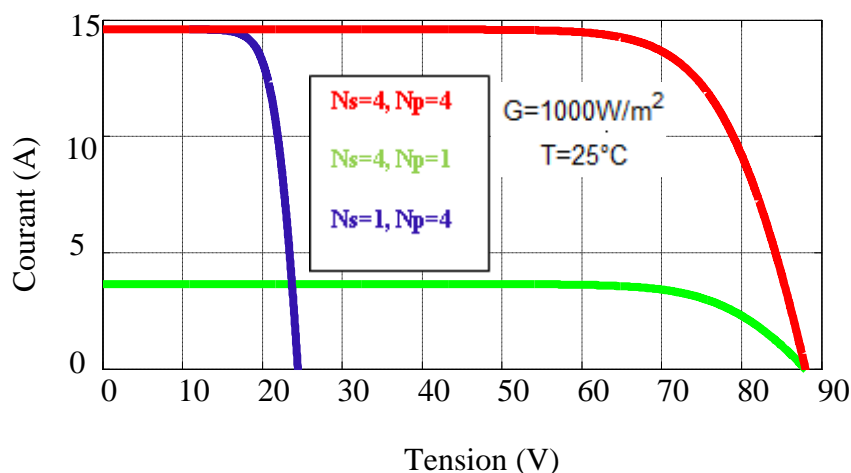


Figure I.10 Caractéristique $I=f(V)$ pour le groupement mixte des panneaux

- **I.9 Influence des différents paramètres :**
- **I.9.1 . Influence de l'éclairement :**

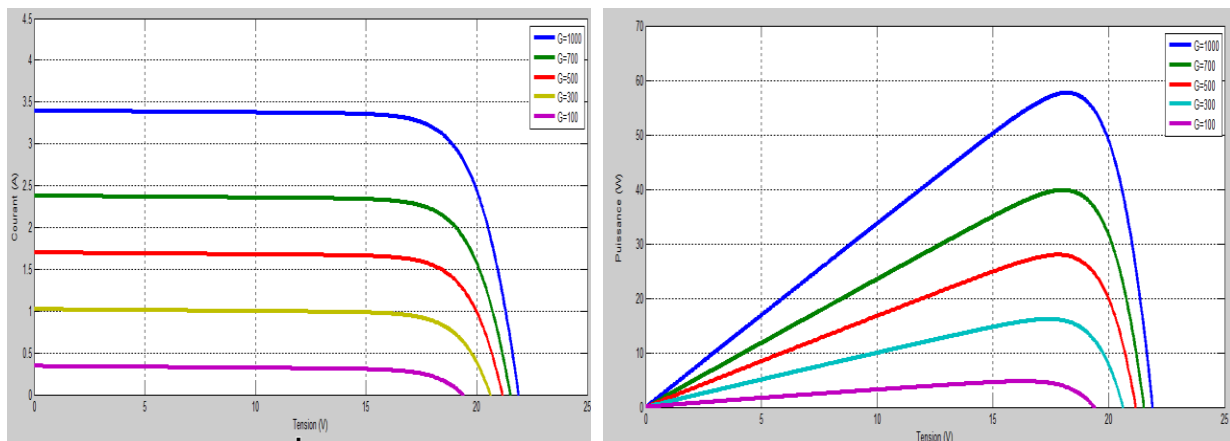


Figure I.11: Influence de l'éclairement sur les Caractéristiques I(V) et p(V)

Pour différents niveaux d'éclairement, **Figure I.11** on remarque que le courant est directement proportionnel à l'irradiation à ces niveaux d'éclairement, par contre la tension n'est pas très dégradée +lorsque l'irradiation baisse. Les courbes I(V) se décalent vers les valeurs croissantes permettant au module de produire une puissance électrique plus importante

I.9.2 Influence de la température :

Figure I.12 .Représente le comportement du même module sous une lumière de 1000W/m^2 et à des températures entre 15°C et 95°C . On remarque l'importance de l'augmentation de la tension lorsque la température diminue, et le courant gagne un petit peu d'intensité lorsque la température augmente, ceci peut-être expliqué par une meilleure absorption de la lumière, le gap baisse lorsque la température augmente. L'accroissement du courant peut être négligé au point de puissance maximale et même au comportement global de la cellule.

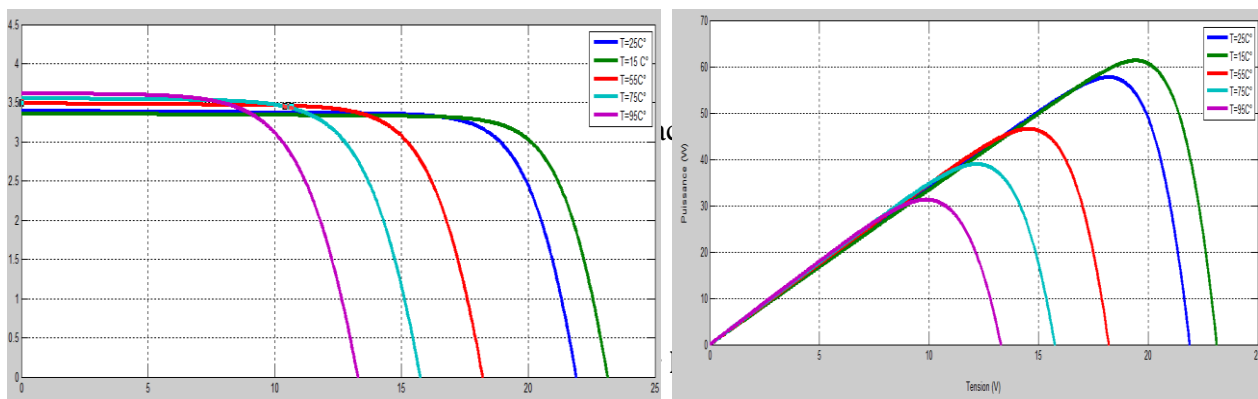


Figure I.12 : Influence de la température sur les caractéristiques(V) et p(V)

I.10 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques notions sur le soleil, son pouvoir énergétique et les propriétés de son rayonnement. Nous avons ensuite présenté la modélisation d'une cellule photovoltaïque et d'un générateur photovoltaïque, les caractéristiques du générateur PV avec ses performances. Ainsi, nous avons montré comment augmenter le courant ou la tension d'un générateur photovoltaïque ainsi nous avons montré bien l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement de la cellule, et constate que la puissance ne dépend pas seulement de la température mais dépend aussi de l'éclairement.

Pour un fonctionnement optimal d'un système photovoltaïque, il est nécessaire d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge, pour exploiter le maximum de puissance. Notre charge est le moteur est une machine asynchrone alimentée à travers un onduleur, que nous allons étudier dans le chapitre suivant.

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

II.1 INTRODUCTION :

En effet le moteur asynchrone est très répandu dans le marché ,présente des qualités exceptionnelles telles la robustesse, la fiabilité et cout moins élevé ,Mais le problème qui sera rencontré dans l'utilisation de ce type des machines, est la commande adéquate à l'application ou' on utilise le moteur asynchrone , à cause de la nature non linéaire de système d'équations qui caractérise ce moteur.

Pour les applications pompage photovoltaïque ou le problème d'adaptation ne se pose pas seulement par rapport a' la charge mais coté générateur, nous avons aussi rencontré certaines difficultés. Dans cette application, il n'est pas nécessaire d'imposer une valeur de vitesse, le fonctionnement en mode optimal et la quantité d'eau requise pour une journée sont plus importantes.

Le point de fonctionnement optimal de générateur photovoltaïque dépend de l' éclaircissement et de la température. On peut espérer satisfaire l'uniformité de ces conditions dans un générateur photovoltaïque en associant un MPPT au système, généralement, par l'insertion d'un convertisseur DC/DC entre le GPV et l'onduleur .

Ce chapitre a pour objectif de proposer une approche simple, ou` l'optimisation est réalisée sans avoir besoin d'ajouter un convertisseur DC/DC à la Chain, en agissant seulement sur la fréquence statorique du moteur, en utilisant la stratégie de la commande MLI.

II.2 Modélisation des convertisseurs de puissance :

Le hacheur est un convertisseur continue/continue permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue [20] .

II.2.1 Type des hacheurs :

Nous traitons dans cette partie des convertisseurs unidirectionnels en courant et en tension. Cela implique que la fluence d'énergie ne peut se faire, au sein du convertisseur, que Dans un seul sens. Cela revient également à considérer [20]

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

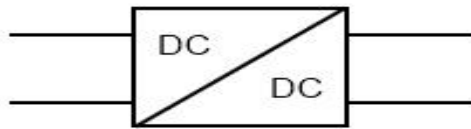


Figure II.1 Symbole d'un convertisseur DC-DC [20]

- des sources de tension non réversibles, unidirectionnelles en courant.
- des sources de courant non réversibles, unidirectionnelles en tension.
Cela conduit à l'étude des convertisseurs DC-DC les plus simples qui puissent être.
Dans ce cadre, on distingue deux familles de convertisseurs statiques (ou hacheurs).
- hacheur abaisseur (ou Buck).
- hacheur élévateur (ou boost).

III.2.2 Modélisation ET Simulation du hacheur boost

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage). Connue aussi sous le nom de « boost » ou hacheur parallèle ; son schéma de principe de base est celui de la figure 2. Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure.

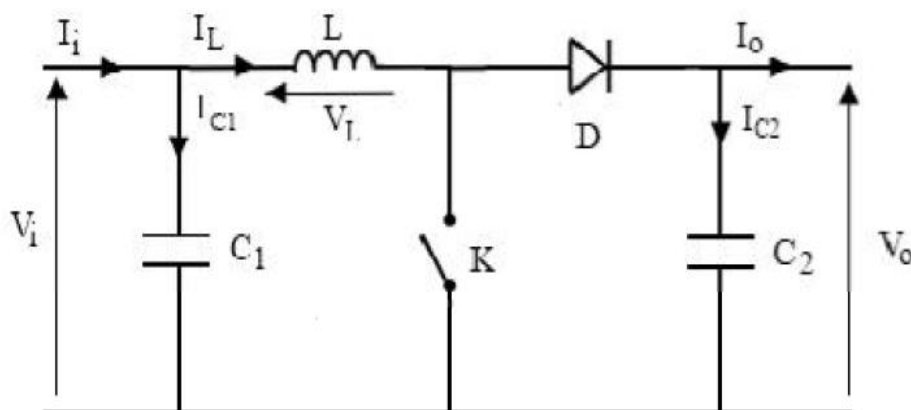


Figure II.2 Schéma électrique d'un hacheur boost[20]

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

II.2.3 Modèle mathématique équivalent

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la figure II .3 présente le circuit équivalent du boosta lorsque K est fermé c-à-d'entre $[0, \alpha Te]$.

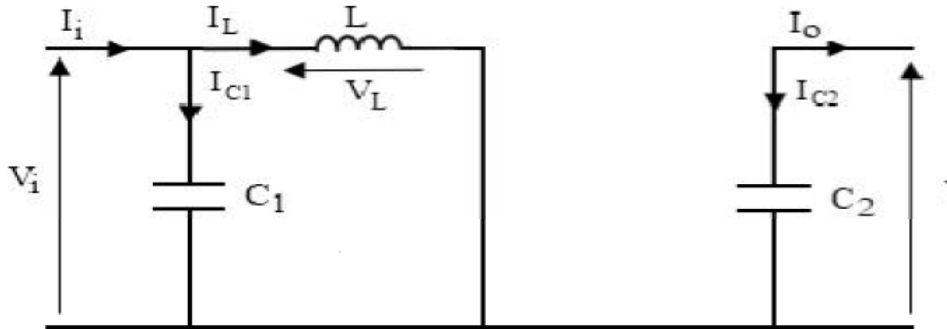


Figure II.3 Schéma électrique d'un hacheur boost fermé [20]

L'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents donnent les calculs suivants:

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II.1)$$

$$I_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -I_o(t) \quad (II.2)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) \quad (II.3)$$

L'état ouvert de l'interrupteur K, le circuit équivalent au fonctionnement du Boost est le suivant:

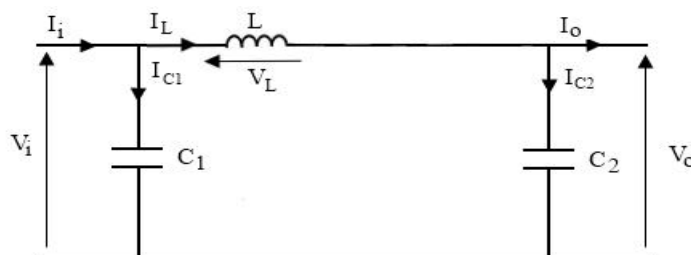


Figure II.4 : Schéma électrique d'un hacheur boost ouvert[20]

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (\text{II.4})$$

$$I_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_i(t) - I_o(t) \quad (\text{II.5})$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \quad (\text{II.6})$$

D'où la tension de sortie de le hacheur boosta est :

$$V_s = (1 - \alpha)V_e \quad (\text{II.7})$$

II.2.4 Modélisation du hacheur Buck

Le convertisseur Buck dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de hacheur dévolteur ou hacheur série. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant.

