

Sommaire

Liste des figures	7
Listes des tableaux	10
Nomenclature	11
Listes des abréviations	13
Introduction générale	14
Chapitre I Etude de système photovoltaïque.....	16
I.1. Introduction.....	16
I.2. La cellule photovoltaïque.....	16
I.3. Principe de fonctionnement et différents types de cellule photovoltaïque.....	17
I.4. Choix et caractéristique d'un module solaire.....	19
I.5. Modélisation des cellules photovoltaïques	21
I.6. Liaison des cellules photovoltaïque	22
I.7. Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque	24
I.8. Conclusion	25
Chapitre II Etude et simulation d'hacheur	26
II.1. Introduction	26
II.2. Le convertisseur statique continu-continu	26
A. Hacheur dévolteur (Boost).....	26
B. Hacheur dévolteur (Buck)	28
II.3. Commande du hacheur relia a un panneau solaire	30
II.3.1. Méthode à contre réaction de la tension :	30
II.3.2. Méthode de la conductance incrémentale :	31
II.3.3. Méthode de Perturbation et Observation (P&O) :	32
II.3.4. Méthode de Mikihiro Matsui :	34
II.4. Conclusion	37
Chapitre III Onduleur.....	38
III.1. Introduction	38
III.2. Définition de l'onduleur	38
III.3. Les différents types d'onduleurs	39
III.3.1. Onduleur de tension monophasé	39
III.3.2. Onduleur de courant monophasé.....	40
III.3.3. Onduleur à résonance	41
III.3.3.1 Onduleur à résonance parallèle.....	41
III.3.3.1 Onduleur à résonance série.....	42

III.3.4. Onduleur de tension triphasé.....	43
III.4. Stratégies de commandes des interrupteurs.....	44
III.4.1. Commande 180°.....	44
III.4.2. Commande 120°.....	45
III.4.3. Commande à modulation de largeur d'impulsion(MLI)	45
III.4.3.1 Modulation sinusoïdale (MLIS).....	47
III.4.3.2 Modulation vectorielle(SVM).....	47
III.4.4. Commande par hystérésis.....	47
III.5. Commande de l'onduleur utilisant une PLL	48
III.6. Résultats de simulation de la PLL avec et sans FMV	51
III.7. Conclusion.....	55
Chapitre IV Etude de système Anti-Islanding.....	56
IV.1. Introduction.....	56
IV.2. Description du système	56
IV.3. Les conditions et risques d'îlotage.....	57
IV.4. Méthodes de détection d'îlotage	58
IV.5. Méthode proposée pour la détection d'anti îlotage	62
IV.6. Conclusion	71
Conclusion générale.....	73
Références bibliographiques	75

Liste des figures

Figure.I-1 – Description d’une photopile ou cellule photovoltaïque.....	17
Figure.I-2 – cristal de Silicium	
Figure.I-3 – Schéma d’une Cellule photovoltaïque	
.....	18
Figure.I-4 – Silicium Poly cristallin	18
Figure.I-5 – Types de cellules photovoltaïques. (a) silicium mono cristallin, (b) silicium poly cristallin, (c) silicium amorphe.....	18
Figure.I-6 – Caractéristique I(V) d’un module solaire, T=25°C.....	19
Figure.I-7 – Caractéristiques P (V) d’un panneau solaire, T=25°C.....	20
Figure.I-8 – Les différentes zones de la caractéristique I (V), T=25°C.....	20
Figure.I-9 – Schéma électrique du modèle à une diode.....	21
Figure.I-10-a – Association des modules en série.....	22
Figure.I-10-b – Caractéristique résultante d’un groupement en série de N_s cellules identiques.....	22
Figure.I-11-a – Association des modules en parallèle.....	23
Figure.I-11-b – Caractéristique résultante d’un groupement en parallèle de N_s cellules identiques.....	23
Figure.I-12-a – Association mixte des modules.....	24
Figure.I-12-b – Caractéristique résultante d’un groupement mixte.....	24
Figure.II-1 – Circuit électrique de convertisseur survolteur.....	27
Figure.II-2 – Caractéristique de la tension et du courant du hacheur survolteur	28
Figure.II-3 – Circuit électrique de convertisseur dévolteur	28
Figure.II-4 – Caractéristique de la tension et du courant du hacheur dévolteur.....	29
Fig.II-5 – structure général du système PV	30
Fig.II-6 – - Méthode contre réaction de la tension	31
Fig.II-7 – - algorithme de la commande IncCond	32
Fig.II-8 – Schéma de convergence vers le PPM par P&O.....	33
Fig.II-9 – - Organigramme de la méthode de perturbation et d’observation	33
Fig.II-10 – - Modèle SIMULINK de l’algorithme MPPT P&O	34
Fig.II-11 – - L’algorithme de la méthode de Mikihiro Matsui.....	35
Figure.II-12 – - Modèle SIMULINK de l’algorithme MPPT Mikihiro Matsui.....	36

Figure.II-13 – - Modèle SIMULINK de GPV +hacheur avec une commande Mikihiro Matsui.	36
Figure.II-14 – - la tension à la sortie du hacheur.	37
Fig.III-1 – - schéma du principe de la conversion CC-AC	38
Fig.III-2 – - Onduleur de tension en pont monophasé	39
Fig.III-3 – - Signaux de commande et forme d'onde des tensions de sortie	39
Fig.III-4 – - Onduleur de courant en pont monophasé	40
Figure.III-5 – - Signaux de commande et forme d'onde des courants.	41
Figure.III-6 – - Onduleur à résonance parallèle monophasée.	42
Figure.III-7 – - Signaux de commande et forme d'onde de courant.	42
Figure.III-8 – - Onduleur à résonance série(Monophasée).	43
Figure.III-9 – Signaux de commandes et forme d'onde de tensions.	43
Fig.III-10 – Circuit de puissance d'un onduleur de tension triphasé.	44
Fig.III-11 – - Commande 180°	44
Fig.III-12 – - Commande 120°	45
Figure.III-13 – - Contrôle de courant par MLI	45
Figure.III-14 – - Commande des interrupteurs par MLI	46
Figure.III-15 – - Contrôle de courant par hystérésis	47
Figure.III-16 – - Commande des interrupteurs par hystérésis	48
Figure.III-17 – - Schéma de simulation d'onduleur monophasé en pont sous MATLAB.	48
Figure.III-18 – - Schéma de PLL+FMV	49
Figure.III-19 – - Schéma du Filtre passe bande multi-variable.	51
Figure.III-20 – Schéma du PLL sans FMV sous MATLAB.	51
Figure.III-21 – - Signal du la position angulaire de la PLL sans FMV.	52
Figure.III-22 – signal de Cos (θ) et Sin(θ) estimées par la PLL (sans FMV).	52
Figure.III-23 – - Signal du la position angulaire de la PLL avec FMV	53
Figure.III-24 – - signal de Cos (θ) et Sin(θ) estimées par la PLL (avec FMV).	53
Figure.III-25 – - Le courant de la charge	54
Figure.III-26 – - La tension de sortie de l'onduleur	54
Figure.III-27 – - La tension aux bornes de condensateur	55
Figure.IV-1 – - La structure de la topologie d'Anti-Islanding	57
Figure.IV-2 – - La zone de non détection	58
Figure.IV-3 – - Courbe de correspondance entre la phase et la fréquence pour un onduleur utilisant la méthode SMS.	61
Figure.IV-4 – - Exemple de forme d'onde du courant de sortie de l'onduleur utilisé par la méthode de détection d'ilotage <i>Frequency Bias</i> .	62
Figure.IV-5 – - Formes d'onde avec des plateaux et des troncatures	62
Figure.IV-6 – La méthode de détection de l'anti ilotage proposée.	63

Figure.IV-7 – - Le schéma complet utilisant sympowersystem.....	64
Figure.IV-8 – - Le schéma de subsysteme de la PLL sans FMV.....	64
Figure.IV-9 – - Le schéma de subsysteme de la PLL avec FMV.....	65
Figure.IV-10 – - position angulaire estimée par la PLL avec le FMV.....	65
Figure.IV-11 – - position angulaire estimée par la PLL sans le FMV.....	66
Figure.IV-12 – - La tension et le courant aux bornes de la charge RLC.....	66
Figure.IV-13 – - : La différence entre téta filtrée et non filtrée.	67
Figure.IV-14 – : La valeur efficace de la différence entre téta filtrée et non filtrée.....	67
Figure.IV-15 – - : Signal du premier test.	68
Figure.IV-16 – - : Signal du deuxième test.....	68
Figure.IV-17 – - : Signal résultant de la somme logique.....	69
Figure.IV-18 – - : schéma complet de notre système anti ilotage.....	69
Figure.IV-19 – - : La tension aux bornes de la charge RLC.....	70
Figure.IV-20 – - : La tension aux bornes de la charge RLC2.....	70
Figure.IV-21 – - : Le courant aux bornes de la charge RLC2.....	71
Figure.IV-22 – - : signal représente l'arrêt d'onduleur.	71

Listes des tableaux

Tableau II-1 – des paramètres de simulation d’hacheur BOOST.	36
--	-----------

Nomenclature

α	le rapport cyclique.
C	Capacité d'entrée du convertisseur CC/CC
D	diode.
G	Eclairement (W/m ²)
I	Courant (A)
I_{ph}	Photo-courant (A)
I_D	Courant diode (A)
I_s	Courant de saturation de la jonction non éclairée (A)
I_{cell}	Courant fourni par la cellule (A)
I_c	Courant de Capacité (A)
I_{cc}	Courant de court de circuit (A)
I_{sh}	Courant Shunt (A)
I_{pv}	Courant délivrée par la cellule (PV) (A).
I_s	Le courant de source(A).
I_L	Le courant de l'inductance(A).
i_K	Le courant d'interrupteur (A).
i_c	Le courant de charge (A).
I_{load}	Courant à travers la charge RLC (A)
k	Constante de Boltzmann ($k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$)
K	interrupteur.
K_p	Gain proportionnel.
K_i	Gain intégral.
T_i	Constante de temps (s).

L	Inductance (H)
n	Facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 2$)
N_s	Nombre de cellule en Série
N_p	Nombre de cellule en Parallèle.
P_s	Perte source(w).
P_c	Perte charge (w).
P_{pv}	Puissance du panneau (W).
q	charge électrique élémentaire ($1.6.10^{-19}$)
R	Résistance (Ω)
R_s	Résistance Série (Ω)
R_{sh}	Résistance Parallèle (Ω)
T	Température absolue de la cellule (K)
T_r	Température référence de la cellule ($300^{\circ}C/K$)
V_{cell}	Tension aux bornes de la cellule(V)
V_{co}	la tension de circuit ouvert.
VD	Tension aux bornes de la diode (V)
Vload	Tension aux bornes de la charge RLC (V)
V_{pv}	La tension de panneau(V).
V_s	La tension de source (V).
V_c	La tension de charge (V).

Listes des abréviations

CC/CC	Continu/Continu
PPM	Point de puissance Maximale
GPV	Générateur Photovoltaïque
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
P&O	Perturbation et Observation
MPPT	Maximum Power Point Tracking.
MOSFET	Metal Oxide Silicon Field Effect Transition
PLL	phase locked loop
MLI	modulation de largeur d'impulsions
MLIS	modulation de largeur d'impulsions sinusoïdale
SVM	Space Vector Modulation
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
ZND	zone de non détection
Si	Silicium
Ge	Germanium
Se	Sélénium
CdS	sulfure de cadmium
CdTe	tellurure de cadmium
GaAs	Arséniure de Gallium

Introduction générale

Afin de subvenir à nos besoins en énergie, le soleil à lui seul peut fournir assez d'énergie. Elle fonctionne en assemblant l'énergie émise par celui-ci sur une surface spécifique, pour la convertir en énergie électrique. Cette surface qui représente les panneaux solaires collectent et convertissent cette énergie grâce à des cellules photovoltaïques qui sont généralement faites de semi-conducteurs à base de silicium.

Antoine Becquerel(1839), un physicien français, découvre que la lumière naturelle du soleil peut être transformée en électricité. Il présente «l'effet photovoltaïque».Albert Einstein explique le phénomène en 1905, il serait lié au photon, particule élémentaire de la lumière, qui serait absorbé en rencontrant un matériau et convertirait alors la lumière en électricité. Il obtiendra le prix Nobel de physique en 1921 pour cette découverte. Dans le milieu des années 1950, des chercheurs américains réussissent à mettre au point une cellule photovoltaïque à haut rendement. En 1958, les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace. En 1973, les cellules photovoltaïques sont appliquées à l'univers domestique, avec la première maison alimentée par l'énergie solaire, construite dans les laboratoires de l'université américaine du Delaware. Plus de vingt ans plus tard (1995), le Japon et l'Allemagne sont les premiers pays à lancer des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau.

En outre, le côté énergie il existe également plusieurs études qui se sont axées sur la protection du panneau photovoltaïque et plus exactement sur un système dit anti-islanding ou anti-ilotage. Les raisons principales de cette protection, et que l'onduleur doit être doté d'un mécanisme de détection et de protection contre l'ilotage, afin d'éviter la condition d'île. Les règles applicables en matière de détection et d'interruption de la condition d'île varient d'un pays à l'autre. La protection contre «l'ilotage» est une caractéristique importante de sécurité. Où elle évite à chaque personne travaillant sur le réseau de distribution raccordé à une source d'énergie d'être blessé par électrocution.

En cas d'ilotage, il serait possible de déconnecter les sources, plus exactement à base d'énergie renouvelable tel qu'une éolienne, un panneau solaire ou une pile à combustible et de les reconnecter aux réseaux électriques dès que les conditions seront rétablies.

La structure de notre modèle de protection c'est à dire l'anti-islanding est incorporer dans notre système qui regroupe un panneau solaire(GPV), un hacheur survolteur et sa commande suivi d'un onduleur monophasé commandé pour avoir une tension alternative à une valeur voulue, ce dernier est raccordé à un bloc de détection d'ilotage (une charge RLC), tout ce système est relié au réseau électrique.

L'anti Islanding ou la détection anti ilotage nous permet d'éviter les risques survenant comme :

- la dégradation des équipements électriques en cas des dérives de tension et de fréquence importantes.

- Problème de déphasage entre réseau et générateur décentralisé lors de ré-enclenchement après un défaut.
- Problème de sécurité pour le public et le personnel de maintenance.

Il faut également savoir que le phénomène anti-ilotage est associé à une durée, une tension et une fréquence.

Pour la détection de l'ilotage, il existe différentes méthodes de détection qui se divisent en deux catégories à savoir actives et passives.

La modélisation de ces méthodes nous permet de détecter toute situation d'ilotage et de réduire le temps de fonctionnement du système îloté, mais elle peut présenter des zones de non détection (ZND).

Dans ce travail, nous allons faire une étude et une simulation d'un circuit de commande d'un système photovoltaïque avec Anti-islanding.

Ainsi le premier chapitre présente une généralité sur la cellule PV, ces différents types, son fonctionnement et ces caractéristiques afin de modéliser le panneau solaire.

Le deuxième chapitre, portera sur la présentation des différents types d'hacheurs et leurs commandes utilisées dans les systèmes PV.

Le troisième chapitre portera sur l'étude des onduleurs de tension monophasée et de leurs commandes.

Enfin, concernant le dernier chapitre, une attention particulière sera portée à l'ilotage. Ce problème pouvant mettre en cause la sécurité des personnes. Afin de le résoudre, il sera proposé un système anti-ilotage intégré à la commande de l'onduleur.

Chapitre I Etude de système photovoltaïque

I.1. Introduction

Les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Elles regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée. Il existe plusieurs types de sources d'énergies renouvelables parmi eux : l'énergie hydroélectrique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Les sources d'énergies renouvelables proviennent directement ou indirectement du soleil. Elles sont donc disponibles indéfiniment tant que celui-ci brillera.

L'énergie photovoltaïque est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable. Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies ensuite avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans ensoleillement [1].

I.2. La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques (photon : grain de lumière et volt : unité de tension) sont des composants électroniques à base de semi-conducteurs (généralement faites de silicium sous ses différentes formes). Elles convertissent directement l'énergie lumineuse en électricité courant continu basse tension (effet photovoltaïque). Comme l'énergie lumineuse est le soleil, on parle alors de cellules solaires [2].

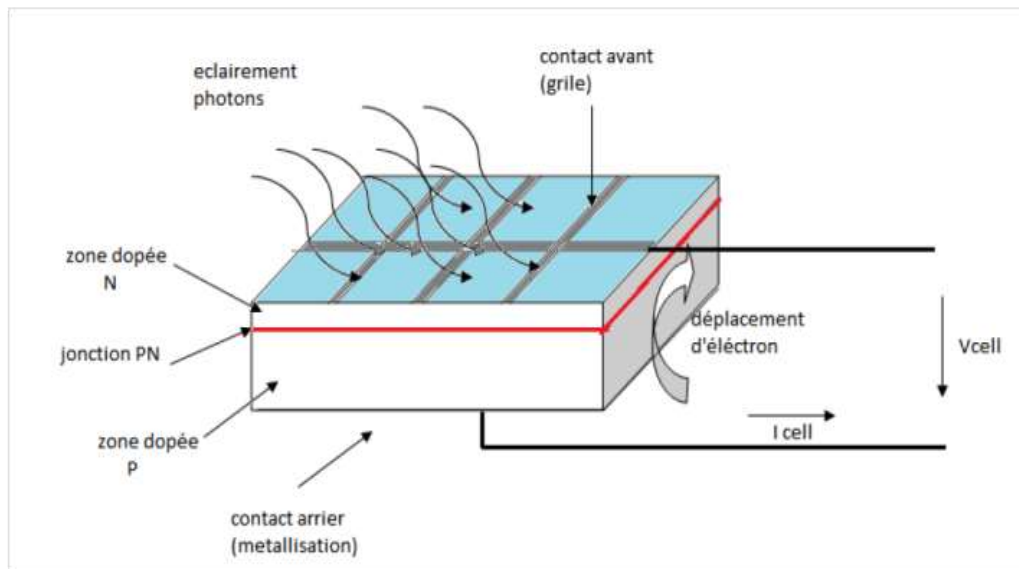


Figure.I-1 – Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque

I.3. Principe de fonctionnement et différents types de cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque (PV), aussi appelée photopile, est la juxtaposition de deux semi-conducteurs, l'un dopé P et l'autre dopé N. À la jonction des deux couches se forme un champ électrique (résultant du phénomène décrit précédemment). Ce champ électrique existe même si la cellule est dans l'obscurité. Sous un ensoleillement plus ou moins important, les photons ou grains de lumière, venant avec une énergie suffisante entrent en collision avec les atomes du Cristal (Figure I-2), (Figure I-Erreur ! Source du renvoi introuvable.). Ils parviennent à faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur, créant ainsi des paires d'électrons-trous. Ceux-ci, sous l'effet de la barrière de potentiel, vont s'accumuler sur chacune des faces extérieures des zones P et N [3],[4].

Ainsi, une différence de potentiel entre les deux faces de la cellule est créée. Les grilles métalliques à l'avant et à l'arrière de la cellule photovoltaïque collectent les électrons et les trous qui vont donc fournir à un circuit extérieur le courant électrique produit [5]. L'énergie excédentaire est perdue en chaleur. La zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode, tandis qu'une plaque métallique (contact arrière) recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode. L'épaisseur totale du cristal est de l'ordre du millimètre.

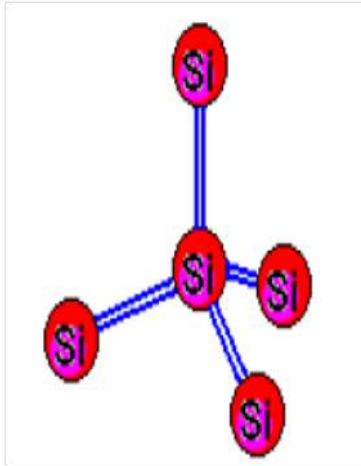


Figure.I-2 – cristal de Silicium

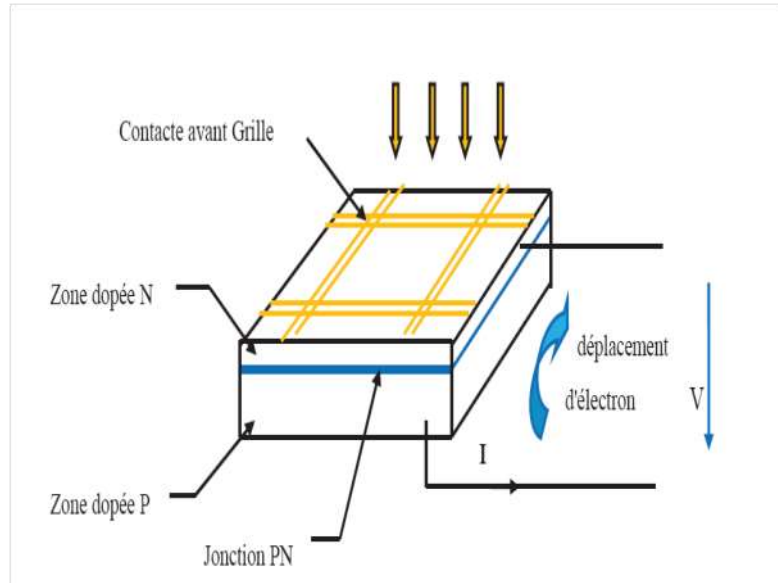


Figure.I-3 – Schéma d'une Cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium (Si), de germanium (Ge), de sélénium (Se), de sulfure de cadmium (CdS), de tellure de cadmium (CdTe) ou d'arséniure de gallium (GaAs). Le silicium (Figure I-5), est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques, car il est très abondant dans la nature. On le trouve dans la nature sous forme de pierre de silice. La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO_2 . Il est le principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès) [3].

Les différents types de cellules PV existants sont :

- Cellule en silicium amorphe (rendement : 6 à 10%)
- Cellule en silicium monocristallin (rendement : 13 à 17%)
- Cellule en silicium poly cristallin (rendement : 11 à 15%)
- Cellule Tandem
- Cellule en matériaux organiques (rendement : 3.6%)



Figure.I-5 – Silicium Poly cristallin

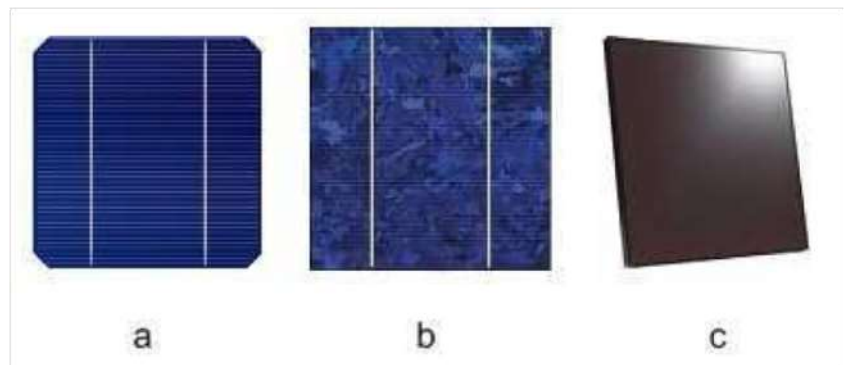


Figure.I-4 – Types de cellules photovoltaïques. (a) silicium mono cristallin, (b) silicium poly cristallin, (c) silicium amorphe

I.4. Choix et caractéristique d'un module solaire

Nous avons choisi comme panneau solaire le NICE D dual power qui est un module à 60 cellules monocristallines ayant une puissance nominal de 240 W et une puissance effective de 310W qui produit de l'énergie électrique sur les deux faces, non seulement sur la face avant, mais aussi sur la face arrière du module. Ce système utilise des cellules en silicium monocristallin bifaciales innovantes, dont la structure permet l'exploitation de la lumière solaire sur les deux faces du module. Elle est considéré dans les conditions standards $G = 1000\text{w/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$. Pour réaliser la modélisation de ce module, nous avons utilisé MATLAB comme outil de tests et de simulation. La simulation de notre modèle correspond aux résultats donnés par le Data-Sheet.

L'une des Caractéristiques les plus importante et la caractéristique courant-tension $I(V)$. La courbe de cette caractéristique est donnée par la (Figure I-6), sous un éclairement fixe et une température constante.

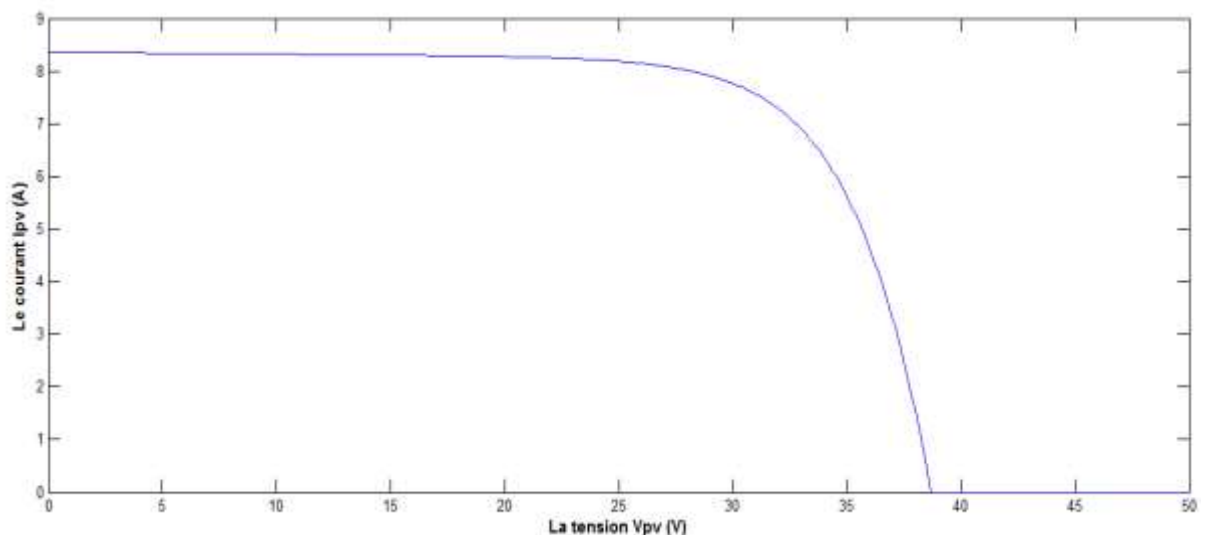


Figure.I-6 – Caractéristique $I(V)$ d'un module solaire, $T=25^\circ\text{C}$.

