REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie électrique

Spécialité : Automatique et systèmes

Commande d'un VSC d'un réseau résidentiel connecté aux réseaux

---

Présenté par :

KALACHE Belkacem

HAMI Nabil

Proposé et Dirigé par :

Dr. ABBADI Amel

Dr. HAMIDIA Fethia

Promotion 2020

Remerciement

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nos vifs remerciements sont destinés en premier lieu à notre promotrice Dr.ABBADI Amel pour la grande attention et le temps qu'elle a accordé à notre mémoire. Sans ses nombreux conseils, ses encouragements et son implication, nous n'aurions pu mener à bien ce mémoire.

Nos sincères remerciements s'adressent à notre Co directrice Dr. HAMIDIA Fethia et à tous les enseignants qui nous ont aidés pour terminer ce travail.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements aux membres de jury pour nous avoir fait l'honneur et le plaisir d'accepter de juger notre travail.

En fin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, au bon déroulement de notre travail et de nos études.

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :
A mes chers parents mon père (que Dieu ait pitié) et ma mère pour sa patience, sa amour, sa soutien et sa encouragements.

Mes sœurs et mes neveux Mohamed , Anfel , Maria , Manel , Rimas , Abdelmalek , Marwa , chahrazed .

En témoignage de la fraternité, Avec mes souhaits de bonheur de santé et de succès.

A mon cher binôme Nabil et a tous mes amis, mes camarades et mes collègues de promotion avec qui j'ai passé mes meilleures années d'études.

BELKACEM KALACHE

Dédicaces

Je dédie se modeste travail à mes chers parents qui m'ont beaucoup encouragé et soutenu pendant tout leur vie pourvoir le jour-là et pour ces précieux conseils ainsi pour ces recommandations.

A mes très chers frères, A toute ma famille, grande et petite.

À tous mes collègues Master 2019/2020, à mon collègue BELKACEM.

A tous mes amis sans exception.

NABIL HAMI

الملخص :

تحتوي بلادنا على مصدر طاقة متجدد مهم ألا و هو الطاقة الشمسية و بالإضافة إلى تكنولوجيا تمكننا من استغلالها . هذا العمل يتضمن دراسة حول متحكم التيار لعاكس مصدر الجهد VSC في نظام الطاقة الكهروضوئية السكنية المتصلة بالشبكة . لتحسين أداء و كفاءة هذا النظام الغير خطي نستخدم أنظمة مناسبة للتحكم في الطاقة من خلال قانون تحكم فعال و الذي يتمثل في منظمين أساسيين (وضع الانزلاق الكلاسيكي SM و وضع الانزلاق مع قانون التقارب الأسي SM exp).

النتائج المتحصل عليها في ظروف إشعاع مختلفة تثبت نجاعة الطريقتين المستعملتين في الدراسة.

الكلمات المفتاحية : نظام الكهروضوئية -عاكس مصدر الجهد - الشبكة - نظام غير خطي - وضع الانزلاق الكلاسيكي - وضع الانزلاق مع قانون التقارب الأسي .

Résumé :

Notre pays contient une importante source d'énergie renouvelable , qui est l'énergie solaire , en plus de la technologie qui nous permet de l'exploiter . Ce travail présente une étude sur le contrôleur de courant d'un onduleur de source de tension VSC dans un système d'énergie photovoltaïque résidentiel connecté au réseau ,pour l'amélioration des performances et du rendement ce système non linéaire en utilisant des systèmes appropriés pour commander la puissance à travers des lois de commandes efficaces et optimales , qui est représenté par deux principaux régulateurs (mode de glissement classique SM et mode de glissement avec loi de convergence exponentielle SM exp) .

Les résultats obtenus dans différentes conditions d'irradiation prouvent l'efficacité des deux méthodes utilisées dans l'étude.

Mots clés: système photovoltaïque - Convertisseur de source de tension - réseau - système non linéaire - mode de glissement classique - mode de glissement avec loi convergence exponentielle.

Abstract :

Our country contains an important source of renewable energy , which is solar energy , in addition to the technology that allows us to harness it . This work presents a study on current controller of voltage source converter VSC in grid connected residential photovoltaic power system , to improve performance and efficiency , this non-linear system uses appropriate systems to control the power through an efficient and optimal control law , which is represented by two main regulators (classic sliding mode SM and sliding mode with exponential convergence law SM exp).

The results obtained under different irradiation conditions prove the effectiveness of the two methods used in the study.

Key words : Photovoltaic system - voltage source converter - grid - non linear system – classic sliding mode - sliding mode with exponential convergence law .

Table des matières

LISTE DES FIGURES I

LISTE DES ACRONYMES II

LISTE DES SYMBOLES III

Introduction Generale 1

CHAPITRE I : L énergie solaire photovoltaïque

I.1. Introduction 4

I.2. L'effet photovoltaïque 4

I.3. Principe de fonctionnement 5

I.4. Modélisation d‘une cellule photovoltaïque (Modèle à une diode) 6

I.5. Influence des différents paramètres sur la caractéristique I (V) 8

I.5.1. Caractéristique courant- tension 8

I.5.2. Influence de l’éclairement 8

I.5.3. Influence de la température 9

I.5.4. Influence de l'association série des cellules PV 10

I.6. Architecture des système PV 11

I.6.1. Système connecte au réseau 11

I.6.2. Système autonome 12

I.6.3. Système autonome hybride 12

I.7. Avantages d’un système photovoltaïque 13

I.8. Conclusion 14

CHAPITRE II : Constitution du système résidentiel connecte au réseau

II.1. Introduction 16
II.2. Structure du système 16
II.3. Commandes MPPT 17
II.3.1. Définition 17
II.3.2. Méthode de perturbation et observation (P&O) 17
II.4. Convertisseur DC/AC monophasé source de tension 30
II.4.1. Structure Onduleur monophasé 19
II.4.1.1. Onduleur en demi- pont 19
II.4.1.2. Onduleur en pont 21
II.5. Modulation de largeur d'impulsion MLI 25
II.6. Synchronisation par PLL 26
II.7. Le filtre LCL 27
II.8. La charge résidentielle 28
II.9. Conclusion 28

CHAPITRE III : Commande par mode glissant des convertisseurs DC/AC

III.1. Introduction 30
III.2. Systèmes non linéaires 30
III.3. Commande par mode glissant 30
III.4. Principe de la commande par mode de glissement 30
III.5. Système à structure variable 31
III.6. Conception de la commande par mode glissant 32
III.6.1. Choix de la surface de glissement 32
III.6.2. Conditions de convergence et d'existence 33
III.6.2.1. Approche directe 33
III.6.2.2. Approche de Lyapunov 33

III.6.3. Détermination de la loi de commande 34

III.7. Phénomène de réticence 36

III.8. Domaine d'application du réglage par mode glissant 37

III.9. Application de la théorie de réglage par mode de glissement pour la commande d'un onduleur monophasé 37

III.10. Application de la théorie de réglage par mode de glissement avec loi de convergence exponentielle pour la commande d'un onduleur monophasé 39

III.11. Conclusion 40

CHAPITRE IV : Résultats de simulation et discussions

IV.1. Introduction 42

IV.2. Description de système 42

IV.2.1. Les régulateurs du VSC 42

IV.3. Simulation 43

IV.3.1. Cas de varie l'irradiation et fixer la température 43

IV.3.1.1. Simulation de système avec mode de glissement classique 44

IV.3.1.2. Simulation de système avec mode de glissement avec loi de convergence exponentielle 48

IV.3.2. Cas de fixer l'irradiation et varie la température 52

IV.3.2.1. Simulation de système avec mode de glissement classique 52

IV.3.2.2. Simulation de système avec mode de glissement avec loi de convergence exponentielle 56

IV.3.3. Etude comparative de la THD entre les deux 2 contrôleurs 61

IV.4. Conclusion 63

Conclusion Generale... 64

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Schéma de principe de la conversion photoélectrique 5

Figure I.2: la Cellule PV monocristallin 5

Figure I.3: Représentation schématique d'une cellule solaire..... 6

Figure I.4: Schéma équivalent de la cellule solaire à une diode 7

Figure I.5: Influence de l'éclairement sur I(V) et sur P(V)..... 9

Figure I.6: Influence de la température sur I(V) et sur P(V)..... 9

Figure I.7: Caractéristique résultants d'un groupement de n_S cellules en série..... 10

Figure I.8: Caractéristique résultants d'un groupement de n_p cellules en parallèle.... 11

Figure I.9: Système PV connecté au réseau électrique 11

Figure I.10: Système PV autonome..... 12

Figure I.11: Système PV autonome hybride 13

Figure II.1: Schéma fonctionnel général d'une topologie PV monophasée..... 16

Figure II.2: Courbe graphique pour MPP de PV..... 17

Figure II.3: Algorithme de la méthode P&O..... 18

Figure II.4: Schéma de principe d'un onduleur en demi-pont 20

Figure II.5: L'allure de la tension au borne de la charge 20

Figure II.6: Schéma de principe d'un onduleur en pont..... 21

Figure II.7: L'allure de la tension au borne de la charge 22

Figure II.8: La tension aux bornes de la charge 22

Figure II.9: Courant d'une charge résistive..... 22

Figure II.10: Les cas possibles de commutation de l'onduleur..... 24

Figure II.11: L'allure de la tension et le courant aux bornes de la charge 25

Figure II.12: La simulation de commande MLI 26

Figure II.13: Structure de principe d'une PLL triphasée (a) et monophasée (b)..... 27

Figure II.14: Schéma du filtre LCL 27

Figure III.1: Différents modes de convergence pour la trajectoire d'état 31

Figure III.2: Différents modes pour la trajectoire dans le plan de phase 32

Figure III.3: Représentation de la commande discontinue 36

Figure III.4: Représentation de la fonction «sat(x)» 36

Figure III.5: Schéma de commande de l'onduleur côté réseau 38

Figure IV.1: La structure du VSC 43

Figure IV.2: La variation L'irradiation et la température 43

Figure IV.3: La tension PV, le courant PV puissance PV 44

Figure IV.4: La tension de référence a courant continue $V_{dc\ Ref}$ 45

Figure IV.5: La Tensions V fournit à la charge 45

Figure IV.6: le courant I fournit à la charge 46

Figure IV.7: La tension V et le courant I fournis à la charge 47

Figure IV.8: La puissance P fournit à la charge 47

Figure IV.9: La tension PV, le courant PV puissance PV 48

Figure IV.10: La tension de référence a courant continue $V_{dc\ Ref}$ 49

Figure IV.11: La tension V fournit à la charge 49

Figure IV.12: Le courants I fournit à la charge 50

Figure IV.13: La tension V et le courant I fournit à la charge 51

Figure IV.14: La puissance P fournit à la charge 51

Figure IV.15: la variation l'irradiation et la température 52

Figure IV.16: La tension PV, le courant PV puissance PV 53

Figure IV.17: La tension de référence a courant continue $V_{dc\ Ref}$ 54

Figure IV.18: La Tensions V fournit à la charge 54

Figure IV.19: le courant I fournit à la charge 55
Figure IV.20: La tension V et le courant I fournis à la charge 56
Figure IV.21: La puissance P fournit à la charge 56
Figure IV.22: La tension PV, le courant PV puissance PV 57
Figure IV.23: La tension de référence a courant continue $V_{dc\ Ref}$ 58
Figure IV.24: La Tensions V fournit à la charge 58
Figure IV.25: le courant I fournit à la charge 59
Figure IV.26: La tension V et le courant I fournis à la charge 60
Figure IV.27: La puissance P fournit à la charge 60
Figure IV.28: Les harmoniques de courant I avec la méthode SM classique 61
Figure IV.29: Les harmoniques de courant I avec la méthode SM exp 61
Figure IV.30: Les harmoniques de courant I avec la méthode SM classique 62
Figure IV.31: Les harmoniques de courant I avec la méthode SM exp 62

LISTE DES ACRONYMES

AC : Courant Alternatif (Alternative Current).

CMG (SMC) : Commande par mode glissant (Sliding Mode Control).

DC : Courant Continu (Direct Current).

DC/AC : Courant continu- alternatif.

DC/DC : Courant continu-continu.

IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor .

IncCond : Incrémental Conductance.

MC : Mode de convergence.

MG(SM) : Mode de glissement (Sliding Mode).

MGexp(SMexp) : Mode de glissement avec loi de convergence exponentielle (Sliding Mode with exponential convergence law).

MLI (PWM) : Modulation de largeur d'impulsions (Pulse Width Modulation).

MPPT : Suivi du point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking).

MRP : Mode du régime permanent.

P&O : Perturbation et Observation.

PLL : Boucle de verrouillage de phase (Phase Lock Loop).

PPM : Point de puissance maximale.

PV : Photovoltaïque.

THD : Total Harmonie Distorsion .

VSC : Convertisseur source de tension (voltage source converter).

LISTE DES SYMBOLES

$\dot{I}_d$: Courant pour l'axe d(A).

$\dot{I}_q$: Courant pour l'axe q(A).

$\dot{S}_d$: Dérivée de la surface de glissementpour l'axe d.

$\dot{S}_q$: Dérivée de la surface de glissement pour l'axe q.

$I_{d\,ref}$: Courant référence pour l'axe d(A).

I_{pv} : Courant photovoltaïque (A).

$I_{q\,ref}$: Courant référencepour l'axe q(A).

$\dot{S}(\mathbf{x})$: Dérivée surface de glissement.