L'interrupteur K figure (II.5) peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage) [30]

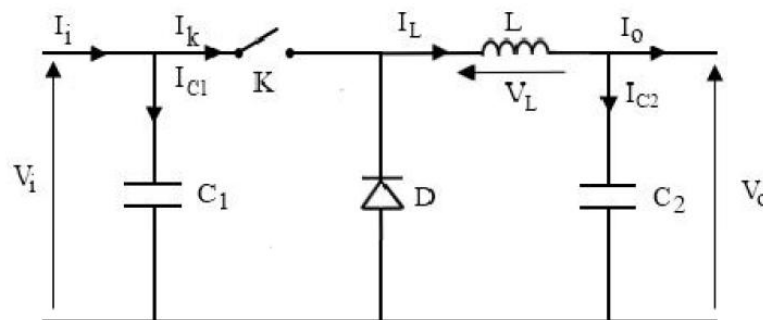


Figure II.5.Schéma électrique d'un hacheur Buck[20].

II.2.5 Modèle mathématique équivalent :

Pour savoir le comportement réel nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure (II.6) montre le schéma du circuit équivalent d'un convertisseur dévolteur avec le commutateur fermé, tandis que la figure (II.7) représente convertisseur dévolteur avec le commutateur ouvert pendant $(1 - \alpha)T_e$.

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

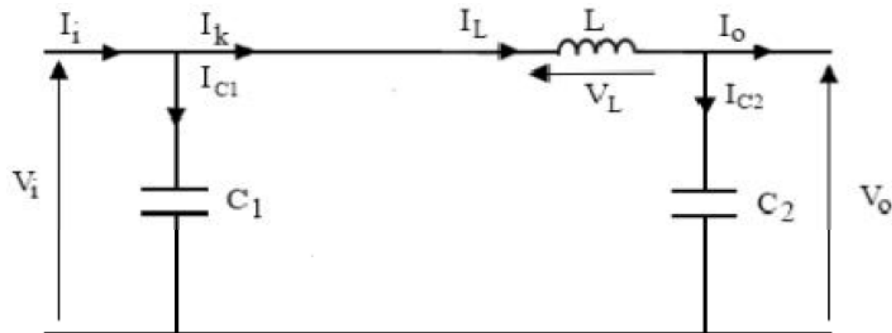


Figure II.6 Schéma électrique d'un hacheur Buck fermé[20].

Lorsqu'on applique la loi de Kirchoff sur le circuit ci-dessus on aura les équations suivantes:

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II.8)$$

$$I_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_L(t) - I_o(t) \quad (II.9)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \quad (II.10)$$

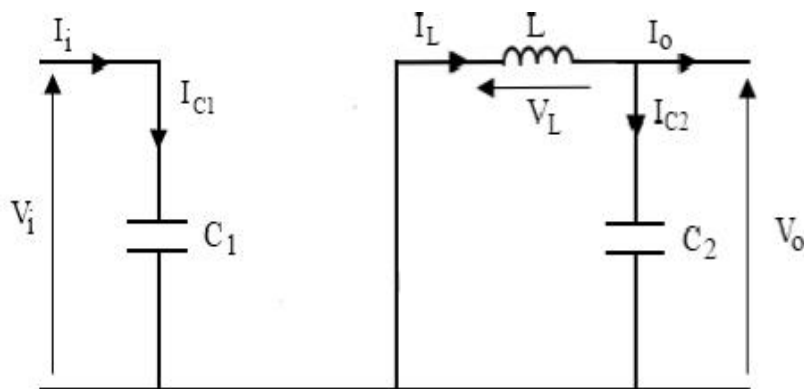


Figure II.7 Schéma électrique d'un hacheur Buck ouvert[20]

$$I_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) \quad (II.11)$$

$$I_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_L(t) - I_o(t) \quad (II.12)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = -V_o(t) \quad (II.13)$$

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

D'où la tension de sortie de le hacheur Buck est :

$$V_s = \alpha V_i \quad (II.14)$$

II.2.6 Le convertisseur Buck-Boost

La troisième topologie de base de ce convertisseur est donnée par la figure (II.7). Dans ce dispositif, la tension peut être augmentée ou diminuée selon le mode de commutation. Cependant, La tension de sortie est de signe opposé à la tension d'entrée. Tandis que, lorsque le transistor est sur la position (on) le courant dans l'inductance augmente, l'énergie est stockée ; et quand le commutateur tourne sur la position (off). La tension à travers l'inductance est renversée et l'énergie stockée se transfère vers la charge via la diode. Dans ce cas, l'équation de la tension aux bornes de la charge décrivant le fonctionnement en conduction continue est donnée comme suit:

$$V_s = \frac{\alpha}{1 - \alpha} V_i \quad (II.15)$$

II.3 Poursuite du point de puissance maximale Introduction

Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour fournir de l'énergie dans de nombreuses Applications électriques. Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, l'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking : MPPT) est utilisé pour contrôler les variations de la caractéristique courant-tension des cellules. A noter que la caractéristique d'une cellule est affectée par l'éclairement et la température.

Notre système doit donc pouvoir évoluer, rapidement et efficacement, en fonction des Changements d'illuminations et variation du point de puissance maximale (Maximum Power Point : MPP) [8]. Une possibilité aurait été de fixer un point de fonctionnement, en abaissant la tension du panneau et dans un même temps en augmentant le courant. Or ceci n'est plus valable lorsque le point de puissance maximale change. Ainsi le système MPPT doit suivre le point de fonctionnement optimal du panneau [3].

Dans le domaine de la conversion d'énergie, la commande MPPT contrôle le convertisseur DC-DC assurant l'interface de puissance du générateur photovoltaïque et la charge. Cette commande permet au générateur d'énergie de fournir une puissance maximale [12].

Dans ce contexte plusieurs méthodes de poursuite et algorithmes ont été mises en Application, chacune présente des avantages et des inconvénients. Ce chapitre donne une présentation générale des deux méthodes de poursuite du point de puissance maximale les plus répandues.

II.3.1.Définition

Les générateurs photovoltaïques ont une production électrique aléatoire directement dépendante des conditions météorologiques (température et irradiation). Ainsi, le

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

dimensionnement et l'exploitation optimale de l'énergie produite par ces générateurs exige l'utilisation de méthodes de gestion appropriées. De même, l'amélioration du rendement du système photovoltaïque nécessite la maximisation de la puissance du générateur PV qui permet d'établir la commande adéquate en vue de tirer. Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance [21].

II.3.2 Commande MPPT

Comme expliqué dans la section précédente, l'algorithme MPPT indique à un contrôleur de MPPT comment déplacer la tension d'opération. Puis, il est la tâche d'un contrôleur de MPPT d'apporter la tension à un niveau désiré et de la maintenir. Il y a plusieurs méthodes employées pour réaliser le MPPT [4].

II.3.2.1 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche

A) MPPT indirect

Ce type de commande MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{cc} , v_{co}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative de 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 commande qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variation 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 couteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques[22].

MPPT direct

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal(MPPT) 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 le quel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. pour cela, la tension du pinte 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 du MPPT. 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[22].

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

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

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.

II.3.2.2 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entres

A) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS (convertisseur statique)

Ce type de commande MPPT effectue une recherche du MPP selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. La commande nécessite alors la mesure du courant et de la tension en entrée du convertisseur.

D'autres types de commande MPPT sont basées sur la régulation du courant du GPV, supposant que ce dernier soit une image proportionnelle à la puissance. ceci permet de s'approcher le plus proche possible du courant maximal I_{max} . Ce type de commande ayant besoin d'un seul capteur est plus facile à mettre en œuvre et a un coût bas [23].

B) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe des algorithmes basés sur les paramètres de sortie du CS. En effet, ce type utilise la tension et le courant de sortie du CS ou alors uniquement l'un des principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de p_{max} est faite à travers le rendement du convertisseur. Plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, tous les systèmes avec un seul capteur sont imprécis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [23].

II.3.2.3 Les différentes techniques d'MPPT

En littérature on trouve fréquemment les techniques de maximisation de puissance suivantes :

- ❖ perturbation et observation (P&O)
- ❖ Méthode d'incrément de la conductance.
- ❖ Méthode de capacité parasite.

Chacune de ces techniques a ses propres avantages et inconvénients du point de vue simplicité, efficacité et robustesse [20].

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

II.3.2.4 Les commande MPPT à algorithmes performants:

Dans la littérature, nous pouvons trouver différents types d'algorithmes effectuant la recherche du PPM. Les trois méthodes les plus couramment rencontrées sont communément appelées respectivement Hill Colombin, Perturba&Observa (P&O) et l'incrément de conductance (Inc Cond). Dans notre travail on s'intéresse par la méthode Perturba&Observa (P&O, nous rappelons brièvement le principe de cette méthode [24].

II.3.2.5 Principe des commandes "Perturba and Observe" (P&O):

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension VPV d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance PPV qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure (II.8), on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension VPV engendre un accroissement de la puissance PPV, cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique PPV(VPV), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié[24].

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre convergence vers le nouveau PPM.

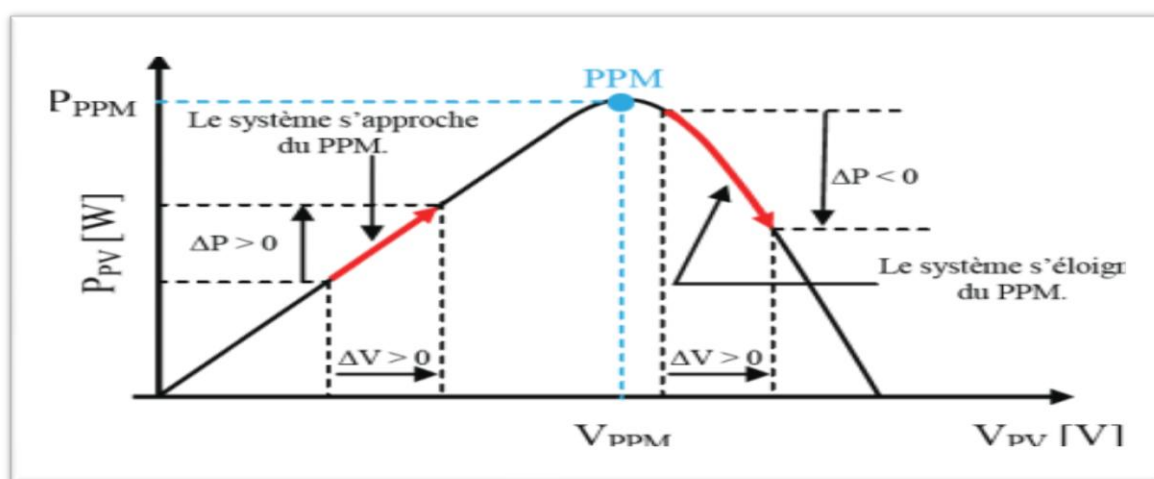


Figure II.8 P_{PV} (V_{PV}) d'un panneau solaire[22].