Il existe une deuxième caractéristique qui est la caractéristique puissance-tension $P(V)$. La puissance débitée par le module photovoltaïque dépend du point de fonctionnement de cette dernière, c'est le produit de l'intensité de courant et de la tension entre ses bornes (Figure I-7),

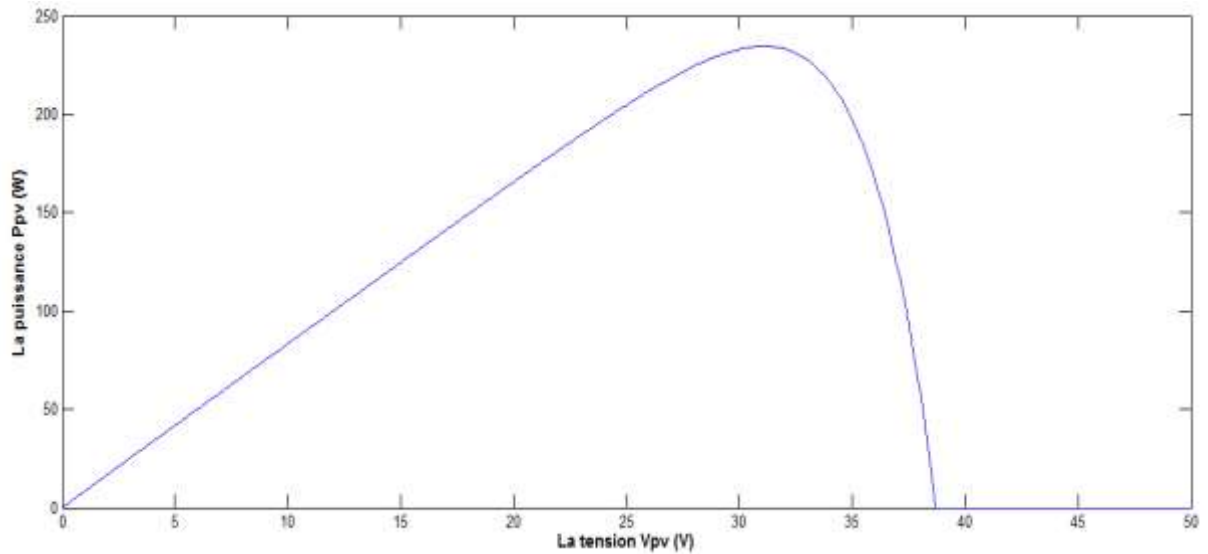


Figure.I-7 – Caractéristiques P (V) d'un panneau solaire, T=25°C.

Donc, la simulation de notre modèle (60 cellules) confirme le résultat qui est donné par le Data-Sheet (voir annexe 1).

La figure (1.8) représente trois zones essentielles [1]:

- **La zone (I)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- **La zone (II)** : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- **La zone (III)** : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension.

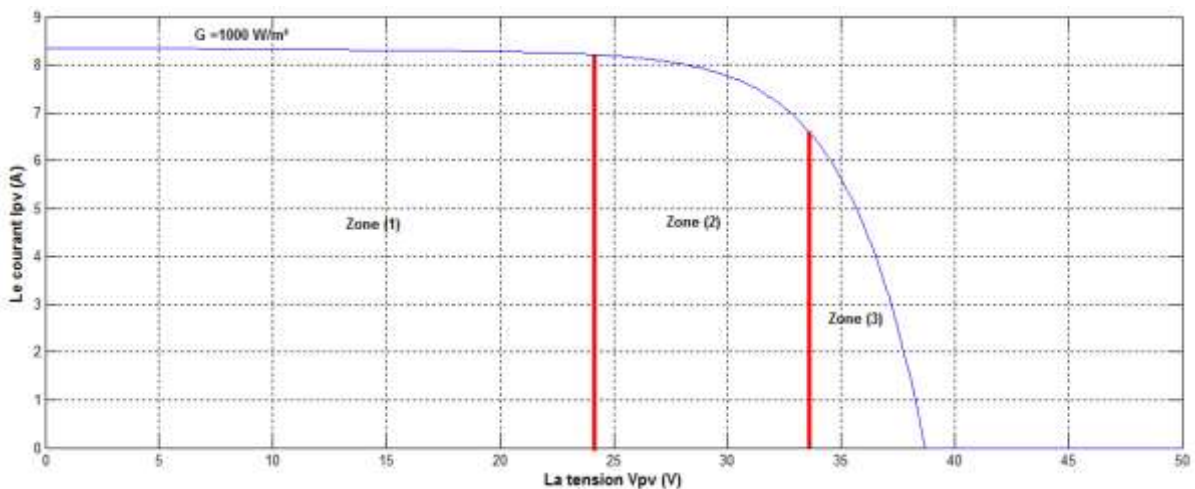


Figure.I-8 – Les différentes zones de la caractéristique I (V), T=25°C.

I.5. Modélisation des cellules photovoltaïques

La modélisation des cellules photovoltaïques passe nécessairement par un choix judicieux des circuits électriques équivalents. Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule photovoltaïque, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément, en prenant plus ou moins de détails. Selon cette philosophie, plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter un comportement fortement non linéaire, résultant de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul de la tension et du courant du module photovoltaïque.

On présentera deux modèles du GPV à savoir :

- Modèle à une diode(ou exponentielle simple).
- Modèle à deux diodes(ou double exponentielle).

La plupart de ces modèles sont expliqués dans la littérature [1].

Nous avons utilisés le modèle à une diode représentée par la figure suivante :

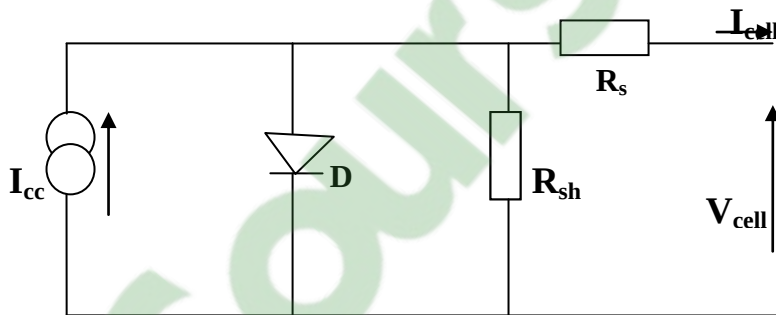


Figure.I-9 – Schéma électrique du modèle à une diode.

L'expression mathématique de ce modèle est :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{qV_{cell}}{nkT}} - 1 \right) \quad (I.1)$$

Avec :

I_{ph} : Photo-courant [A]

I_D : Courant à travers la diode [A]

I_s : Courant de saturation de la jonction non éclairée [A]

I_{cell} : Courant fourni par la cellule [A]

V_{cell} : Tension aux bornes de la cellule [V]

q : charge électrique élémentaire [$1.6 \cdot 10^{-19}$ As]

k : Constante de Boltzmann [$8.65 \cdot 10^{-5}$ eV / K = $1.381 \cdot 10^{-23}$ J / K]

T : Température absolue de la cellule [K]

n : Facteur d'idéalité de la jonction

I.6. Liaison des cellules photovoltaïque

Il existe deux types de groupement, le groupement série et le groupement parallèle. Concernant le groupement en série (Figure I-10-a), les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions à courant donné. La (Figure I-10-b), montre la caractéristique résultante (I_s , V_s) obtenue par l'associant en série de N_s cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).[1]

Avec :

$I_{scc} = I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{sco} = N_s V_{co}$: la tension de circuit ouvert

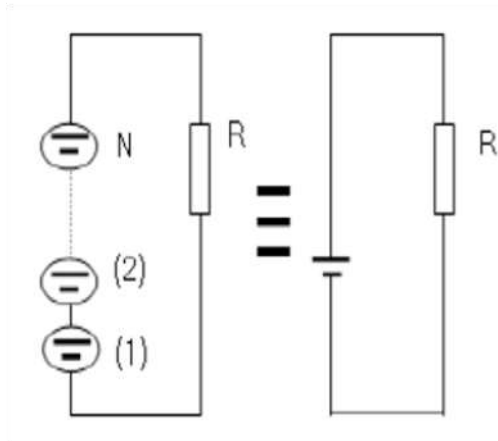


Figure.I-10-a – Association des modules en série

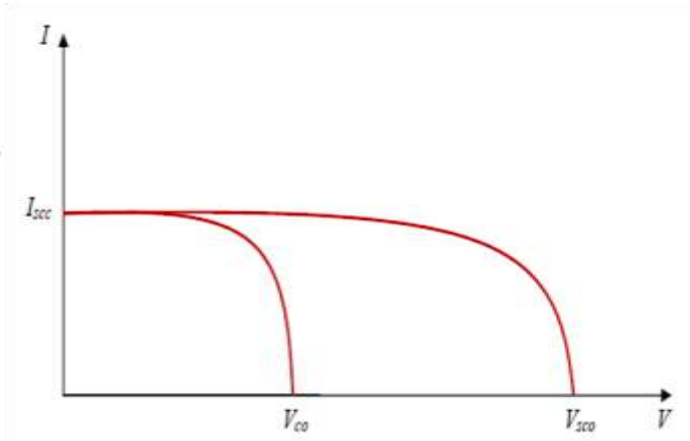


Figure.I-10-b – Caractéristique résultante d'un groupement en série de N_s cellules identiques

Concernant le groupement de cellules connectées en parallèle (Figure I-11-a), les cellules étant soumises à la même tension, les intensités s'additionnent : la caractéristique résultante est obtenue par addition de courants à tension donnée. La (Figure I-11-b), montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) N_p cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

Avec :

$I_{pcc} = N_p I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{pco} = V_{co}$: la tension de circuit ouvert

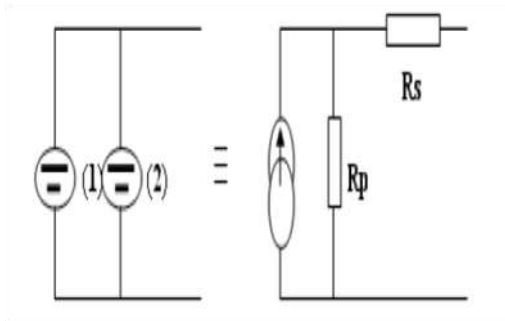


Figure.I-11-a – Association des modules en parallèle

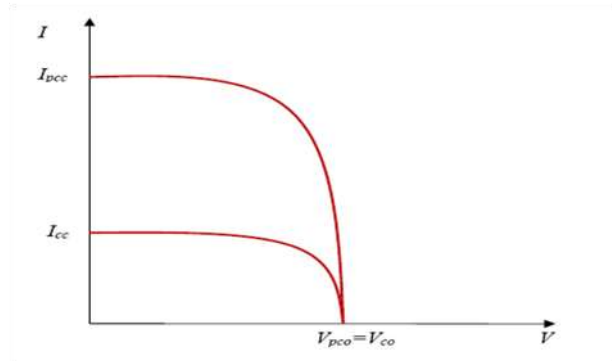


Figure.I-11-b–Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de N_s cellules identiques

Le générateur photovoltaïque (GPV) est constitué de plusieurs cellule série-parallèle réalisant ainsi des modules photovoltaïques qui lorsqu'ils sont regroupés nous donne un panneau photovoltaïque (Figure I-12-a). La caractéristique électrique globale courant/tension du GPV se déduit donc théoriquement de la combinaison des caractéristiques des cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport n_s parallèlement à l'axe des tensions et de rapport N_p parallèlement à l'axe des courants, comme l'illustre (Figure I-12-b). avec N_s et N_p étant respectivement les nombres totaux de cellules en série et en parallèle.

Avec

$I_{g_{cc}} = N_p \cdot I_{cc}$: courant de court-circuit du module résultant.

$V_{g_{co}} = N_s \cdot V_{co}$: tension du circuit ouvert du module résultant.

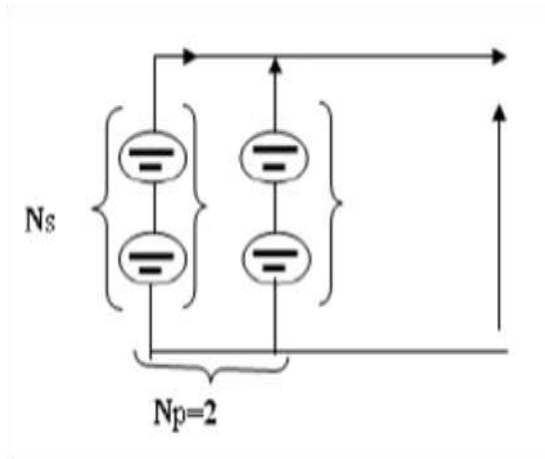


Figure.I-12-a – Association mixte des modules

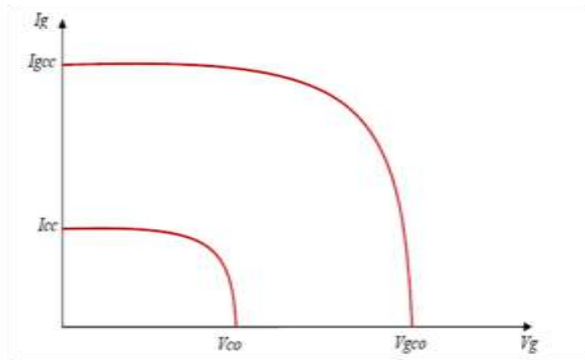


Figure.I-12-b – Caractéristique résultante d'un groupement mixte

I.7. Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque [6]

Parmi les avantages que nous trouvons lors de l'installation d'un système photovoltaïque sont :

- Tout d'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Nous trouvons également le coût de fonctionnement très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Et enfin la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

Concernant les inconvénients, nous avons :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28% . Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.

- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur.

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les cellules photovoltaïques, expliqué leur principe de fonctionnement, indiqué leur différents types et leur caractéristiques, nous avons ensuite donné une spécification des différentes zones de fonctionnement des modules PV, leur différents modèles avec différents paramètres et leur associations. Dans le chapitre qui va suivre nous allons décrire et faire l'étude avec simulation d'un système à base d'électronique de puissance qui est relié au panneau photovoltaïque qui est le hacheur.

Chapitre II Etude et simulation d'hacheur

II.1. Introduction

Pour la conversion de puissance d'un hacheur, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter la dissipation de la puissance et pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute la conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et les commutateurs. Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques KW) et les IGBTs à des puissances plus élevées.

Deux topologies de base d'hacheur seront décrites dans les paragraphes suivants de ce chapitre qui sont le hacheur élévateur (Boost), le hacheur abaisseur (Buck) utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités [5]. Nous allons ensuite décrire les commandes MPPT utilisés dans ces hacheurs du fait que la source alimentant ces topologies est un panneau solaire.

II.2. Le convertisseur statique continu-continu

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. Deux topologies de base de circuit de conversion continu-continu existent et qui sont :

- A. Le hacheur survolteur (Boost)** connu également sous le nom d'élévateur de tension. Le schéma de (Figure III-1) représente son circuit électrique. 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) [6].

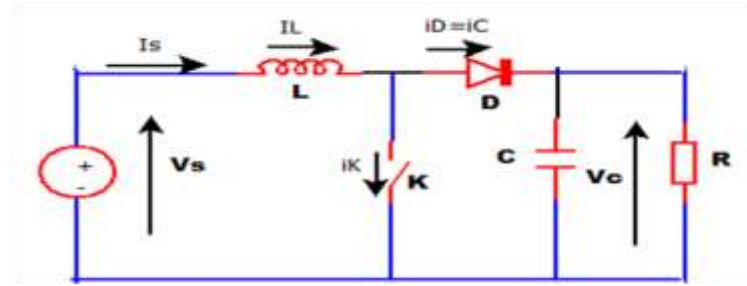


Figure.II-1 – Circuit électrique de convertisseur survolteur

Son fonctionnement est expliqué comme suit, Les deux interrupteurs doivent être complémentaires [7].

Etat (1) qui est l'état de fonctionnement, la source doit être court-circuité et la charge doit être à circuit ouvert. On obtient alors :

D ouvert	K fermé
$V_D = -V_c$ $i_D = 0$	$V_K = 0$ $i_K = I_s$

Etat (2) qui est l'état de repos, la source débite sur la charge. On obtient :

D fermée	K ouvert
$V_D = 0$ $i_D = I_s$	$V_K = V_c$ $i_K = 0$

En fonction des caractéristiques obtenues, D est une diode et K est un MOSFET d'où le schéma final.

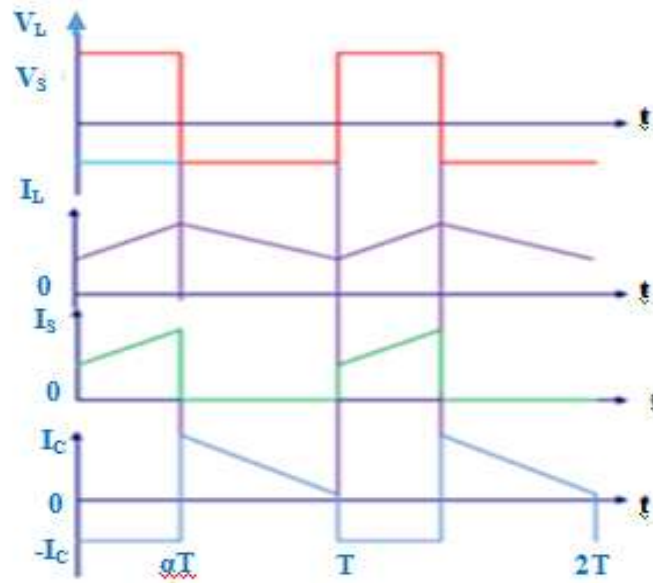


Fig.II-2 – Caractéristique de la tension et du courant du hacheur survolteur

Si T est la période de fonctionnement et αT est la durée des intervalles de conduction du MOSFET, nous obtenons la valeur moyenne de V_s égal à :

$$V_s = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_s dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_c dt = (1 - \alpha) V_c \iff V_c = \frac{V_s}{(1 - \alpha)} \quad (\text{II.1})$$

A pertes minimales nous avons :

$$P_s = P_c \iff V_s I_s = V_c I_c \iff I_c = \frac{V_s}{V_c} I_s \iff I_s = (1 - \alpha) I_c \iff (1 - \alpha) = \frac{V_s}{V_c} = \frac{I_c}{I_s} \quad (\text{II.2})$$

α est compris entre $]0,1[$; $V_c > V_s$ ce qui implique que c'est un hacheur survolteur.

B. Hacheur dévolteur (Buck) ou hacheur série est représenté par un circuit électrique donnée par la figure (II.3) :

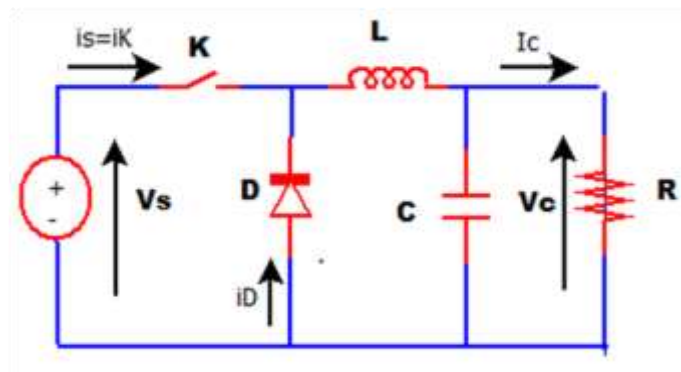


Figure.II-3 – Circuit électrique de convertisseur dévolteur

Les deux interrupteurs doivent être complémentaires pour que la source ne soit pas court-circuitée, et que la charge ne soit pas mise en circuit ouvert.

Pour déterminer la caractéristique de chaque interrupteur, il suffit d'étudier les différents états de fonctionnement :

Etat (1) qui est l'état de repos ; la source ne doit pas débiter de courant et la charge doit être court-circuitée. On obtient alors :

K ouvert	D fermé
$V_K = V_S$ $I_K = 0$	$V_D = 0$ $i_D = I_C$

Etat (2) qui est l'état de fonctionnement ; la source débite sur la charge. On obtient alors :

K fermée	D ouvert
$V_K = 0$ $I_K = I_C$	$V_D = -V_S$ $i_D = 0$

En fonction des caractéristiques obtenues, K est un interrupteur et D est une diode d'où le schéma final.

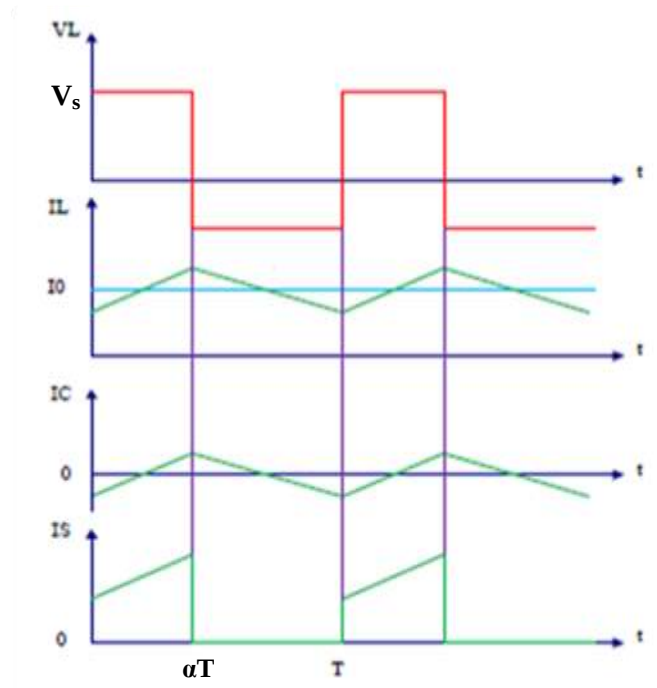


Figure.II-4 – Caractéristique de la tension et du courant du hacheur dévolteur

Si T est la période de fonctionnement et αT la durée des intervalles de conduction de l'interrupteur, les différentes tensions et courants sont présentés dans la figure ci-dessus.

La valeur moyenne de V_C est :

$$V_C = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} v_c dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} V_S dt = \alpha V_S \quad (II.3)$$

A pertes minimales nous aurons :

$$P_S = P_C \Leftrightarrow V_S I_S = V_C \Leftrightarrow I_C I_S = \frac{V_C}{V_S} I_C \Leftrightarrow I_S = \alpha I_C \Leftrightarrow \alpha = \frac{V_C}{V_S} = \frac{I_S}{I_C} \quad (II.4)$$

α est le rapport cyclique, compris entre]0,1[; $V_C < V_S$. C'est un hacheur abaisseur.

Si l'inductance du récepteur est insuffisante pour réduire l'ondulation de i_C il faut augmenter τ donc L , c'est-à-dire ajouter une inductance de lissage entre le hacheur et le récepteur.

On obtient le même résultat en augmentant la fréquence $1/T$ de fonctionnement. D'où l'intérêt des semi-conducteurs permettant le fonctionnement à fréquence élevée.

II.3. Commande du hacheur relia à un panneau solaire

Notre système est constitué de deux parties importantes, la première représente un générateur photovoltaïque et la seconde un hacheur comme le montre la figure suivante :

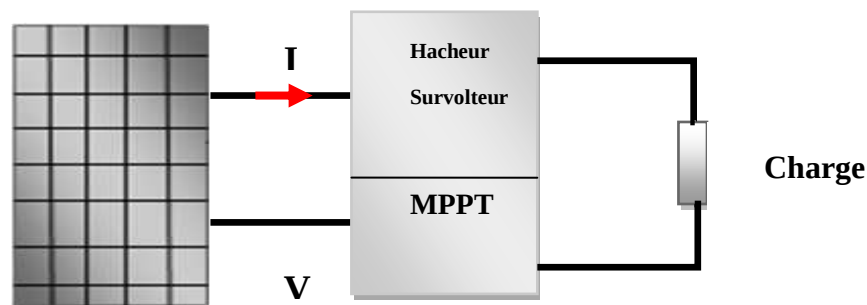


Fig.II-4 – structure général du système PV

Comme nous l'avons montré dans le chapitre 1 un panneau solaire photovoltaïque (ou module solaire photovoltaïque) est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, qui sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques. Cette partie est décrite précédemment dans le premier chapitre [8]. Concernant le hacheur qui est un convertisseur de type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé [9].

Il existe plusieurs commandes d'hacheur, nous allons en citer quelques une basées sur la MPPT afin de chercher le point de fonctionnement maximum des panneaux solaires.

II.3.1. Méthode à contre réaction de la tension :

Ce genre de mécanisme repose sur le contrôle de la tension de fonctionnement des panneaux par comparaison de cette tension avec une référence. Cela génère une tension

d'erreur qui fait varier le rapport cyclique de la MLI de la commande à fin d'annuler cette erreur comme le montre la figure (II.6)[10].