U_c : Tension de la charge (v).

V_d : Tension l'axe d (v).

$V_{dc\,Ref}$: Tension de référence a courant continue (v).

V_{dc} : Tension a courant continue (v).

V_{dc} : Tension filtrée (v).

V_{pv} : Tension photovoltaïque (v).

V_q : Tension l'axe q (v)

t_{r_d}: Temps d'atteinte (s).

u_d : Commande par mode glissant adoptée pour l'axe d.

u_{deq} : Commande équivalentepour l'axe d.

u_{eq} : Commande équivalente.

u_n : Terme introduit pour satisfaire la condition de convergence.

u_q : Commande par mode glissant adoptée pour l'axe q.

u_{qeq} : Commande équivalente pour l'axe d.

$\boldsymbol{\delta_{0_d}}$: Décalage strictement positif et inférieur à 1 pour l'axe d.

$\boldsymbol{\delta_{0_q}}$: Décalage strictement positif et inférieur à 1 pour l'axe q.

e(x) : Variable à régler.

F : fréquence (Hz).

K : Constante.

***L* :** Inductance de l'onduleur à la réseau.

***p* :** Un entier naturel strictement positif.

Q1 : Interrupteur 1 .

***R* :** Résistance (Ω) .

r: Degré relatif.

s : Surface de glissement.

Sat : Fonction du saturation.

***sig* :** Fonction sigmoïde.

Sign : Fonction qui prend 1 ou -1.

T : Période (s).

***u* :** Grandeur de commande.

λ: Constante positive.

***α* :** Constante positive.

ω : Pulsation

Introduction générale

Introduction générale :

L’énergie solaire photovoltaïque (PV) est en forte croissance depuis quelques années, car c’est une source inépuisable et non polluante pour l'environnement. Le développement rapide de l’énergie solaire est apparu progressivement sous forme d'installations de petites puissances raccordées au réseau Basse Tension (BT).

Cependant, le raccordement des systèmes PV au réseau de distribution via l’onduleur photovoltaïque peut avoir quelques impacts sur les réseaux électriques : impacts sur le changement des flux de puissance, sur la qualité de l’énergie ou sur la planification du réseau. La connexion directement des charges aux systèmes PV peut aussi provoquer des perturbations et un mauvais fonctionnement du réseau.

Lors du fonctionnement d’un générateur PV adapté par des convertisseurs d’énergie, le point de puissance maximale (PPM) peut être dégradé suite aux variations des conditions météorologiques ou de la charge. L’adaptation entre la source et la charge a lieu en variant le rapport cyclique. En réalité, la recherche de ce point de puissance maximale doit être réalisée automatiquement. Ceci est tout à fait possible en adoptant l’une des approches d’adaptation connues sous le nom des commandes MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Le convertisseur DC/AC ou aussi appelé onduleur, est une partie essentielle dans la chaîne de production des énergies renouvelables. C’est un appareil électronique permettant, par exemple, de générer un courant alternatif à partir d'un courant continu (cas d’une production solaire), en ayant comme but principal d’optimiser la production, de corriger les pertes et les perturbations pouvant intervenir dans le processus. Les onduleurs sont basés sur une structure en pont en H constituée d'interrupteurs électroniques tels que des MOSFET ou des IGBT.

La commande des onduleurs est traditionnellement basée sur la modulation de largeur d'impulsions (MLI) ou la commande par hystérésis avec une référence sinusoïdale (CHR) pour éliminer certaines harmoniques.[1]

Dans cette thèse, on va étudier deux méthodes de commande, appliquées à l'onduleur monophasé. La première est la commande par mode de glissement classique et le second est la méthode par mode de glissement avec une loi de convergence exponentiel.

La commande par mode de glissant fait partie de la famille des contrôleurs à structure variable, c.à.d. des commandes commutant entre plusieurs lois de commande différentes. L'importance des contrôleurs par mode glissant réside dans : la grande précision, la réponse dynamique rapide, la stabilité, la simplicité de la conception et l'implantation, et la robustesse vis-à-vis la variation des paramètres internes ou externes.[2]

Notre objectif dans ce présent travail est obtenir la plus haute énergie des cellules photovoltaïque pour alimenter un système résidentiel connecté au réseau électrique, en contrôlant l'onduleur (DC-AC) avec deux régulateurs : la commande par mode de glissement classique (SM) et la commande par mode de glissement avec une loi de convergence exponentiel (SM EXP) pour produire la puissance électrique la plus élevée possible dans certaines conditions (température, rayonnement).

Le contenu de notre mémoire est organisé en quatre chapitres principaux :

Au premier chapitre, on s'intéresse à la description générale et le principe de fonctionnement des systèmes photovoltaïques PV et sa modélisation.

Le deuxième chapitre consiste à étudier et modélisé les déférentes partie essentielle dans la chaîne de production des énergies photovoltaïque.

Le troisième chapitre comprend des rappels et des définitions de base sur la théorie de la commande par mode glissant et une comparaison entre la commande par mode glissant classique et la commande par mode glissant avec loi de convergence exponentiel.

Le dernier chapitre est consacré à présenter les résultats de simulation obtenus par la commande en mode glissant et la commande par mode de glissant avec une loi de convergence exponentiel.

Finalement, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I :

L énergie solaire photovoltaïque

I.1. Introduction :

Ces dernières années de nombreuses recherches se sont intéressées à l'utilisation des énergies renouvelables notamment l'énergie solaire. Cette dernière constitue une alternative aux ressources traditionnelles d'énergies (fossiles), et peut couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie.

La découverte de l'effet photovoltaïque a été réalisée par A.-E. Becquerel en 1839 et Einstein en expliqua les mécanismes en 1912. Becquerel découvrit que certains matériaux délivrent une petite quantité d'électricité quand on les expose à la lumière. Cet effet est étudié dans les solides tels que le sélénium par Heinrich Hertz dès les années 1870 avec des rendements de l'ordre de 1%, ce matériau est adopté rapidement par les photographes comme luxmètre [1]3. En 1954, la première cellule solaire au silicium cristallin a été fabriquée aux États-Unis par la société Bell Téléphone Laboratoires, avec un rendement de 4 % à partir du procédé de tirage Czochralski. En 1958 le satellite américain Vanguard I a été lancé, équipé de six panneaux recouverts de cellules au silicium ayant un rendement moyen de 6%. Depuis, les modules PV, choisis pour minimiser le rapport poids/puissance électrique délivrée, équipent tous les satellites. C'est au début des années 1980 que le l'énergie photovoltaïque ainsi que les autres énergies renouvelables vont connaître leur premier essor "terrestre" avant le redémarrage observé au cours des années 1990.[3]

Ce chapitre est consacré à la description du système photovoltaïque, son principe de fonctionnement, ses différentes composantes, ses caractéristiques et sa source qui est le rayonnement solaire , en terminant avec les avantages de photovoltaïque.

I.2. L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque dont le terme souvent abrégé par les lettres P et V est un phénomène physique propres à certains matériaux communément appelés les semi-conducteurs (souvent le silicium). Il est composé à partir de 3 étapes qui se résument en l'absorption de lumière par le matériau de la cellule P.V. Le transfert d'énergie des photons vers les charges électriques et finalement la collecte de charge.

La puissance du champ photovoltaïque est directement proportionnelle aux nombres de cellules employées dans une installation. Seulement, une exposition au rayonnement homogène de l'ensemble de la surface est exigée pour une meilleure rentabilité. Pailleurs, l'obtention de la puissance maximale peut être assurée par observation des 3 critères : l'orientation, l'inclinaison et la température. [4]

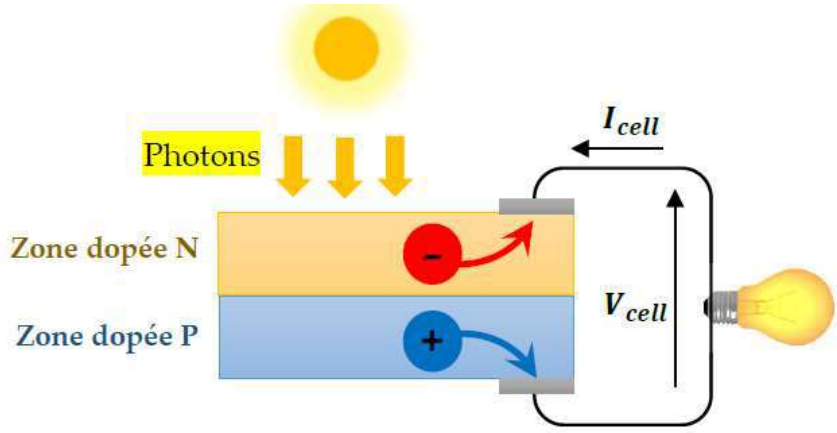


Figure I.1: Schéma de principe de la conversion photoélectrique

I.3. Principe de fonctionnement :

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques . Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de0,5 à 0,6 V .[5]

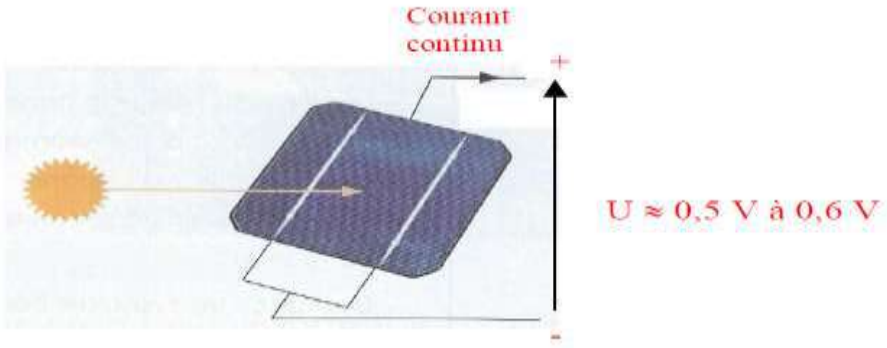


Figure I.2: la Cellule PV monocristallin

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteur) :

- Une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P).
- Une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium , cette zone est donc dopée négativement (zone N).

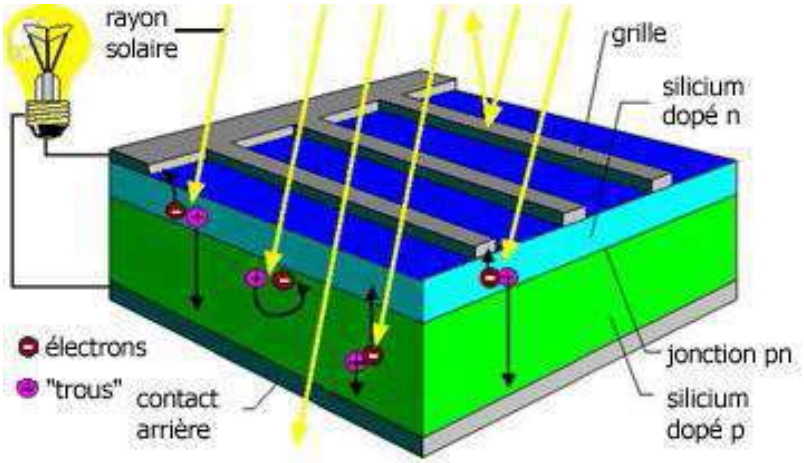


Figure I.3: Représentation schématique d'une cellule solaire

Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque.

A la surface, le contact électrique (électrode négative) est établi par la grille afin de permettre à la lumière du soleil de passer à travers les contacts et de pénétrer dans le silicium . Les cellules solaires sont recouvertes d'une couche antireflet qui protège la cellule et réduit les pertes par réflexion. C'est une couche qui donne aux cellules solaires leur aspect bleu foncé. [5]

I.4. Modélisation d'une cellule photovoltaïque (Modèle à une diode) :

Ce modèle représente la cellule solaire comme une source de courant. Il est constitué par La résistance en série R_s une autre résistance en parallèle dite la résistance shunt R_p représente le courant de fuite et une diode parallèle qui modélise la jonction PN (figure I.4) .[6]

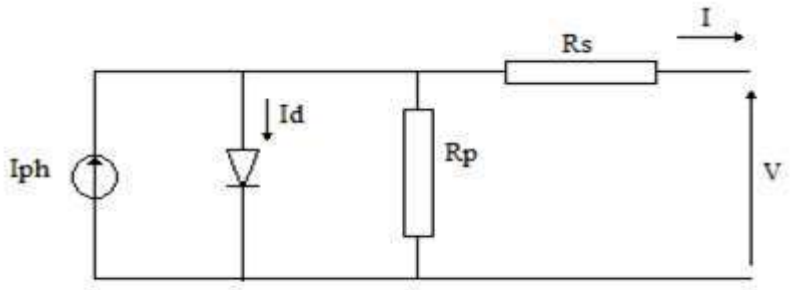


Figure I.4: Schéma équivalent de la cellule solaire à une diode

A partir du circuit équivalent de la (figure I.4) on peut écrire :

$$I_{ph} = I_d + I + I_{Rp} \quad \text{(I.1)}$$

Le courant qui passe dans la résistance $R_p$est donné par :

$$I_{R_p} = \frac{V+IR_s}{R_p} \quad \text{(I.2)}$$

Le courant dans la diode est donnée par :

$$I_d = I_s\left[e^{\frac{(V+IR_s)}{nV_t}} - 1\right] \quad \text{(I.3)}$$

Avec I_s:courant de saturation de la diode est donné par :

$$I_s = K_1 T^3 e^{\frac{E_g}{KT}} \quad \text{(I.4)}$$

Ou :

$V_t = \frac{KT}{q}$: Tension thermique à la température *T*.

q : Charge de l'électron ($1.602 \times 10^{-19} C$).