La figure (II.8) représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

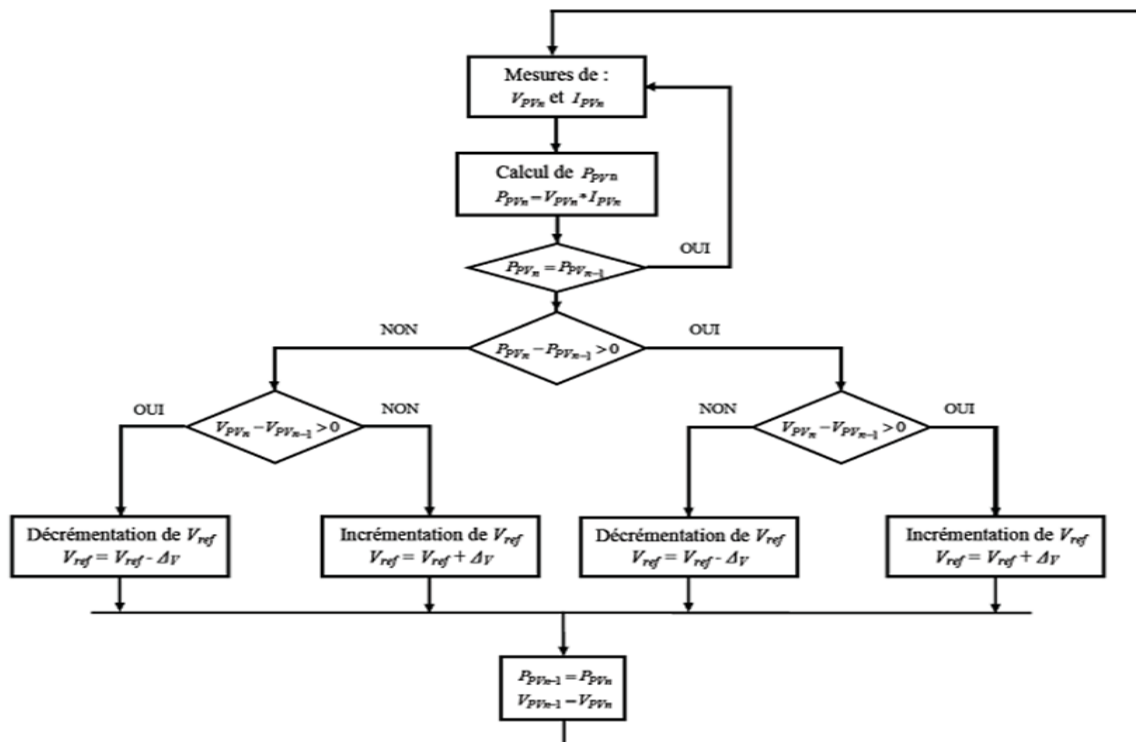


Figure II.9 Algorithme type de la méthode P&O[23]

La méthode P&O est aujourd’hui largement utilisée de par sa facilité d’implémentation, cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu’elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint. Ces oscillations peuvent être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une faible valeur d’incrément ralenti la recherche du PPM, il faut donc trouver un compromis entre précision et rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser.

Par contre, une étude comparative entre différents algorithmes de recherche a été effectuée par D. P. Homa en 2000 . Dans cet article, l’auteur a développé un banc de mesure et une procédure de test qui permettent d’évaluer différentes commandes MPPT sous les mêmes conditions climatiques durant une journée de fonctionnement. Les principes de recherche analysés sont, outre la méthode P&O, l’incrément de conductance et une méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert (VOC), détaillées toutes deux dans la suite du document. Il ressort de cette étude que la commande MPPT testée basée sur le principe P&O affiche un rendement MPPT de l’ordre de 96,5 %, cependant aucune indication n’est fournie par l’auteur sur la valeur de la variable d’incrément et si cette valeur est une valeur moyenne ou une valeur liée aux conditions climatiques. En effet, il est connu que ce type de commande permet

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

d'obtenir un rendement plus important durant une journée relativement ensoleillée, où le PPM évolue lentement et proportionnellement au soleil.

Par contre pour une journée présentant de forts changements d'irradiations très fréquents, cette commande présente plus de pertes, engendrées par le temps de réponse de la commande pour atteindre le nouveau PPM.

En effet, si on analyse en détail ce mode de recherche, il présente des erreurs d'interprétation au niveau de la direction à suivre pour atteindre le PPM lorsque des variations brusques des conditions climatiques ou/et de charge apparaissent, comme cela est décrit sur la figure II.10

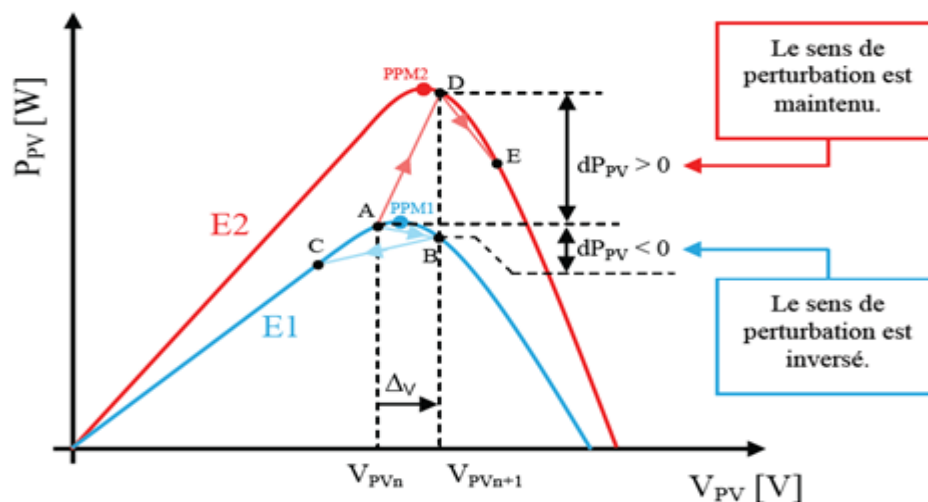


Figure II.10 Divergence de la commande P&O lors de variations d'irradiation [23].

Pour comprendre, prenons l'exemple d'un éclairage donné, noté E1, avec un point de fonctionnement se situant en A. Suite à une perturbation de tension de valeur ΔV , ce dernier bascule en B, impliquant, dans un fonctionnement sans variation d'éclairage, une inversion du signe de la perturbation due à la détection d'une dérivée de la puissance négative entraînant en régime d'équilibre, des oscillations autour du PPM causées par la trajectoire du point de fonctionnement entre les points B et C. On peut noter que des pertes de transfert de la puissance seront plus ou moins importantes en fonction des positions respectives des points B et C par rapport à A. Lors d'un changement d'irradiation (évolution des caractéristiques P(V) du module de (E1 à E2), le point de fonctionnement se déplace alors de A vers D, qui est interprété dans ce cas-là, par une variation positive de la puissance. Le système n'ayant pas la

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

possibilité de voir l'erreur de trajectoire lié au changement de caractéristique, le signe de la perturbation ne change pas et le système s'éloigne momentanément du PPM en direction du point E. Au mieux, ceci occasionne une non-optimisation de la puissance momentanée.

Cependant, dans le pire des cas, le système de recherche peut se perdre et se retrouver en butée, soit en circuit ouvert soit en court-circuit entraînant une perte définitive du PPM. Ceci entraînant, en cas de conditions météorologiques défavorables de fortes lacunes au niveau de la commande.

II.4. Méthode a rendement constant du moteur

Le rendement d'un moteur à induction alimenté par une source photovoltaïque se trouve dégradé une fois que l'éclairement varie loin de sa valeur nominale. Pour surmonter ce handicap, une loi de commande judicieuse basée sur un contrôle de la fréquence est suggérée

Le rendement de moteur et, par conséquence, la puissance fournie à la charge sont ajustées selon des états d'isolation en commandant la fréquence de l'onduleur. Ceci élimine la disparité entre la puissance maximum qui est fournie par la source et la puissance qui est exigée par la charge [22].

Généralement, la puissance exigée par une charge mécanique dépend de sa vitesse et du système PV, la vitesse nominale du moteur est conçue pour le niveau maximal d'isolation, sous le quel le système fonctionne bien. quand une variation de l'insolation apparait, le rendement de moteur chute et même fonctionnement instable peut se produire .Ceci habituellement est indiqué par des oscillations dans la vitesse de moteur, mais l'algorithme de commande de fréquence évite ces inconvénients .La figure III.2 montre le schéma synoptique d'un système photovoltaïque, il est constitué généralement par :

- Le générateur photovoltaïque.
- Le convertisseur statique DC-AC.
- Le convertisseur statique DC-DC
- La commande MPPT.
- La machine asynchrone.

Dans le cas de la charge telle que les pompes centrifuges qui présentent un couple résistant parabolique en fonction la vitesse donc :

$$c_r = k_{ch}\Omega^2 = \frac{k_{ch}}{p^2} * \omega^2 \quad (\text{II.16})$$

$$\text{On a } \omega_s = 2\pi f_r \text{ et } \omega = \omega_s(1 - s) \quad (\text{II.17})$$

Donc la relation (III.1) devient :

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

$$c_r = \frac{k_{ch}}{p^2} * \omega_s(1 - s)^2 = \frac{k_{ch}}{p^2} * (2\pi)^2 * fré^2(1 - s)^2 \quad (II.18)$$

D'autre part, nous avouas :

$$c_r = \frac{p_m}{\Omega} = \frac{\eta \cdot p_{abs} \cdot p}{\omega_s(1-s)} \quad (II.19)$$

Avec :

c_r : Couple résistant

p_m : puissance mécanique

s : Glissement

k_{ch} : Coefficients de proportionnalité [$(\frac{N}{rad} \cdot s^{-1})^2$]

p : Nombre de pair de pole.

Ω : vitesse angulaire de rotation ($\frac{rad}{s}$)

ω_s : pulsation des courants statoriques ($\frac{rad}{s}$) $fré$: fréquence des courants statorique ($\frac{rad}{s}$)

ω : vitess électrique de rotation

η : Rendement du moteur.

Par arrangement des équations(III.3) et (III.4),la relation entre la puissance d'entrée en fonction de fréquence est :

$$\eta \cdot p_{abs} = \frac{k_{ch}}{p^3} * (2\pi)^3 \cdot fté^3(1-s)^3 = c \cdot fré^3 \cdot (1 - s)^3 \quad (II.20)$$

$$C = \frac{K_{ch}}{p^3} * (2\pi)^3 \quad (II.21)$$

Par un ajustement adequat de la fréquence de sortie de l'onduleur **fré**, la valeur η_n du rendement peut être maintenue en accord avec le changement de l'éclairement. Pour les conditions nominales, on a l'égalité suivante :

$$p_{absn} \eta_n = C(1 - s_n)^3 fré_n^3 \quad (II.22)$$

η_n Et s_n sont respectivement le rendement optimal du moteur et

Glissement correspondant, obtenu dans des conditions nominales ($E_n = 1000w/m^2$). La puissance d'entrée, égale à la puissance de sorti Maximale du générateur photovoltaïque au niveau nominal d'ensoleillement, Et $fré_n$ est la fréquence nominale ($fré_n = 50hz$).

Si l'éclairement change, l'équation(II.7) devient :

$$p_{abs} \eta = C(1 - s_n)^3 fré_n^3 \quad (II.23)$$

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

fré_n Pour le maintien du rendement η_n avec une valeur de glissements_n , des équations (II.7) et (II.8) , la nouvelle fréquence de l'onduleur devient :

$$Fré = \sqrt[3]{\frac{p_{abs}}{p_{absn}}} \quad (II.24)$$

A partir de l'équation(III.1) , la tension d' alimentation de la motopompe est :

$$v_m = \sqrt{\frac{p_{abs} * Z_{eq}^2}{3 * R_{eq}}} \quad (II.25)$$

La tension générée par le GPV est :

$$U_{PV} = \frac{v_m \sqrt{2}}{r} \quad (II.26)$$

Dans le présent travail, le rendement nominal du moteur et le glissement sont : η_n = 0.78 et s_n = 0.0333.

La stratégie de commande est :

- Augmentation la fréquence de signal de commande d'onduleur quand la puissance d'entrée est plus grande que la puissance précédente, afin de réduire le glissement de moteur.
- Diminution la fréquence de signal de commande comme effort de maintenir le glissement à sa valeur optimale quand la puissance d'entrée est basse.

La fréquence de signal de commande est fixée par le calcul de la puissance maximale de générateur photovoltaïque.