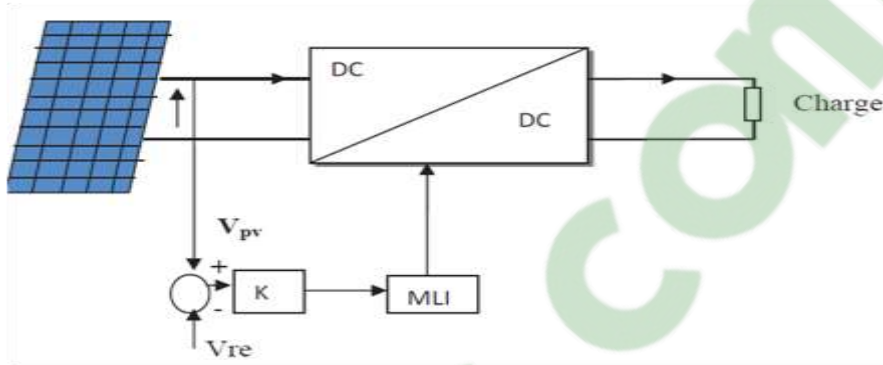


Fig.II-5 – - Méthode contre réaction de la tension

L'inconvénient de cette configuration est que le système ne peut pas s'adapter aux conditions variables d'environnement, telles que l'irradiance et la température.

Les avantages de cette technique c'est une technique simple, économique et emploie seulement une commande de boucle de feedback [11].

II.3.2. Méthode de la conductance incrémentale :

L'avantage de cet algorithme est la vitesse de recherche du point de puissance maximale quand les conditions atmosphériques changent rapidement ; la description de l'algorithme est présentée comme suite [12] :

La puissance produite par le générateur photovoltaïque peut être exprimé par :

$$P_{pv} = I_{pv} V_{pv} \quad (II.5)$$

La conductance et l'incrément de la conductance peuvent être identifiées en dérivant l'équation par rapport à la tension V_{pv} :

L'équation par rapport à la tension V_{pv} :

$$\frac{1}{V} \frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} + \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (II.6)$$

Ainsi on a noté avec G la conductance et avec ΔG l'incrément de la conductance nous obtenons alors les expressions suivantes $G = \frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ et $\Delta G = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}}$

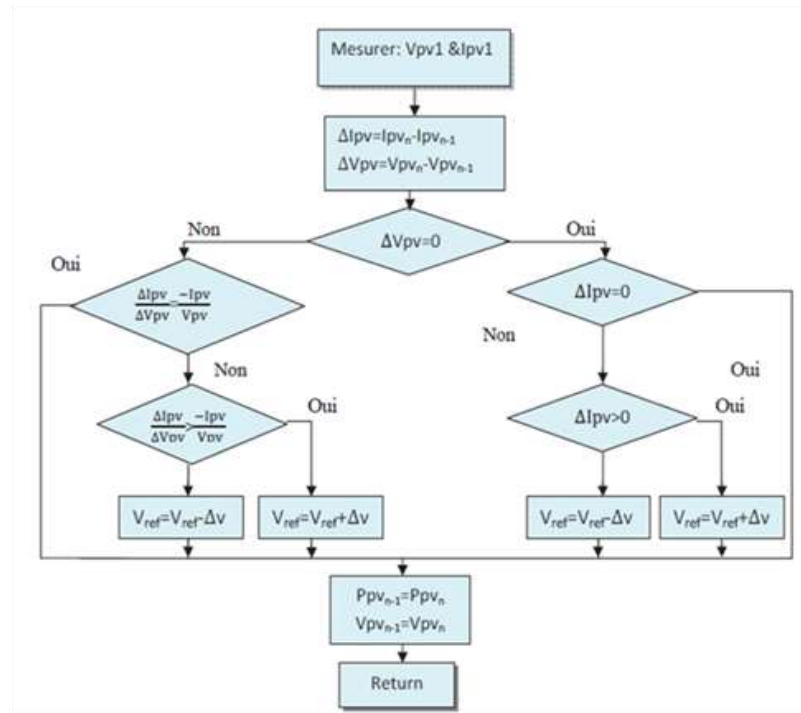


Fig.II-6 – - algorithme de la commande IncCond

II.3.3. Méthode de Perturbation et Observation (P&O) :

Le principe des commandes MPPT de type **P&O** consiste à perturber la tension V_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{pv} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure (II.8), on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , 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 $P_{pv}(V_{pv})$, 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 [13].

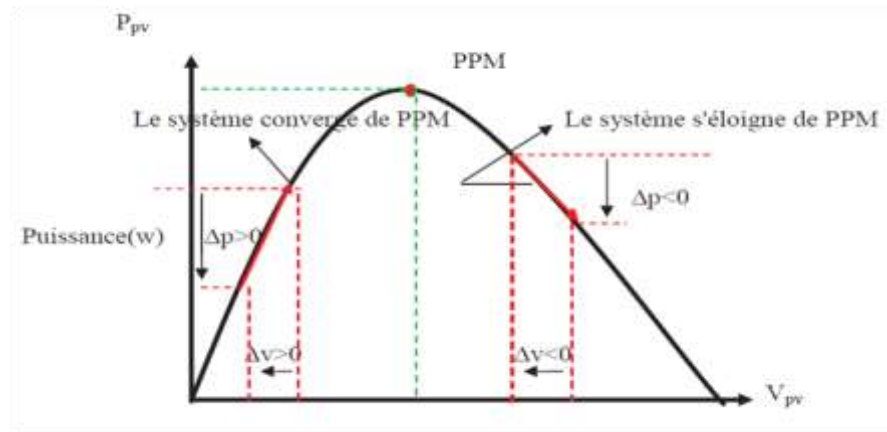


Fig.II-8 – Schéma de convergence vers le PPM par P&O

La figure (II.9) 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.

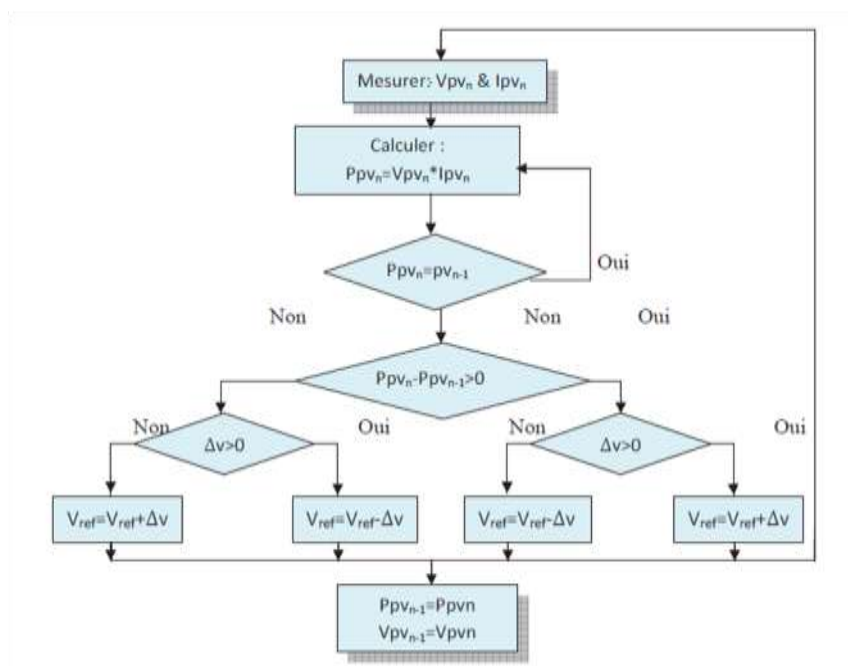


Fig.II-7 – Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation

Telle que :

P_{PVn} : la nouvelle puissance

P_{PVn-1} : l'ancienne puissance dans le temps (t-1)

$\Delta V = V_{PVn} - V_{PVn-1}$

$$\Delta P = P_{PVn} - P_{PVn-1} \quad (II.8)$$

La méthode P&O est largement utilisée de sa facilité d'implémentation. La figure suivante montre le schéma SIMULINK que nous avons réalisé.

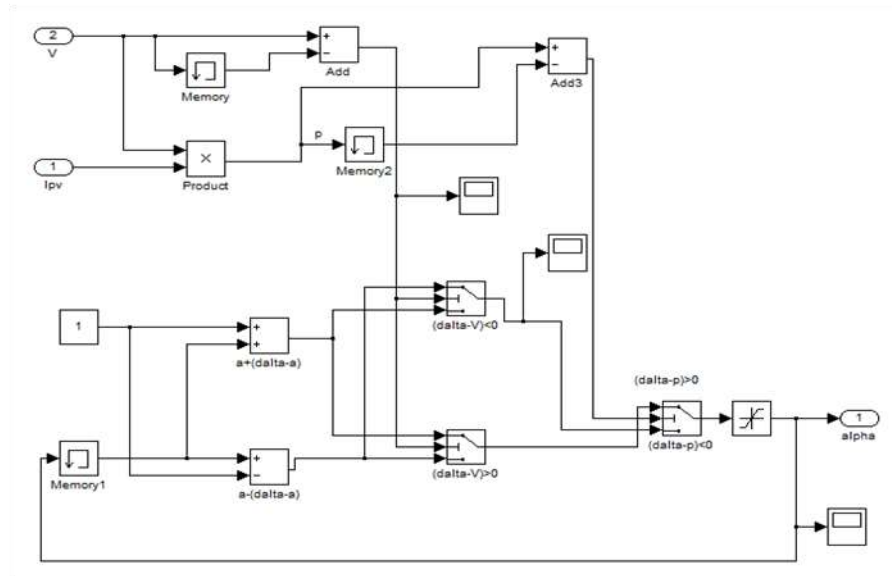


Fig.II-8 – - Modèle SIMULINK de l'algorithme MPPT P&O

II.3.4. Méthode de Mikihiro Matsui :

Le principe de base de commande du nouveau régime proposé de MPPT est que le facteur de service du convertisseur élévateur est déterminée de manière à ce que sa sortie est une tension continue peut être maintenue constante. La commande de facteur de service est calculée à partir de la relation de l'état d'équilibre bien connu comme suit :

$$\mathbf{d}^* = \mathbf{1} - \frac{V_{cell}}{V^*} \quad (\text{II.9})$$

Pour mettre en œuvre cette nouvelle méthode, seule une partie amplificateurs opérationnel analogiques est nécessaire avec un multiplicateur pour le calcul de la puissance de sortie.

Pour notre étude, nous avons utilisé cette méthode en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation [14]. L'algorithme de cette méthode est présenté dans la figure ci-dessous :

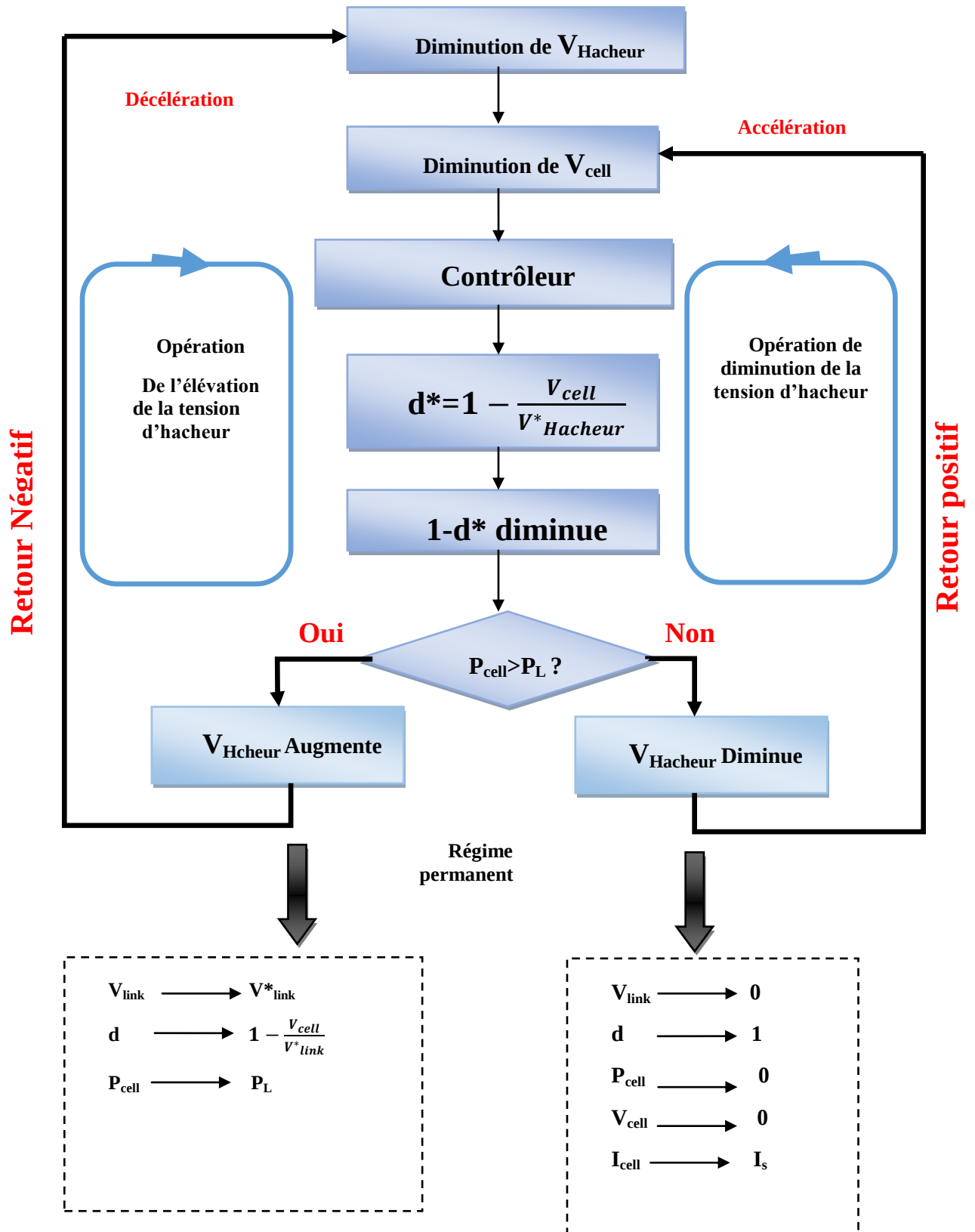


Fig.II-9 – L'algorithme de la méthode de Mikihiro Matsui

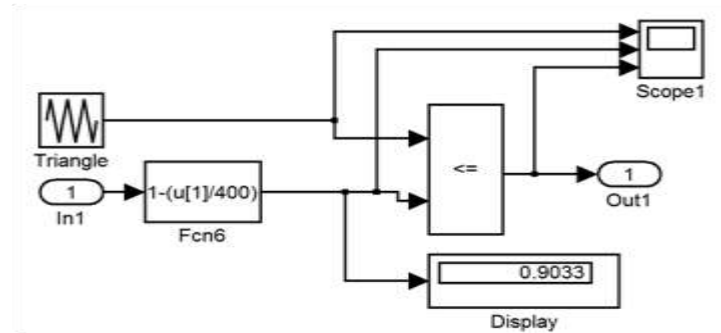


Figure.II-10 – - Modèle SIMULINK de l'algorithme MPPT Mikihiko Matsui

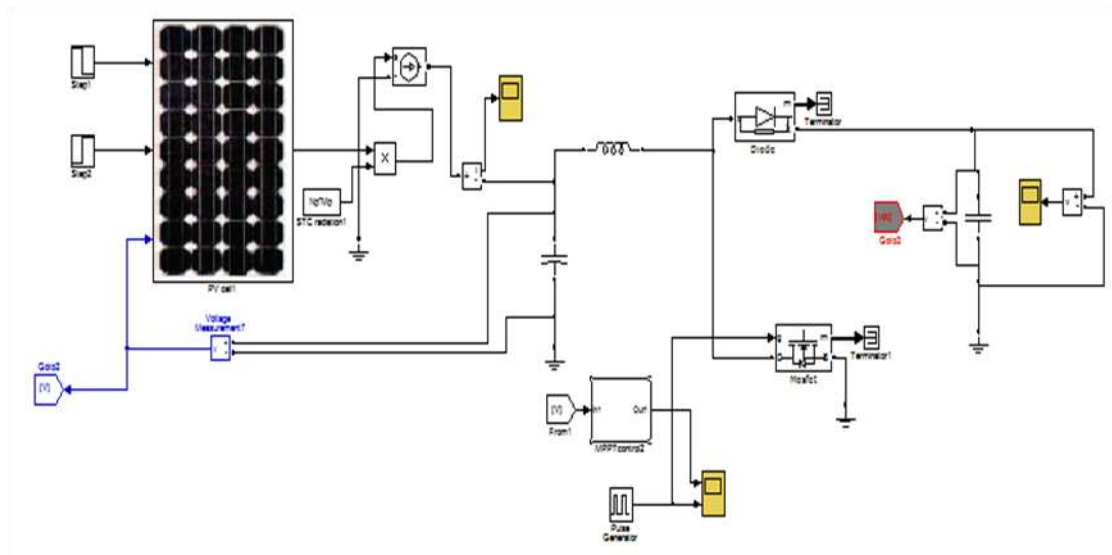


Figure.II-11 – - Modèle SIMULINK de GPV +hacheur avec une commande Mikihiko Matsui.

Les résultats de simulation de cette méthode que nous avons obtenue sont :

paramètre	$V_e = V_{pv} (V)$	$V_s (V)$	$C (F)$	$L (H)$	α
valeur	38.65	400	1000^{e-6}	120^{e-3}	90.33%

Tableau II-1 – Table des paramètres de simulation d'hacheur BOOST.

(II.10) Avec : $V_c = \frac{V_s}{(1-\alpha)} \implies 1-\alpha = \frac{V_s}{V_c} = 0.09663 \implies \alpha = 0.9033 \leftrightarrow \alpha = 90.33 \%$

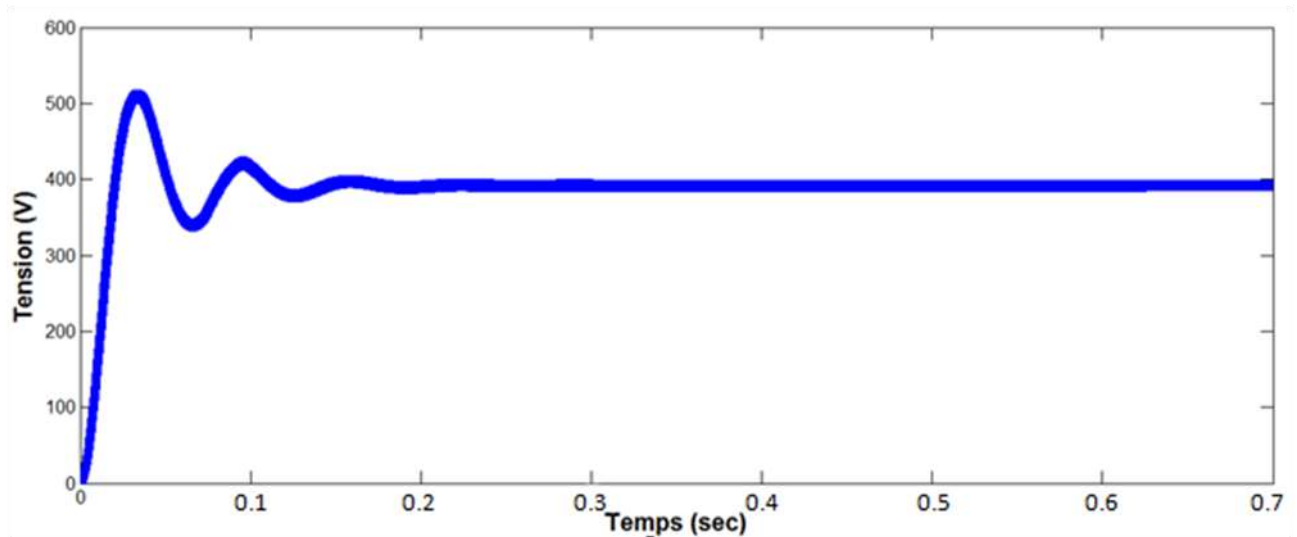


Figure.II-12 – - la tension à la sortie du hacheur.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié quelques topologies de base des hacheurs, qui ne sont rien d'autres que des convertisseurs continu-continu. Comme le convertisseur dévolteur et, convertisseur survolteur.

On a présenté aussi quelques commandes MPPT du hacheur comme la commande d'incrémental de conductance, perturbation et observation (P&O) ainsi que la commande présenté par Mikihiro Matsui dans le but de rechercher la MPPT où la puissance du générateur photovoltaïque soit maximale, sous différentes conditions de fonctionnement.

Chapitre III Onduleur

III.1. Introduction

Parmi les différentes structures de conversion statique, constituant une structure de base dans plusieurs applications industrielles, l'onduleur de tension figure en première ligne. La conversion continue-alternatif joue un rôle important dans les systèmes photovoltaïques. Elle permet de faire l'adaptation entre le champ photovoltaïque et les charges qui consomment du courant alternatif monophasé ou triphasé.

C'est pour cela, que nous allons entamer dans ce chapitre tous ce qui concerne l'onduleur soit monophasé ou triphasé, sa description, son rôle, son principe de fonctionnement, et enfin ces différentes types de commandes.

III.2. Définition de l'onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue à la forme alternative. En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande des semi-conducteurs. Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande [15].

La figure (III.1) représente un schéma de principe de la conversion continu-alternatif :

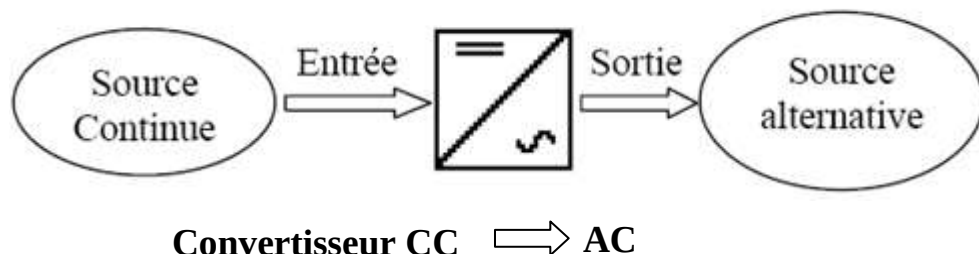


Fig.III-1 – - schéma du principe de la conversion CC-AC

III.3. Les différents types d'onduleurs

III.3.1. Onduleur de tension monophasé

On appelle onduleur de tension, un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue. Nous présentons le principe des onduleurs de tension dans le cas où la sortie est monophasée, en utilisant l'onduleur en pont à quatre interrupteurs : K_1 , K_2 , K_1' et K_2' .

La Figure(III.2) représente le circuit de puissance d'un tel onduleur (pont monophasé) et la Figure(III.3) représente les signaux de commande et les formes d'ondes des tensions :

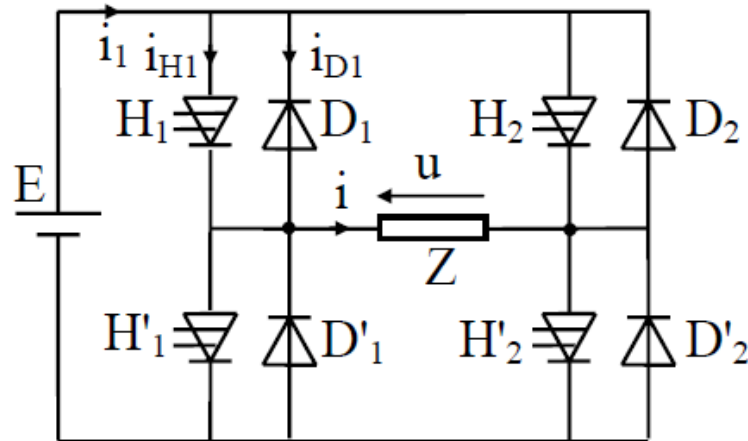


Fig.III-2 – - Onduleur de tension en pont monophasé

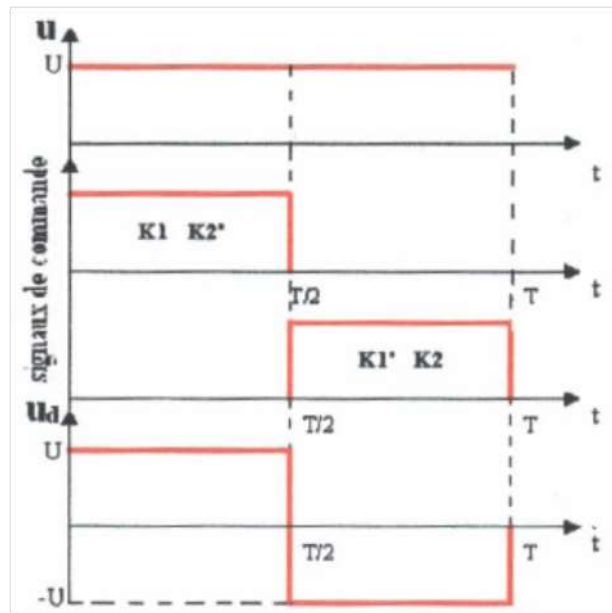


Fig.III-3 – - Signaux de commande et forme d'onde des tensions de sortie

Les états des interrupteurs commandés nous permettent de donner l'expression de $U_d(t)$ comme suit : Si la tension d'entrée de l'onduleur est constante et égale à U , quel que soit I on a :

- Pour $0 < t < T/2$: les interrupteurs, K_1, K_2 sont fermés, et K_2', K_1' sont ouverts.