K :Constante de Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23}\ j/k$).

K_1 :Constante($1.2 A/cm^2\, K^3$).

n : Facteur de non idéalité de la jonction.

T : Température effective de la cellule en Kelvin.

E_g : Énergie de gap (pour le silicium cristallin est égale à 1.12 eV).[6]

Donc l'expression de la caractéristique (I.1) est :

$$I = I_{ph} - I_s[e^{\frac{(V+IR_S)}{nV_t}} - 1] - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (I.5)$$

Où I_{sat}est le courant de saturation inverse de la diode,$V_t = \frac{KT}{q}$,$R_p$et $R_s$sont respectivement les résistances parallèle et série de la cellule solaire respectivement, I_{ph}est le courant généré sous une irradiation donnée et I et V sont le courant de sortie et la tension de sortie de la cellule PV.

L'expression approchée du courant de court-circuit est :

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{1+\frac{R_S}{R_p}} \quad (I.6)$$

Comme$R_s \approx R_p$, on peut admettre que$I_{ph} \approx I_{cc}$pour (G=1000W/m^2 et T=25°).

I.5. Influence des différents paramètres sur la caractéristique I (V) :

I.5.1. Caractéristique courant- tension :

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant tension. Le panneau photovoltaïque est donc à considérer comme une source de puissance. On s'aperçoit alors de l'existence d'un point *Pm* où la puissance se trouve être maximale. Il est sans aucun doute intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée. Certains régulateurs solaires réalisent donc une adaptation d'impédance pour qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking (MPPT)). [7]

I.5.2. Influence de l'éclairement :

Lorsqu'on va maintenir une température constante (25°C) à différents éclairements (200W/ m^2 , 400W / m^2 , 600W / m^2 , 800W / m^2 , 1000W / m^2) on remarque que l'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que l'augmentation de la tension de circuit ouvert (figure I.5).

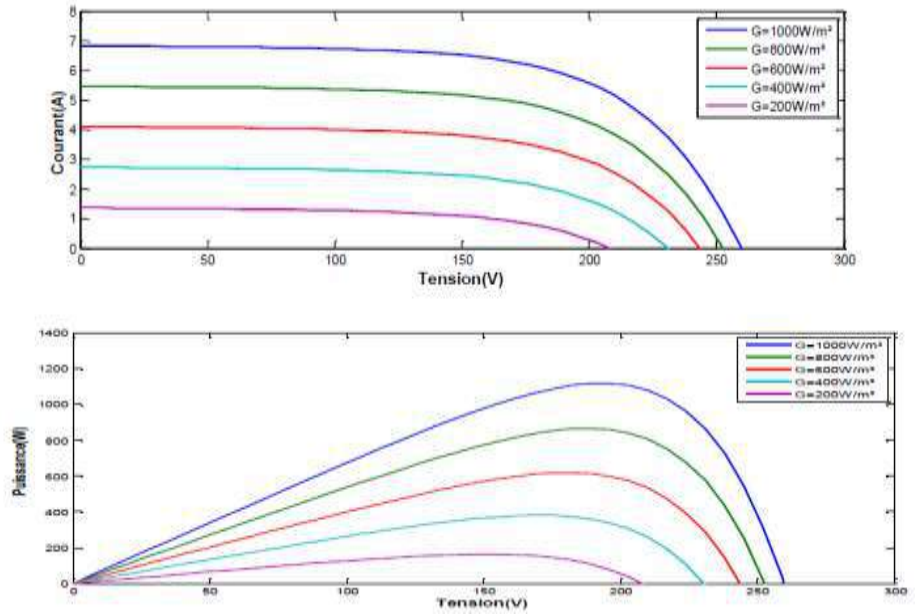


Figure I.5: Influence de l'éclairement sur I(V) et sur P(V)

I.5.3. Influence de la température :

Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique I=f(v). Le courant dépend de la température puisque le courant augment légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert . Quand la température augmente, la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution.[8]

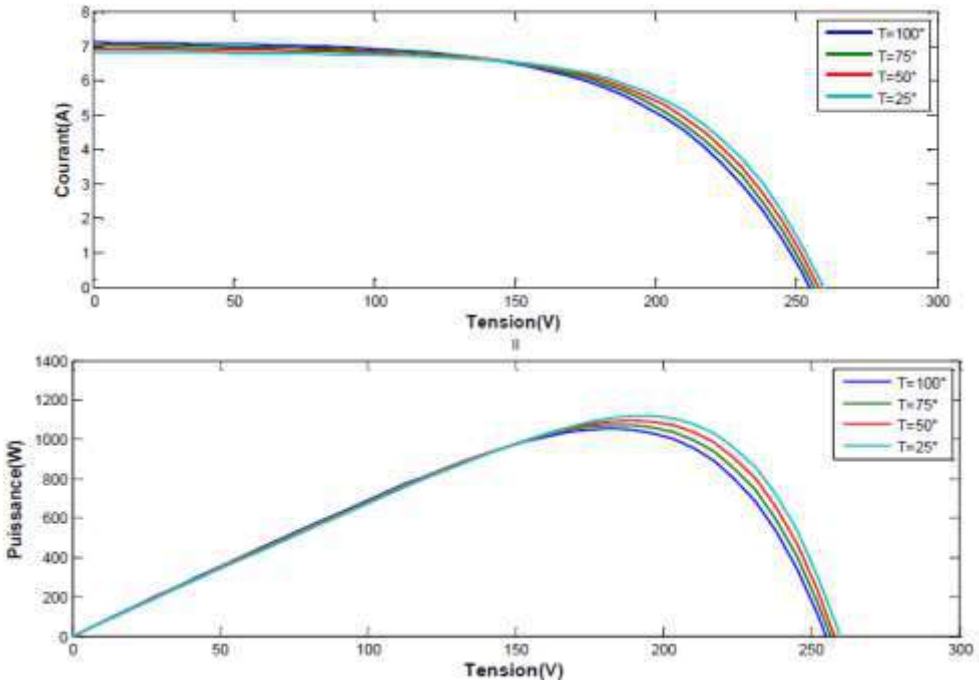


Figure I.6: Influence de la température sur I(V) et sur P(V)

I.5.4. Influence de l'association série des cellules PV :

La puissance maximale pour une cellule au silicium de 10 cm^2 serait d'environ 1.25 W. La cellule photovoltaïque élémentaire constitue donc un générateur électrique de très faible puissance insuffisant pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïque sont de ce fait, réalisés par association, en série et /ou en parallèle d'un grand nombre de cellule élémentaires .Ces groupements sont appelés modules, puis panneaux.

a) Association série :

L'association en série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroitre la puissance de l'ensemble .[9]

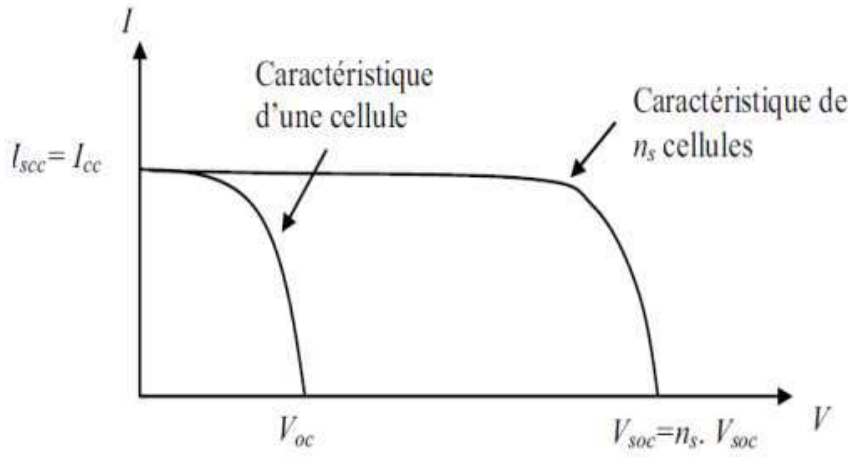


Figure I.7 : Caractéristique résultants d'un groupement de n_S cellules en série

b) Association parallèle :

L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'une seule cellule .[9]

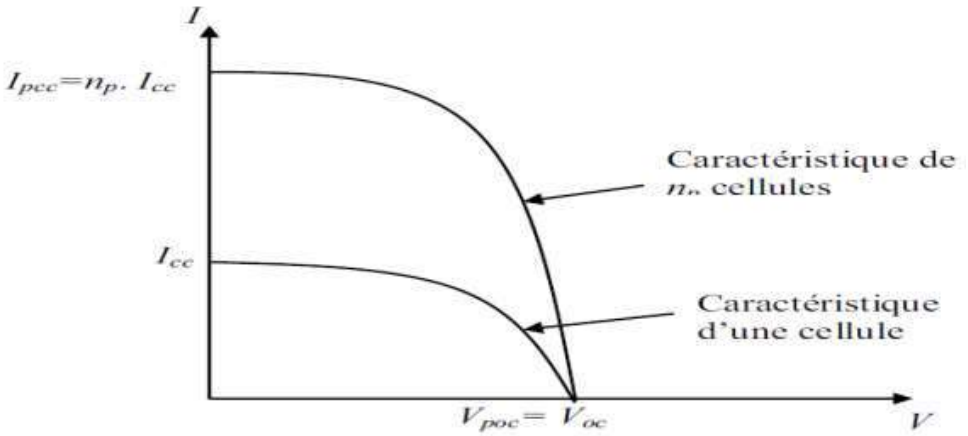


Figure I.8: Caractéristique résultants d'un groupement de n_p cellules en parallèle

I.6. Architecture des système PV :

En général, il existe trois types d'installation des systèmes photovoltaïques : système connecté au réseau, système autonome et système hybride. Les deux derniers sont indépendants du service public de distribution d'électricité ; on les retrouve souvent dans les régions éloignées du réseau électrique.

I.6.1. Système connecte au réseau :

Dans ce système, l'énergie issue des panneaux PV s est injectée dans le réseau local ou national, ce qui permet la décentralisation du réseau électrique. Une telle approche permet de produire sa propre électricité en périodes ensoleillées et d'acheminer son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel le client s'approvisionne au besoin.

La figure suivante (figure I.9) illustre une architecture d'un système PV connecté au réseau électrique « Grid-Connected PV System ». [10]



Figure I.9: Système PV connecté au réseau électrique

I.6.2. système autonome :

Le système PV autonome « Stand Alone PV system » (figure I.10) est utilisé en général dans les localités isolées. Dans ce cas, il est souvent nécessaire d'utiliser une batterie pour stoker l'énergie et un onduleur (convertisseur DC/AC) pour faire fonctionner les appareils à courant alternatif.[10]

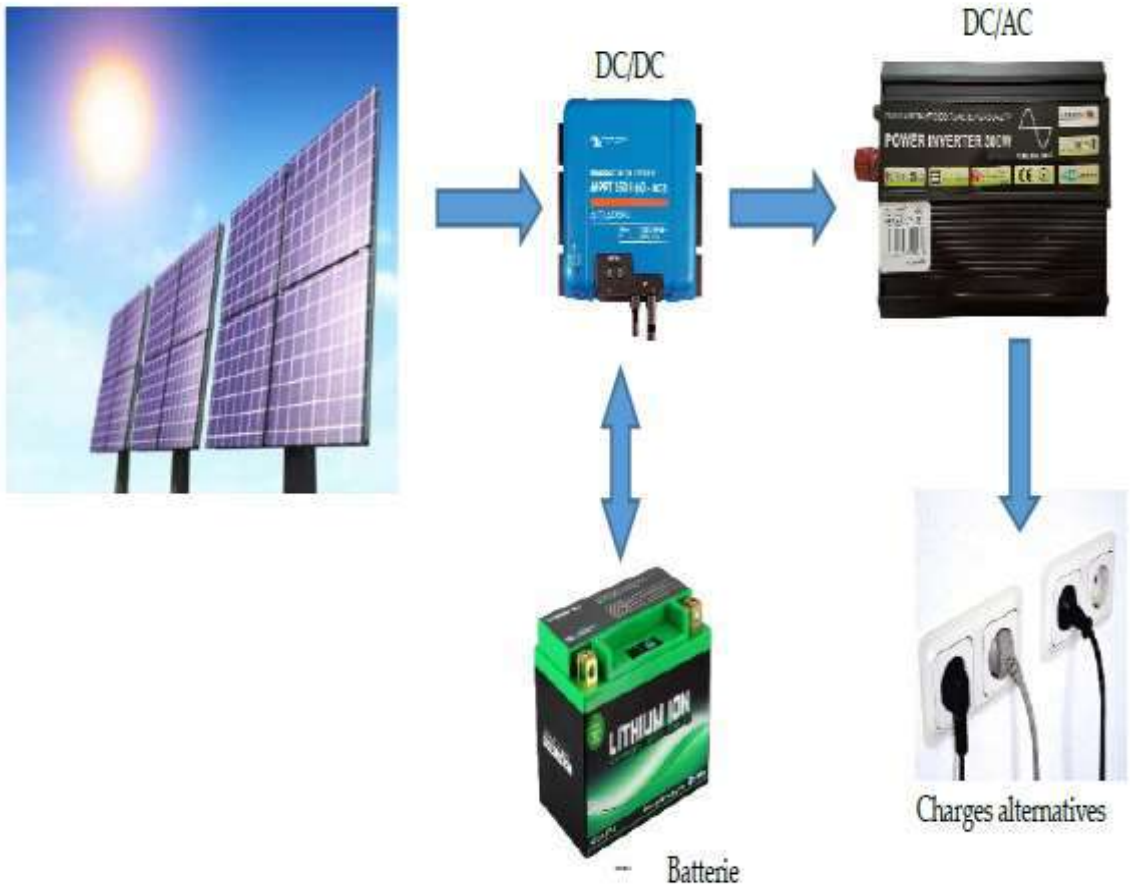


Figure I.10: Système PV autonome.