II.5 Modèle de simulation

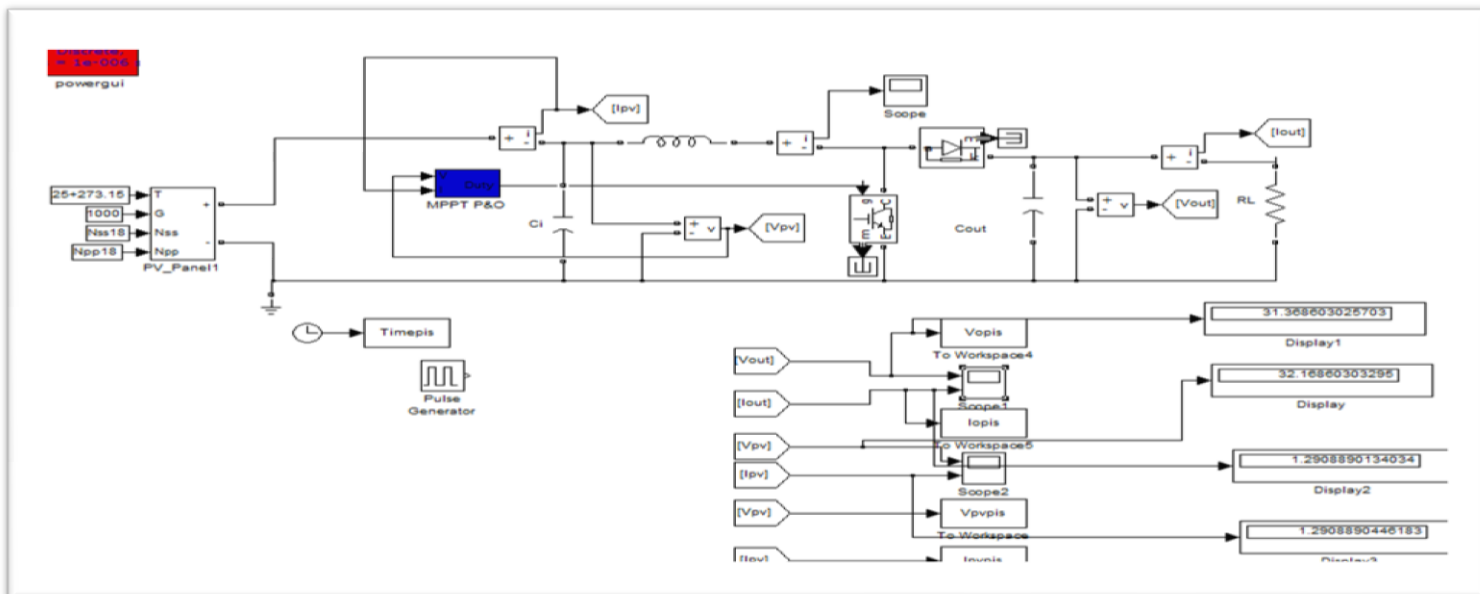


Fig I.11 Bloc de la cellule solaire avec convertisseur dan Simulink Matlab

Chapitre II Convertisseur DC-DC Dans les systèmes PV et Commande spécifiques en poursuite du point de puissance maximum(MPPT)

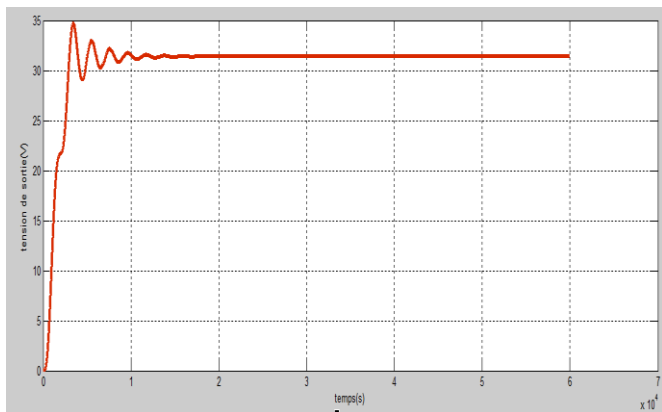


Figure II.12: Tension de sortie du convertisseur

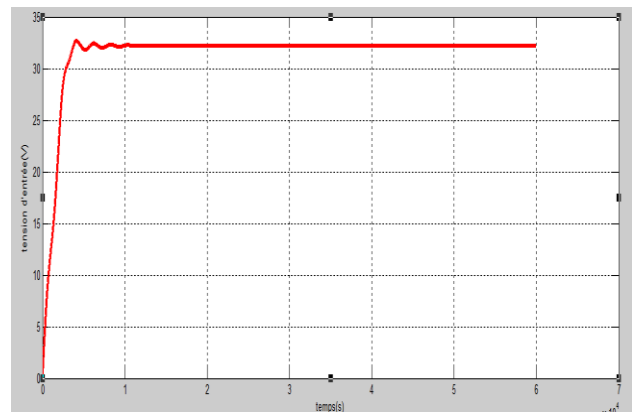


Figure II.13: Tension d'entrée du convertisseur

D'après les résultats de simulation obtenus, on remarque que la poursuite du point de puissance maximale basée sur l'algorithme de commande directe de la sortie est performante soit du côté poursuite du point de puissance maximale du système photovoltaïque soit du côté de régler la tension désirée du sortie ;car le régulateur gère le système suivant les fonctions décrites précédemment.la tension de sortie se stabilise à la tension de référence voulue après un régime transitoire causé par l'accumulation d'énergie dans la bobine.

II.6 CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté la commande MPPT de convertisseur (DC/AC) pour rechercher le point où la puissance du générateur photovoltaïque est maximale, sous différent condition de fonctionnement. Nous avons présenté quelques techniques et nous somme penché sur la méthode à rendement constant du moteur à cause de la simplicité de leurs algorithmes.

On conclut que l' MPPT joue un rôle très important dans les systèmes d'alimentation photovoltaïques parce qu'il maximise le rendement de système photovoltaïque. Le critère D'optimisation choisie permet d'une part l'amélioration du rendement du moteur à induction et assure un fonctionnement stable d' autre part. En conséquence, la diminution de cout par la diminution du nombre des panneaux PV par rapport un système PV sans MPPT.

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 variés de même que les solutions techniques. Toutefois, depuis une vingtaine d'années, les entraînements par moteurs électriques connaissent un essor important. Ceci est dû en grande partie aux progrès réalisés dans le domaine de la commande des machines à courant alternatif, et est grâce au développement de la technologie des composants de l'électronique de puissance, et l'apparition des processus numériques à fréquence élevée et à 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 sain, ainsi en cas de défaillance à la fin de ce chapitre.

III.2 description et modélisation de la MAS

III.2.1 description :

La machine asynchrone (figure III.1) se compose d'un primaire (stator), portant un bobinage logé dans des encoches et relié à la source d'alimentation et d'un secondaire (rotor).

L'enroulement rétorque peut se présenter sous deux formes :

Dans les rotors bobinés (à bagues) l'enroulement est exécuté comme un enroulement triphasé saturique connecté en étoile. Les extrémités des bobines rotoriques sont sorties par l'intermédiaire des bagues tournantes et des balais fixes reliés à l'extérieur. Ce mode

D'exécution permet l'accès direct aux grandeurs électriques rotorique ainsi que la modification de certaines caractéristique du moteur par insertion d'un rhéostat extérieur ou par adjonction d'un convertisseur statique.

Dans les rotors à cage, l'enroulement est constitué de barres nues court-circuitées en permanence aux extrémités par des anneaux[8]. On

distingue trois types de rotor, en cage d'écureuil simple, à encoches profondes, en double cage d'écureuil. Ces rotors confèrent à la machine des profils de couples différents.

Dans notre travail le moteur asynchrone utilisé est caractérisé par :

- La présence d'un seul bobinage triphasé alimenté par une source extérieure au stator.
- La présence d'un « bobinage » massif en court-circuit au rotor[8].

III.2.2 Hypothèse simplificatrices

La modélisation de la machine asynchrone s'appuie sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices qui sont : [8]

1. la répartition spatiale de la densité de flux (ou induction) magnétique au travers de l'entrefer sera supposée parfaitement sinusoïdale.
2. les courants induits dans le circuit magnétique (courants de Foucault) seront supposés négligeable.
3. Circuit magnétique non saturé et à perméabilité constante.
4. L'entrefer constant (pas d'effet d'encoches).

5. L'alimentation est réalisée par un système de tensions triphasées symétriques.
6. La constance des résistances statoriques et rotoriques.

III.2.3 Modélisation dans le plan abc:

En partant des tensions imposées sur les enroulements statoriques et rotoriques, on cherche à déterminer l'expression du couple électromagnétique puis de la vitesse. La représentation schématique de la machine asynchrone dans le repère (abc) est donnée par la figure (III.1) [9].

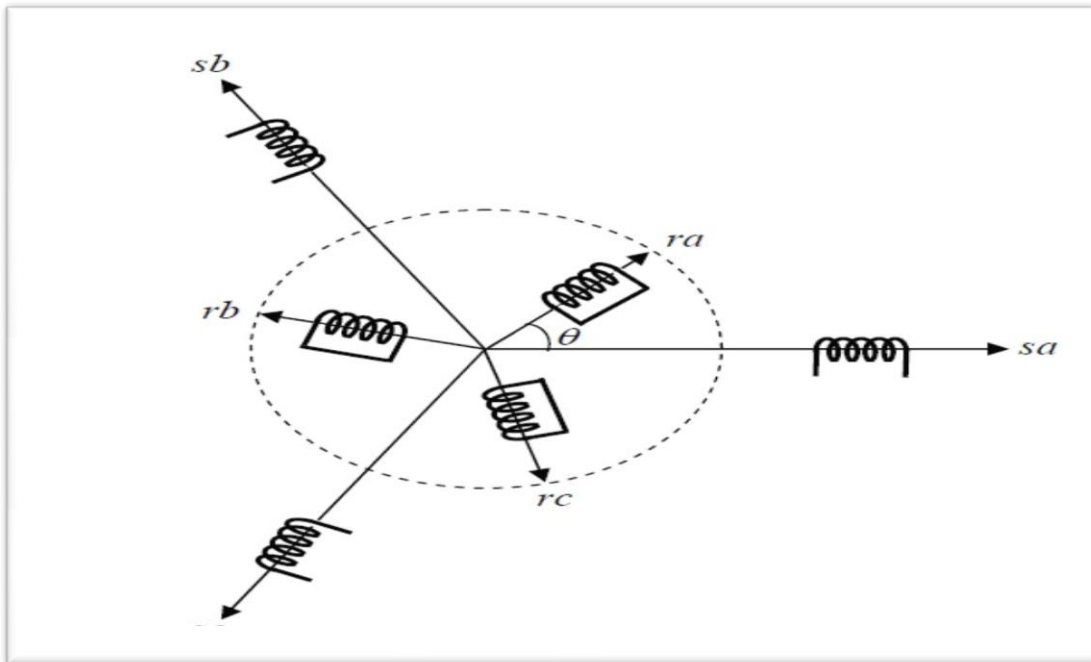


Fig.III.1 Représentation spatial des enroulements de la MAS[9]

III.2.3.1 Equation générale de machine asynchrone

Le comportement de la machine asynchrone est entièrement défini par trois types d'équations à savoir :

- Equation électriques
- Equation magnétiques
- Equations mécaniques

III.2.3.2 Equation électrique

Les équations de tension des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques sont [10] :

Pour la stator :

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{sm} & 0 & 0 \\ 0 & R_{sm} & 0 \\ 0 & 0 & R_{sm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{as} \\ \Phi_{bs} \\ \Phi_{cs} \end{bmatrix} \quad (III.1)$$

Pour la rotor :

$$\begin{bmatrix} v_{ar} \\ v_{br} \\ v_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ar} \\ \Phi_{br} \\ \Phi_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{III.2})$$

En désignant par

v_{as}, v_{bs}, v_{cs} : Les tensions appliquées aux trois phases statoriques

i_{as}, i, i_{cs} : Les courants qui traversent les trois phases statoriques.

$\Phi_{as}, \Phi_{bs}, \Phi_{cs}$: Les flux totaux à travers ces enroulements.

r_s : Résistance d'une phase statorique

i_{ar}, i_{br}, i_{cr} : Les courants qui traversent les trois phases rotoriques.

$\Phi_{ar}, \Phi_{br}, \Phi_{cr}$: Les flux totaux à travers ces enroulements.

r_r : Résistance d'une phase rotoriques.

Les équations (I.1). et (I.2) peuvent s'écrire sous forme matricielle :

$$\begin{cases} [v_{abc-s}] = [R_{sm}][i_{abc-s}] + \frac{d}{dt}(\Phi_{abc-s}) \\ [v_{abc-r}] = 0 = [R_r][i_{abc-r}] + \frac{d}{dt}(\Phi_{abc-r}) \end{cases} \quad (\text{III.3})$$

III .2.3.3. Equation magnétique:

L'expression du flux total à travers les trios bobine statorique et rotorique sera

$$\begin{bmatrix} \Phi_{as} \\ \Phi_{bs} \\ \Phi_{cs} \\ \Phi'_{ar} \\ \Phi'_{br} \\ \Phi'_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_s & M_s & M_s & M'_1 & M'_2 & M'_3 \\ M_s & I_s & M_s & M'_2 & M'_1 & M'_3 \\ M_s & M_s & I_s & M'_3 & M'_2 & M'_1 \\ M'_1 & M'_2 & M'_3 & I'_r & M'_r & M'_r \\ M'_3 & M'_1 & M'_2 & M'_r & I'_r & M'_r \\ M'_2 & M'_3 & M'_1 & M'_r & M'_r & I'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \\ i'_{ar} \\ i'_{br} \\ i'_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{III.4})$$

Avec :

$$\begin{cases} M'_1 = M' \cdot \cos(\theta_r) \\ M'_2 = M' \cdot \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ M'_3 = M' \cdot \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

Et peuvent être écrire les équations III.05 et III.06 sous la forme matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} \Phi_{abc-s} \\ \Phi_{abc-r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [l_{ss}] & [M'_{sr}] \\ [M_{rs}] & [l'_{rr}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{abc-s} \\ i_{abc-r} \end{bmatrix} \quad (\text{III.6})$$

Avec :

$$[l_{ss}] = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s \\ M_s & l_s & M_s \\ M_s & M_s & l_s \end{bmatrix}, \quad [l'_{rr}] = \begin{bmatrix} l'_r & M'_r & M'_r \\ M'_r & l'_r & M'_r \\ M'_r & M'_r & l'_r \end{bmatrix} \quad (\text{III.7})$$

$$[M'_{sr}] = [M'_{rs}]^T = M' \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta_r) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta_r) \end{bmatrix} \quad (\text{III.8})$$

Telle que :

l_{ss} : Matrice [3,3] est appelée matrice inductance du stator

$[M_{rs}]$: Matrice [3,3] également, est la matrice inductance mutuelle entre le stator et le rotor.