D'où : $U_d = +U$ (III.1)

- Pour $T/2 < t < T$: les interrupteurs, K_2, K_1' sont fermés, et K_1, K_2' sont ouverts.

D'où : $U_d = -U$ (III.2)

Notant que les interrupteurs K_i de l'onduleur ; sont formés par la mise en parallèle d'un semi-conducteur T_i commandé à l'ouverture et à la fermeture et d'une diode D_i . Cette dernière assure la continuité de courant.

III.3.2. Onduleur de courant monophasé

On appelle onduleur de courant, un onduleur qui est alimenté par une source de courant continue. Par exemple, on prend le montage de la figure ci-dessous illustrant le modèle d'un onduleur de courant monophasé, qui se compose de quatre interrupteurs de puissance K_1, K_2, K_1' et K_2' , sur La Figure(III.5) sont représentés les signaux de commande et les formes d'ondes des courants correspondants.

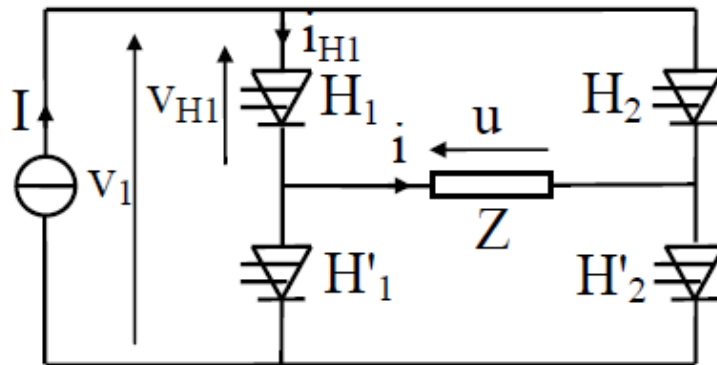


Fig.III-4 – - Onduleur de courant en pont monophasé

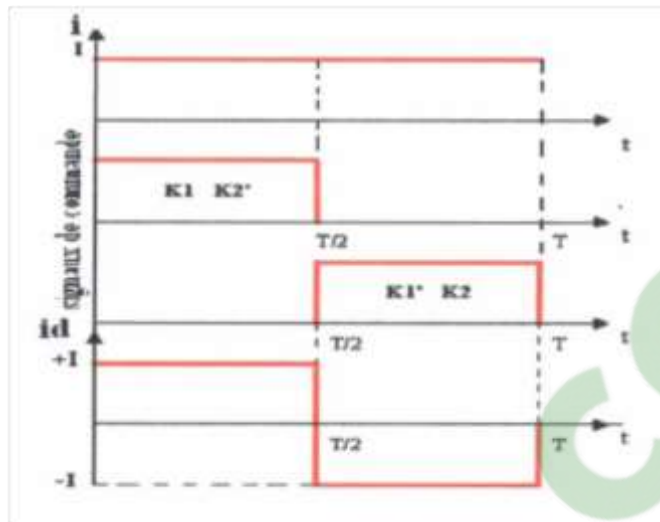


Figure.III-5 -- Signaux de commande et forme d'onde des courants.

De même, pour l'onduleur de courant, les états des interrupteurs commandés nous permettent de donner l'expression de $i_d(t)$. Si le courant d'entrée de l'onduleur est constant et égal à I , quel que soit U :

- Pour $0 < t < T/2$: les interrupteurs, K_1, K_2' sont fermés, et K_2, K_1' sont ouverts :

$$\text{D'où } i_d = +I \quad (\text{III.3})$$

- Pour $T/2 < t < T$: les interrupteurs, K_2, K_1' sont fermés, et K_1, K_2' sont ouverts :

$$\text{D'où } i_d = -I \quad (\text{III.4})$$

La tension $U_d(t)$ de la sortie est donc la tension U à l'entrée, elle dépend de la charge placée dans le côté alternatif. Dans ce cas ; l'interrupteur est formé d'un semi-conducteur commandé à l'ouverture et la fermeture, il n'a pas à être réversible en courant, alors on n'a pas besoin de diode mise en parallèle.[16]

III.3.3. Onduleur à résonance

Ces onduleurs permettent d'imposer le courant ou la tension et la fréquence. Alors, pour le cas particulier où la charge est constituée d'un circuit oscillant peu amorti, on peut commander les interrupteurs à une fréquence très proche de la fréquence de résonance de la charge. Si la charge varie, la fréquence de commande varie. Ce qui signifie que la fréquence de l'onduleur dépend de la charge [17].

On distingue deux modèles à résonance a savoir :

III.3.3.1 Onduleur à résonance parallèle

Ce dernier débite sur un circuit **RLC** résonnant parallèle peu amorti comme l'illustre la figure (III.6):

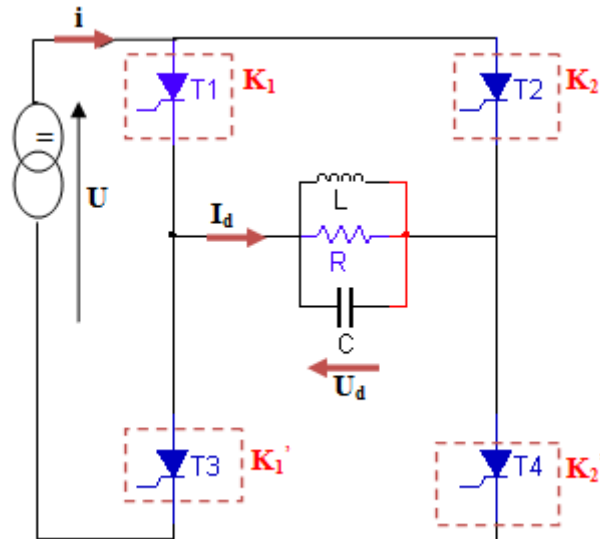


Figure.III-6 -- Onduleur à résonance parallèle monophasée

Sur La **Figure(III.7)** sont représentés les signaux de commande et les formes d'ondes des courants correspondants.

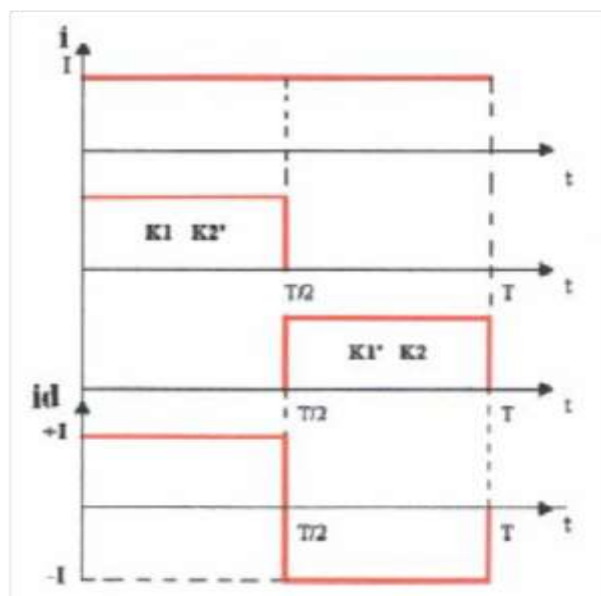


Figure.III-7 -- Signaux de commande et forme d'onde de courant

Pour cela, on dispose d'une capacité branchée entre les bornes de la sortie, pour s'opposer à la brusque variation de la tension ; donc l'onduleur doit être alimenté par une source de courant continu. Il représente donc un cas particulier de l'onduleur de courant [17].

III.3.3.2 Onduleur à résonance série

Celui-ci débite sur un circuit **RLC** résonant série peu amorti la figure(III.8). Dans ce cas, on dispose d'une inductance placée en série dans la charge, pour s'opposer aux discontinuités du courant I , donc l'onduleur doit être alimenté par une source de tension. Il représente donc un cas particulier de l'onduleur de tension [17].

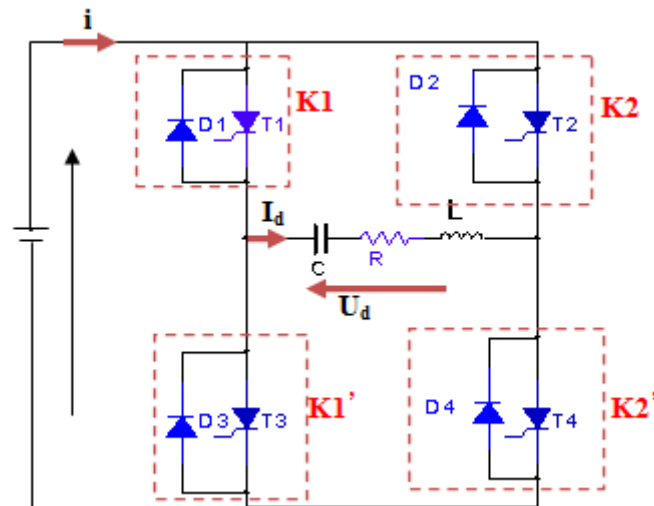


Figure.III-8 – - Onduleur à résonance série(Monophasée).

La figure(III.9) représente les signaux de commande et les formes d'ondes des tensions :

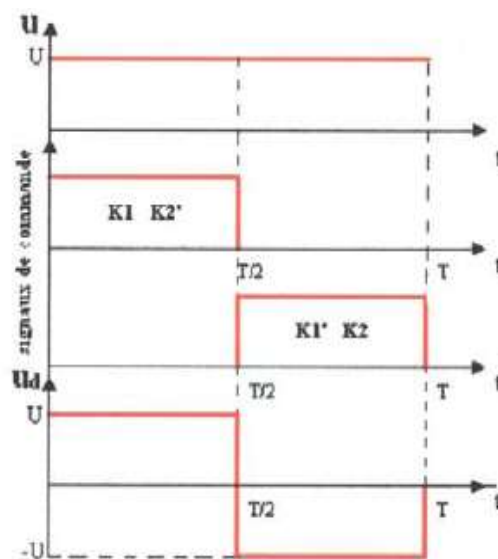


Figure.III-9-- Signaux de commandes et forme d'onde de tensions.

III.3.4. Onduleur de tension triphasé

On peut réaliser un onduleur triphasé en regroupant, en parallèle, trois onduleurs monophasés (en pont ou en demi-pont) et commander les interrupteurs de chacun pour obtenir à la sortie trois phases décalées de 120° . En fait, en regroupant trois demi ponts monophasés, on obtient un onduleur en pont triphasée à six interrupteurs représenté par la figure(III.10) dont les interrupteurs du même bras de l'onduleur doivent être complémentaires pour que la

tension continue U ne soit jamais en court-circuit et pour que les circuits des courants i_a , i_b et i_c ne soient jamais ouverts. Afin que les interrupteurs puissent imposer les tensions de sortie, quelques soient les courants de charge, il faut que ces derniers soient bidirectionnels en courant. Chacun d'eux est formé d'un semi-conducteur à ouverture et à fermeture commandées et d'une diode montée en antiparallèle. Ces interrupteurs peuvent être réalisées, suivant la puissance à contrôler, avec des transistors MOS ou bipolaires, des IGBTs ou des GTOS associés à une diode en antiparallèle pour obtenir la réversibilité en courant.

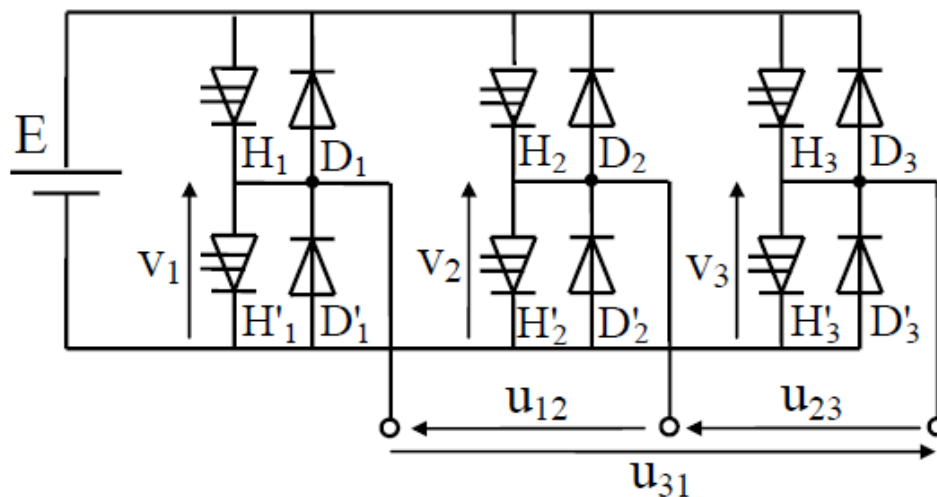


Figure.III-10 – - Circuit de puissance d'un onduleur de tension triphasé.

III.4. Stratégies de commandes des interrupteurs

III.4.1. Commande 180°

Lorsque la séquence de commande de fermeture d'un interrupteur coïncide avec la commutation d'ouverture de l'interrupteur situé sur le même bras, on parle dans ce cas, d'un onduleur de type 180°, figure (III.11). Pour le premier bras de l'onduleur, l'interrupteur K_1 est fermé pendant une demi-période (180°), et K'_1 est fermé pendant l'autre demi de la période. Pour les deux autres bras de l'onduleur, on applique la même procédure, mais avec un décalage de $(2\pi/3)$ et $(4\pi/3)$ par rapport au premier bras [18].

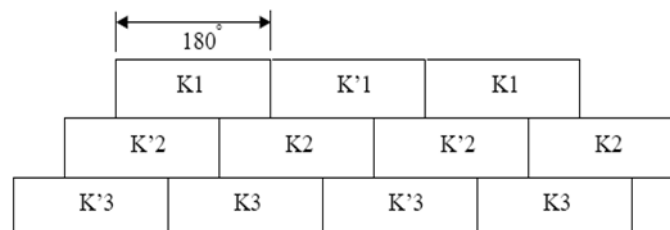


Fig.III-91 – - Commande 180°.

En appliquant ce type de commande pour l'onduleur, on obtient un système de tensions alternatives triphasées caractérisées par l'absence des harmoniques de rangs multiples de trois.

III.4.2. Commande 120°

La commande 120° comme le montre la figure (III.12), est basé sur le principe suivant : la commande de fermeture d'un interrupteur ne doit pas coïncider plus avec la commande d'ouverture de l'interrupteur placé sur le même bras, on parle dans ce cas d'un onduleur de type 120° [18].

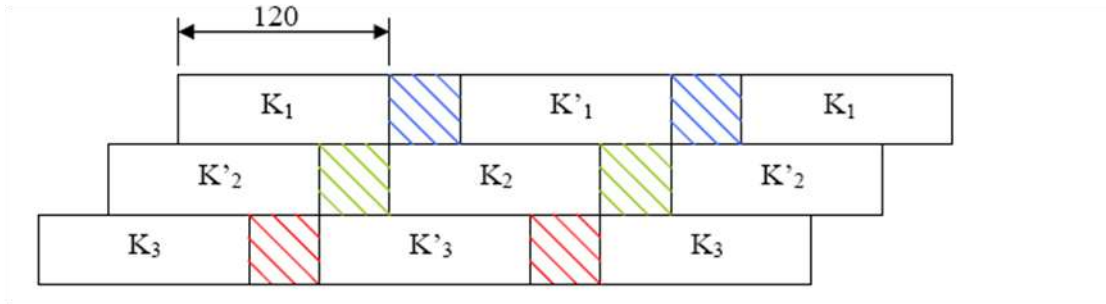


Fig.III-102 -- Commande 120°.

Avec cette technique de commande, Chaque interrupteur fonctionne pendant 120°, telle que la séquence est K_1 , K_2 puis K_3 successivement. De même pour les interrupteurs K'_1 , K'_2 et K'_3 avec un décalage de 60° par rapport à K_1 , K_2 , K_3 .

III.4.3. Commande à modulation de largeur d'impulsion(MLI)

La méthode est basée sur la MLI met en œuvre d'abord un régulateur qui, à partir de l'écart entre le courant et sa référence, détermine la tension de référence de l'onduleur (modulatrice). Cette dernière est ensuite comparée avec un signal en dent de scie à fréquence élevée (porteuse)[19]. La sortie du comparateur fournit l'ordre de commande des interrupteurs. Le schéma de principe de cette méthode est donné par la figure (III.13)

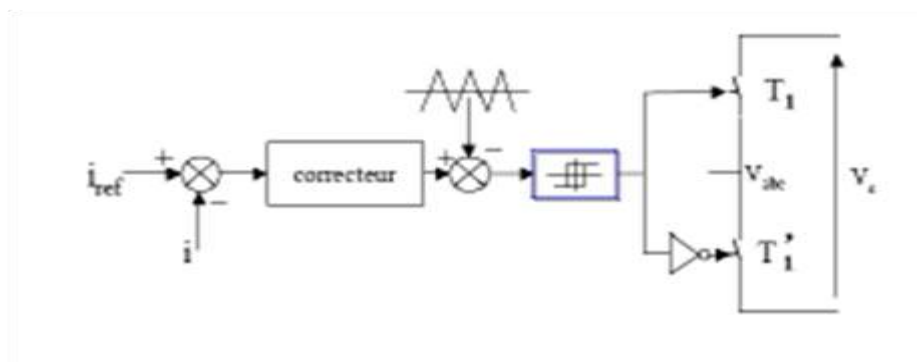


Fig.III-13 -- Contrôle de courant par MLI

Le schéma de principe de la commande est donné par la figure suivante :

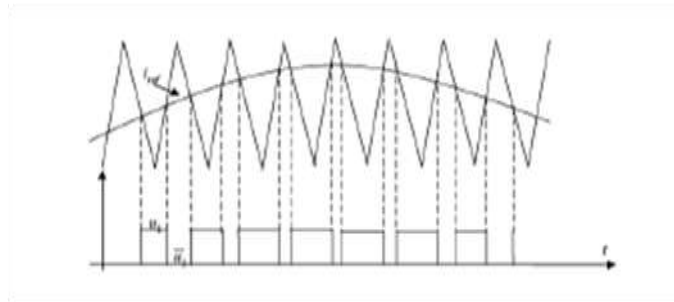


Figure.III-11 – - Commande des interrupteurs par MLI

La mise au point d'un régulateur doit prendre en compte les critères suivants :

- La bande passante du régulateur doit être assez large afin de ne pas introduire un retard important.
- Le fonctionnement de la régulation ne doit pas être perturbé par les harmoniques dus aux découpages de l'onduleur. Ces harmoniques doivent être atténués à la sortie du régulateur.

En effet, les deux stratégies de modulation les plus utilisées en boucle ouverte pour un onduleur de tension triphasé sont la modulation sinusoïdale et la modulation vectorielle :

III.4.3.1 Modulation sinusoïdale (MLIS)

Cette stratégie est héritée des techniques analogiques. Elle consiste à calculer la largeur d'une impulsion de manière à obtenir la tension de référence en moyenne sur une période de commutation. Elle repose sur la génération des signaux de commande en comparant deux ondes ; la première triangulaire d'amplitude fixe et de fréquence très élevée ; appelée porteuse ou onde de modulation. La deuxième sinusoïdale d'amplitude variable et de fréquence f qui détermine la fréquence de la tension de sortie ; appelée référence. Les instants de commutation sont déterminés par l'intersection de ces deux signaux. Le réglage en amplitude et en fréquence de la tension de sortie de l'onduleur est défini par le coefficient de réglage en tension (représentant le rapport de l'amplitude de la tension de référence à la valeur crête de la porteuse), et l'indice de modulation (donnant le rapport des fréquences de la porteuse et de la référence)[16],[20].

III.4.3.2 Modulation vectorielle(SVM)

L'utilisation des technologies numériques permet le recours à des stratégies de modulation triphasée spécifiques, non déduites des techniques analogiques initialement conçues en monophasé. Parmi ces technologies numériques on trouve la modulation vectorielle (Space Vector Modulation). Qui représente la méthode de modulation ou de commande la plus adoptée au contrôle des machines à courant alternatif beaucoup plus les machines asynchrones.

En effet, contrairement à la modulation sinusoïdale, la MLI vectorielle ne s'appuie pas sur des calculs séparés des modulations pour chacun des bras de l'onduleur. Mais elle traite les signaux directement dans le plan diphasé de la transformée de Concordia. Donc le principe de base de cette modulation consiste à reconstruire le vecteur de tension de sortie de l'onduleur à partir des huit vecteurs de tension correspondant aux huit états possibles de l'onduleur de tension [21].

III.4.4. Commande par hystérésis

Le principe de contrôle des courants par hystérésis consiste à maintenir chacun des courants générés dans une bande enveloppant les courants de référence. Chaque violation de cette bande donne un ordre de commutation. En pratique, cette technique est schématisée par la figure (III.15) que l'on va utiliser. La différence entre le courant de référence et celui mesuré est appliquée à l'entrée d'un comparateur à hystérésis dont la sortie fournit directement l'ordre de commande des interrupteurs du bras correspondant de l'onduleur [22] :

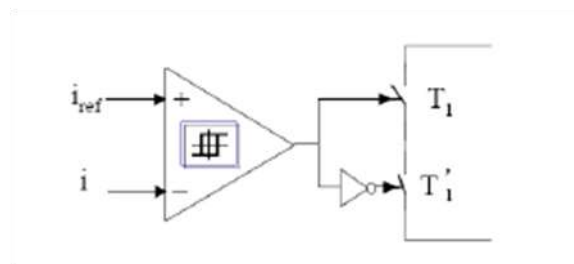


Figure.III-12 – - Contrôle de courant par hystérésis

La simplicité de la mise en œuvre de cette stratégie est son avantage, tandis que la fréquence de commutation variable peut être son inconvénient. Celui-ci peut être remédié par une autre version de contrôle par l'hystérésis avec une fréquence de commutation fixe. Le seul paramètre de régulation dans cette commande est la largeur de la bande d'hystérésis qui détermine l'erreur sur les courants et la fréquence de commutation bien que cette dernière reste inconnue. Le principe de la commande des interrupteurs est illustré par la figure (III.16) :

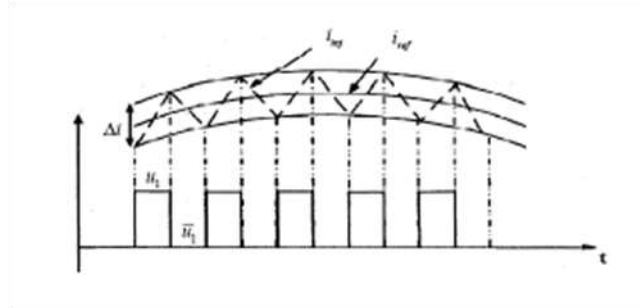


Figure.III-13 – - Commande des interrupteurs par hystérésis

Dans notre système photovoltaïque, on a travaillé avec un onduleur monophasé en pont avec IGBT commandé par une PLL monophasée utilisant un filtre multi variable (FMV), la figure(III.17), illustre le schéma bloc de l'onduleur monophasé en pont sous MATLAB.

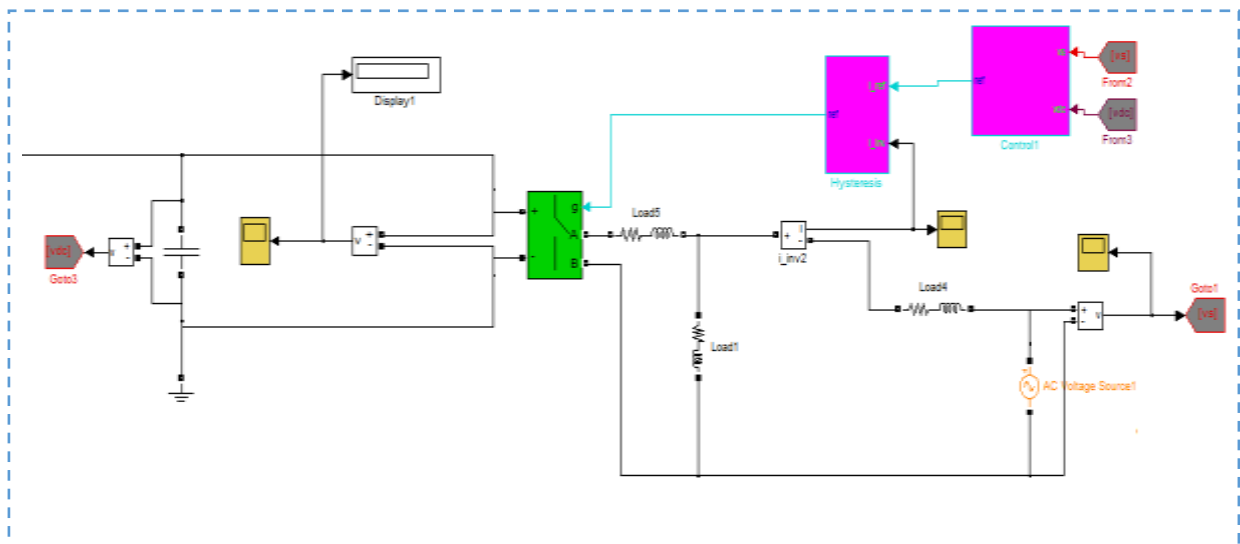


Figure.III-14 – - Schéma de simulation d'onduleur monophasé en pont sous MATLAB.