I.6.3. système autonome hybride :

Le système PV peut être connecté avec d'autres sources renouvelables (Eolien par exemple) et un groupe électrogène pour former un système hybride pouvant fonctionner dans toutes les conditions avec une génération optimale d'énergie, la figure suivante (figure I.11) schématise un système hybride.[10]

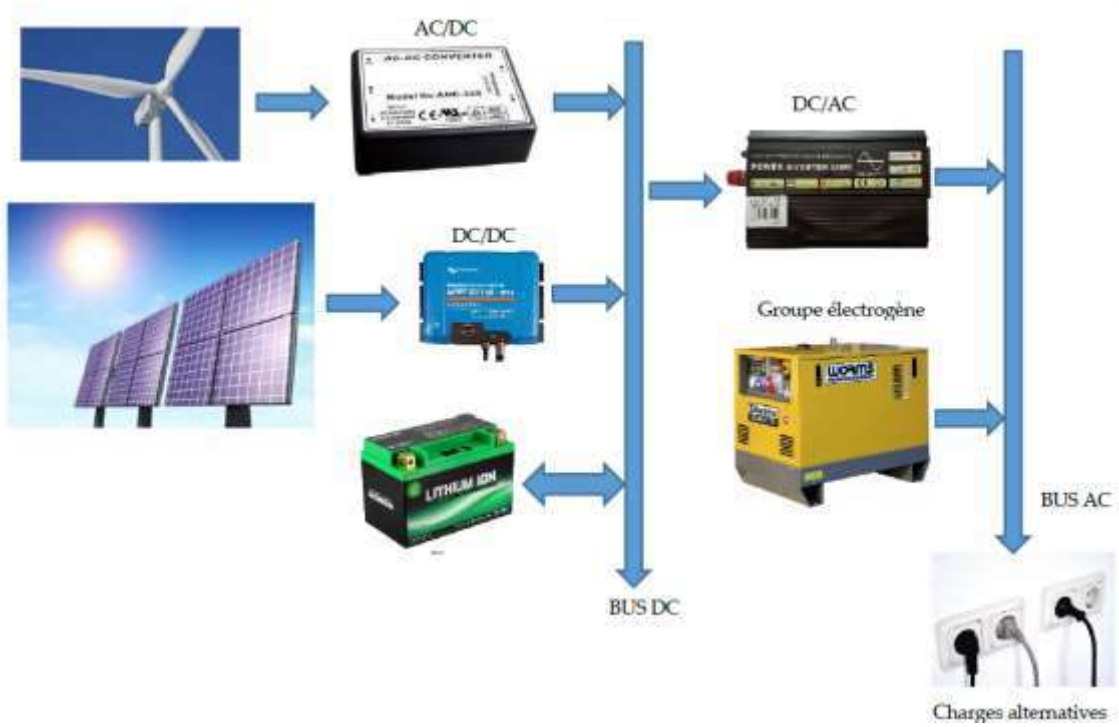


Figure I.11: Système PV autonome hybride

I.7. Avantages d'un système photovoltaïque :

Parmi les avantages du système photovoltaïque :

- Le rayonnement solaire est colossal et disponible à tous
- Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité et à moindre coût
- 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.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique par ce que est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne générer pas de déchets en plus le système silencieux.

I.8. Conclusion :

Ce chapitre s'est consacré à présenter les différents composants d'un système photovoltaïque. On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, Les paramètres de la cellule PV et la modélisation. Ensuite on a fait un rappel sur l'architecture des systèmes PV et leurs performances, on a terminé avec les avantages du photovoltaïque.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter une étude sur le système photovoltaïque connecte au réseau, pour une utilisation optimale de l'énergie.

Chapitre II :

Constitution du système résidentiel connecte au réseau

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons aborder la composition du système photovoltaïque connectée à un système résidentiel.

II.2. Structure du système :

Le système photovoltaïque résidentiel raccordé au réseau est constitué :

1. D'un panneau photovoltaïque.
2. D'une commande MPPT qui permet de faire fonctionner le générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Le signal de commande généré est la tension V_{dc} de référence.
3. D'un onduleur (Convertisseur DC/AC monophasé) sont utilisés pour bien adapter la source (V_{pv} , I_{pv}) à la charge et au réseau électrique c'est-à-dire convertir la tension continu issue du système photovoltaïque en courant alternatif.
4. D'un module de commande de l'onduleur, une charge résidentielle et à un réseau de distribution.
5. D'une commande PLL capable d'évaluer d'une manière correcte l'angle de phase de la tension d'un réseau idéal. Cet angle de phase permet de synchroniser la source d'énergie PV avec le réseau électrique.

La (figure II.1) montre la structure du système.

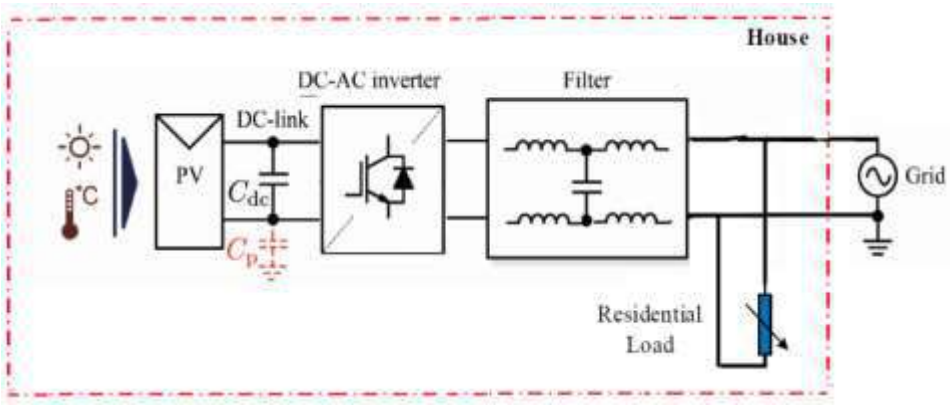


Figure II.1 : Schéma fonctionnel général d'une topologie PV monophasée

II.3. Commandes MPPT :

II.3.1. Définition :

La commande MPPT est un organe fonctionnel du système PV. Il permet de chercher le point de fonctionnement optimal du générateur PV dans des conditions météorologiques et de charge stables. [11]

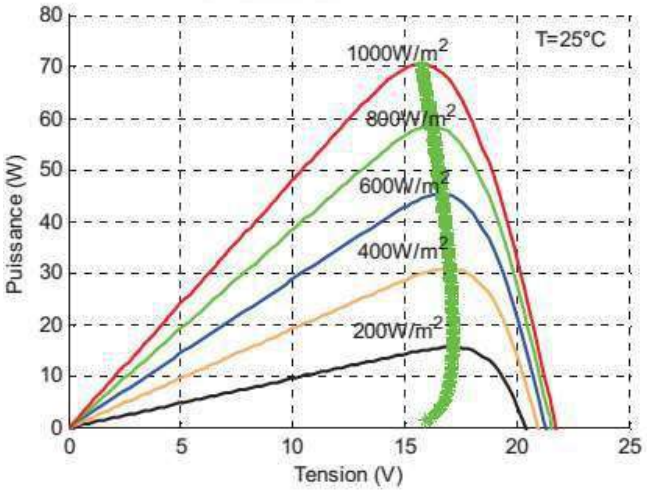


Figure II.2 : Courbe graphique pour MPP de PV

II.3.2. Méthode de perturbation et observation (P&O) :

Il existe différents algorithmes MPPT qui ont été utilisés pour les systèmes PV. Les plus utilisés sont :

- Perturbation et Observation (P&O, « Perturb and Observe »)
- Incrémente de Conductance (IncCond, « Incremental Conductance »)

Dans cette partie on s'intéresse à la méthode la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation, c'est la méthode Perturbation et Observation (P&O), nous allons rappeler brièvement le principe de cette méthode. [12]

La méthode de perturbation et observation (P&O) consiste à perturber l'un des paramètres d'entrées du convertisseur statique (généralement la tension V_{pv}) puis d'observer l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du système, Elle permet d'extraire la puissance maximale même si l'éclairement et la température varient.

Le principe de cette méthode est qu'à partir d'un rapport cyclique initialement petit, on mesure V_{pv} et I_{pv} et on calcule P(k). La valeur obtenue est comparée avec la valeur P (k-1) calculée au cycle précédent, et selon le résultat de comparaison, V_{pv} est ajustée soit dans le même sens que dans le cycle précédent soit dans une direction opposée. Ainsi, la puissance va augmenter, repasser par le maximum, puis diminuer et dès la détection d'une diminution de la puissance, le sens de la commande est à nouveau inverse,...etc. Cependant, l'oscillation du système autour du maximum permet de suivre le maximum de puissance. [13]

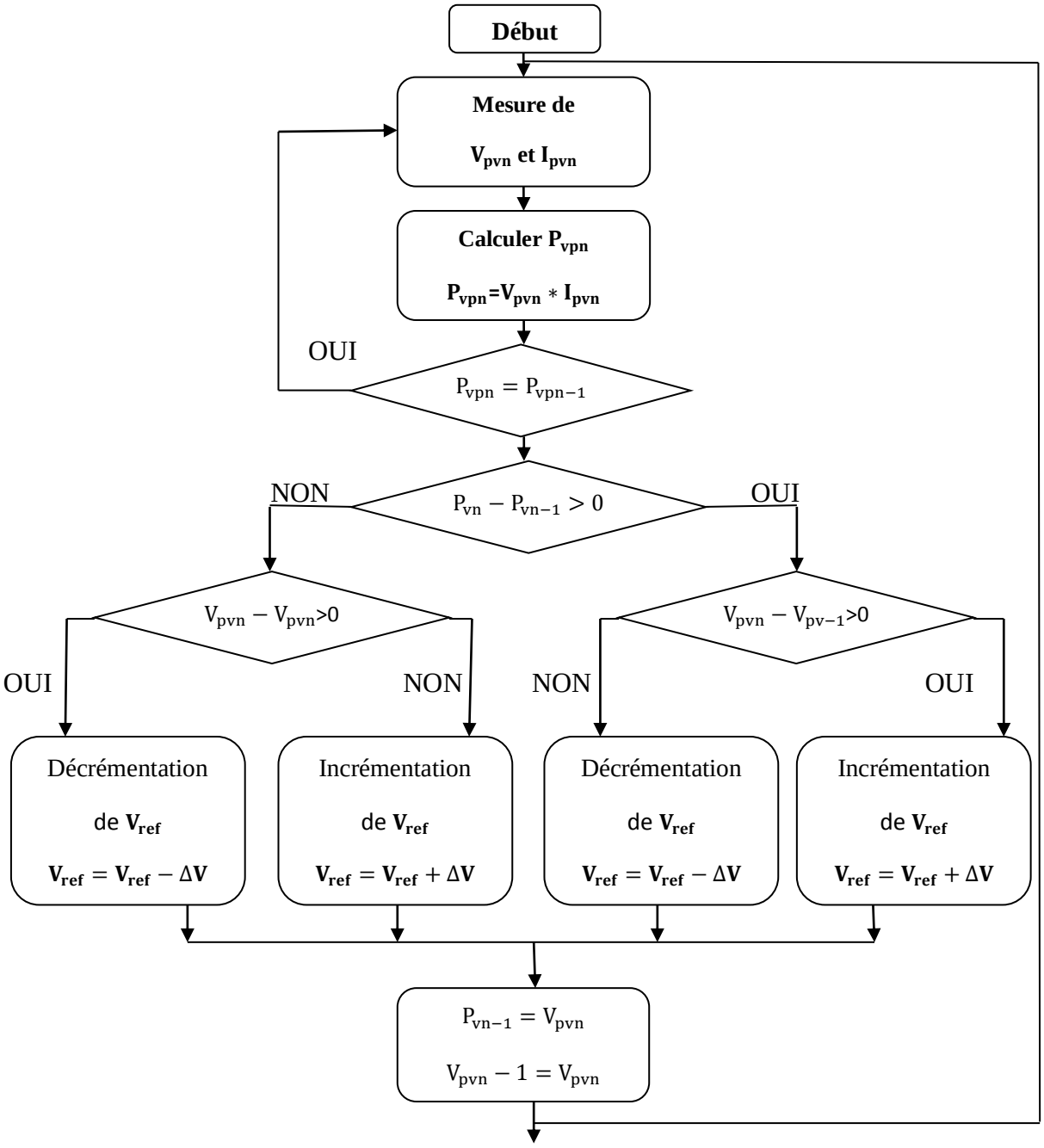


Figure II.3: Algorithme de la méthode P&O

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM .[13]

II.4. Convertisseur DC/AC monophasé source de tension :