$[M_{sr}]$: est une matrice circulante en ce sens que la 2^{ème} ligne est obtenue à partir de la 1^{ère} en décalant d'un cran vers la droite chaque terme. L_s : Inductance propre d'une phase statorique.

M_s : Inductance propre d'une phase rotorique.

M_{sr} : représente la Valeur maximale de l'inductance mutuelle entre une

Phase statorique et une phase rotoriques lorsque les deux axes se coïncident.

$[l_{rr}]$: Matrice [3,3] est appelée matrice inductance du rotor

$[M_{rs}]$: Matrice des inductances mutuelles rotoriques.

$[l_r]$: Inductance propre d'une phase rotoriques.

M_r : Inductance mutuelle entre phases rotoriques.

On notera que la matrice des mutuelles du rotor est obtenue en transposant celle du stator, où

$$[M_{rs}] = [M_{sr}]^T$$

III.2.3.4. Equations mécaniques

L'équation de mouvement est donnée par [1]:

$$\frac{d\Omega_r}{dt} = \frac{(C_e - C_r - f_r \Omega_r)}{J} \quad (\text{III.9})$$

Avec:

c_e : couple électromagnétique

c_r : couple résistant

Ω_r la vitesse de rotation de la machine

J : inertie de la machine

$$c_e = p[i_{sa} \quad i_{sb} \quad i_{sc}] \frac{d}{dt} [M_{rs}] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{III.10})$$

Les équations précédentes font apparaître des difficultés pour la résolution analytique du fait que les termes trigonométriques de la matrice des inductances varient en fonction de la position. Cela conduit à l'usage de la transformation de Park, qui permettra de rendre ces termes indépendants de la position.

III.2.4 Modélisation de Park de la machine asynchrone

III.2.4.1 Principe de la transformation de Park

La transformation directe de Park est définie par la matrice [P]. Aux vecteurs originaux [v abc], [i abc] et [abc], la transformation de Park fait correspondre les vecteurs [v dq0], [i dq0] et [dq0]. La transformation de Park est appliquée de manière identique au vecteur de tensions, de courants, et de flux [x dq0] = [x_o x_d x_q]t. Le vecteur « x_o » représente la composante homopolaire, normale au plan formé par les vecteurs « x_a », « x_b », et « x_c ». Les vecteurs « x_d » et « x_q » représentent les vecteurs diphasés qui correspondent aux vecteurs « x_a », « x_b », et « x_c » [14,15]. La transformation de Park est définie par :

$$[x_{dq0}] = [p][x_{abc}] \quad (\text{III.11})$$

$$[p] = c \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & \cos(\alpha - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\alpha - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin \alpha & -\sin(\alpha - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\alpha - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.12})$$

Avec ($\alpha = \theta_s$) pour le stator, ou ($\alpha = \theta_r$) pour le rotor. c est une constante qui peut prendre soit les valeurs (2/3) ou 1 pour la non conservation de puissance, soit la valeur $\sqrt{(2/3)}$ pour une conservation de puissance [18].

$$\text{Dans notre cas, nous prendrons : } c = \sqrt{(2/3)} \quad (\text{II.13})$$

On remarque que « θ_s » et « θ_r » sont naturellement liés à « α » par la relation rigide : ($\theta_s - \theta_r$) = α

$$\text{On déduit par dérivation : } (\omega_s - \omega_r) = \frac{d\alpha}{dt} = \omega = p\Omega \quad (\text{II.14})$$

- ✦ ω_s : vitesse des axes « d, q » dans le repère statorique,
- ✦ ω_r : vitesse des axes « d, q » dans le repère rotoriques,

La transformation inverse de Park a pour expression

$$[p]^{-1} = c \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \cos(\alpha - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\alpha - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\alpha - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\alpha - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

III.2.4.2 Modèle diphasée

Le modèle diphasé de la MAS s'effectue par une transformation du repère triphasé en un repère diphasé, qui n'est en fait qu'un changement de base sur les grandeurs physiques (tensions, flux, courants), il conduit a des relations indépendantes de l'angle et à la réduction d'ordre des équations de la machine. La transformation la plus connue par les électrotechniciens est celle de *Park (1929)* [11].

La figure (I.3) met en relief l'axe direct *d* du référentiel de *Park*, et l'axe en quadrature d'indice *q*.

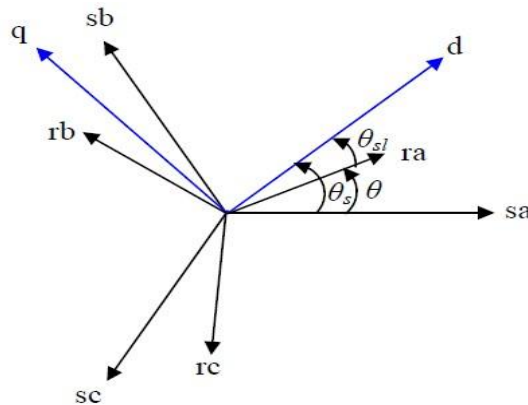


Figure. III.2 Position des axes dq par rapport aux axes de la machine[11].

Pour simplifier les équations, les repères de Park des grandeurs statoriques et rotoriques doivent coïncider, ceci est possible grâce à la relation suivante:

$$\theta_s = \theta_{sl} + \theta \tag{III.16}$$

La matrice de transformation de Park $[P(\theta_i)]$ est défini comme suit:

$$[p]^{-1} = c \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_i & \cos(\theta_i - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_i - \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta_i) & -\sin(\theta_i - \frac{2\pi}{2}) & -\sin(\theta_i - \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \tag{III.17}$$

A)La matrice de Concordia

est donnée par : lorsque θ_i est nul dans ce cas les axes d et q sont appelé α et β , (repère lie stator). L'équation (II-16) deviens se la forme suivant :

$$[c] = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \tag{III.18}$$

b) La matrice de Concordia inverse :

$$[c]^{-1} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.19})$$

Transformation de Park directe est alors:

$$[x_{dq}] = [p(\theta_i)]^{-1} [x_{abc}] \quad (\text{III.20})$$

Tell que :

L'indice X : représente les variables considérées de la machine qui sont tensions, courants ou flux. La variable X_0 représente la composante homopolaire, ajoutée pour rendre la transformation réversible, elle est nulle lorsque le neutre n'est pas branché [6]. La transformation de Park inverse est nécessaire afin de revenir aux grandeurs triphasées, elle est définie par:

$$[x_{abc}] = [p(\theta_i)]^{-1} [x_{dqo}] \quad (\text{III.21})$$

Tell que :

θ_i : est l'angle entre l'axe d et l'axe de référence dans le système triphasé.

III.2.4.3 Choix du repère d q

Ce qui rend la transformation de Park attrayante, est que l'orientation du repère dq peut être quelconque. Il existe trois choix importants, le repère dq peut être fixé au Stator, au rotor ou au champ tournant, Selon l'objectif de l'application

- Repère d'axes dq fixe lié au stator ou repère stationnaire ($\theta_s = 0$). Les grandeurs électriques évoluent en régime permanent électrique à la pulsation statorique ω_s . Cette méthode sera retenue très souvent dans l'étude des observateurs.
- Repère d'axes dq lié au rotor ($\theta_{sl} = 0$). Les grandeurs évoluent en régime permanent électrique à la pulsation des courants rotoriques ω_{sl} . Elles sont de faible fréquence (fréquence de glissement).
- Repère d'axes dq lié à l'un des flux de la machine. Le modèle est simplifié par

l'utilisation d'équations plus simples. En régime permanent électrique les grandeurs du modèle sont continues [12].

III. 2.4.4 Référentiel lié au champ tournant

Symbolisé par le vecteur flux statorique, le champ tournant est le champ créé par le bobinage statorique et qui tourne, en régime permanent, à la vitesse de synchronisme. Si on choisit de fixer le repère dq au champ tournant alors on a:

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s \Rightarrow \omega_{sl} = \omega_s - \omega = \omega_s - p\Omega \quad (\text{III.22})$$

où :

ω_s : est la pulsation statorique

ω : est la pulsation rotoriques

ω_{sl} : est la pulsation du glissement

III. 2.4.5 Equation électrique :

Les équations électriques de la MAS dans un repère de Park lié au champ tournant sont :

$$\text{au stator : } \begin{cases} v_{sd} = r_s i_{sd} + \frac{d\phi_{sd}}{dt} - \omega_s \phi_{sq} \\ v_{sq} = r_s i_{rq} + \frac{d\phi_{sq}}{dt} + \omega_s \phi_{sd} \end{cases} \quad (\text{III.23})$$

$$\text{au rotor : } \begin{cases} v_{rd} = 0 = r_r i_{rd} + \frac{d\phi_{rd}}{dt} - (\omega_s - p_n) \phi_{rd} \\ v_{rq} = 0 = r_r i_{rq} + \frac{d\phi_{rq}}{dt} - (\omega_s - p_n) \phi_{rq} \end{cases} \quad (\text{III.24})$$

Ceux des flux totaux ayant pour valeur:

$$\text{➤ pour le stator: } \begin{cases} \phi_{sd} = l_s i_{sd} + M_{I_{rd}} \\ \phi_{sq} = l_r i_{sq} + M_{I_{rq}} \end{cases} \quad (\text{III.25})$$

$$\text{➤ pour le rotor: } \begin{cases} \phi_{sd} = l_r i_{rd} + M_{I_{sd}} \\ \phi_{sq} = l_r i_{rq} + M_{I_{sq}} \end{cases} \quad (\text{III.26})$$

où :

$L_s = l_s - M_s$: Inductance cyclique propre statorique.

$L_r = l_r - M_r$: Inductance cyclique propre rotorique.

$M = \frac{3}{2} M'$: Inductance cyclique mutuelle entre l'armature du stator et l'armature du rotor.

III. 2.4.6 Equations mécaniques

Le modèle électrique doit être complété par les expressions du couple électromagnétique et de la vitesse, décrivant aussi le mode mécanique.

III.2.4.7 Le couple électromagnétique C_e :

$$C_e = \frac{3}{2} p \frac{M}{L_r} (\phi_{dr} I_{qs} - \phi_{ds} I_{qr}) \quad (\text{III.27})$$

III.3 Référentiel lié au rotor

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \omega \Rightarrow \omega_{sl} = \frac{d\theta_{sl}}{dt} = 0 \quad (\text{III.28})$$

III.4 Référentiel lié au stator

Dans notre étude, parce que on appliqué la machine, par cette référentielle, il se traduit par les conditions :

$$\frac{d\theta_s}{dt} = 0 \Rightarrow \omega_{sl} = \frac{d\theta_s}{dt} = -\omega \quad (\text{III.29})$$

Le système d'équations qui modélise la machine asynchrone à cage dans le repère fixe devient alors:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{s\alpha} = r_s i_{s\alpha} + \frac{d\phi_{s\alpha}}{dt} \\ V_{s\beta} = r_s i_{s\beta} + \frac{d\phi_{s\beta}}{dt} \\ V_{r\alpha} = r_r i_{r\alpha} + \frac{d\phi_{r\alpha}}{dt} + \omega \phi_{r\beta} \\ V_{r\beta} = r_r i_{r\beta} + \frac{d\phi_{r\beta}}{dt} + \omega \phi_{r\alpha} \end{array} \right. \quad (\text{III.30})$$

La relation entre les flux et les courants est donnée par le système d'équations.