III.5. Commande de l'onduleur utilisant une PLL

La synchronisation du réseau joue un rôle important pour les systèmes connectés au réseau. La technique PLL est utilisée pour synchroniser la fréquence de sortie et la phase de la tension du réseau avec celle de l'onduleur en utilisant des différentes transformations [23]. Pour la

PLL monophasée, nous avons utilisé un filtre multi variable (FMV), un intégrateur et un régulateur PI. Les signaux $\sin(w_1t)$ et $\cos(w_1t)$ ainsi que le signal triangulaire de la commande MLI sont modélisés par des générateurs de signaux de la bibliothèque de **SimPowerSystem**. Le bloc PLL est décrit sur la figure(III.18)

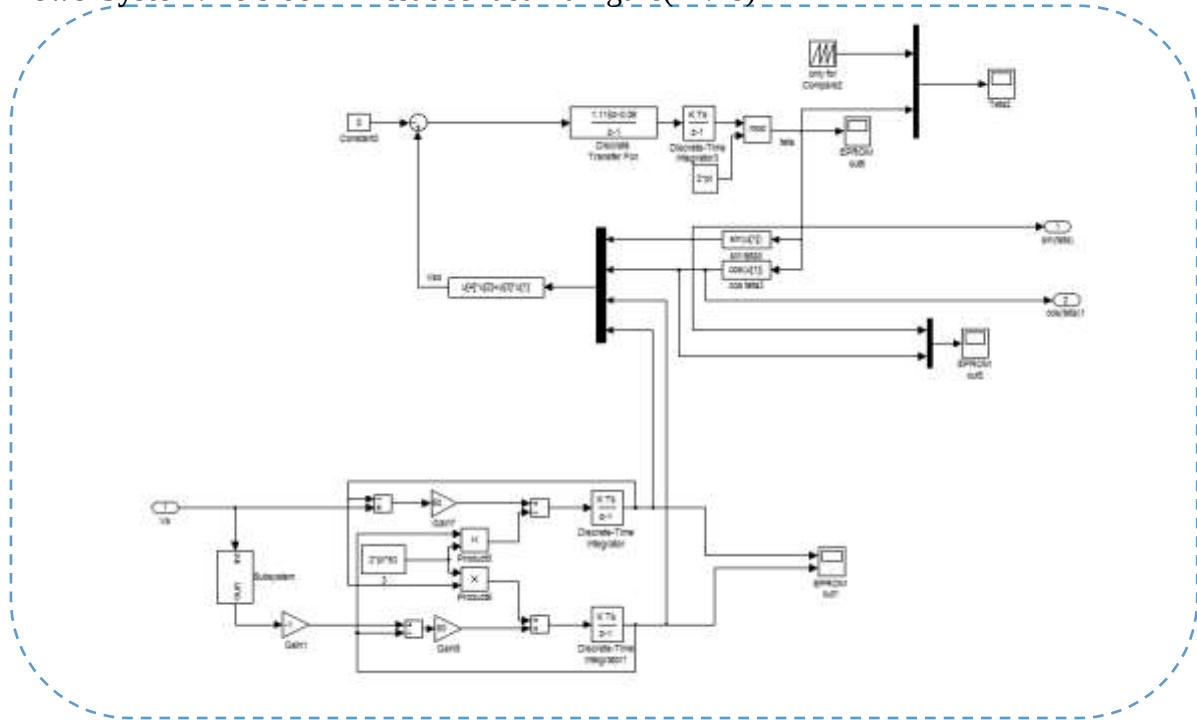


Figure.III-15 – - Schéma de PLL+FMV

La régulation de la PLL c'est fait grâce à un régulateur PI qui est le régulateur le plus couramment employé. Il est en effet l'un des plus simples à mettre en œuvre numériquement et à régler. On le retrouve dans un grand nombre de publications. Il se caractérise par une action proportionnelle à travers un gain K_p et une action intégrale grâce au gain K_i , d'où sa fonction de transfert :

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (III.5)$$

Le régulateur PI réalise un bon compromis entre performances et coût de réalisation, et son utilisation avoisine les 80% dans des systèmes de régulation industrielle. La détermination de ses paramètres P (proportionnel) et I (intégral) n'est cependant pas toujours optimale.

Dans notre système, on a calculé la fonction de transfert $F(s)$ du correcteur PI, donnée par l'expression suivante [24] :

$$F(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = K_p \left(\frac{1+T_i s}{T_i s} \right) \quad (III.6)$$

Ainsi la position angulaire aura pour expression :

$$\hat{\theta} = \frac{1}{s} \hat{\omega} \quad (\text{III.7})$$

La fonction du transfert de ce système est donnée par :

$$\frac{\hat{\theta}}{\theta} = \frac{\sqrt{3}V_m K_p \left(\frac{1+\tau_i s}{\tau_i s}\right) \frac{1}{s}}{1 + \sqrt{3}V_m K_p \left(\frac{1+\tau_i s}{\tau_i s}\right) \frac{1}{s}} \quad (\text{III.8})$$

Ce qui correspond à une équation du second ordre de la forme :

$$F(s) = \frac{2\xi\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (\text{III.9})$$

Ce qui nous permet par identification de tirer les équations de ces paramètres :

$$K_p = \frac{2\xi\omega_n}{\sqrt{3}V_m} \text{ et } \tau_i = \frac{2\xi}{\omega_n} \quad \text{avec} \quad \xi = 0.707 \quad \text{et} \quad f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = 50 \text{ Hz} \quad (\text{III.10})$$

Cela donne :

$$K_p = 1.068 \text{ et } \tau_i = 4.501 \cdot 10^{-3} \text{ sec} \quad (\text{III.11})$$

L'annexe 2 montre le programme sous MATLAB qui permet de calculer tous ces paramètres.

Le filtre multi variable est un filtre d'extraction hautement sélectif, il a été développé par Benhabib [24]. Son principe de base s'appuie sur les travaux de Song Hong-Scok [25], et fait l'extraction de la composante fondamentale ou harmonique des signaux, directement selon les axes de Concordia (α - β).

Song Hong-Scok a présenté une méthode pour récupérer la fonction de transfert de l'intégration du signal de référence synchrone, qui est exprimé par l'équation.

$$V_{xy}(t) = e^{j\omega t} \int e^{-j\omega t} U_{xy}(t) dt \quad (\text{III.12})$$

Qui aboutit après la transformation de Laplace à la fonction de transfert suivante :

$$H(s) = \frac{V_{xy}}{U_{xy}} = \frac{s + j\omega_c}{s^2 + \omega_c^2} \quad (\text{III.13})$$

En introduisant deux constantes K_1 et K_2 dans l'expression (1) selon [24] :

$$H(s) = \frac{V_{xy}}{U_{xy}} = K_2 \frac{(s + K_1) + j\omega_c}{(s + K_1)^2 + \omega_c^2} \quad (\text{III.14})$$

Il a été démontré que le signal de sortie été toujours en phase au signal d'entrée, et qu'il avait une fonction sélectif des harmonique lorsque $K_1=K_2=K$. Après développement, nous trouvons :

$$\widehat{x}_\alpha(t) = \frac{K}{s} [x_\alpha(s) - \widehat{x}_\alpha(s)] - \frac{w_s}{s} \widehat{x}_\beta(s) \quad (\text{III.15})$$

$$\widehat{x}_\beta(t) = \frac{K}{s} [x_\beta(s) - \widehat{x}_\beta(s)] + \frac{w_s}{s} \widehat{x}_\alpha(s) \quad (\text{III.16})$$

De ces deux expressions, nous obtenons le schéma du filtre passe bande multi-variable montré dans la figure suivante

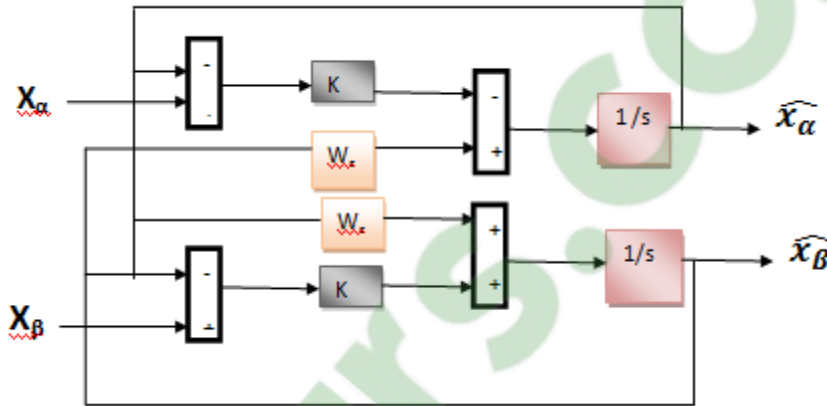


Figure.III-16 -- Schéma du Filtre passe bande multi-variable.

III.6. Résultats de simulation de la PLL avec et sans FMV

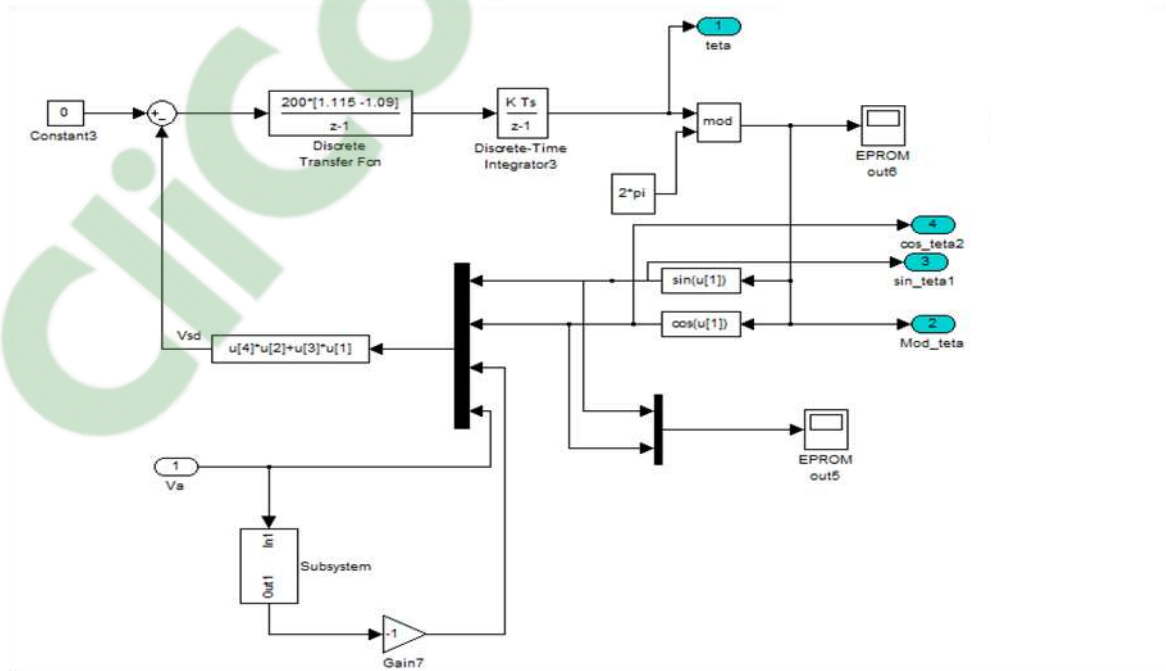


Figure.III-20 -- Schéma du PLL sans FMV sous MATLAB.

Les signaux de la position angulaire générés par la PLL sans et avec harmoniques utilisant un filtre multi variable sont représentés par les deux figures(III.21) et (III.23) :

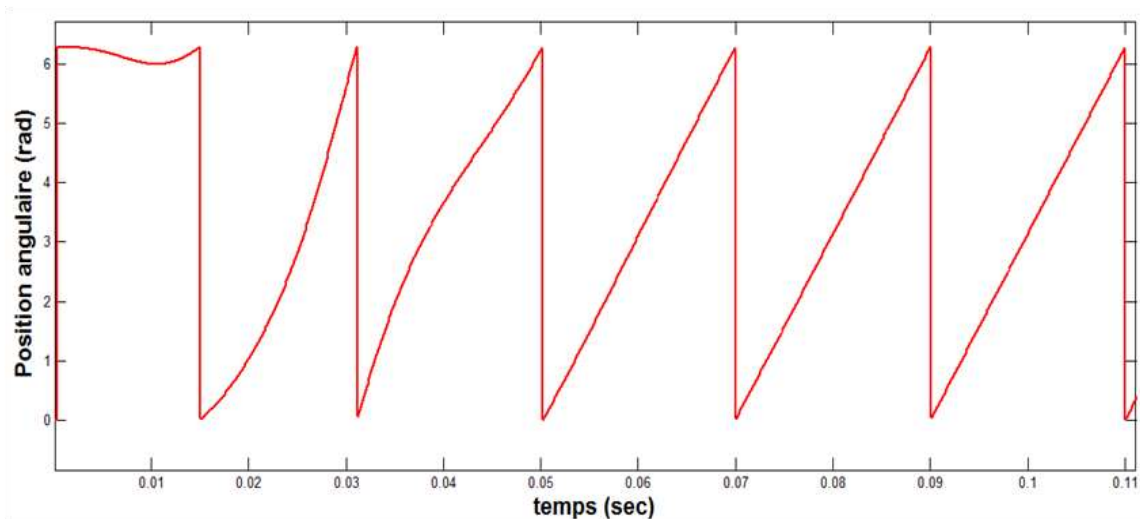


Figure.III-17 -- Signal du la position angulaire de la PLL sans FMV.

On remarque que le système prend un temps de 0.05s pour se stabiliser.

On obtient aussi les signaux suivants de cosinus et sinus :

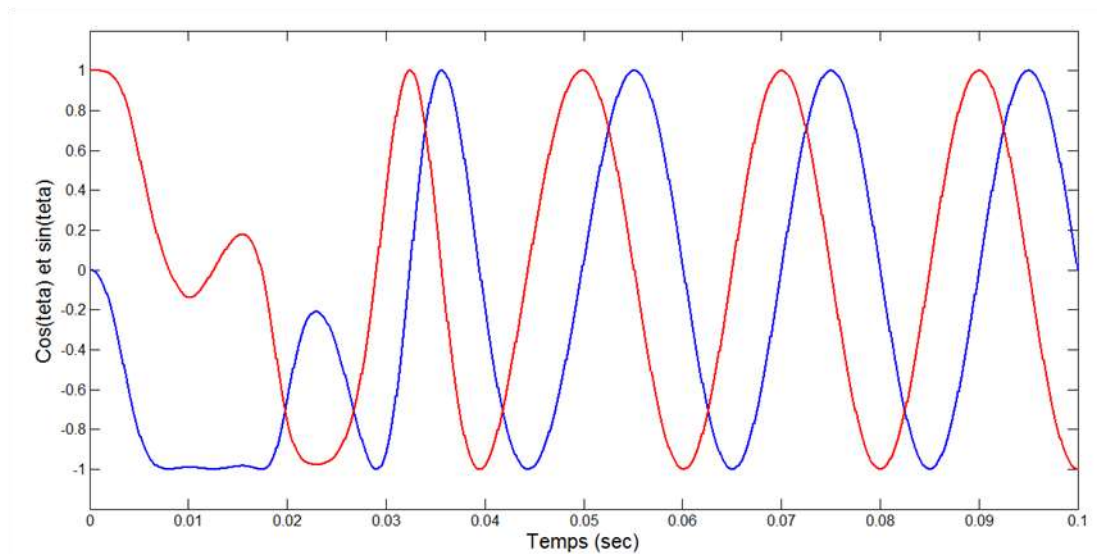


Figure.III-18 – signal de Cos (θ) et Sin(θ) estimées par la PLL (sans FMV).

On remarque que le système atteint son régime permanent à partir de l'instant 0.045s.

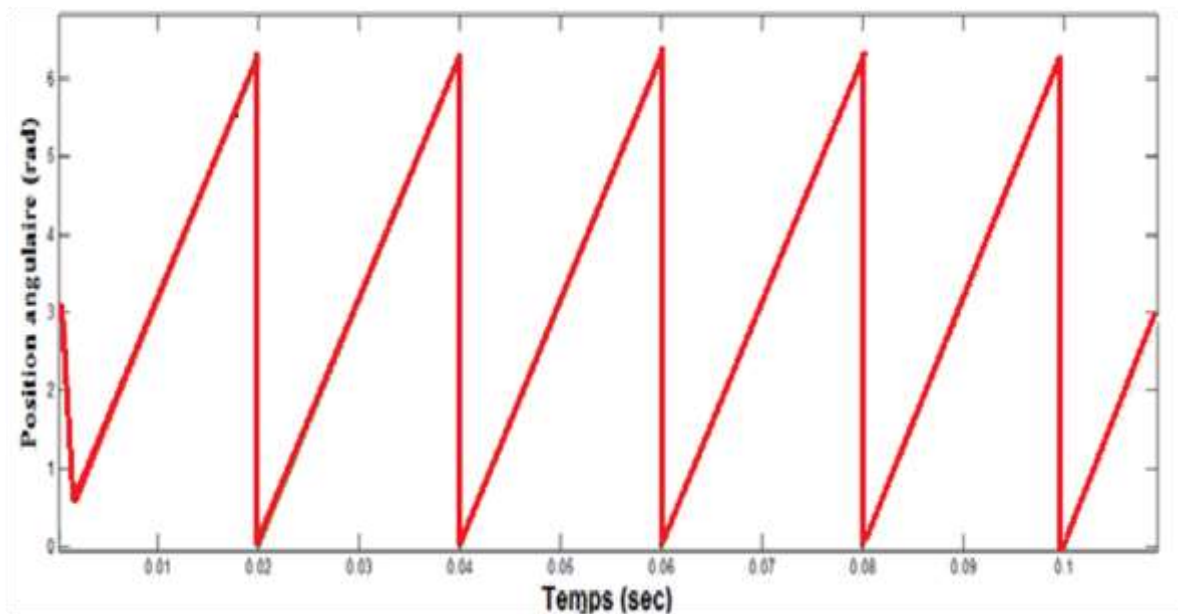


Figure.III-19 – - Signal du la position angulaire de la PLL avec FMV

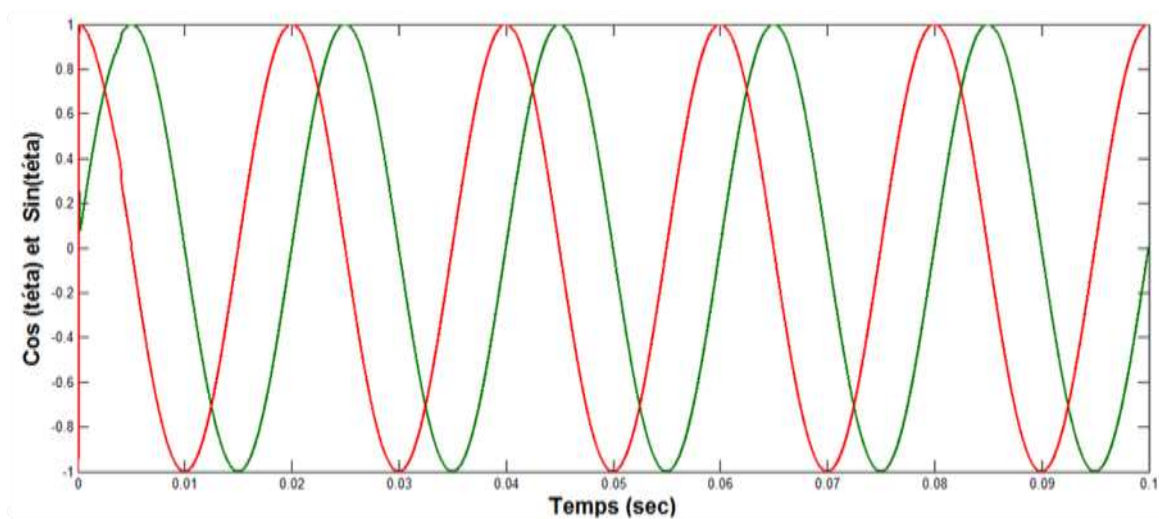


Figure.III-20 – - signal de Cos (θ) et Sin(θ) estimées par la PLL (avec FMV).

Donc, La PLL fournit une bonne estimation de la position angulaire et génère de bon signaux sinus et cosinus.

Nous remarquons de ces figures que le FMV annule directement les harmoniques et permet d'obtenir de bonnes performances même si la tension du réseau est perturbée (déformée et/ou déséquilibrée).

En introduisant cette PLL dans notre commande de l'onduleur, nous obtenons les résultats de la tension de sortie de l'onduleur et le courant de charge et la tension aux bornes du condensateur, qui sont comme suite :

Clicours.COM

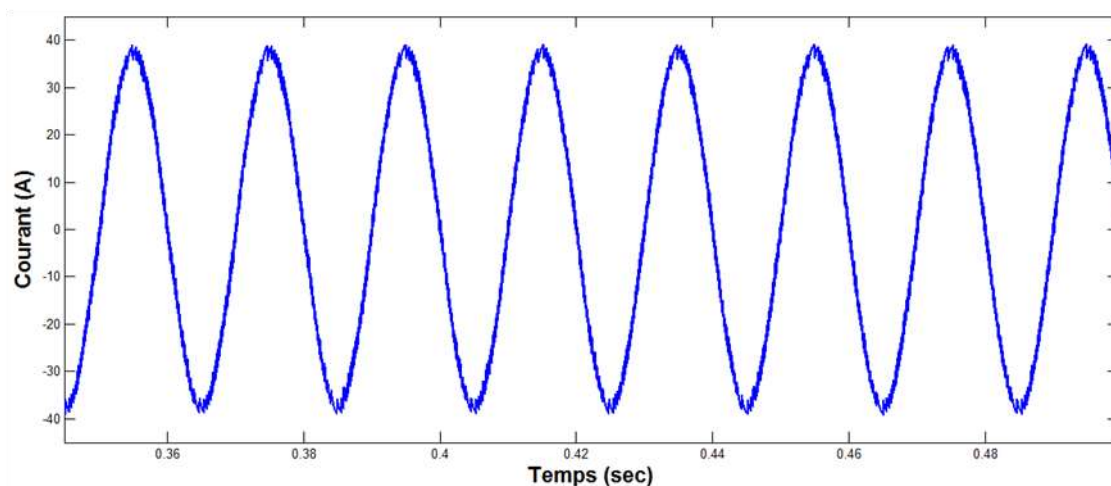


Figure.III-21 -- Le courant de la charge

Nous remarquons que le courant est environ de 40A.

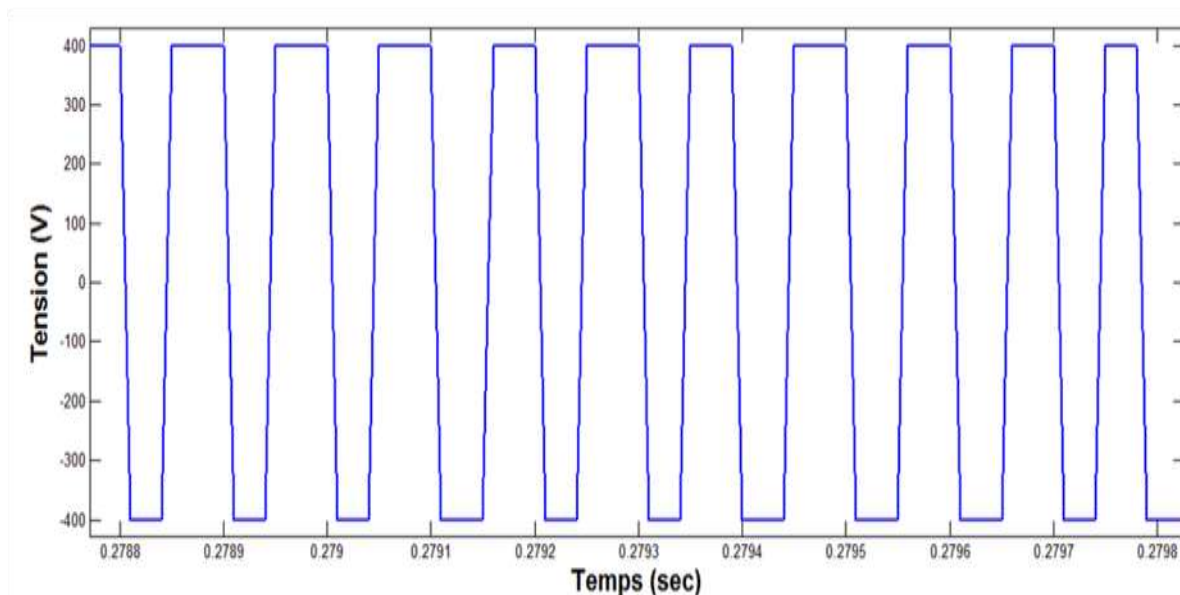


Figure.III-22 -- La tension de sortie de l'onduleur

Après simuler l'onduleur, Nous n'avons pas arrivé à obtenir une tension composée correcte d'un onduleur monophasé.

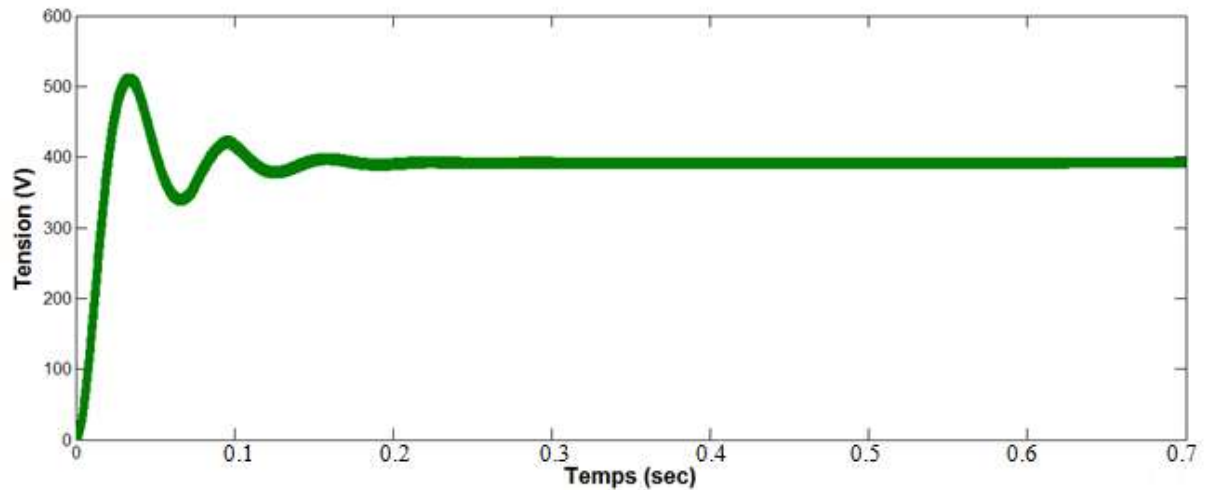


Figure.III-23 – - La tension aux bornes de condensateur

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques commandes d'onduleurs couramment utilisées, comme on a étudié le comportement de la PLL monophasée et valider les signaux de la position angulaire, le sinus et le cosinus avec et sans filtre multi-variable. Dans le chapitre qui va suivre nous allons présenter une partie importante du système photovoltaïque qui est l'anti-islanding qui veut dire un anti-ilotage.