Le convertisseur DC/AC ou aussi appelé convertisseur source de tension (VSC : Voltage Source Converter) ou encore onduleur, est une partie essentielle dans la chaîne de production des énergies renouvelables. C'est un appareil électronique permettant, par exemple, de générer un courant alternatif à partir d'un courant continu (cas d'une production solaire), en ayant comme but principal d'optimiser la production, de corriger les pertes et les perturbations pouvant intervenir dans le processus .[14]

Un VSC se comporte comme une source de tension autonome dont on contrôle parfaitement la phase et l'amplitude. Ainsi, un VSC peut échanger avec le réseau alternatif des puissances actives et réactives. On dispose sur un VSC d'au moins de deux degrés de libertés qui sont l'amplitude et la phase de la tension générée .[15]

II.4.1. Structure de l'onduleur monophasé :

C'est un onduleur qui délivre en sa sortie une tension alternative monophasée. On distingue deux classes d'onduleurs monophasés suivant leur topologie :

- Onduleur en demi- pont (deux interrupteurs)
- Onduleur en pont (quatre interrupteurs)

II.4.1.1. Onduleur en demi- pont :

a. Schéma de principe :

Il est donné par la figure suivante :

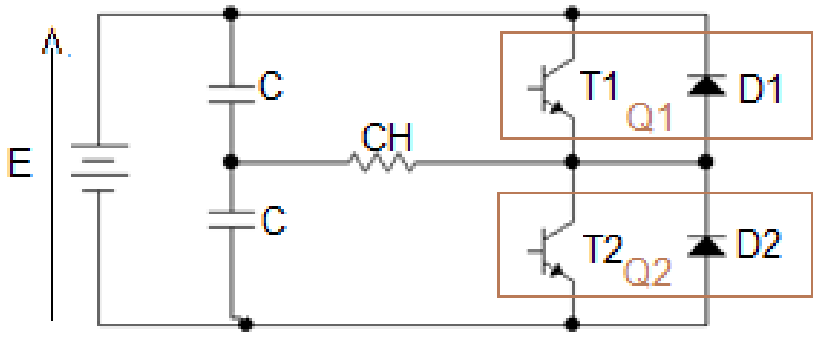


Figure II.4 : Schéma de principe d'un onduleur en demi-pont [16]

b. Principe de fonctionnement :

Le montage consiste de deux interrupteurs de puissance notés Q1 et Q2 à commande complémentaire.

- Pour 0< t< T/2 : L'interrupteur Q1 est fermé et Q2 est ouvert.

$$U_{ch} = R * i(t) = +\frac{E}{2} \quad \text{(II.1)}$$

- Pour 0< t< T/2 : L'interrupteur Q2 est fermé et Q1 est ouvert.

$$U_{ch} = R * i(t) = -\frac{E}{2} \quad \text{(II.2)}$$

Q1	Q2	Q1	Interrupteur fermé
Q2	Q1	Q2	Interrupteur ouvert

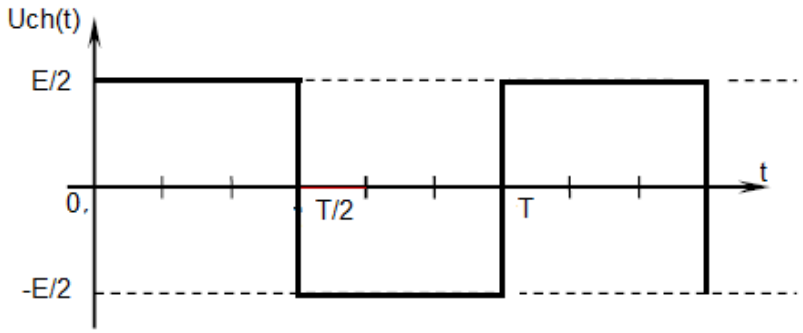


Figure II.5 : L'allure de la tension au borne de la charge [17]

Les interrupteurs Q1 et Q2 sont formés par la mise en parallèle d'un semi-conducteur Ti commandé à l'ouverture et à la fermeture et d'une diode Di. Cette dernière assure la

conduction d'un courant négatif en cas de déphasage de ce dernier par rapport à la tension aux bornes de la charge. [17]

II.4.1.2. Onduleur en pont :

- Schéma de principe :

Il est donné par la figure suivante :

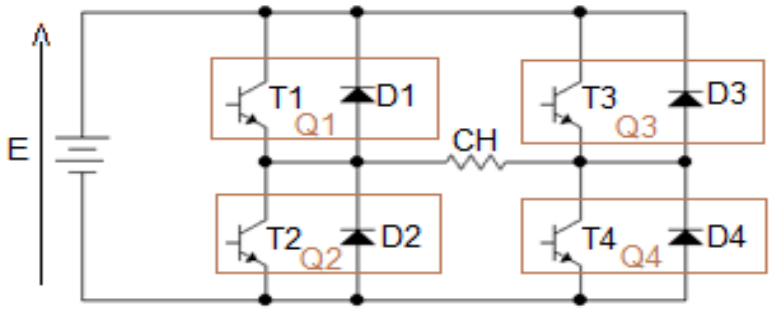


Figure II.6 : Schéma de principe d'un onduleur en pont [16]

c. Principe de fonctionnement :

Un onduleur en pont complet contient deux bras, chaque bras est composé de deux étages d'interrupteur de puissance ; chaque étage comporte deux composants à base des S-C (Transistor /Thyristor) avec diode placées en parallèles afin d'assurer la réversibilité des courants dans la charge.

Les états des interrupteurs permettent de déterminer la valeur aux bornes de la charge :

- Pour 0< t< T/2 : Les interrupteurs Q1, Q4 sont fermés et Q2, Q3 sont ouverts.

$$U_{ch} = R * i(t) =+ E \quad \text{(II.3)}$$

- Pour T /2< t< T : Les interrupteurs Q2, Q3 sont fermés et Q1, Q4 sont ouverts.

$$U_{ch} = R * i(t) =- E \quad \text{(II.4)}$$

La (figure II.7) montre les intervalles de conductions des interrupteurs dans un onduleur en pont.

Q1et Q4	Q2 et Q3	Q1 et Q4	Interrupteur fermé
Q2 et Q3	Q1et Q4	Q1et Q4	Interrupteur ouvert

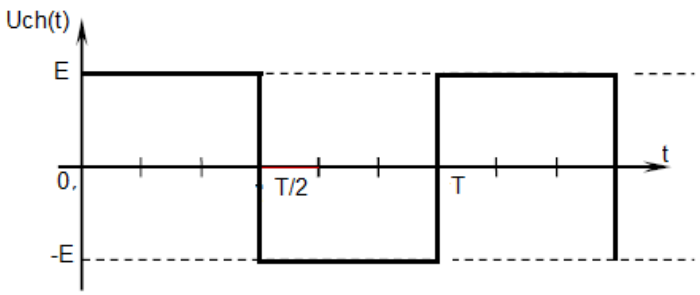


Figure II.7 : L'allure de la tension au borne de la charge [17]

- Charge résistive :

Ci-dessous les deux figures représentent la tension et le courant au borne d'une charge résistive.

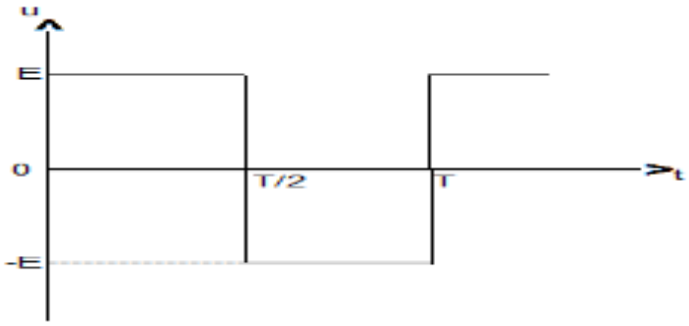


Figure II.8 : La tension aux bornes de la charge [17]

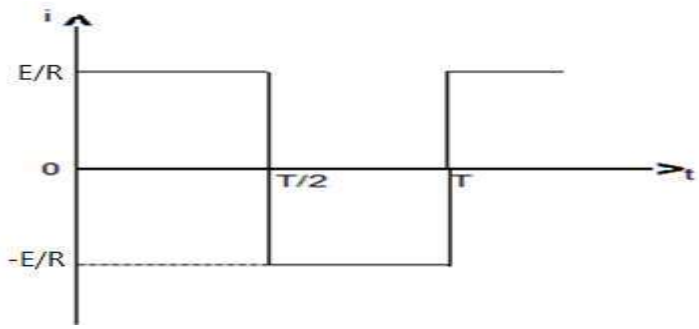


Figure II.9 : Courant d'une charge résistive [17]

- Pour 0< t< T/2 : Les interrupteurs Q1, Q4 sont fermés et Q2, Q3 sont ouverts.

$$i(t) = \frac{U_c}{R} = \frac{+E}{R} \qquad \text{(II.5)}$$

- Pour T /2< t< T : Les interrupteurs Q2, Q3 sont fermés et Q1, Q4 sont ouverts.

$$i(t) = \frac{U_c}{R} = \frac{-E}{R} \quad \text{(II.6)}$$

L'allure du courant suit l'allure de tension car les deux paramètres sont liés par la loi d'Ohm. Il faut noter que le courant dans les interrupteurs est toujours positif.

- Charge inductive :

La charge inductive simule un moteur alternatif et contrairement à la charge résistive l'allure de courant change.

- Pour 0 < t< t1 : T1et T4 sont commandés à la fermeture tandis que T2 et T3 sont ouverts donc :

$$U_c = L\frac{di}{dt} + Ri = +E \quad \text{(II.7)}$$

D'après (II-7) on trouve que le courant dans cet intervalle est négatif .Ce sont les diodes D1 et D4 qui conduisent.

$$i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) - I_M e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{(II.8)}$$

Dans cet intervalle la charge fournit l'énergie vers la source «**phase de restitution alternance**».

- Pour t1 < t < $\frac{T}{2}$: A l'instant t1 le courant devient positif ce qui impose la conduction des transistors T1et T4 or les diodes D1 et D4 se bloquent. Les équations de U_c (t) et i (t) restent les mêmes que (II-7) et (II-8) car on est toujours dans la même maille.

On est **«phase d'accumulation alternance»** ou la charge reçoit l'énergie.

- Pour $\frac{T}{2}$<t< $\frac{T}{2}+t1$: T2 et T3 sont commandés à la fermeture donc :

$$U_c = L\frac{di}{dt} + Ri = -E \quad \text{(II.9)}$$

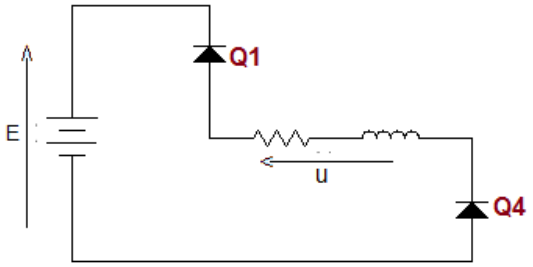
D'après (II-9) on trouve cette expression de courant :

$$i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{\left(-\frac{t-\frac{T}{2}}{\tau}\right)}\right) - I_M e^{\left(-\frac{t-\frac{T}{2}}{\tau}\right)} \quad \text{(II. 10)}$$

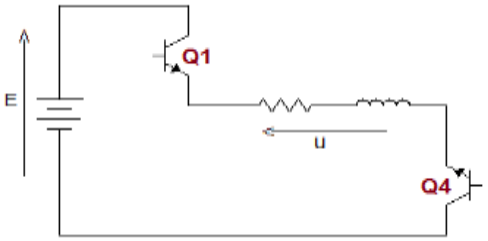
Le courant est positif, ce qui veut dire que les diodes D2 et D3 conduisent le courant. Dans cet intervalle de temps la charge fournit l'énergie vers la source.

Pour $\frac{T}{2}+t1$< t < T : A l'instant $\frac{T}{2}$ +t1 le courant devient négatif ce qui impose la conduction des transistors T2 et T3 avec les diodes D2 et D3 qui sont bloquées. Dans ce cas la charge reçoit l'énergie.