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi_{s\alpha} = L_s i_{s\alpha} + M_{sr} i_{r\alpha} \\ \phi_{s\beta} = L_s i_{s\beta} + M_{sr} i_{r\beta} \\ \phi_{r\alpha} = L_r i_{r\alpha} + M_{sr} i_{s\alpha} \\ \phi_{r\beta} = L_r i_{r\beta} + M_{sr} i_{s\beta} \end{array} \right. \quad (\text{III.31})$$

III.4.1 Equations mécaniques

L'équation du couple électromagnétique et de mouvement sont définis comme suit:

$$C_e = p \frac{M}{L_r} (\phi_{r\alpha} i_{s\beta} - \phi_{r\beta} i_{s\alpha}) \quad (\text{III.32})$$

$$j \frac{d}{dt} \Omega_r = C_e - C_r \quad (\text{III.33})$$

$$\omega_r = p \Omega_r \quad (\text{III.34})$$

III. Modélisation de l'alimentation de la MAS

Les onduleurs de tension, associés aux machines à courant alternatif, sont de nos jours très largement utilisés dans les systèmes d'entraînement industriels. En premier lieu, les progrès en matière de semi-conducteur ont permis la réalisation de convertisseurs statiques de plus en plus performants. En second lieu, l'évolution des techniques numériques, notamment l'utilisation sans cesse grandissante des processeurs de signaux (DSP, "Digital Signal Processing") et des systèmes à

base d'architecture reconfigurable (FPGA,"*Field Programmable Gate Array*"), permet désormais d'exécuter en temps réel des algorithmes complexes de contrôle des convertisseurs [13].

III.5 Introduction

L'onduleur de tension assure la conversion de l'énergie continue vers l'alternatif (*DC/AC*). Cette application est très répandue dans le monde de la conversion d'énergie électrique aujourd'hui.

L'onduleur peut être utilisé à fréquence fixe, par exemple alimenter un système alternatif à partir d'une batterie, ou à fréquence (*MLI*) variable pour la variation de vitesse des machines électriques.

L'onduleur de tension à MLI permet d'imposer à la machine des ondes de tensions à amplitudes et fréquences variables à partir du réseau standard 230/400V, 50Hz. La structure du convertisseur statique qui alimente la machine est constituée essentiellement, d'un pont redresseur (*AC/DC*) connecté au réseau, contrôlé ou pas [14]. Après redressement, la tension (étage continu) est filtrée par des composants passifs C ou LC, pour être finalement appliquée à l'onduleur.

III.5.1 Définition des convertisseurs DC-AC :

Un onduleur est un convertisseur statique ,assurant la conversion de Tension continue vers l'alternative pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue, il faut découper la tension d' entrée et l'appliquer tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre il est-donc possible de produire à la sortie du convertisseur une tension alternative de valeur moyenna nulle cette tension peut comporter un ou plusieurs créneaux par alternance suivant qu' il s' agit d'une commande à un créneau par alternance ou' d' une commande par modulation de largeur d' impulsion[15] .

III.5.2 principe de fonctionnement d'un onduleur de tension triphasé

Un onduleur de tension triphasé à deux niveaux est constitué de trois bras de commutation à transistors ou à thyristor GTO pour les grandes puissances .chaque bras composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor la sortie correspondant au point milieu de bras. Tous ces éléments sont considérés comme des interrupteurs idéaux.les commandes des interrupteurs d'un bras sont complémentaires. Donc pour chaque bras, il y a deux états indépendants.ces deux états peuvent être considérés comme une grandeur booléenne[15].

Le schéma structurel de l'onduleur de tension alimentant le stator d moteur asynchrone est donné par la figure (III.2) :

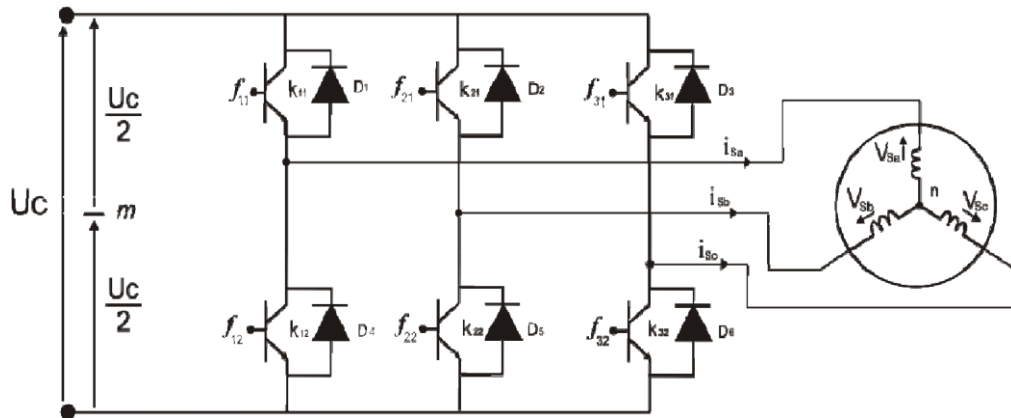


Figure III.3 : Schéma d'un onduleur de tension triphasée alimentant le stator de la MAS [15]

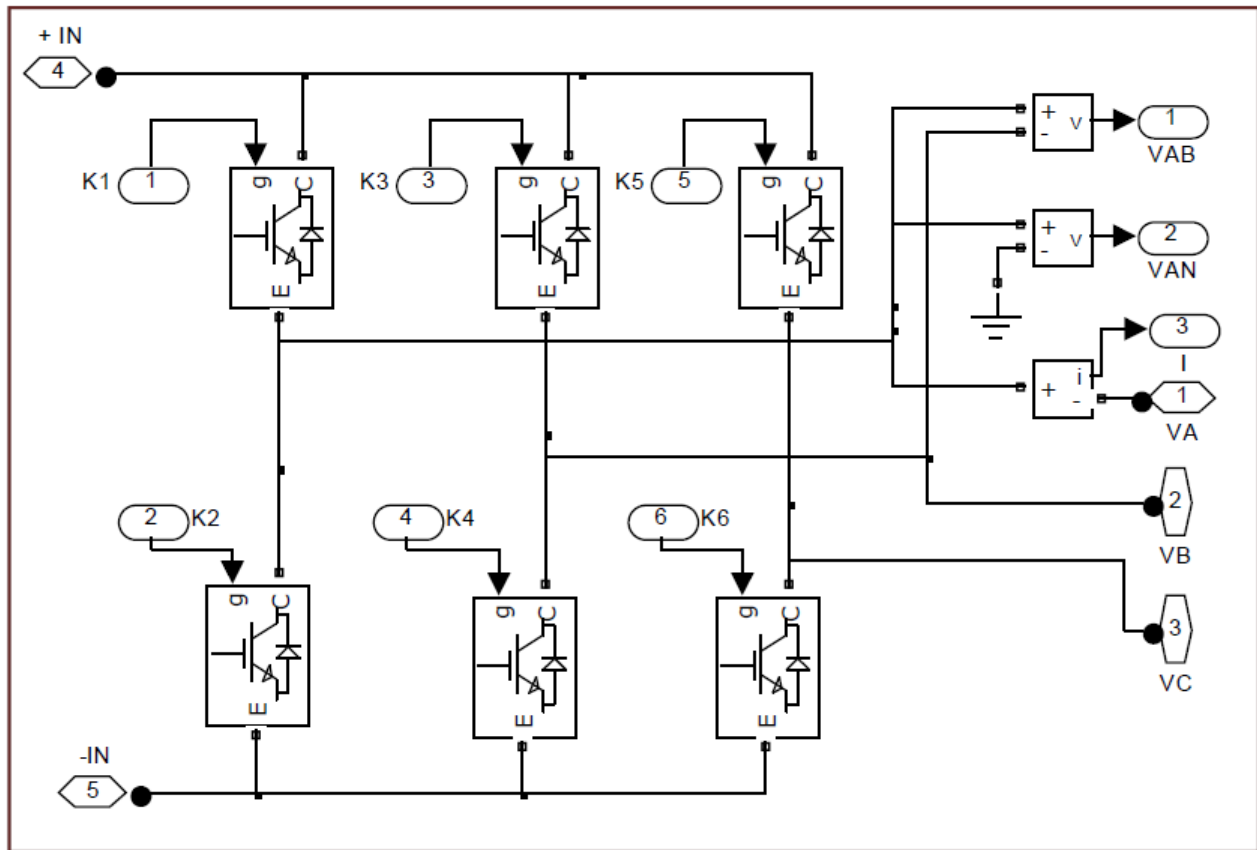


Figure III.4 Schéma de simulation d'un onduleur triphasée

III.5.3 Modélisation de l'onduleur a deux niveaux de tensions

Les tensions de sortie aux bornes de l'onduleur sont prises par rapport au point fictif O de l'onduleur.

Sachant que $V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0$ nous pouvons écrire :

$$\begin{cases} V_{an} = V_{a0} + V_{on} & (1) \\ V_{bn} = V_{b0} + V_{on} & (2) \\ V_{cn} = V_{c0} + V_{on} & (3) \end{cases} \quad (\text{III.35})$$

En faisant la somme des équation(1),(2) et (3) du système (III.35) :

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = V_{a0} + V_{b0} + V_{c0} + 3V_{on} = 0 \quad (\text{III.36})$$

D'ou' :

$$\begin{aligned} V_{a0} + V_{b0} + V_{c0} &= -3V_{on} & (\text{III.37}) \\ V_{on} &= -\frac{1}{3}(V_{a0} + V_{b0} + V_{c0}) \end{aligned}$$

En substituant l'équation(III.37) dans le système (III.36) on aura

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{b0} \\ V_{c0} \end{bmatrix} \quad (\text{III.38})$$

En utilisant l'expression (III.30) dans le système(III.38) on déduit les tensions de sortie de phase de l'onduleur comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{u_c}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2S_a - 1 \\ 2S_b - 1 \\ 2S_c - 1 \end{bmatrix} \quad (\text{III.39})$$

III.5.4 Commande de l'onduleur par la stratégie triangula-sinusoidale

La MLI Sinus-Triangle utilise le principe d'intersection entre une référence sinusoidale de fréquence f , appelée modulante, et un signal triangulaire de haute fréquence f_p , appelée la porteuse P, pour déterminer les instants de commutation. Le schéma de principe est donné par la figure (III.4) [17].

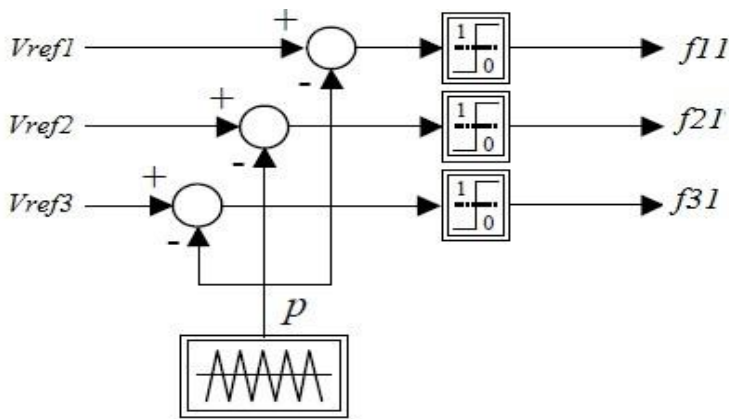


Figure III.5: Principe de la MLI Sinus-Triangle (DC/AC)[17]

III.5.5 La commande MLI est caractérisée par les deux paramètres:

- l’indice de modulation m égal au rapport de la fréquence de modulation sur la fréquence de référence,
- Le coefficient de réglage en tension r égal au rapport de l’amplitude de la tension de référence à la valeur crête ($U_c/2$) de l’onde de modulation[16].

Notez que l’augmentation de m rejette les premiers harmoniques non nuls vers les fréquences élevées et donc facilite le filtrage. Mais m est limité par le temps de commutation des interrupteurs du l’onduleur et donc par la largeur minimale des impulsions [18].

Alors, le choix de m procède d’un compromis entre la neutralisation des harmoniques et le rendement de l’onduleur, dans notre travail nous avons prend $m=100$. Tandis que, par action sur r on peut faire varier la valeur efficace du fondamental de la tension de sortie.