Chapitre IV Etude de système Anti-Islanding

IV.1. Introduction

Un îlotage est une partie du réseau électrique qui contient des moyens de production et des charges qui sont déconnectées du réseau principal (séparer du réseau en amont) et que les charges de cet îlot sont alimentées par ces générateurs tel que les systèmes photovoltaïques où la tension et la fréquence sont maintenues autour de leurs valeurs nominales.

On note que la notion d'îlotage est associée à une durée. Les règles qui définissent le fonctionnement d'une installation PV considèrent qu'une situation d'îlotage est défini lorsque l'onduleur détecte un fonctionnement en réseau séparé pendant un certain temps, l'onduleur devra se découpler du réseau principal.

L'objectif de cette étude est de développer une méthode de protection efficace contre l'îlotage et d'évaluer ses propriétés [26]

IV.2. Description du système

La structure de la topologie d'interconnexion proposée est montrée dans la figure (IV.1). Cette topologie est constituée des blocs principaux : générateur photovoltaïque, hacheur survolteur avec sa commande, onduleur monophasé et sa commande, bloc de détection d'îlotage et une charge parallèle RLC.

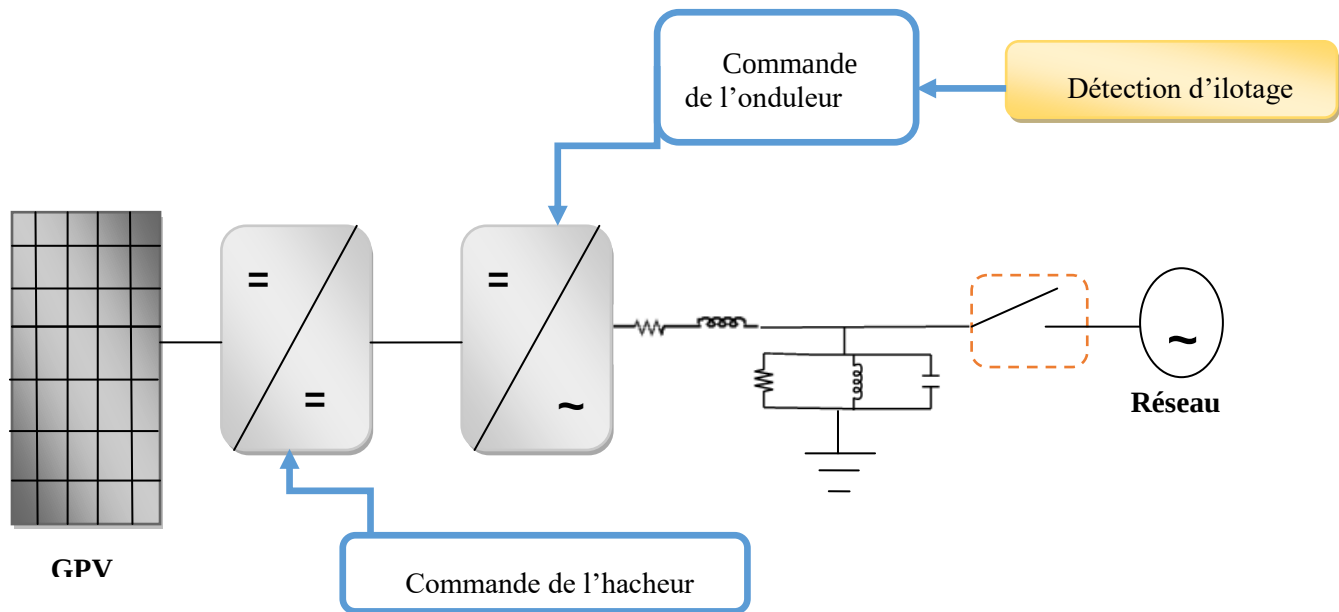


Figure.IV-1 – - La structure de la topologie d'Anti-Islanding

Le hacheur survolteur élève la tension du générateur photovoltaïque d'une tension de 38.65 V, à une tension d'environ 400V qui est la tension maintenue au bus continu par l'onduleur monophasé. Ce hacheur utilise comme commande l'algorithme proposé par Mikihiro Matsui.

La tension de sortie du hacheur est celle de l'onduleur monophasé qui est connecté coté alternatif à une charge (RLC) via un filtre RL. Chaque interrupteur de l'onduleur est composé d'un IGBT monté en parallèle avec une diode afin de former un interrupteur bipolaire en courant et unidirectionnel en tension.

IV.3. Les conditions et risques d'îlotage

La condition « d'île » est présentée lorsque, suite à un état défectueux du réseau ou à un état de charge particulier sur celui-ci, le réseau présente un comportement de charge résonant. Dans ce type de conditions, même si la tension du réseau n'est plus présente, la résonance entre le composant L-C maintient la tension aux bornes de la sortie de l'onduleur, et ce dernier n'est dès lors pas en mesure de détecter l'absence de tension dans le réseau. Dans ce cas, si la charge résistive correspond à l'énergie produite par l'onduleur, le fonctionnement parallèle continue d'être possible et crée une « condition d'île » [27].

Les risques que peuvent engendrer l'îlotage sont principalement :

- Des questions de sécurité : si une condition d'île est présente, les collaborateurs de l'installation risquent d'être confrontés à des fils sous tension de manière inattendue, car aucune tension n'est censée être présente sur la ligne.
- L'endommagement de l'équipement : l'équipement du client peut théoriquement être endommagé si les paramètres de fonctionnement diffèrent grandement de la norme. Dans ce cas, le service est responsable de l'endommagement.
- Mettre un terme à la défaillance : réenclencher le circuit dans une île active peut entraîner des problèmes pour l'équipement du service, ou empêcher aux systèmes de ré-enclenchement automatique de relever le problème.
- L'endommagement de l'onduleur : le ré-enclenchement dans une île active peut causer des dégâts aux onduleurs [27].

IV.4. Méthodes de détection d'ilotage

Les méthodes d'ilotage consistent à la surveillance des paramètres liés à la tension au point de raccordement au réseau. Ces paramètres sont l'amplitude, la fréquence ou la phase. Le générateur est relié via un onduleur de tension à une charge locale RLC [27].

Il existe plusieurs méthodes de détection d'ilotage qui peuvent être divisées en trois catégories :

- Les méthodes passives, basées sur l'analyse des variations de la tension, de la fréquence ou du déphasage.
- Les méthodes actives, basée sur l'observation des effets d'une perturbation créée intentionnellement sur le réseau.
- Les méthodes utilisant les communications entre le réseau principal et l'onduleur photovoltaïque.

Pour évaluer ces méthodes, il faut déterminer leur zone de non détection (ZND) qui est représenté dans la figure (IV.2). Celle ci, pour des raisons évidentes de sécurité, doit être la plus petite possible tout en ne générant pas de déclenchement intempestif. Cette zone est définie par les puissances actives et réactives pour lesquelles la variation de l'amplitude de la tension et/ou de la fréquence est insuffisante pour provoquer le déclenchement de la protection principale [28].

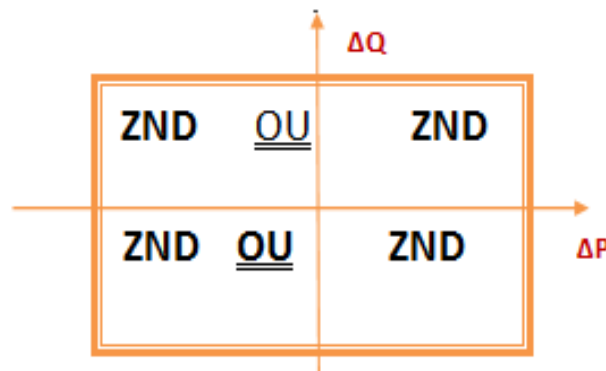


Figure.IV-2 – - La zone de non détection

Concernant les méthodes passives nous trouvons :

1. Sous/sur tension (Under/Over Voltage) et sous/sur fréquence (Under/Over Frequency) [29]

Les onduleurs présentés sur le marché possèdent déjà ce genre de protection. Cette dernière limite la plage permise en fréquence et en amplitude de la tension à la sortie de l'onduleur. En effet, l'onduleur cesse de fournir de la puissance au réseau dès que la fréquence ou l'amplitude de la tension au point d'interconnexion entre le consommateur et le réseau sort des limites prescrites. Habituellement, lorsque le réseau se déconnecte, la tension varie considérablement au point d'interconnexion de façon à sortir de ces limites. Cette méthode protège donc les équipements des consommateurs et elle permet également la détection d'îlotage. De plus, elle est peu coûteuse et facile à implanter. Cependant, cette méthode produit une ZND relativement large. En effet, le temps de réaction de la méthode est variable et difficile à prévoir.

2. Détection des sauts de phase de la tension (Voltage Phase Jump Detection)

Cette méthode consiste à surveiller la différence de phase entre la tension et le courant de l'onduleur. Sous des conditions normales d'opération, le courant de sortie de l'onduleur sera synchronisé avec la tension du réseau. Cette tâche est normalement réalisée à l'aide d'une boucle à verrouillage de phase. Lorsque le réseau se déconnecte, une variation de phase entre le courant et la tension au point d'interconnexion peut être détectée. Si cette variation excède un certain seuil prédéfini, l'onduleur se déconnecte du réseau. Cette méthode est facile à implanter puisque le système de contrôle d'un onduleur possède généralement déjà une boucle à verrouillage de phase. De plus, la ZND de cette méthode est large.

3. Détection des harmoniques de tension (Detection of Voltage Harmonics)

Cette méthode surveille le taux de distorsion harmonique (TDH) au point d'interconnexion. Si celui-ci est supérieur à une valeur prédéterminée, l'onduleur se déconnecte. Lorsque le réseau, possédant une faible impédance, est présent, il force le taux de distorsion harmonique de la tension de la charge à une faible valeur ($TDH \approx 0$). Ainsi, la charge possède un courant presque sans distorsion. Lorsque le réseau se déconnecte, deux phénomènes peuvent survenir :

Le premier, le courant produit par l'onduleur peut se diriger dans la charge plutôt que dans le réseau. Cette charge, possédant une impédance plus élevée que celle du réseau, produira des harmoniques de tension plus importantes que celles produites normalement par le réseau. Ces harmoniques peuvent donc être détectées et l'onduleur peut alors se déconnecter.

Le second, un mécanisme de déconnexion utilise la réponse d'un transformateur placé entre le réseau et le point d'interconnexion. Cette méthode de détection est valable uniquement pour un onduleur qui agit comme une source de courant et lorsque l'interrupteur qui déconnecte le

système du réseau est placé au primaire du transformateur (du côté du réseau). Cette méthode de détection d'îlotage est peu utilisée sur le marché.

Concernant les méthodes actives nous avons [29] :

1. Mesure d'impédance (Impedance Measurement)

Lorsque l'onduleur apparaît comme une source de courant pour le réseau, son courant peut être exprimé en fonction de trois paramètres : l'amplitude, la fréquence et la phase. La présente méthode agit de façon à continuellement imposer au système une variation de l'un de ces trois paramètres, habituellement l'amplitude. Lorsqu'il y a une perturbation de courant, une perturbation de tension est créée selon l'impédance du réseau. Si le réseau est déconnecté, la perturbation en tension au point d'interconnexion pourra être détectée par le système de protection interne de l'onduleur car l'impédance de la charge n'est généralement pas égale à celle du réseau. Théoriquement, cette méthode produit une très petite ZND pour les cas où il y a un seul onduleur interconnecté au réseau et où l'impédance de la charge est plus élevée que celle du réseau.

2. Détection de l'impédance à une fréquence spécifique (Detection of Impedance at Specifie Frequency)

Cette méthode est en fait un cas particulier de la méthode de détection des harmoniques de tension vue précédemment. La grande différence entre les deux méthodes est que celle-ci est active plutôt que passive. La méthode injecte, à l'aide de l'onduleur, un harmonique de courant d'une fréquence précise au point d'interconnexion. Si l'impédance du réseau est plus petite que celle de la charge à la fréquence d'harmonique alors cet harmonique se dirigera directement vers le réseau lorsque celui-ci est présent. Ainsi, aucune tension anormale ne peut être perçue dans le système. Cependant, lorsque le réseau se déconnecte, l'harmonique de courant se dirige vers la charge. La charge produira alors un harmonique de tension qui pourra être détecté et qui engendrera la déconnexion de l'onduleur du réseau. La ZND produite par cette méthode peut normalement être éliminée lorsqu'un sous harmonique est injecté au système mais ce dernier est néfaste pour le réseau.

3. Mode glissé de la fréquence de déphasage (Slip Mode Frequency Shift) (SMS)

Cette méthode utilise une rétroaction positive qui sert à déstabiliser l'onduleur lorsque le réseau est absent. La rétroaction est appliquée à la phase de la tension au point d'interconnexion. Cette modification de la phase a pour effet de faire varier la fréquence au point d'interconnexion. La fréquence du réseau n'est cependant pas affectée par ce changement de phase. La différence de phase entre son courant de sortie et la tension au point d'interconnexion est pratiquement nulle. Cependant, la méthode *Slip Mode Frequency Shift* modifie cette différence de phase pour la faire correspondre à une fonction de la fréquence au point d'interconnexion comme le montre la figure (IV.3). Lorsque le réseau est connecté, les réponses en phase de la charge et de l'onduleur se coupent à une fréquence et à une phase de 0

degré (point B). Lorsque le réseau se déconnecte, si une perturbation en fréquence apparaît au point d'interconnexion, la courbe de réponse en phase de l'onduleur engendre une augmentation de l'erreur sur la phase. Il a été démontré qu'une ZND existe mais elle est petite.

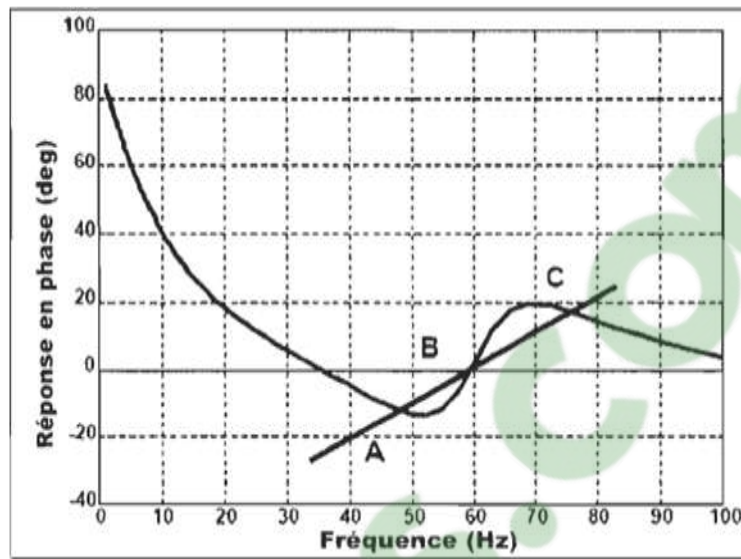


Figure.IV-3 -- Courbe de correspondance entre la phase et la fréquence pour un onduleur utilisant la méthode SMS.

4. Gain de fréquence (Frequency Bias)

Cette méthode, également appelée *Active Frequency Drift*, travaille à altérer la forme d'onde sinusoïdale du courant fourni par l'onduleur au point d'interconnexion de façon à ce qu'elle possède une fréquence légèrement différente de celle du réseau. En fait, la forme d'onde du courant possède un plateau (temps mort) à chaque demi-cycle lorsque celle-ci passe à zéro comme il est montré dans la figure (IV.4). Lorsque le réseau est présent, la fréquence du courant devient stable. Lorsque le réseau se déconnecte, la fréquence de la tension au point d'interconnexion sera contrainte à augmenter ou à diminuer progressivement. Cette méthode requiert une légère dégradation de la qualité de l'onde de sortie de l'onduleur. En général, la ZND est plus large que pour les autres méthodes actives. Ainsi, cette méthode n'est pas très utilisée.

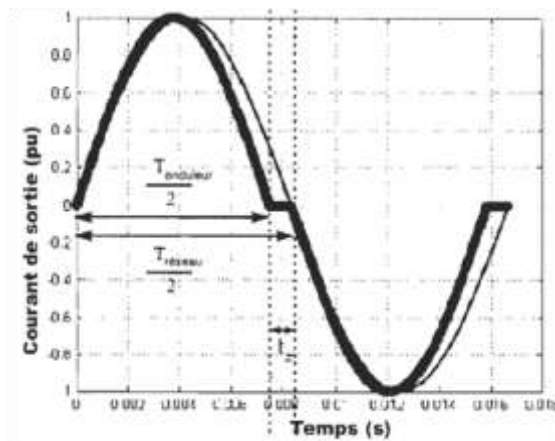


Figure.IV-4 – - Exemple de forme d'onde du courant de sortie de l'onduleur utilisé par la méthode de détection d'îlotage *Frequency Bias*..

5. Sandia Frequency Shift (SFS)

La méthode Sandia Frequency Shift utilise une rétroaction positive. Cette rétroaction est appliquée à la fréquence de la tension au point d'interconnexion et tente de créer une perturbation sur le réseau en modifiant la fréquence du courant de sortie de l'onduleur afin de détecter plus rapidement les situations d'îlotage. Si la fréquence du courant est inférieure à celle de la tension du réseau, le passage par zéro de la tension précèdera la fin du demi-cycle du courant. Ainsi, le courant sera réinitialisé et débutera un nouveau cycle sinusoïdal. Cela créera donc une troncature dans la forme d'onde du courant de sortie de l'onduleur. Cela créera donc une troncature dans la forme d'onde du courant de sortie de l'onduleur. Tel que le montre la figure(IV.5), la forme d'onde du courant de sortie de l'onduleur renferme un plateau. Elle possède une des ZND les plus faibles.

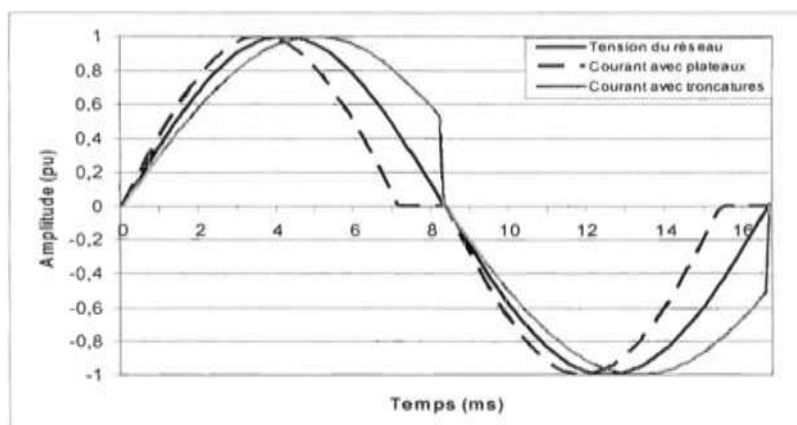


Figure.IV-5 – - Formes d'onde avec des plateaux et des troncatures

IV.5. Méthode proposée pour la détection d'anti îlotage

Parmi tout les méthodes que nous avons décrits nous nous sommes intéresser a comprendre plus en détail le phénomène qui se passe lorsqu'un îlot apparait. Et nous avons remarqué que lorsque une PLL n'est pas robuste, ce dernier détecte toute variation du à l'îlotage. Ce qui

nous a donné l'idée d'introduire une double PLL, une qui est influençable lors de variation rapide du à l'ilotage et l'autre très robuste qui n'est pas influençable a ces variation et cela en introduisant un filtre multi variable. La différence des deux signaux générés par les PLL ($\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_2$) nous donne uniquement la variation du à l'ilotage du système.

Comme le montre la figure suivante, l'onduleur commandé par une commande proposée dans MATLAB (pulse) alimentera une charge RLC via un filtre RL. La méthode de détection de l'anti ilotage est également présentée en détail sur cette figure.

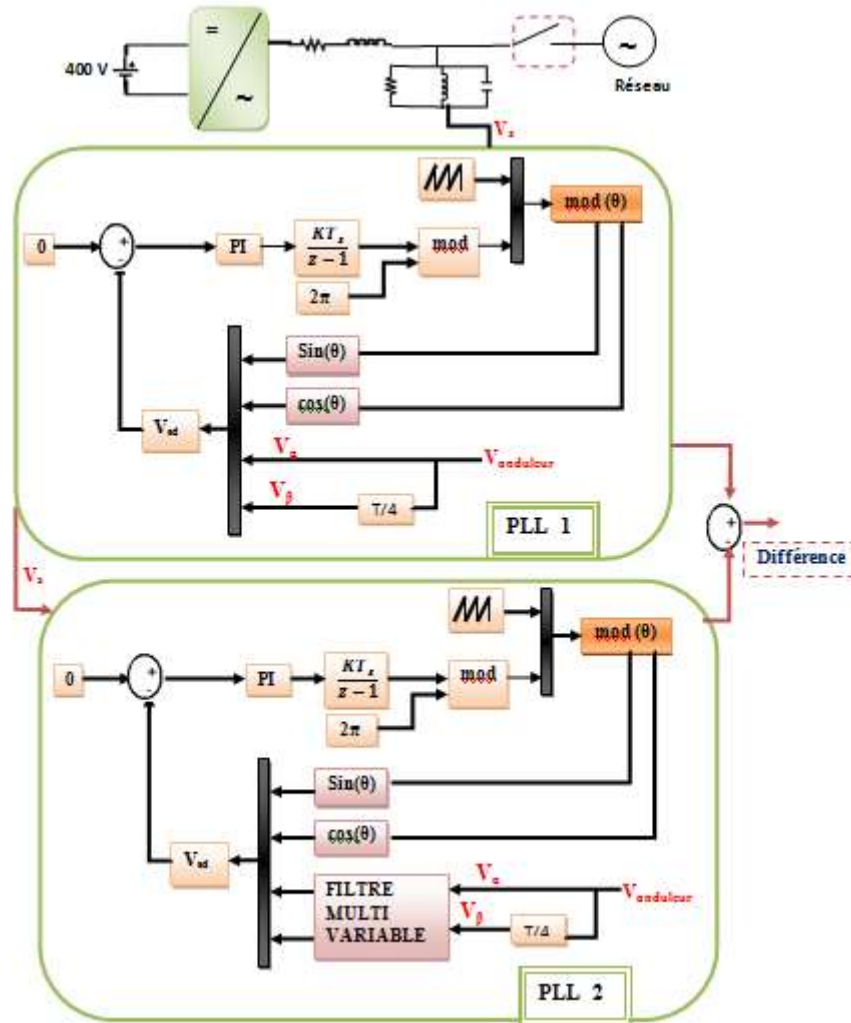


Figure.IV-6 – : La méthode de détection de l'anti ilotage proposée.

Le schéma complet utilisant **sympowersystem** est donné par la figure suivante :

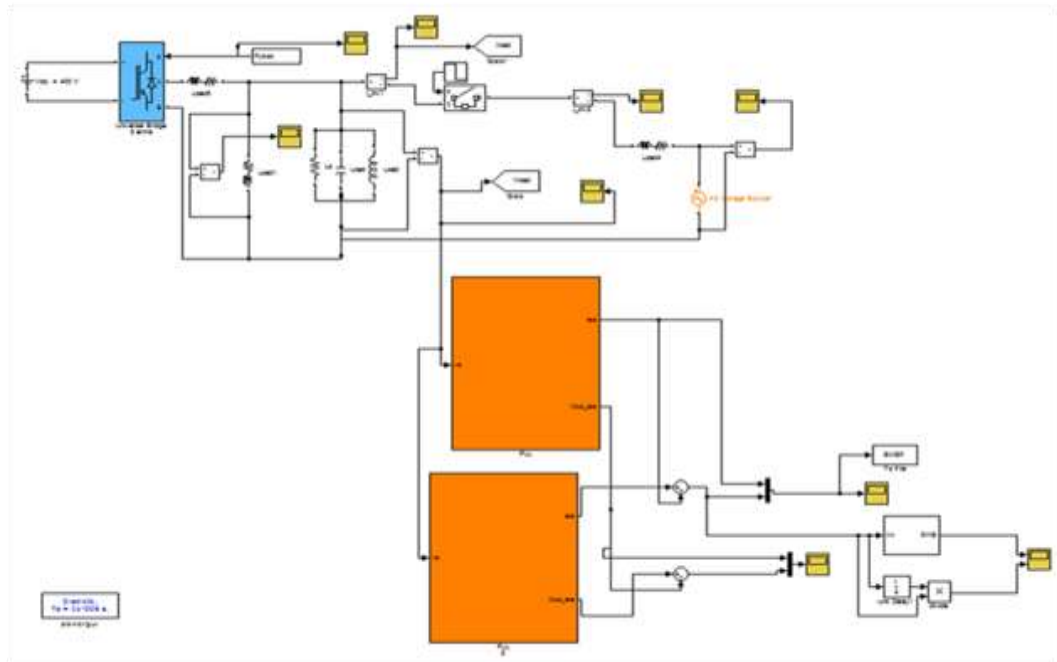


Figure.IV-6 -- : Le schéma complet utilisant sympowersystem.