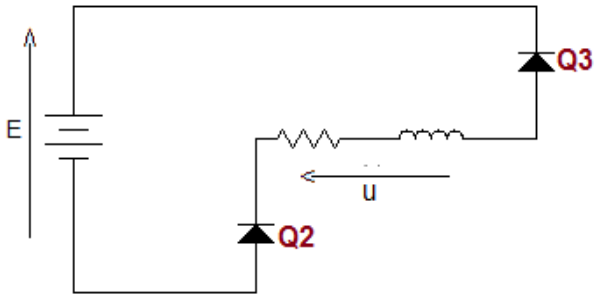
Les équations de U_c(t) et i (t) restent les mêmes que (II-9) et (II-10), car c'est la même maille. Il y'a enchaînement de quatre mailles de conduction :



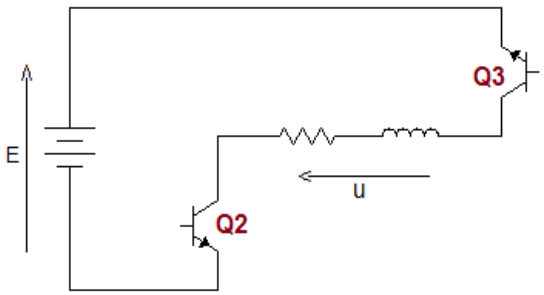
Cas n°1: Restitution alternance positive



Cas n°1: Restitution alternance positive



Cas n°3: Restitution alternance négative



Cas n°4 : Accumulation alternance positive

Figure II.10 : Les cas possibles de commutation de l'onduleur [18]

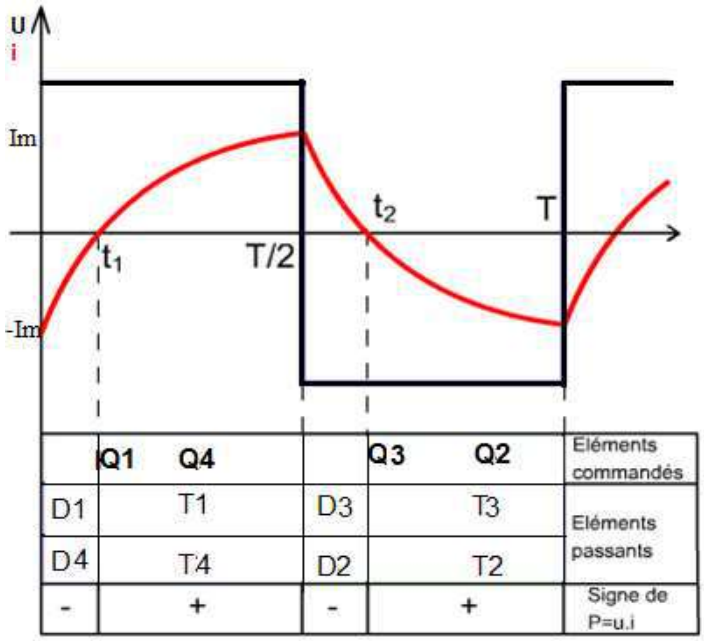


Figure II.11 : L'allure de la tension et le courant aux bornes de la charge [18]

II.5. Modulation de largeur d'impulsion MLI :

La modulation de largeur d'impulsion (MLI ou PWM : Pulse With Modulation en anglais), consiste à adopter une fréquence de commutation supérieure à la fréquence des grandeurs de sortie et former chaque alternance de la tension de sortie d'une succession de créneaux de largeur convenable. Son objectif est d'obtenir une tension de sortie qui est proche de la sinusoïdale par le contrôle de l'évolution du rapport cyclique, et d'imposer à l'entrée de l'onduleur un courant de type continu avec des composantes alternatives d'amplitudes réduites et de fréquences élevées. [19]

Les lois de modulations de largeurs d'impulsions (MLI) sont nombreuses [20].Pour notre étude, la stratégie triangulo-sinusoidale est appliquée. Cette stratégie consiste à comparer un signal triangulaire (porteuse) avec un signal sinusoïdal (référence) qui correspond au signal recherché. Les instants de commutations sont déterminés par les points d'intersections entre la porteuse et la modulante. La fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse.

Dans cette technique, un signal de référence sinusoïdal (c'est-à-dire le signal modulant) est comparé à un signal d'onde porteuse triangulaire pour générer des signaux d'impulsion de porte aux points d'intersection entre le signal de modulation et le signal de

porteuse. La (figure II.12) montre le principe de la génération de signaux de porte de commutation avec SMLI.

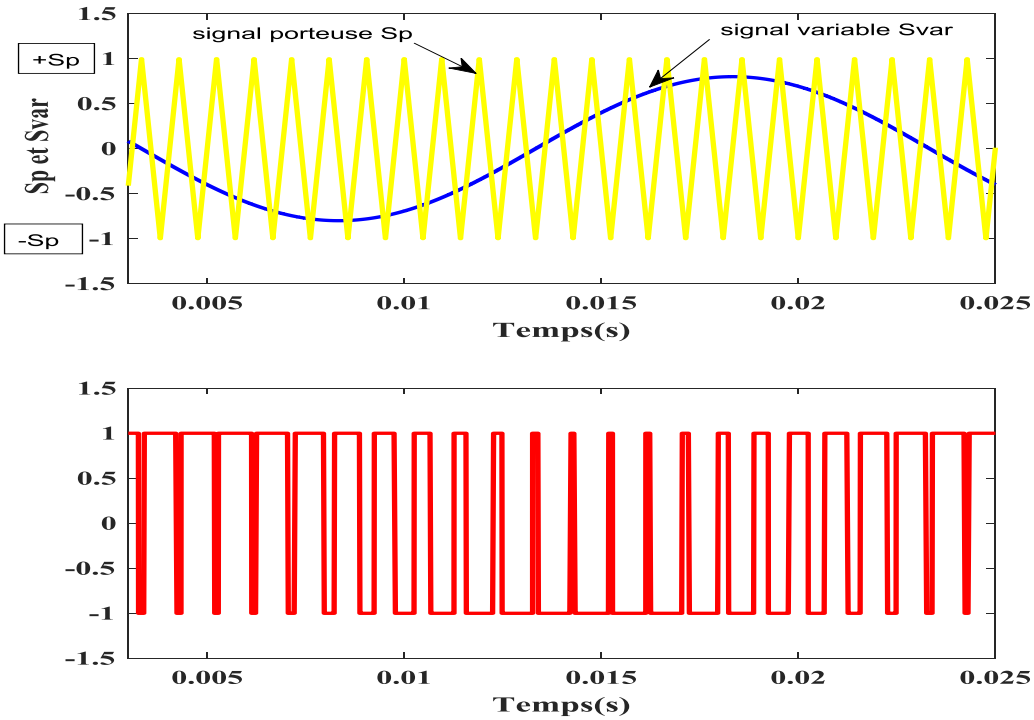


Figure II.12 : La simulation de commande MLI

La relation entre la fréquence de porteuse à celle de la référence est donnée par *m* l'indice de modulation.

$$m = V_P/V_T \qquad \textbf{(II.11)}$$

où V_P est le pic de l'onde modulatrice et V_T est le pic de l'onde porteuse.

II.6. Synchronisation par PLL :

Les boucles à verrouillage de phase appelées PLL (PLL = Phased Locked Loop) sont utilisées afin de connecter des sources à énergies renouvelables au réseau électrique, il faut synchroniser la tension du générateur PV avec celle du réseau en matière de phase et de fréquence tout en contrôlant celles relatives au réseau. [12]

Les techniques de PLL recherchent une poursuite robuste de la phase du réseau malgré l'existence des perturbations. Les principales perturbations sont : saut de phase, creux et bosses de tension (Creux de *tension* c'est une sous-*tension*, *Bosse c'est une* sur-*tension*.), harmonique, saut de fréquence.

Les PLL monophasées sont soumises aux mêmes problèmes qu'en triphasé avec une difficulté supplémentaire qui tient du champ d'information plus réduit (une seule phase). Pour créer 2 signaux orthogonaux, la PLL triphasée peut utiliser la transformation de Park, mais pour la PLL monophasée, il faut rajouter un bloc ≪ Quadrature ≫ de démodulation, voir (figure II.13)**.**

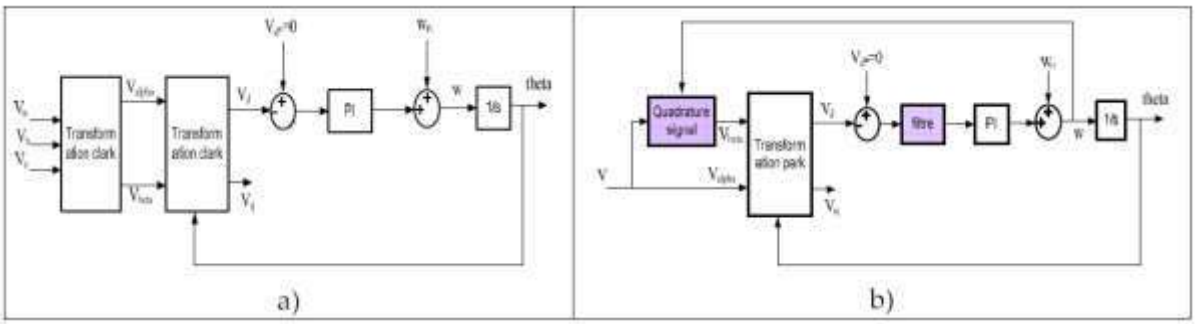


Figure II.13: *Structure de principe d'une PLL triphasée (a) et monophasée (b)*

II.7. Le filtre LCL :

Pour tous les onduleurs, un filtre de sortie passe-bas est nécessaire pour obtenir la sortie de fréquence fondamentale. Généralement, il existe quatre types différents de filtres utilisés pour les onduleurs : les filtres L, LC, LCL et LLCL.

Le filtre LCL (figure II.14) est largement utilisé depuis ces dernières années avec les onduleurs connectés au réseau en raison de son atténuation élevée au-delà de la fréquence de résonance.

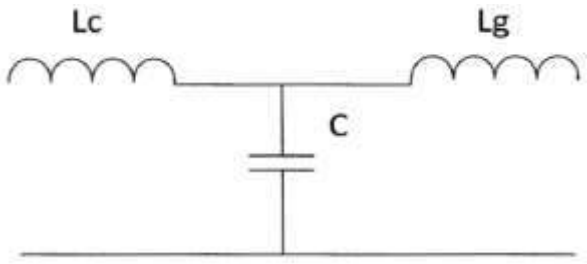


Figure II.14: Schéma du filtre LCL

II.8. La charge résidentielle :

Plusieurs types de charges résidentielles existent. On trouve généralement des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc.

Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive.

II.9. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents composants qui entrent dans la constitution d'un système photovoltaïque connecté au réseau. Ainsi que le principe de fonctionnement de chaque élément tels que : Convertisseur DC/AC, la technique MLI, PLL, MPPT, Le filtre LCL, et la charge résidentielle.

Dans notre étude, ce qui nous intéresse c'est la commande des courants directe et en quadrature de l'onduleur monophasé avec la technique de commande a mode glissant.

Chapitre III :

Commande par mode glissant des convertisseurs DC/AC

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons étudie la commande par mode glissant (Sliding Mode) des convertisseurs DC/AC .Cette commande est utilisée pour le contrôle du système linéaire et non linéaire . Nous présentons d'abord les principes fondamentaux de ce type de commande puis nous l'appliquerons au contrôle de la puissance issue du système photovoltaïque connecté aux réseaux électrique.

III.2. Systèmes non linéaires :

Un système non linéaire est un système qui n'est pas linéaire, c'est-à-dire quine peut pas être décrit par des équations différentielles linéaires à coefficients constants. Cette définition explique la complexité et la diversité des systèmes non linéaires et des méthodes qui s'y appliquent. Il n'y a pas une théorie générale pour ces systèmes, mais plusieurs méthodes adaptées à certaines classes de systèmes non linéaires.[21]

A la différence des systèmes linéaires qui possèdent un point d'équilibre unique, les systèmes non linéaires peuvent posséder plusieurs points d'équilibre. [21]

III.3. Commande par mode glissant :

La commande par mode glissant (CMG) en anglais « The sliding mode control (SMC) »est une commande robuste qui se base sur le concept de changement de structure du contrôleur avec l'état du système afin d'obtenir la réponse désirée.[22]

Les premiers travaux concernant la commande par mode glissant a été proposée et élaborée au début des années 50 par Emelyanov, puis par d'autres chercheurs comme Utkin à partir des résultats des études du mathématicien Filipov.[23]

Cette technique fut d'abord développée pour un système linéaire du 2ème ordre, et depuis le spectre de son utilisation fut élargi à une plus grande classe de système comprenant les systèmes linéaires, non linéaires, discrets et multi variables.[23]

III.4. Principe de la commande par mode de glissement :

L'état du système définit l'état de commutation de l'organe de contrôle. L'idée est de diviser l'espace d'état par une frontière de décision appelée surface de glissement, qui délimite deux sous espaces correspondant à deux états possibles de l'organe de commande (figure III.1). La stabilisation sur la surface d'une commutation est obtenue à chaque franchissement de la frontière de décision.[22]

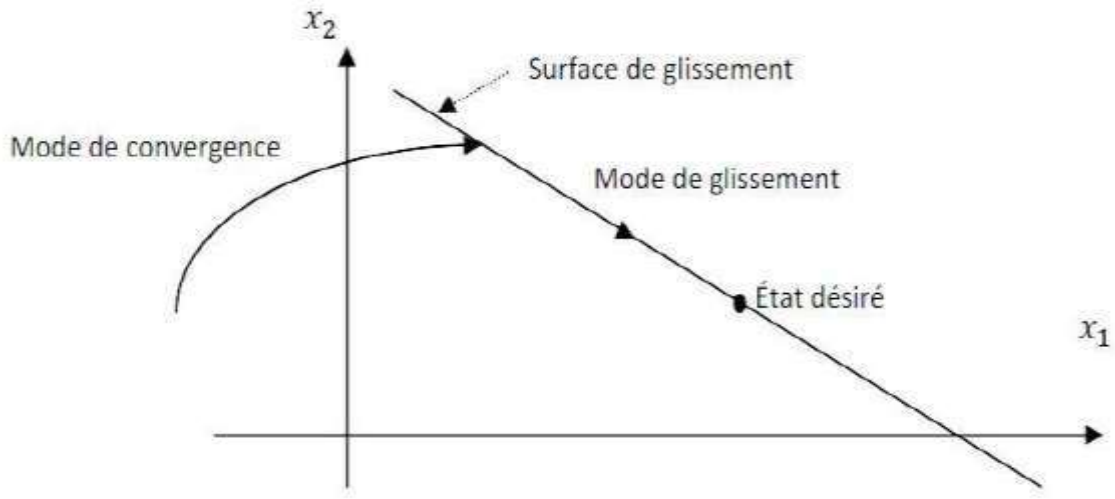


Figure III.12: Différents modes de convergence pour la trajectoire d'état

III.5. Système à structure variable :

Un système à structure variable est un système dont la structure change pendant son Fonctionnement. Il est caractérisé par le choix d'une fonction et d'une logique de commutation. Ce choix permet au système de commuter d'une structure à une autre à tout Instant[24]**.** De plus, un tel système peut avoir de nouvelles propriétés qui n'existent pas dans chaque structure.