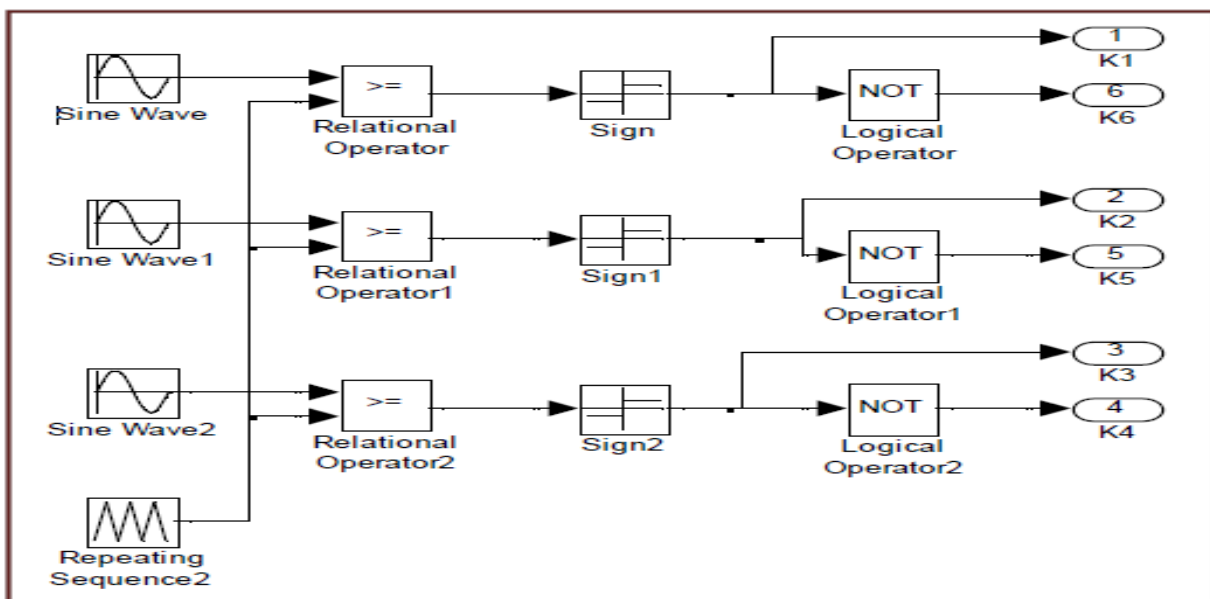


Figure III.6 : Schéma de simulation d'une commande MLI[16]

III.5.6 Modélisation de la commande MLI sinus-triangle

a) *Equation des tensions triphasées de référence*

$$V_{refi}(t) = V_m \sin(2\pi ft - 2(j - 1)\frac{\pi}{3}), j = 1,2,3 \quad (III.40)$$

b) *Equation de porteuse* est donnée par [19]:

$$\begin{cases} x_1 = V_{PM} \left(-\frac{4t}{T_p} + (4n + 1) \right) & \text{si } t \in [nT_p, \frac{n+1}{2} T_p] \\ x_2 V_{PM} \left(-\frac{4t}{T_p} + (4n + 3) \right) & \text{si } t \in [\frac{n+1}{2} T_p, (n + 1) T_p] \end{cases} \quad (III.41)$$

c) *Equation des états des interrupteurs de l'onduleur :*

interrupteurs de l'onduleur. Ceux-ci sont donnés par

l'équation (III.42) suivante[19] :

$$S_{abc} = \begin{cases} 1 & \text{si } (V_{rabc} - x(t) \geq 0) \\ 0 & \text{si } (V_{rabc} - x(t) \leq 0) \end{cases}$$

III.6 Schéma de Simulation du comportement du système

La figure illustre le schéma bloc de l'alimentation (GPV) Onduleur- MAS fait par le logiciel Simulink sous Matlab

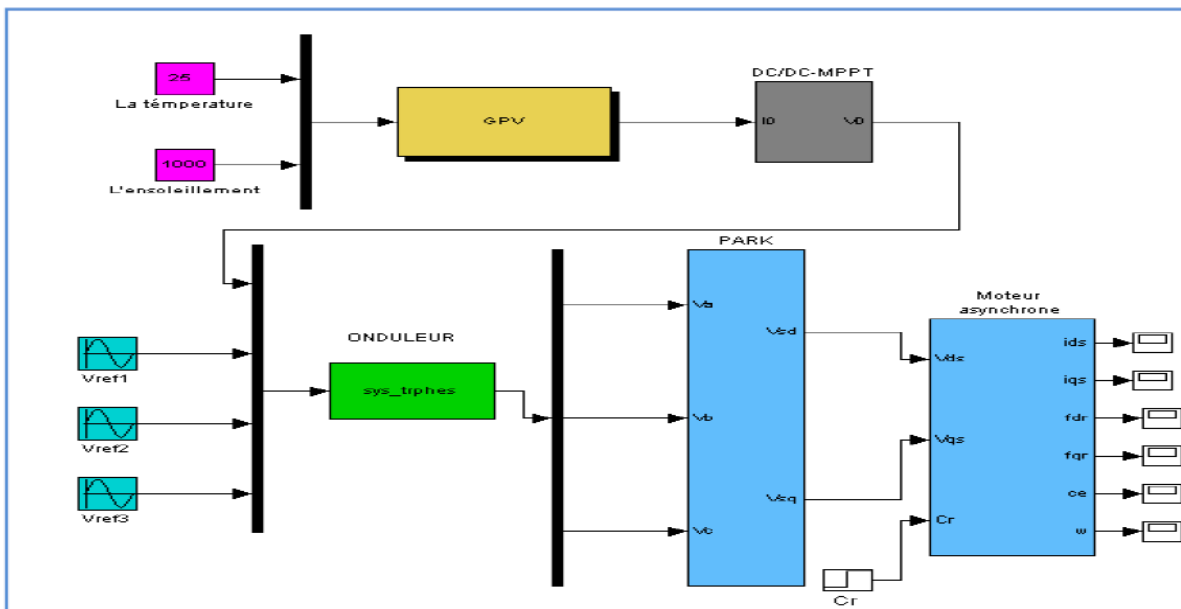


Figure III.7 : Bloc de simulation de l'alimentation de la MAS

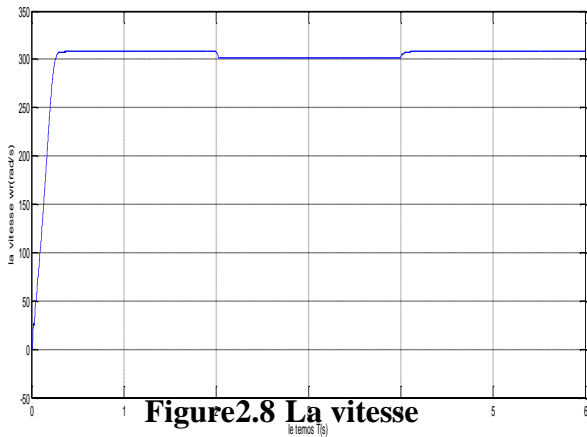


Figure 2.8 La vitesse

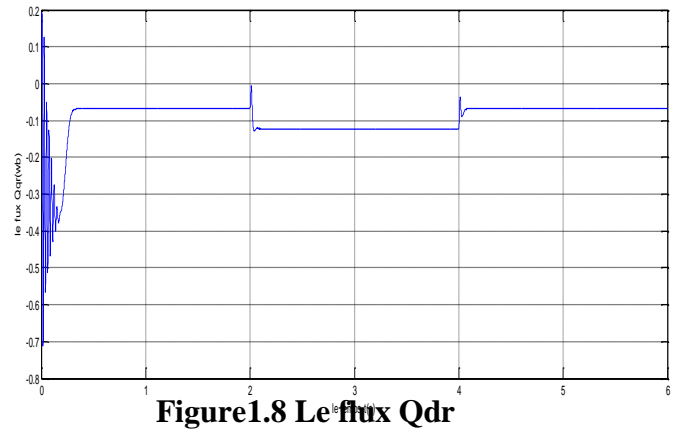


Figure 1.8 Le flux Qdr

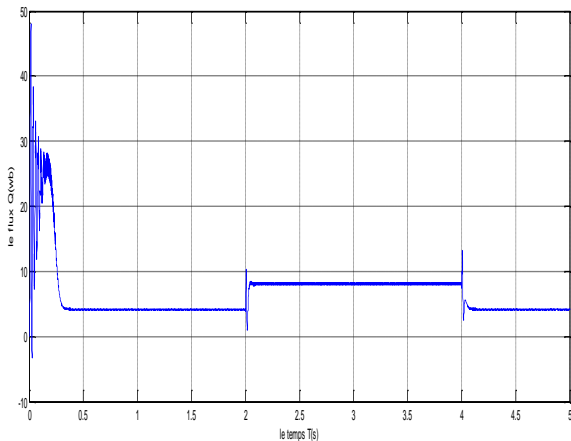


Figure 4.8 le flux Qqr

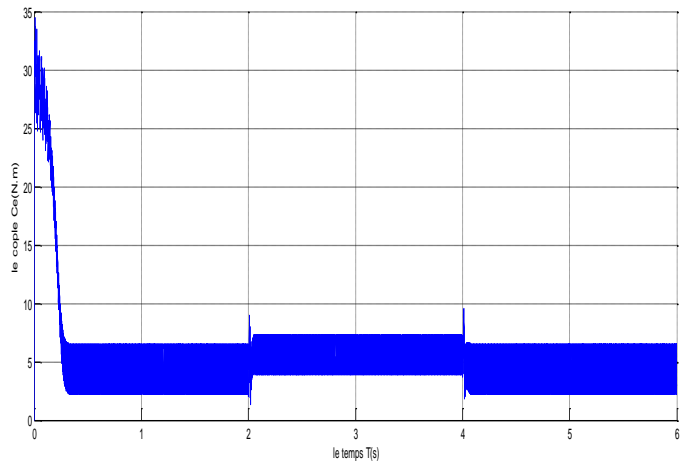


Figure 3.8 Le couple

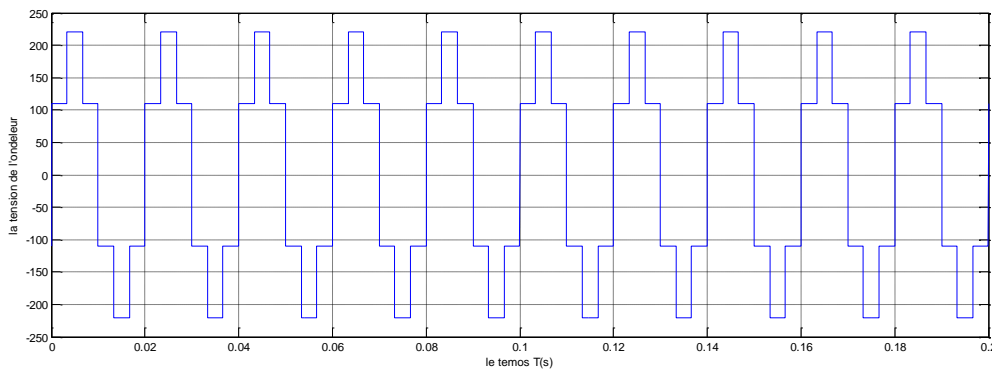


Figure 5.8 La tension d'onduleur

Figure III.8 :Résultats de simulation de la MAS alimentée en tension et répons à une perturbation de couple résistant(C_r) de 10N.m avec $r=0.8$

III.6.1 Simulation du comportement du système en cas de défaut

On va étudier les défauts de la tension d'alimentation, tels que le court circuit du générateur Photovoltaïque. On va créer un court circuit sur le générateur PV à l'instant ($t=1.8s$). L'évolution de la tension d'alimentation (GPV), courant statorique, du flux rotoriques, du couple électromagnétique et de la vitesse de rotation de la MAS alimentée par un onduleur triphasé en présence de la charge ($C_r=15N.m$) à ($t=1.4s$), sont illustrés à la figure (III.7).