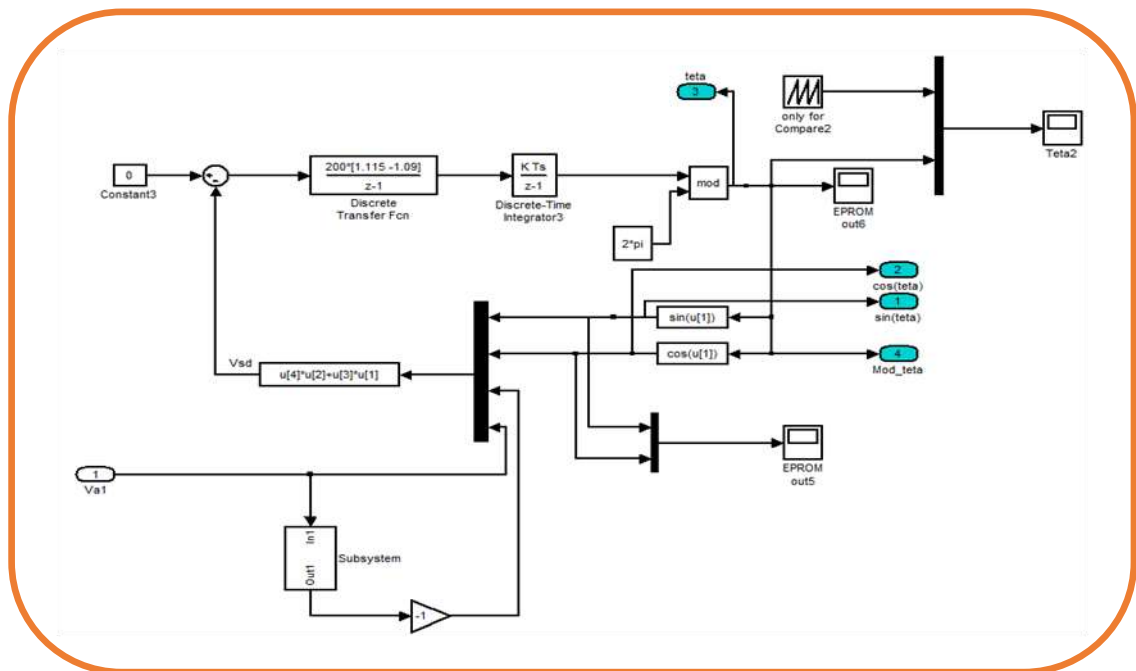


Figure.IV-7 -- : Le schéma de sousystème de la PLL sans FMV.

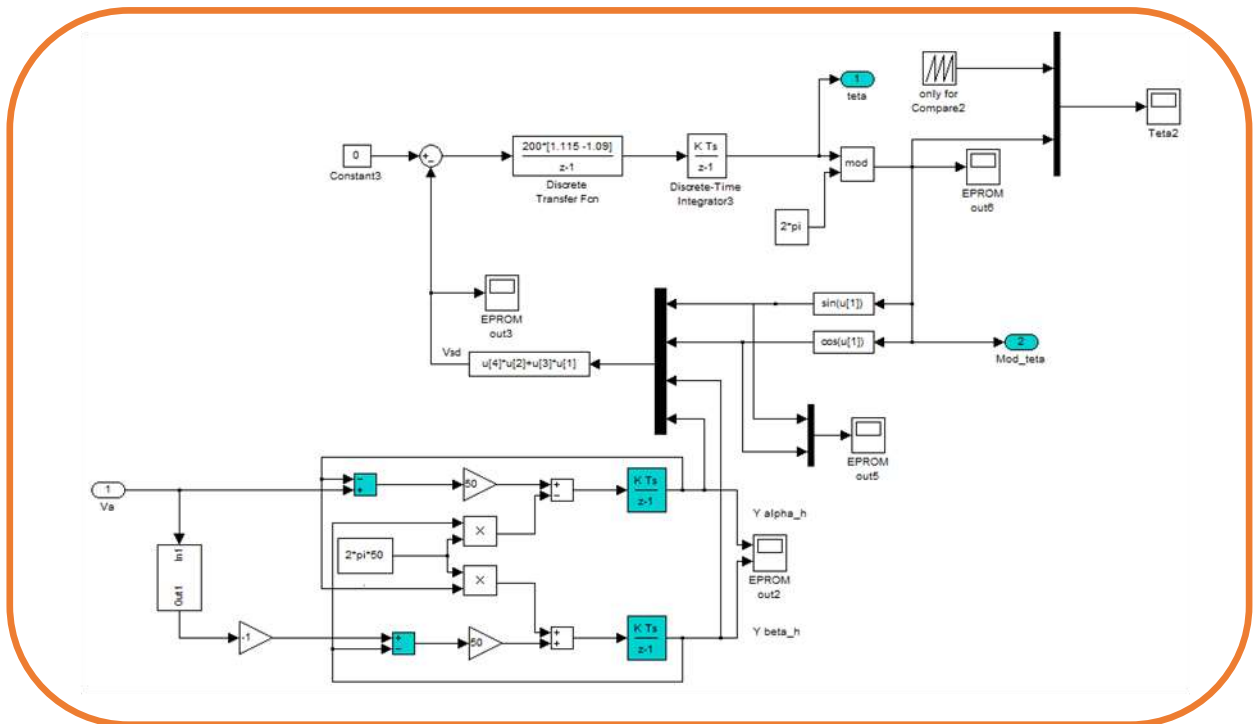


Figure.IV-8 -- : Le schéma de sousystème de la PLL avec FMV

Les résultats obtenus après simulation nous donnent les résultats suivants :

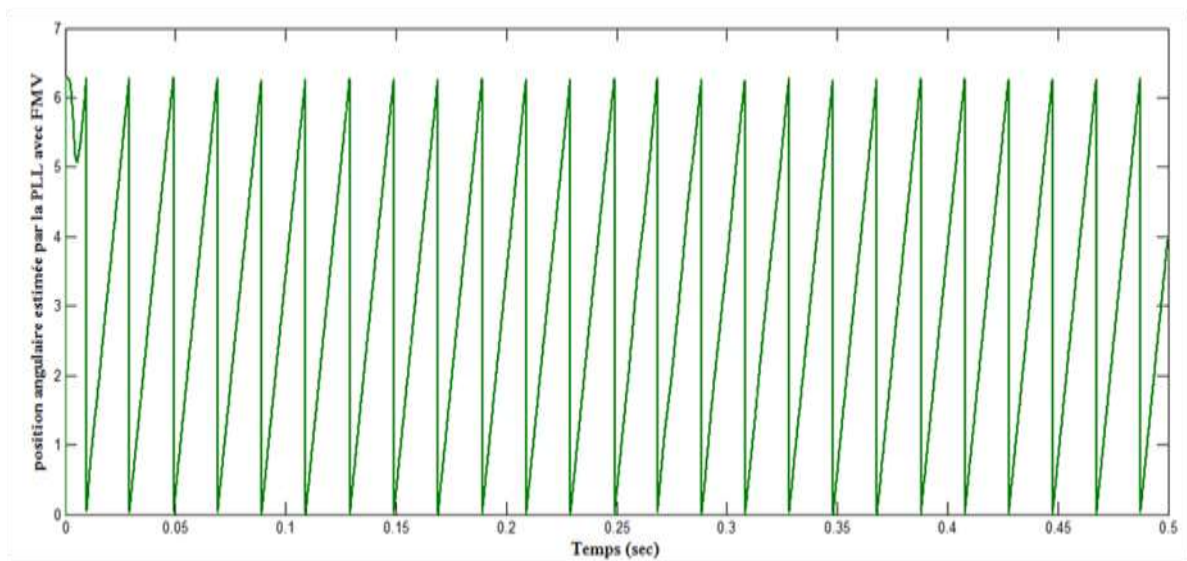


Figure.IV-9 -- : position angulaire estimée par la PLL avec le FMV

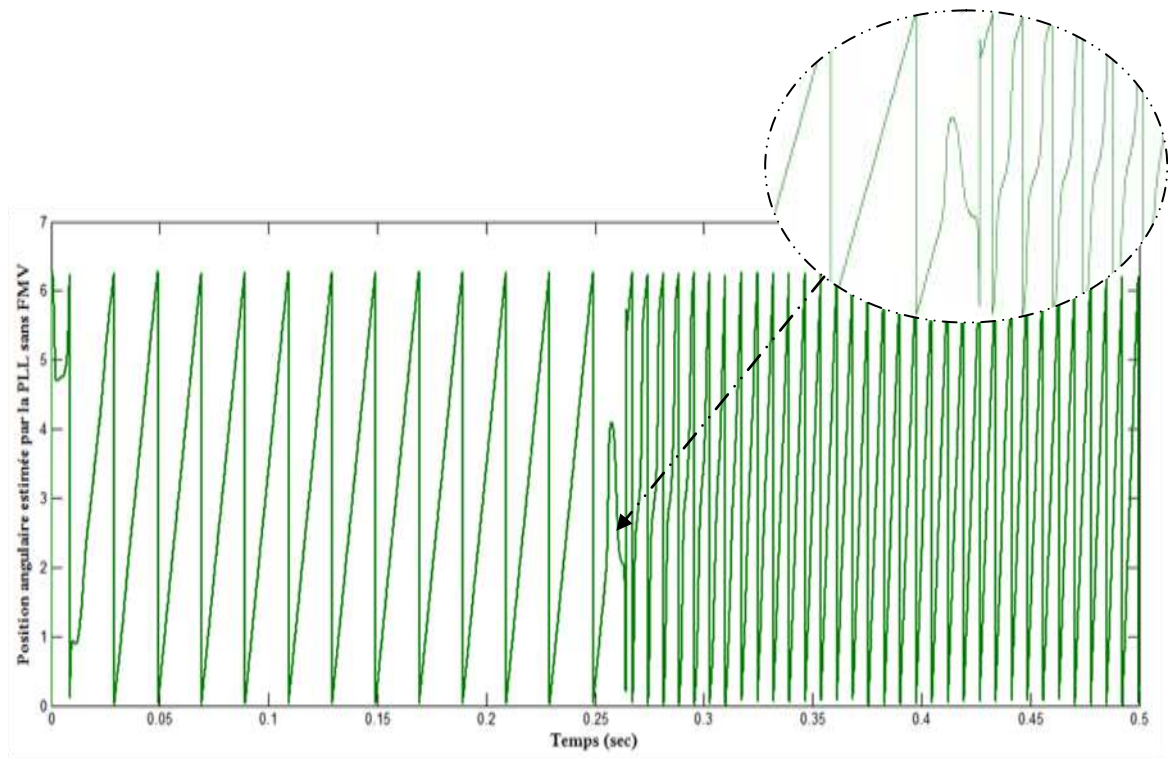


Figure.IV-10 -- : position angulaire estimée par la PLL sans le FMV.

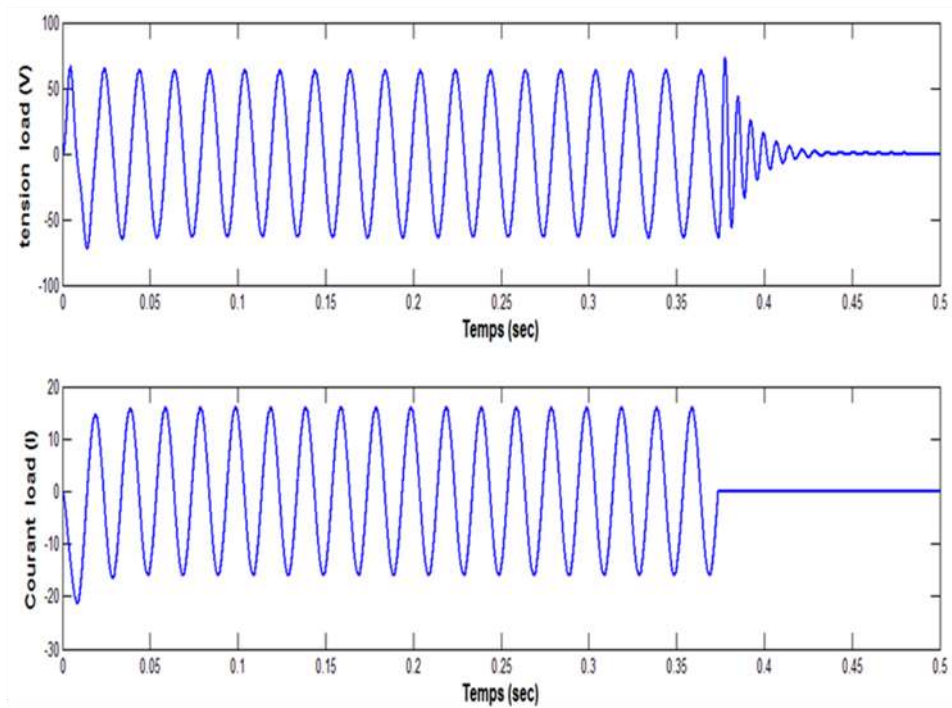


Figure.IV-11 -- : La tension et le courant aux bornes de la charge RLC.

A l'instant 0.37s l'ouverture des interrupteurs d'onduleur seront ordonnés par la commande Anti Islanding. Ce qui implique une tension est un courant égal à zéro.

Afin d'obtenir ce résultat nous devons introduire dans la commande Anti Islanding le calcul de la valeur efficace de la différence ($\hat{\theta}_1 - \hat{\theta}_2$) afin d'éliminer la variation du signal pour qu'il soit toujours positif. Ensuite, nous comparons la valeur efficace obtenus à une constante de 0.01, pour obtenir les valeurs 0 ou 1. Si la valeur de la différence est inférieure ou égale à 0.01, le signal prend la valeur de 1, sinon il va prendre une valeur de 0.

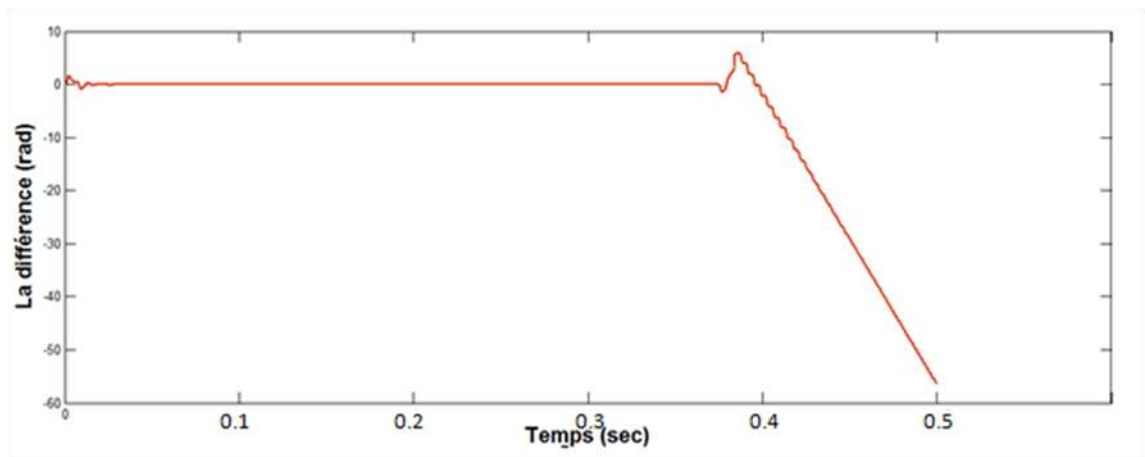


Figure.IV-12 -- : La différence entre téta filtrée et non filtrée.

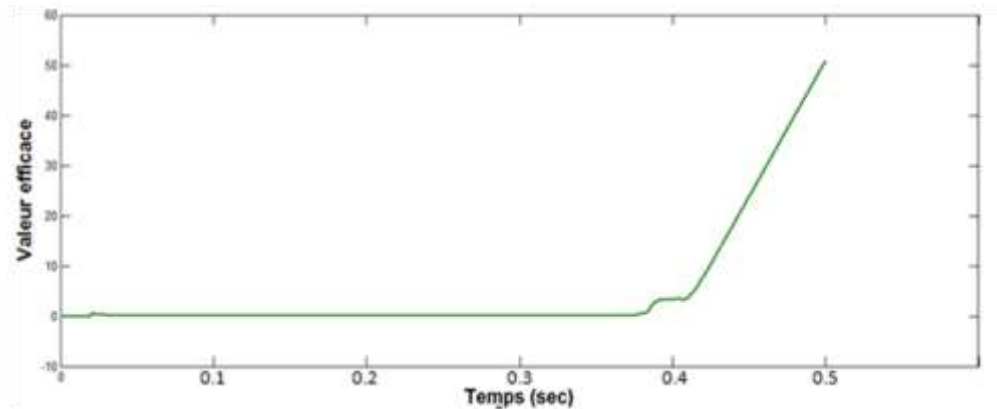


Figure.IV-13 --: La valeur efficace de la différence entre téta filtrée et non filtrée

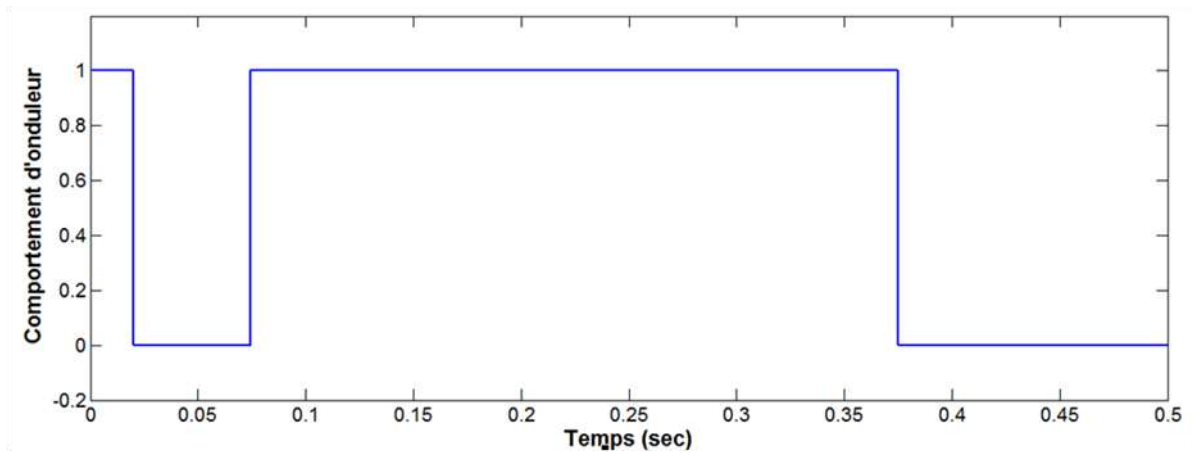


Figure.IV-14 – - : Signal du premier test.

Ensuite nous générons un signal qui prend la valeur 1 tant que le temps est inférieur ou égal à 0.1s, sinon il devient 0 après 0.1s.

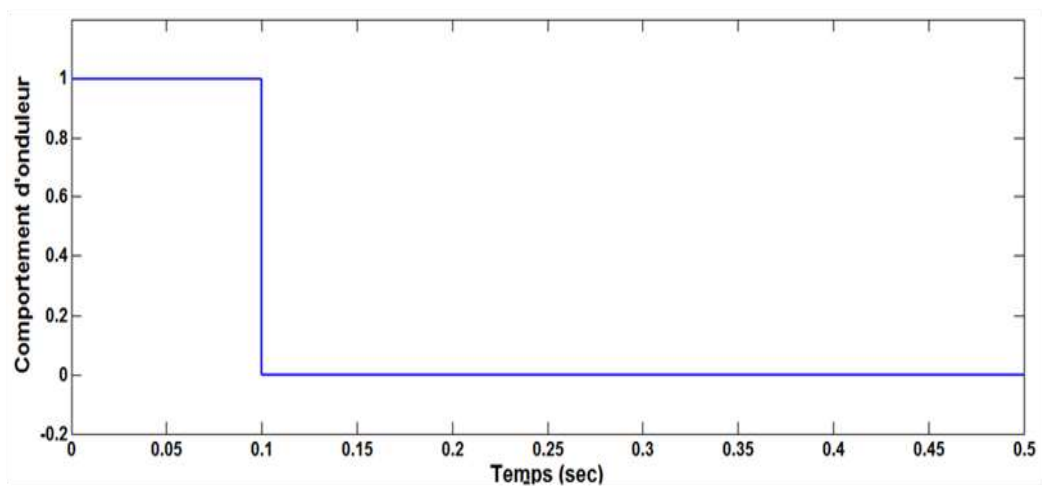


Figure.IV-15 – - : Signal du deuxième test.

Ensuite, le signal obtenu sera traité par un bloc de test logique OU qui a comme premier signal d'entrée le signal de la figure (IV.15) et le deuxième signal d'entrée le signal de la figure (IV.16)

Le résultat obtenu sera illustré par la figure suivante :

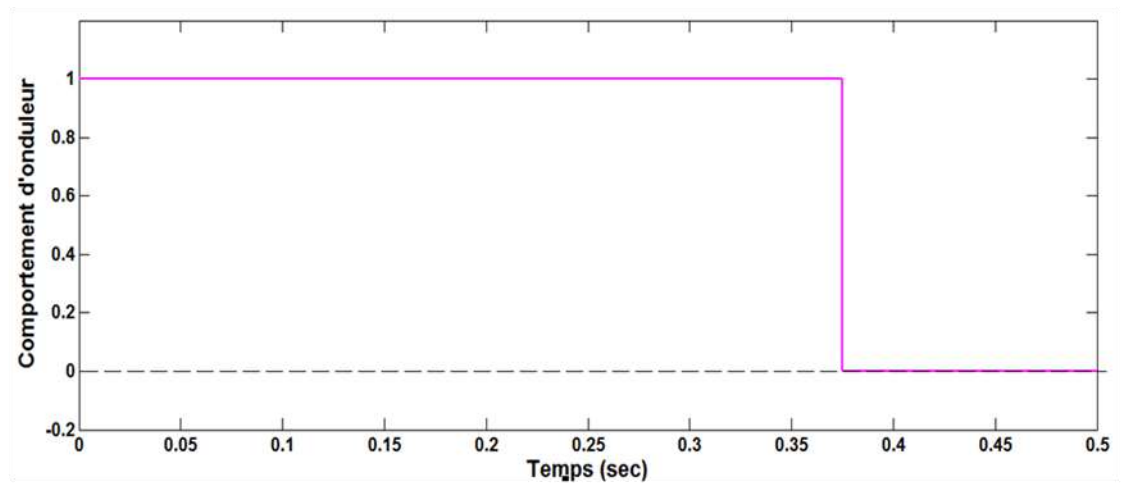


Figure.IV-16 -- : Signal résultant de la somme logique.

Ce qui nous donne le schéma complet de notre système anti ilotage.

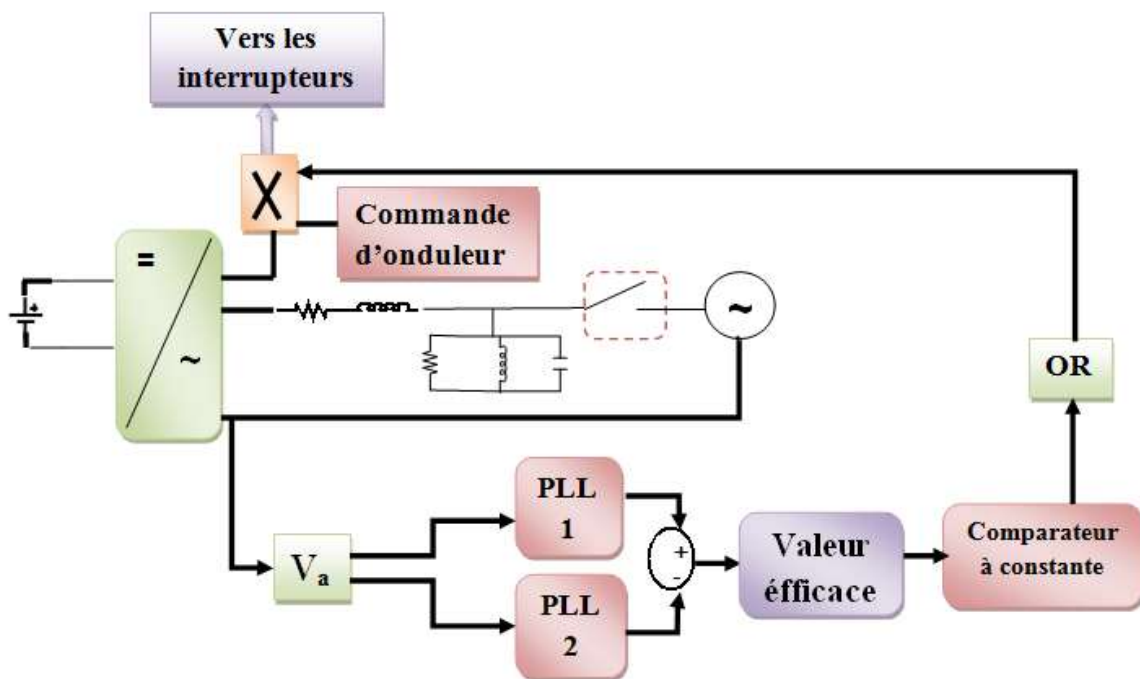


Figure.IV-17 -- : schéma complet de notre système anti ilotage.