Dans la commande des systèmes à structure variable par mode de glissement, la trajectoire d'état est conduite vers une surface. Puis à l'aide de la loi de commutation, elle est forcée à rester au voisinage de cette surface. Cette dernière est appelée surface de glissement et le mouvement le long de laquelle se produit est appelé mouvement de glissement. [24]
La trajectoire dans le plan de phase est constituée de trois parties distinctes : [25]

- Le mode de convergence (MC) : C'est le mode durant lequel la variable à régler se déplace à partir de n'importe quel point initial dans le plan de phase, et tend vers la surface de commutation s(x, y) = 0. Ce mode est caractérisé par la loi de commande et le critère de convergence.

- Le mode de glissement (MG) : C'est le mode durant lequel la variable d'état a atteint la surface de glissement et tend vers l'origine du plan de phase. La dynamique de ce mode est caractérisée par le choix de la surface de glissement s(x, y) = 0.
- Le mode du régime permanent (MRP) : Ce mode est ajouté pour l'étude de la réponse du système autour de son point d'équilibre (origine du plan de phase). Il est caractérisé par la qualité et les performances de la commande.

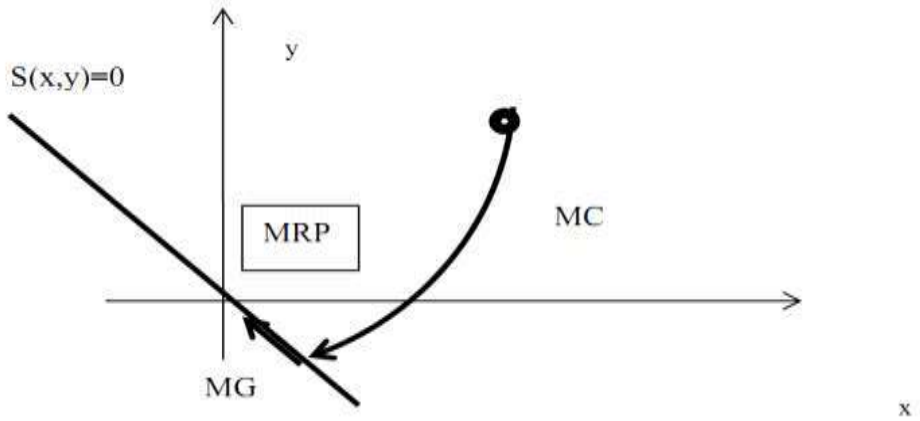


Figure III.13: Différents modes pour la trajectoire dans le plan de phase

III.6. Conception de la commande par mode glissant :

Les avantages de la commande par mode glissant sont importantes et multiples : la haute précision, la simplicité, l'invariance, la robustesse, etc. Ceci lui permet d'être particulièrement adapté pour les systèmes ayant un modèle imprécis.[25]

Dans ce cas, la structure d'un contrôleur comporte deux parties : une partie continue représentant la dynamique du système durant le mode glissant et une autre discontinue représentant la dynamique du système durant le mode de convergence.

Cette dernière est importante dans la commande non linéaire car elle a pour rôle d'éliminer les effets d'imprécision et des perturbations sur le modèle.[24]

La conception de la commande peut être effectuée en trois étapes principales et très dépendantes l'une de l'autre :

- Choix des surfaces de glissement.
- Définition des conditions d'existence et de convergence du régime glissant.
- Détermination de la loi de commande.

III.6.1. Choix de la surface de glissement:

Le système à régler peut être défini par l'équation :

$$\dot{x} = A(x,t)x + B(x,t)u \quad \text{(III.1)}$$

La surface de glissement est une fonction scalaire telle que la variable à régler glisse sur cette surface et tend vers l'origine du plan de phase. La forme non linéaire est une fonction de l'erreur sur la variable à régler x. Elle est donnée par [26]:

$$S(x) = \left(\frac{\partial y}{\partial x} + \lambda\right)^{r-1} e(x) \quad \text{(III.2)}$$

Avec :

e(x) : est l'écart entre la variable à régler et sa référence

λ: est une constante positive.

r: est un degré relatif. Il présente le nombre de fois qu'il faut dériver la surface pour faire apparaître la commande. [27], [28]

L'objectif de la commande est de maintenir la surface à zéro. Cette dernière est une équation différentielle linéaire dont l'unique solution est e(x) = 0 pour un choix convenable du paramètre. Ceci revient à un problème de poursuite de trajectoire qui est équivalent à une linéarisation exacte de l'écart tout en respectant la condition de convergence.

III.6.2. Conditions de convergence et d'existence :

Les conditions d'existence et de convergence sont les critères qui permettent aux différentes dynamiques du système de converger vers la surface de glissement et d'y rester indépendamment de la perturbation. Il existe deux considérations pour assurer le mode de convergence :

III.6.2.1. Approche directe :

Cette approche est la plus ancienne, elle est proposée et étudiée par Emilyanov et Utkin. Elle est donnée sous la forme :

$$\dot{S}(x)S(x) < 0 \quad \text{(III.3)}$$

III.6.2.2. Approche de Lyapunov :

La fonction de LYAPUNOV est une fonction scalaire positive ($V(x) > 0$) pour les variables d'état du système. La loi de commande doit faire décroitre cette fonction ($\dot{V}(x) < 0$).

L'idée est de choisir une fonction scalaire S(x) pour garantir l'attraction de la variable à contrôler vers sa valeur de référence et de concevoir une commande *u* telle que le carré de la surface correspond à une fonction de LYAPUNOV.

Nous définissons la fonction de LYAPUNOV comme suit :

$$S(x) = \frac{1}{2}S^2(x) \tag{III.4}$$

La dérivée de cette fonction est :

$$\dot{V}(x) = S(x).\dot{S}(x) \tag{III.5}$$

Pour que la fonction V(x) puisse décroître, il suffit d'assurer que sa dérivée soit négative. Ceci n'est vérifiée que si la condition (III.3)est vérifiée.

L'équation (III.4)explique que le carré de la distance entre un point donné du plan de phase et la surface de glissement exprimée par $S^2(x)$ diminue tout le temps, contraignant la trajectoire du système à se diriger vers la surface à partir des deux côtés de cette dernière. Cette condition suppose un régime glissant idéal ou la fréquence de commutation infinie [29].

III.6.3. Détermination de la loi de commande :

Lorsque le régime glissant est atteint, la dynamique du système est indépendante de la loi de commande qui n'a pour but que de maintenir les conditions de glissement (l'attractivité de la surface). C'est pour cette raison que la surface est déterminée indépendamment de la commande. Maintenant, il reste à déterminer la commande nécessaire pour attirer la trajectoire d'état vers la surface et ensuite vers son point d'équilibre en maintenant les conditions d'existence du mode de glissement.

L'obtention d'un régime de glissement suppose une commande discontinue. La surface de glissement devrait être attractive des deux côtés. De ce fait, si cette commande discontinue est indispensable, il n'empêche nullement qu'une partie continue lui soit ajoutée. La partie continue en effet sert à réduire autant que nous voulons l'amplitude de la partie discontinue. En présence d'une perturbation, la partie discontinue a essentiellement pour but de vérifier les conditions d'attractivité. Dans ce cas, la structure d'un contrôleur par mode de glissement est constituée de deux parties : une concernant la linéarisation exacte (u_{eq})et l'autre stabilisante (u_n) .

$$u = u_{eq} + u_n \tag{III.6}$$

u_{eq}: Correspond donc à la commande proposée par FILIPOV.

Elle sert à maintenir la variable à contrôler sur la surface de glissement $S(x) = 0$. La commande équivalente est déduite en considérant que la surface et nulle $\dot{S}(x) = 0$.

Elle peut être interprétée comme étant un retour d'état particulier jouant le rôle d'un signal de commande appliqué sur le système à commander. Elle peut être aussi interprétée autrement comme étant une valeur moyenne que prend la commande lors de la commutation rapide entre les valeurs u_{max} et u_{min} .[28]

$u_n$est déterminée pour vérifier la condition de convergence.

Pour mettre en évidence le développement précèdent, nous considérons un système défini dans l'espace d'état par l'équation (III.1) Il s'agit de trouver l'expression analogique de la commande.

$$\dot{S}(x) = \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial S}{\partial x}.\frac{\partial x}{\partial t} \tag{III.7}$$

En remplaçant (III.1) et (III.6)dans (III.7) , nous trouvons :

$$\dot{S}(x) = \frac{\partial S}{\partial x}\left(A(x,t) + B(x,t)u_{eq}\right) + \frac{\partial S}{\partial x}B(x,t)u_n \tag{III.8}$$

Durant le mode de glissement et le régime permanent, la surface est nulle, et par conséquent, sa dérivée et la partie discontinue sont aussi nulles, d'où nous déduisons l'expression de la commande équivalente :

$$u_{eq} = -\left(\frac{\partial S}{\partial x}B(x,t)\right)^{-1}.\frac{\partial S}{\partial x}\,A(x,t) \tag{III.9}$$

Pour que la commande équivalente puisse prendre une valeur finie, il faut que $\frac{\partial S}{\partial x}B(x,t) \neq 0$ durant le mode de convergence, et en remplaçant la commande équivalente par son expression dans (III.8), nous trouvons la nouvelle expression de la dérivée de la surface :

$$\dot{S}(x,t) = \frac{\partial S}{\partial x}B(x,t)u_n \tag{III.10}$$

La forme la plus simple que peut prendre la commande discrète est celle d'un relais de la figure (III.2).

$$u_n = -Ksign\left(S(x,t)\right) \tag{III.11}$$

Le signe de *K* doit être différent de celui de$\frac{\partial S}{\partial x}B(x,t)$

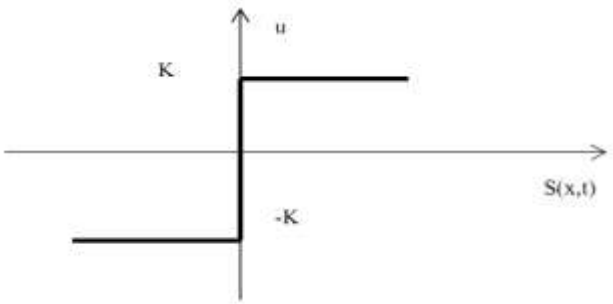


Figure III.14: Représentation de la commande discontinue

III.7. Phénomène de réticence :

Les réticences (chattering en anglais) est l'inconvénient majeur de la technique de commande par mode glissant. Ce phénomène n'est autre que des oscillations à haute fréquence, il est très néfaste pour le système, en particulier pour les éléments d'électronique de puissance.

Puisque, le problème des réticences est dû au terme discontinu (u_n) de la commande, précisément la fonction discontinue «$sign(x)$». Afin de remédier à ce problème, on remplace cette fonction par une autre «$sat(x)$», continue est qui l'approxime et elle est définit comme suit :

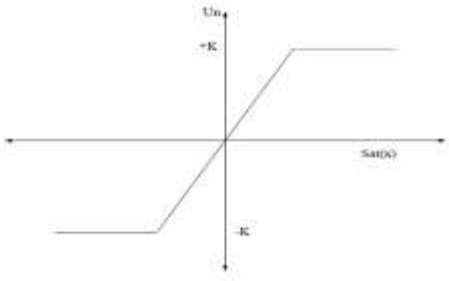


Figure III.15: Représentation de la fonction «sat(x)»

La fonction «$sat(x)$» est définit par l'expression suivante :

$$\boldsymbol{sat(x)}\begin{cases} \boldsymbol{-a} & \boldsymbol{x < -a} \\ \boldsymbol{1} & \boldsymbol{-a \leq x \leq a} \\ \boldsymbol{a} & \boldsymbol{x > a} \end{cases} \text{, Avec } a > 0 \qquad \text{(III.12)}$$

III.8. Domaine d'application du réglage par mode glissant :

Le réglage par mode glissant a connu des développements importants dans tous les domaines de la commande. Dans le domaine des commandes hydrauliques ou pneumatiques, il existe des valves fonctionnant par tout ou rien qui ne possèdent que deux états stables : ou complètement ouvertes ou fermées. Ces valves admettent des fréquences de commutation de 10 Hz .Les entrainements électriques pour les machines électriques, ou robots, qui nécessitent, soit un réglage de la vitesse de rotation, soit un réglage de position.