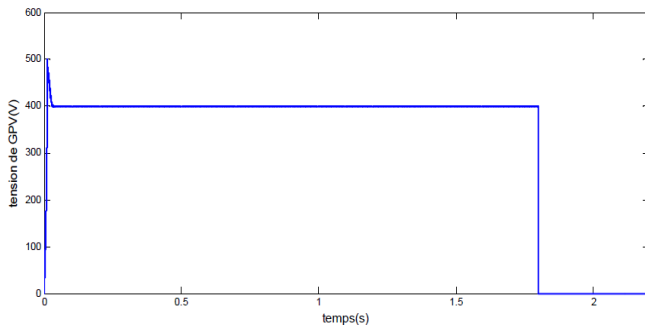


fig Tension de sortie du GPV(V)

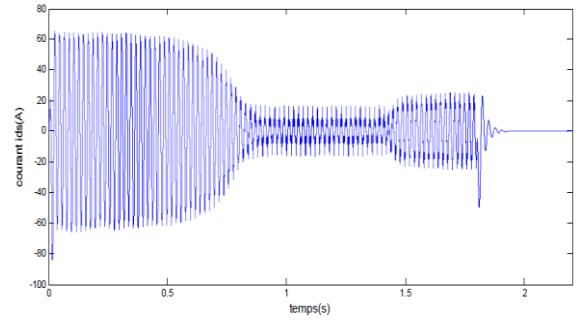


fig Courant statorique(A)

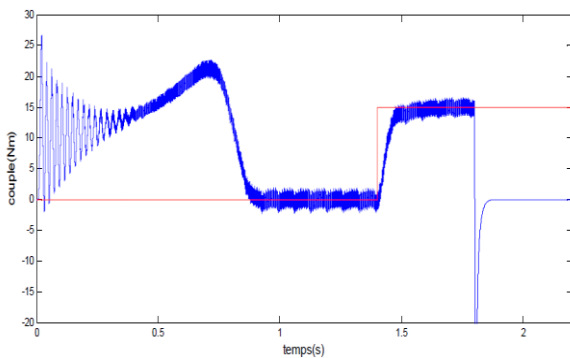
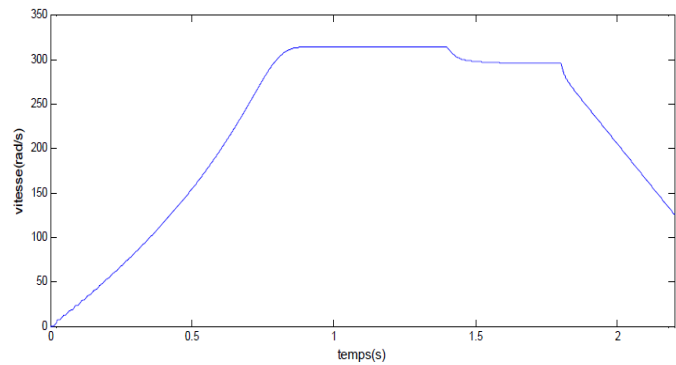
fig couple électromagnétique C_{em} (N.m)fig la vitesse de rotation ω (rad/sec)

Figure III.9 : Résultats de simulation de la MAS en cas de court circuit de la tension d'alimentation à ($t=1.8$ s), avec une charge de ($C_r = 15$ N.m) à ($t=1.4$ s).

III.7 CONCLUSION :

Dans la première partie de ce chapitre nous avons donné la représentation mathématique de la machine asynchrone (MAS) dans un référentiel triphasé avant d'utiliser la transformation de Park pour éviter la complexité des équations différentielles. Cette transformation permet le changement de système triphasé réel au système diphasé linéaire équivalent de cette machine ce qui signifie une facilité de résolution et de simulation. Ensuite, nous rappelons le modèle du convertisseur statique qui assure l'alimentation de la MAS. Puis nous simulons l'association convertisseur-machine afin de valider nos modèles.

Dans ce chapitre l'alimentation continue est constante, est différente pour le cas où la source continue est un générateur PV ou son caractère est non linéaire avec la variation de l'éclairement et la température exige d'utiliser une commande MPPT pour exploiter la puissance maximale de GPV.

Conclusion générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite c'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde. L'utilisation d'énergie solaire comme source alternative d'énergie, souffre du coût élevé des cellules solaires comme source alternative d'énergie, souffre de coût élevé des cellules solaires, du faible rendement et de puissance intermittent selon la fluctuation des conditions atmosphériques. Par conséquent, n'importe quelle conception de système d'application d'énergie solaire, devrait prendre en compte ces inconvénients. Ce travail s'agit d'une contribution à l'optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque.

Les travaux présentés concernent plus particulièrement la problématique du couplage entre un générateur photovoltaïque et une charge de type alternative. En effet, ce type de couplage souffre encore du problème du transfert de puissance du générateur photovoltaïque à la charge qui est souvent très loin des possibilités du générateur.

Avant d'aborder la problématique de conversion, nous avons tout d'abord étudié le contexte et la problématique de l'énergie solaire photovoltaïque. Ceci s'avère nécessaire pour acquérir une connaissance approfondie du comportement d'un générateur photovoltaïque. Nous avons établi des programmes de calculs sous l'environnement Matlab permettant de tracer la caractéristique I-V pour différents éclairagements et températures solaires et de calculer la puissance maximale délivrée par la cellule photovoltaïque correspondante. Nous rappelons dans le deuxième chapitre nous avons analysé dans le simulateur Matlab le fonctionnement optimal d'un système PV de moyennes puissances dont la régulation de la puissance est effectuée par une commande MPPT, suite aux variations des conditions météorologiques et de la charge dans le dernier chapitre l'association moteur-onduleur à une alimentation continue. Commencant par la modélisation de machine dans le repère de Park. Ensuite, nous rappelons le modèle du convertisseur statique qui assure l'alimentation de la MAS. puis nous simulons l'association convertisseur-machine afin de valider nos modèles.

Les résultats obtenus montrent l'oscillation instantanée de point de fonctionnement de module photovoltaïque autour du MPP indépendamment à des variations de l'éclairement et la température. Le bon fonctionnement du convertisseur DC-AC nous a permis de conclure le bon fonctionnement et les performances satisfaisantes du système PV réalisé au cours de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **M.SLAMA Fateh** - Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique-Mémoire de magister en électrotechnique-UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF-2011
- [2] **HANANOU FATIHA et ROUABAH AICHA**-Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque- UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
- [3] **M.N.Mchalikh et CH.Hmada'** 'Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau '' Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [4] **DJAAFRI YESAF** voitures-solaires-Toyota-prius '' Mémoire de Master Université Frères Mentouri Constantine¹-2016
- [5] **MEHIMMEDETSI Boudjemaa** - Application du formalisme Bond Graph a une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque-Mémoire de magister en électrotechnique-UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE-2007
- [6] **I.Bendjemaa** ''Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque '' Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2011/2012.
- [7] **M.L.Louazane** ''Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla ''Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar-Batna 16/06/2008.
- [8] **DAVIDE AGUGLIA** ,(2004) « identification des paramètres du moteur à induction triphasé en vue de sa commande vectorielle » thèse de maître ès Sciences (M. SC) ,(Faculté des études supérieure de l'Université LAVAL.
- [9]**BOUDOUEH SOFIANE** ''Commande scalire d'une Machine asynchrone AVEC L'injection De Lh'armonique ''Mémoire de Master Université de constantine 2010-2011.
- [10]**Mohamed Ansoumane CAMARA** –Modélisation du stockage de l'e'nergie photovoltaïque par super condensateurs-Thèse doctorat-Université paris Est Créteil-2010.
- [11] **J.P.Caron,j.p. HAUTier** ''Modélisation et commande de la Machine Asynchrone '',Edition Technip 1995 ISBN 2-7108-0683-5
- [12] **G.Grellet ,G ,clerc** « Actionneurs électriques », Editions enrôles,1997.
- [13] **DJERIOU SALM** « simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone » -Mémoire de magister en électrotechnique-UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF-2011
- [14] **Benlahreche HOUSSEM Eddine** «ETUDE ET optimisation d'un système de pompage photovoltaïque» Mémoire de master en électrotechnique-UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE-2012
- [15] **HELALI KAMELIA** « modélisation d'une cellule photovoltaïques : Etude comparative -Mémoire de magister en électrotechnique- université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU2012
- [16] **J.P. Caron et al** *Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone*, Edition Technip, Paris 1995.
-

- [17] **D. Hadiouche**, *Contribution à l'étude de la machine asynchrone double étoile :modélisation, alimentation et structure*, Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, France, Décembre 2001.
- [18] **REZGUI SALAH EDDINE** « modélisation et commande des machines » -Mémoire de magister en électrotechnique- université Mentouri de Constantine2009
- [19] D. Khodja et al., *Torque Based Selection of ANN for Fault Diagnosis of Asynchronous machine*, ID code FR72000. ICECICE 2010, WCSET2010, Novembre 2010, Vénice, Italie.
- [20] (Mr nemourien Azzedine : étude expérimentale d'un convertisseur DC-DC contrôler par une commande robuste Mémoire de Magister UNIVERSITE DE BATNA)
- [21] **Aboub Hania** «commande d' un onduleur neuf niveaux , destine aux fortes puissances PV» mémoire de magister en électrotechnique-- université Batna-2014
- [22] **Soltane BEAKEHAL** «commande des Machines à Aimants permanents Dédiées aux Energies Renouvelables-thèse de doctorat en Electrotechnique – université constantine 2010
- [23] **M. Angel cid poster**, « Conception et Réalisation de Modules photovoltaïques Electronique », Institut National des sciences Appliquées de Toulouse ,2006
- [24] **BOUDJADA Abdelhakim**, « Modélisation et simulation d'un système de -pompage photovoltaïque, MEMOIRE DE MASTER » en Département d'Electrotechnique, Constantine, 2011.
-

Le paramètre de la MAS :

La puissance : $p=1500\text{w}$

La fréquence : $f=50\text{Hz}$

La tension : $v=380/220\text{v}$

Nombre de paires de pole : $p=2$

La résistance statorique : $R_s=4.85\Omega$

La résistance rotorique : $R_r=3.805\Omega$

L'inductance rotorique : $L=0.274\text{H}$

L'inductance statorique : $L_s= 0.274 \text{ H}$

L'inductance mutuelle : $M=0.258 \text{ H}$

Le moment d'inertie : $J=0.031 \text{ kg.m}^2$

Le coefficient de frottement : $f_r=0.00114 \text{ N.m/rd/s}$

Résumé:

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la modélisation, d'un panneau photovoltaïque associé à un convertisseur continu-alternatif contrôlé par MPPT; destiné à conduire à une machine asynchrone à travers d'un convertisseur DC-AC. Un générateur photovoltaïque peut fonctionner sur une large plage de tension et de courant de sortie mais il ne peut fournir une puissance maximale pour les 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 provoquent la fluctuation du point de puissance maximale. En raison de cette fluctuation, est souvent on interposée entre le générateur et le récepteur l'un ou plus convertisseurs statiques commandés à continuer le point de puissance maximale. Ces commandes connues MPPT, sont associées au convertisseur DC-AC, qui assure la liaison entre le générateur PV et la machine asynchrone en forçant le premier à délivrer sa puissance maximale.

Mots clés: Photovoltaïque, Convertisseur, MPPT, Réseaux de Neurones Artificiels, Machine Asynchrone,

Abstract: Optimum operation and continuous industrial mechanisms can be contemplated without the presence of a system that prevents the state early anomalies that may arise in the various organs of equipment, and quickly diagnose faults. For this purpose, an application of artificial neural networks to detect defects in a photovoltaic system was developed.

The work presented in this paper concerns the modeling, the diagnosis of a photovoltaic panel associated with a DC-DC converter controlled by MPPT, intended to lead to an induction motor through a DC-AC. A photovoltaic generator can operate over a wide range of voltage and current output, but it can deliver maximum power for the particular values of current and voltage. Indeed, the characteristic $I(V)$ of the generator depends on the solar irradiance and temperature. These climatic variations cause fluctuations in the maximum power point. Because of this fluctuation is often interposed between the generator and the receiver one or more controlled static converters to continue the maximum power point. These commands known as MPPT (Maximum Power Point Tracking), are associated with DC-DC converter, which ensures the coupling between the PV generator and the asynchronous machine by forcing the first to deliver its maximum power and detect defects in the photovoltaic panel with ANN (Artificial Neural Networks).

Keywords: Photovoltaic, Converter, MPPT, Artificial Neural Networks, Asynchronous Machine.

العمل المقدم في هذه المذكرة يخص نمذجة وتشخيص اللوح الضوئية المرتبط من محول DC-AC مراقب بواسطة MPPT . والمقصود هنا، هو تدريب المحرك غير المتزامن من خلال المحول DC-AC ، والمولد الكهروضوئية يمكن تشغيله من أجل مجال واسع من الجهد التيار والتوتر الكهربائيين لكنه غير قادر عن تحقيق القدرة القصوى من أجل قيم مخصصة من التوتر والتيار

في الواقع، الخصائص $I(V)$ للمولد تتعلق أساسا بالإشعاع الضوئي ودرجة الحرارة، هذه التغيرات المناخية تؤثر أساسا على تقلبات النقطة القصوى للقدرة المخرجة، لأجل هذا، نقوم بإدراج محولات للتتبع النقطة القصوى للقدرة بين المولد والمستقبل، وسائط التحكم هذه تعرف باسم MPPT مراقبة من محول DC-DC و التي تضمن اقترانا بين المحرك غير المتزامن والمولد الكهروضوئي من خلال إجبار هذا الأخير لإعطاء القدرة القصوى

الكلمات المفتاحية: الكهروضوئية ، المحرك اللامتزامن ، محول ثابت، نقطة الطاقة القصوى