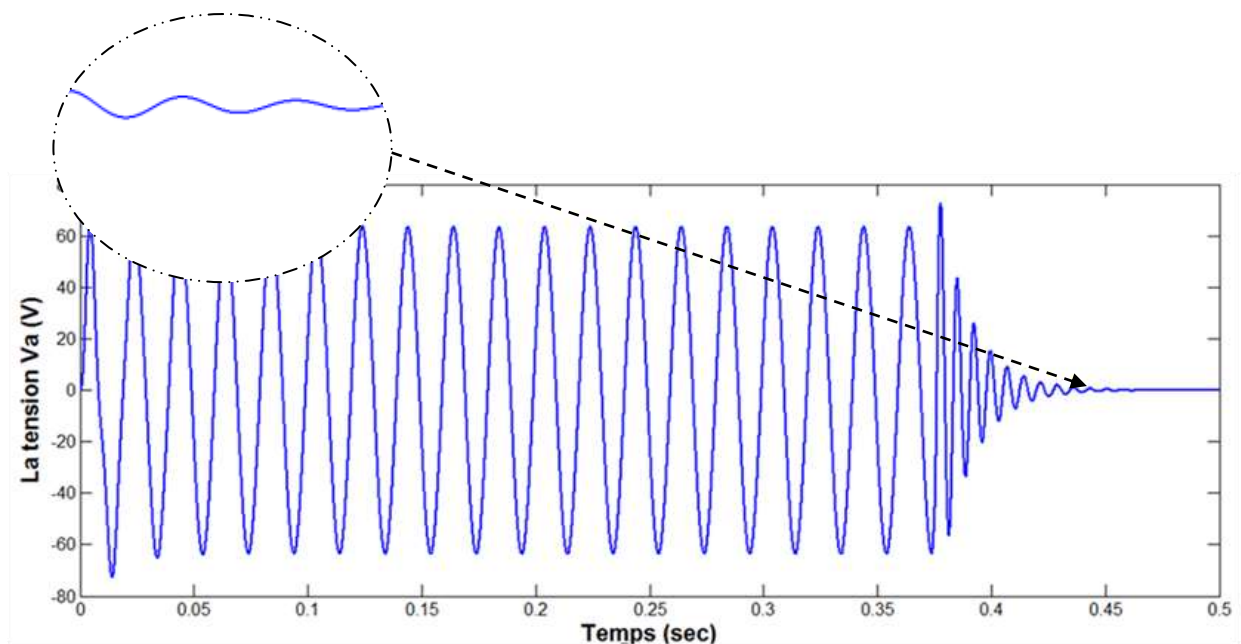


Figure.IV-18 -- : La tension aux bornes de la charge RLC

Remarque

Selon la figure (IV.11), le signal devrait après 0.37 sec s'annuler, cependant en zoomant sur la figure (IV.19) nous remarquons que le signal n'est pas tout à fait égale à zéro du fait que l'interrupteur utiliser dans la simulation a une résistance de grande en parallèle qui ne peut être éliminer sous peine d'obtenir un message d'erreur lors de la simulation.

Afin de valider notre commande anti ilotage nous proposons une autre simulation pour une charge différente et un temps $t=0.5\text{sec}$ qui est le temps d'enclenchement de l'interrupteur. Les résultats obtenus sont alors présenté dans les figures suivantes :

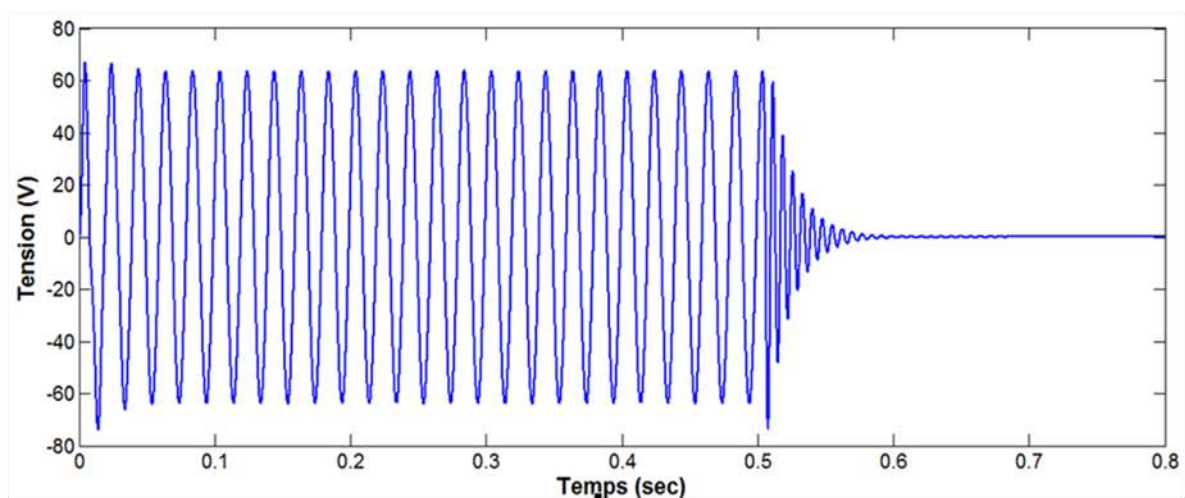


Figure.IV-19 -- : La tension aux bornes de la charge RLC2

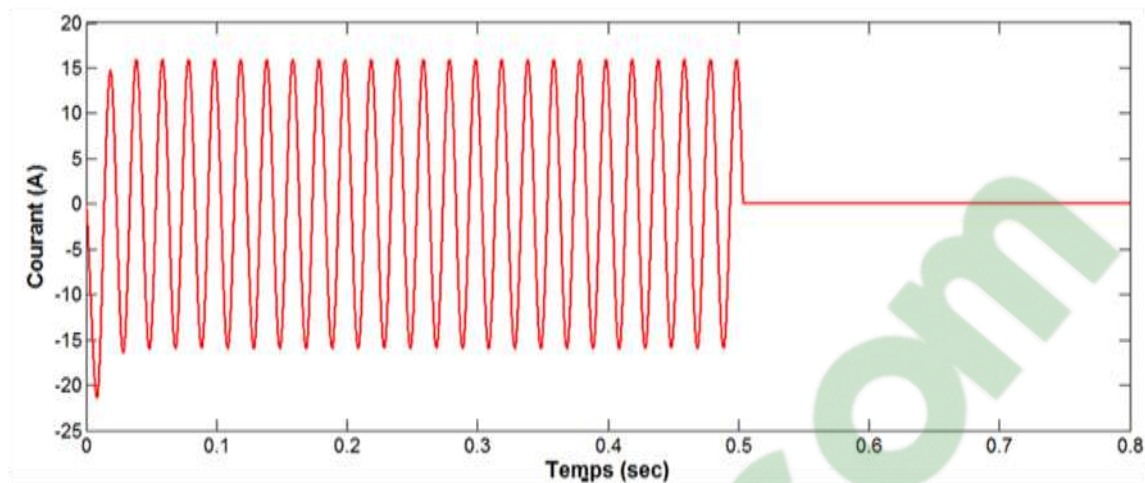


Figure.IV-20 -- : Le courant aux bornes de la charge RLC2.

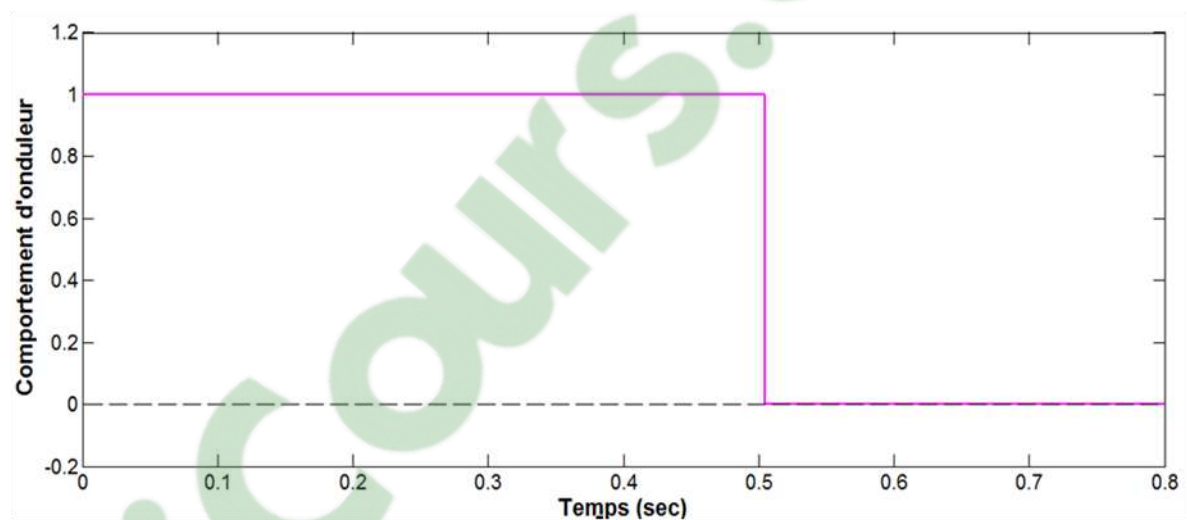


Figure.IV-21 -- : signal représente l'arrêt d'onduleur.

Nous remarquons que les résultats obtenus prouvent l'efficacité de notre commande Anti Ilotage

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une nouvelle méthode de protection et de contrôle d'opération de système photovoltaïque connecté au réseau.

Cette méthode, offre une approche efficace de détection d'îlotage. Nous avons repris une partie de fonctionnement de cette méthode pour l'intégrer à la commande d'un onduleur. Ce système anti-îlotage intégré à la commande est basé sur les deux paramètres du réseau. Il surveille la fréquence et la tension efficace.

Ces paramètres ne peuvent dépasser un seuil précédemment fixé pendant une certaine durée. Si le seuil est dépassé un ordre est donné à un organe de coupure pour découpler l'onduleur du réseau et arrêter l'injection du courant, et donc protéger la personne lors d'une maintenance sur le réseau.

Conclusion générale

L'étude et la simulation d'un système complet panneau photovoltaïque – hacheur – onduleur connecté à un réseau électrique et alimentant une charge a fait l'objet de plusieurs recherches. De plus, l'introduction d'un système de protection de type anti ilotage dans la commande de ce système, qui permet la protection des personnes, a également fait l'objet de plusieurs études. Ces études ont montré qu'il été possible d'arrêter le système complet lorsqu'un défaut apparaît et déclenche le disjoncteur. Ainsi, notre étude avait pour objectif de comprendre et simulé un système complet utilisant une protection anti ilotage.

Par conséquent, nous avons en premier lieu essayé de comprendre le fonctionnement de chaque partie de notre système. Nous avons commencé par l'étude d'un modèle à une diode de notre panneau photovoltaïque. Les résultats de simulation obtenus correspondaient au data-sheet que nous avons choisi. Viens ensuite le hacheur de type élévateur qui été le lien entre le panneau photovoltaïque et l'onduleur, qui nous a permis grâce à sa commande MPPT utilisant l'algorithme proposé par Mikihiro Matsui de toujours obtenir le maximum de puissance. L'onduleur qui fournissait la puissance nécessaire à la charge a également fait l'objet d'une étude détaillée.

Nous avons ensuite étudié et simulé un système anti ilotage que nous proposons et qui a été introduite dans la commande de notre onduleur. Nous avons commencé par faire une recherche bibliographique qui nous a permis de voir tous les méthodes qui peuvent exister. Ensuite, nous avons essayé de bien comprendre notre système. Nous avons remarqué que l'objectif du système anti ilotage été en fait de détecté lors d'un défaut, l'ouverture de l'interrupteur (disjoncteur). Nous avons également remarqué qu'au moment de l'ouverture de ce disjoncteur, la PLL sans filtre multi variable qui été introduite dans la commande de notre onduleur détecté cette variation. Ce qui nous a conduits à développer une commande basé sur les caractéristiques de notre PLL.

Les principales difficultés que nous avons rencontré durant notre projet étaient tout d'abord au niveau de la commande de l'onduleur où il été difficile de régler ces paramètres afin d'obtenir une tension et un courant désirés. Nous avons également trouvé beaucoup de difficulté à développer notre algorithme anti ilotage utilisant deux PLLs l'une avec filtre multi variable l'autre sans filtre multi variable et cela du fait que nous n'avons trouvé aucun article utilisant cette méthode. Cependant, les résultats obtenus après le développement de notre système de commande anti ilotage montre que cette méthode peut être utilisé et qu'elle est efficace.

Nous espérons que les recherches futures pourront améliorer cette méthode en optimisant le système de détection anti ilotage utilisant deux PLLs. De plus, nous espérons qu'il pourra également être développé pour un système triphasé.

Nous espérons aussi qu'il pourra développer une commande de MPPT par exemple le méthode de Mikihiro matsui par la logique floue ainsi qu'il pourra changer la charge RLC par une autre charge.

Références bibliographiques

Référence

- [1] «Modélisation d'un Panneau Solaire » ,2012.
- [2] Boukli- Hacene Omar, « Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT Pour Une Meilleure Gestion Énergétique », Thèse de magister 2010/2011.
- [3] Antoine luque and Steven Hegedus, « Handbook of Photovoltaic Science and Engineering », Jhon Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [4] W.Xiao, « A Modified Adaptive Hill Climbing Maximum Power Point Tracking (MPPT) Control method For Photovoltaic Power Systems », The University of British Columbia, 2003.
- [5] L.P. La chauvinnière, fichier "Convertisseur statique "communication technique.
- [6] H. LEQUEU – [DIV435] – Fichier : IUT-ED P-9, 2004/2005.
- [7] Cours de S.M Meliani "Hacheur".
- [8] M. Angel Cid Pastor : conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques, thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse ; septembre 2006.
- [9] N. Abouchabana, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT », Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [10] B.Multon,O.Gergaud,H.ben ahmed, X.Roboam, S.Aster, B.Dakyo, C.Nikita, 'Etat de l'art des aérogénérateur',l'électronique de puissance ,vecteur d'optimisation pour les énergies renouvelables,Ed.novelect-ecrin,2002.
- [11] S. ndoye, I.ly, f. barro, O. H. lemraoult, G. sissoko 'Modélisation et simulation sous matlab/simulink de la chaîne d'alimentation d'une station relais de télécommunications en énergie solaire photovoltaïque dans une zone isolée du réseau électrique' Journal des sciences, université de Dakar, pp 45-55, 2009.
- [12] F. Ansari, A. K. Jha ' Maximum power point tracking using perturbation and

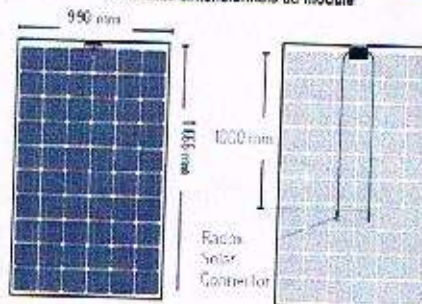
- Observation as well as incremental conductance algorithm' international journal of research in engineering & applied sciences, issn: 2294-3905, PP 19-30,2011.
- [13] V.Boitier , P. Maussion , C. CABAL 'Recherche du maximum de puissance sur les générateurs photovoltaïques', université de Toulouse, revue 3E.I, N°54, pp 90-96,septembre 2008.
- [14] "A New Maximum Photovoltaic Power Tracking Control Scheme Based on Power Equilibrium at DC Link", Mikihiko Matsui, Tatsuya Kitano, De-Hong Xu, Zhong-qui Yang, 1999 IEEE.
- [15] Brichant.F « les onduleurs autonomes. Conception et applications industrielles » Edition Dunod-Borda.Paris 1982.
- [16] Onduleur de tension : mise en œuvre et structures- principe-applications. Techniques d'ingénieur, traité de génie électrique. D.3176-3177.
Onduleurs et harmonique, cahiers techniques, Merlin Gerin N° 159.
- [17] T.Wildi : électrotechnique, 3^{ème} édition, édition de Boek université (1999).
- [18] Guy, B.Robert, labrique françie, les convertisseurs de l'électronique de puissance, la conversion alternatif (volume4).Edition tec&doc, 1995.
- [19] M.Boudjdaimi « commande d'un onduleur par des approches sur des réseaux de neurones artificiels ».
Mémoire de magister,UMMTO,27/09/2009.
- [20] Commande numérique, régimes intermédiaires et transitoires, Techniques d'ingénieur, traité de génie électrique D.3643-3.
- [21] C.canudas de wit, Modélisation, contrôle vectoriel et DTC. Commande des moteurs asynchrones 1 Editions Hermès.
- [22] J.XU « filtrage actif shunt des harmoniques des réseaux de distributions d'électricité ». Thèse de doctorat de l'INPL,Nancy, janvier 1994.

- [23] Mr.Sibasish panda, « a final présentation on fault analysis on maximum point power tracking based grid connected photovoltaic system.
- [24] mohamed Choukri BENHABIB, « Contribution à l'étude des différentes topologies et commandes des filtres actifs parallèles à structure tension : Modélisation, simulation et validation expérimentale de la commande »,2004.
- [25] [HOT-01] HOTEIT,I, « Filtre de Kalman réduits et sfficaces pour l-assimilation de données en océanographie » Thèse de l'institut d'informatique et mathématiques appliquées de Grenoble,Université ioseph-Fourier, Grenoble-I,2001.
- [26] Abdelhak BOUCHAKOUR, MN BRAHAMI, Idriss HADJ MHAMED, Mustafa BRAHAMI « Étude de Méthodes de Protection d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau électrique », 16èmes Journées.
Internationales de Thermique (JITH 2013) Marrakech (Maroc), du 13 au 15 Novembre, 2013.
- [27] Antonio Rossi, « Onduleur Power-One Aurora : Description de la protection anti-îlotage », 21/12/2011.
- [28] H.Colin (CEA-INES), C.Duvauchelle (EDF), Y.Tanguy (TransEnergie), B.Gaiddon(HESPUL), T.Tran-Quoc(IDEA), «Ilotage des installations photovoltaïques raccordées au réseau électrique : réglementation, méthodes de détection et retours de terrain », Décembre 2011.
- [29] Mylène Robitaille, « Élaboration d'une méthode de protection d'ilotage pour un système de production distribuée connecté à un réseau électrique », juillet 2006.

SPÉCIFICATIONS MÉCANIQUES

Dimensions (L x l x E, y/c boîte de jonction)	1660 mm x 990 mm x 20 mm (non cadré) 1666 mm x 990 mm x 24 mm (avec renforts) 1670 mm x 994 mm x 50 mm (cadré)
Poids	25 Kg (non cadré) 29 Kg (avec renforts) 32 Kg (cadré)
Verre avant	2.8 mm trempé extra blanc (EN12150) anti-reflet
Verre arrière	3.2 mm trempé standard (EN 12150)
Cellules PV	6 x 10 cellules solaires (156x156) Monocristallines
Boîte de jonction et Connecteurs	BJ : H+S KHS, IP 67 - 3 diodes Bypass C : H+S Radox Solar, IP 67
Câble	4 mm ² câble solaire, (+) 1000mm, (-) 1000mm

Schémas dimensionnels du module



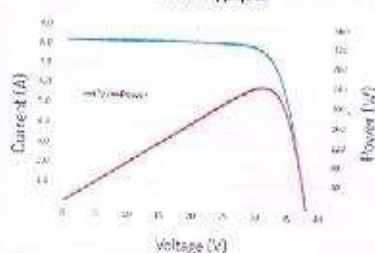
SPÉCIFICATIONS ÉLECTRIQUES

PERFORMANCE EN CONDITIONS STANDARD (STC : 1000 W/m², 25°C, AM 1.5)

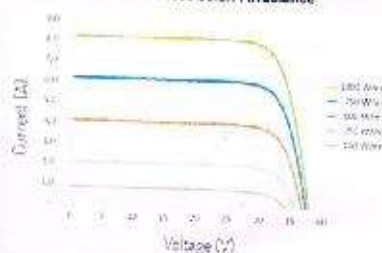
PUISSANCE NOMIMALE (+/- 3%)	P_{max}	[Wc]	240
Puissance Moyenne	P_{mp}	[W]	240
Courant de court circuit	I_{sc}	[A]	8.3
Tension à vide	V_{oc}	[V]	37.3
Courant à P_{max}	I_{mp}	[A]	7.9
Tension à P_{max}	V_{mp}	[V]	30.1

PERFORMANCES MODULE COURBES I - V

Courbes I-V typiques



Performances selon l'irradiance

COEFFICIENTS DE TEMPÉRATURE (STC : 1000 W/m², 25°C, AM 1.5)

Coefficient de température de I_{sc}	α	[%/°K]	+0.04
Coefficient de température de V_{oc}	β	[%/°K]	-0.34
Coefficient de température de P_{mp}	γ	[%/°K]	-0.47

NOCT (°C) 48°C

PROPRIÉTÉS POUR CONCEPTION D'UN SYSTÈME

Tension Max du système	[V]	1000	Classe de sécurité	II
Courant de retour Max	[A]	15	Charges de vent et neige (selon IEC 61215)	5400 Pa Cadrés 2400 Pa Non cadrés avec renforts arrière
Plage de fonctionnement du module	-40 °C jusqu'à +95 °C		Résistance au feu	C2

CERTIFICATIONS

IEC 61730-1, 61730-2, 61215

CONTACT
TEL : +213 33 812 277
FAX : +213 33 813 384WEB : www.nice-technology.com
E-MAIL : info@nice-technology.comAures Solar
Zone d'activité Air yagout, Batte
ALGERIE

V2.6 - Août 2013



ANNEX 2

```
>> Kc=1  
>> Ti= (2*eps)/wn  
>> g= tf (Kp*[Ti 1], [Ti 0])  
>> Cs= 854  
>> G= c2d (g,Te,'Zoh')
```

Les données du fichier (.m) sont :

```
eps= 0.707;  
wn=314;  
Vm=230;  
Kp= (2*eps*wn)/(sqrt(3)*Vm);  
Ti= (2*eps)/wn;  
Te=1e-4;
```

Résumé

L'énergie Photovoltaïque connaît actuellement un fort développement dans le monde. Des mesures ont permis d'accroître le nombre de panneaux solaires raccordés au réseau. Ce raccordement est dépendant de certains aléas, notamment l'un des plus dangereux pour la sécurité des personnes due à l'îlotage ou l'islanding. Donc, pour éviter ce problème, notre système nécessite une protection contre ce phénomène. Pour cela, on a développé une méthode de détection qui fait découpler l'onduleur du réseau principale lors de la détection d'un fonctionnement en réseau séparé.

De nombreux systèmes permettent la détection de cet îlotage.

La structure de notre modèle de protection c'est à dire l'anti-islanding est incorporée dans notre système qui regroupe un panneau solaire(GPV), un hacheur survolteur et sa commande de Mikihiko Matsui suivi d'un onduleur monophasé commandé pour avoir une tension alternative à une valeur voulue, ce dernier est raccordé à un bloc de détection d'îlotage, une charge RLC et un interrupteur, tout ce système est relié au réseau électrique.

Donc cette détection force l'onduleur pour qu'il s'arrête à chaque variation brusque ou lente de tension ou de fréquence peut apparait sur le réseau due à l'îlotage.

Summary

The photovoltaic energy is currently experiencing strong growth worldwide. Steps have helped increase the number of solar panels connected to the grid. This connection is dependent on certain risks, including one of the most dangerous for the safety of persons due to islanding. So to avoid this, our system requires protection against this phenomenon. For this, we have developed a detection method that decouple the inverter from the main network upon detection of the islanding.

The structure of our protection model that is anti-islanding is incorporated in our system that combines a solar panel (GPV), a boost chopper and its control Mikihiko Matsui followed with a single phase inverter controlled to have a AC voltage to a desired value, it is connected to a detection of islanding block, an RLC load and a switch, the whole system is connected to the mains.

So this detection power inverter so that it stops at every sudden or gradual change of voltage or frequency can appear on the network due to islanding.

Keywords : Photovoltaic-Islanding-Hacheur-Mikihiko Matsui.

الملخص

الطاقة الكهروضوئية تشهد حالياً نمواً قوياً في جميع أنحاء العالم. وقد ساعدت الخطوات زيادة عدد الألواح الشمسية المتصلة بالشبكة. هذا الصدد يعتمد على بعض المخاطر، بما في ذلك واحدة من الأكثر خطراً على سلامة الأشخاص المقرر أن islanding. و ذلك لتجنب هذا ، نظامنا يتطلب حماية ضد هذه الظاهرة.

لهذا قمنا بتطوير طريقة الكشف أن فصل العاكس من الشبكة الرئيسية عند الكشف عن عملية شبكة منفصلة. كثير من النظم تسمح للكشف عن islanding ، و جاء هيكل نموذج حمايتنا الذي أدرج مكافحة islanding في نظامنا الذي يجمع بين لوحة شمسية GPV مروحية دفعة و سيطرتها Mikihiko ماتسوي مع العاكس مرحلة واحدة تسيطر عليها أن يكون لها AC الجهد الى القيمة المطلوبة، و توصيله الى الكشف عن islanding كتلة، عبئاً RLC و التحول ، و يرتبط النظام برمته الى أنابيب.

و لذلك فان هذا الكشف السلطة العاكس بحيث يتوقف عند كل تغيير مفاجئ أو تدريجي من الجهد أو التردد يمكن أن تظهر على الشبكة بسبب islanding.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الكهروضوئية ، Islanding –Hacheur-Mikihiko Matsui

Clickours.com