Il faut mentionner que dans certains domaines tels que : les processus chimiques, où il y a des réglages qui font appel à des régulateurs à deux positions, le procédé par mode glissant peut apporter plusieurs avantages qui sont :

- Robustesse et rejet de la perturbation.
- Le choix de la surface de commutation est assez libre.
- La commande est atténuée par la présence de la commande équivalente.
- On peut étendre la technique à des surfaces autres que des droites, de dimension quelconque.[28]

III.9. Application de la théorie de réglage par mode de glissement pour la commande d'un onduleur monophasé :

Les onduleurs monophasés raccordés au réseau sont habituellement nécessaires pour contrôler l'amplitude de la tension du bus CC et injecter un courant sinusoïdal dans le réseau. Le système de commande est habituellement des contrôleurs en cascade employés dans les boucles externes de tension et de courant interne, comme le montre la (figure III.5) . Typiquement, l'onduleur fonctionne avec le facteur de puissance unité, mais un fonctionnement avec un facteur de puissance variable pour la régulation de la tension du bus AC et la compensation du facteur de puissance de charge est également possible.

l'équation de tension dans le domaine temporel est présentée comme suit :

$$u = L\frac{di}{dt} + Ri + V \qquad \text{(III.13)}$$

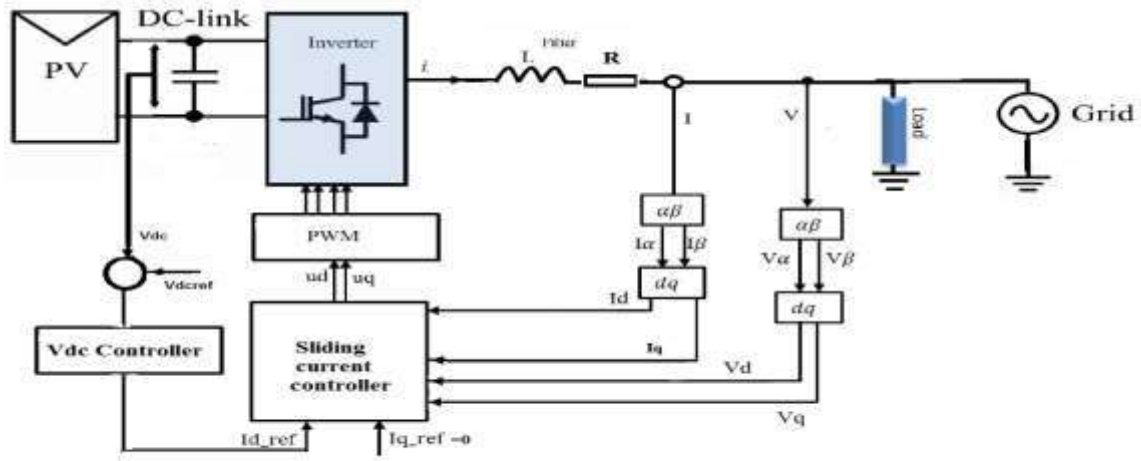


Figure III.16: Schéma de commande de l'onduleur côté réseau

Grâce à la transformation de Park, les composants d-q de tension et de courant monophasés peuvent être obtenus. L'équation (III.13) est convertie sous le système de coordonnées dq0 comme suit pour la conception du contrôleur.

$$u_d = L\frac{di_d}{dx} - \omega L i_d + R i_d + V_d \tag{III.14}$$

$$u_q = L\frac{di_q}{dx} + \omega L i_q + R i_q + V_d$$

Considérer les surfaces glissements S_d et S_q suivantes :

$$S_d = I_d - I_{d\,ref} \quad ; S_q = I_q - I_{q\,ref} \tag{III.15}$$

Pour l'axe d, afin d'obtenir la commande équivalente il faut que $\dot{S}_d = 0$ soit :

$$\dot{S}_d = \dot{I}_d - \dot{I}_{d\,ref} = 0$$

Donc

$$\dot{S}_d = \frac{u_d}{L} - \frac{V_d}{L} + \omega L i_q - \frac{R}{L} i_d - \frac{1}{L}\dot{I}_{d\,ref} = 0$$

D'ou

$$u_{deq} = V_d - \omega L i_{q+} R i_d + \dot{I}_{d\,ref}$$

La commande par mode glissant adoptée pour l'axe d est telle que :

$$ud = V_d - \omega L i_q + R i_d + \dot{I}_{d\,ref} - Kd\ sgn\left(S(x,t)\right)$$

De même, pour l'axe q :

$$u_q = V_q + \omega L i_{d+} R i_q + \dot{I}_{q\,ref}\ - Kq\ sgn\left(S(x,t)\right)$$

III.10. Application de la théorie de réglage par mode de glissement avec loi de convergence exponentielle pour la commande d'un onduleur monophasé :

Dans cette partie, Pour l'axe d, afin d'obtenir la commande il faut que $\dot{S}_d$ soit [30] :

$$\dot{S}_d = \frac{K_d}{\delta_{0_d} + \left(1-\delta_{0_d}\right) e^{-\alpha_d |S_d|^{Pd}}}\, sig\left(\frac{S_d}{\phi_d}\right) \qquad \text{(III.16)}$$

Où k est le gain discontinu,$t_{r_d} = \delta_{0_d} \frac{|S_d(0)|}{K_d} + \frac{\left(1-\delta_{0_d}\right)}{K_d \alpha_d^{\ 1/Pd}}$ est le temps d'atteintesouhaité,$\alpha_d \geq 0$, $0 < \delta_{0_d} < 1\ \ et\ Pd > 0$.

Comme $S_d = I_d - I_{d\,ref}$, alors $\dot{S}_d = \dot{I}_d - \dot{I}_{d\,ref}$:

$$\dot{S}_d = \frac{u_d}{L} - \frac{V_d}{L} + \omega i_q - \frac{R}{L} i_d - \frac{1}{L} \dot{I}_{d\,ref}\ = -\frac{K_d}{\delta_{0_d} + \left(1-\delta_{0_d}\right) e^{-\alpha_d |S_d|^{Pd}}}\, sig\left(\frac{S_d}{\phi_d}\right) \qquad \text{(III.17)}$$

Par conséquent, l'entrée de contrôle peut être obtenue comme :

$$u_d = V_d - \omega L i_q + R i_d + \dot{I}_{d\,ref}\ - \frac{K_d}{\delta_{0_d} + \left(1-\delta_{0_d}\right) e^{-\alpha_d |S_d|^{Pd}}}\, sig\left(\frac{S_d}{\phi_d}\right) \qquad \text{(III.18)}$$

De même, pour l'axe q :

$$u_q = V_q + \omega L i_d + R i_q + \dot{I}_{q\,ref}\ - \frac{K_d}{\delta_{0_d} + \left(1-\delta_{0_d}\right) e^{-\alpha_d |S_d|^{Pd}}}\, sig\left(\frac{S_d}{\phi_d}\right) \qquad \text{(III.19)}$$

L'utilisation de la fonction *sig* au lieu de la fonction de *sign* est justifiée pour éviter le phénomène de réticence.

III.11. Conclusion :

Dans ce chapitre , nous avons présenté le mode de glissant et mode glissant mode glissant d'ordre 2 appliquée à l'onduleur monophasé . Après la présentation de la théorie de base de ces commandes , nous avons aussi défini la méthodologie de conception nécessaire pour chaque commande.

Chapitre IV :

Résultats de simulation et discussions

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de simulations de différentes techniques de commande proposées sous une température de 25° et différente irradiations. Les résultats et les courbes obtenus ont été effectués sous le logiciel MATLAB/Simulink.

IV.2. Description de système :

Le système est composé d'un générateur PV connecté à un réseau de 14.4kV par l'intermédiaire d'un convertisseur de tension monophasé continu-alternative (onduleur). La commande de cet onduleur est mise en œuvre en utilisant dans un premier temps le réglage par mode de glissement classique et en deuxième lieu par mode de glissement avec loi de convergence exponentielle.

Le modèle contient :

- Panneaux photovoltaïques utilisés est une chaîne de 14 modules Trina Solar TSM-250 connectés en série. la puissance fournit dans les conditions standard de température et irradiation est de 3.5 kW.
- L'onduleur est modélisé à l'aide d'un module IGBT monophasé à pont complet contrôlé par MLI (pont en H).
- La topologie du filtre côté réseau est la configuration LCL classique avec les inducteurs répartis également entre les branches ligne et neutre.
- La charge résidentielle (10 kW / 4 kvar avec 240 Vrms).
- Le réseau électrique est modélisé à l'aide d'un transformateur d'une source CA idéale de 14,4 kVrms. L'enroulement secondaire du transformateur 240V est à prise centrale.

IV.2.1. Les régulateurs du VSC :

- La commande VSC qui contrôle les courants I_d I_q composantes active et réactive du courant)
- La commande MPPT qui fournit la tension $V_{dc\,Ref}$
- La commande de la tension V_{dc} qui fournit le courant $I_{d\,Ref}$

La référence du courant I_q est fixée à zéro, afin de maintenir le facteur de puissance à1. Les sorties de tension V_d et V_q du régulateur de courant sont converties en 2 signaux de modulation Uref utilisés par le générateur d'impulsions MLI (PWM).

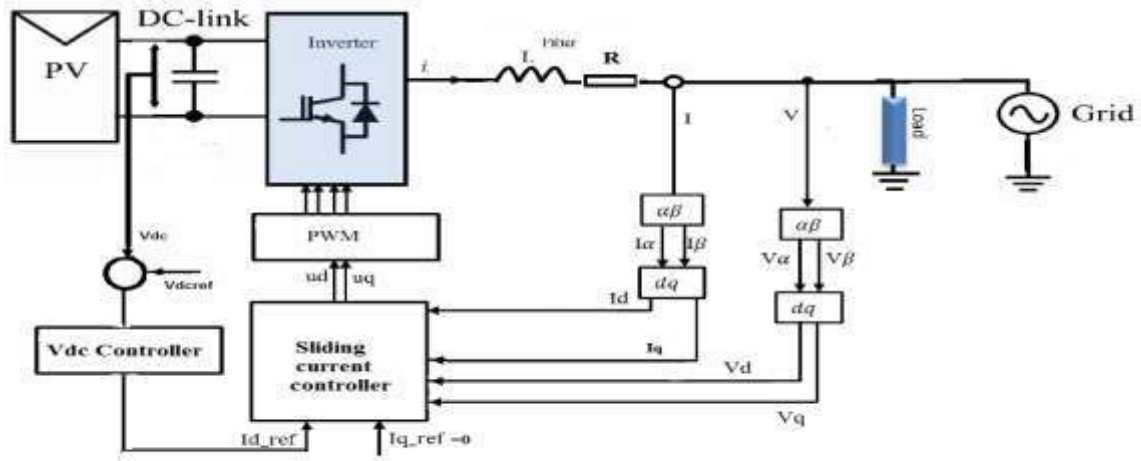


Figure IV.1 : La structure du VSC

IV.3. Simulation :

IV.3.1. Cas de varie l'irradiation et fixer la température :

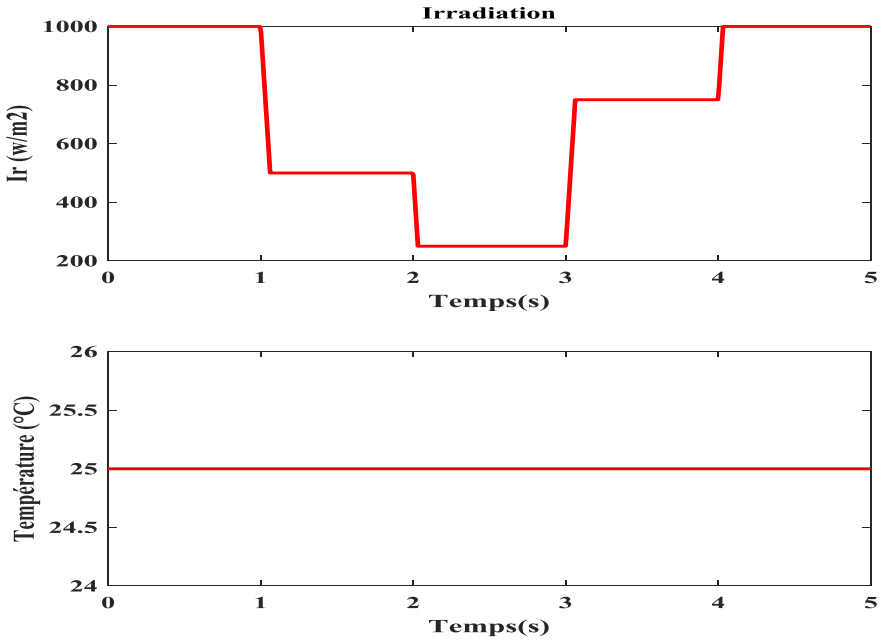


Figure IV. 2 : La variation L'irradiation et la température

L'irradiation stabilise à la valeur 1000 W/m² pendant 1 secondes, comme il est présenté dans la (figure IV. 2).

L'irradiation est stabilisée à la valeur 1000 W/m² pendant 1 secondes, puis elle diminue rapidement dans l'intervalle [1s-1.06s] jusqu'à la valeur 500 W/m² ou elle se stabilise dans l'intervalle [1.06s-2s]. Après, elle diminue rapidement dans l'intervalle [2s-

2.03s] jusqu'à la valeur 250 W/m² et se stabilise dans l'intervalle [2.03s-3s]. Après elle augmente rapidement dans l'intervalle [3s-3.06s] jusqu'à 750 W/m² et se stabilise dans l'intervalle [3.06s-4s]. Enfin elle augmente rapidement dans l'intervalle [4s-4.03s] jusqu'à 1000 W/m² et se stabilise jusqu'à 5 secondes (figure IV. 2).

La température à la valeur 25°C dans l'intervalle [0s-5s] autrement dit toute la durée étudiée, comme il est présenté dans la(figure IV. 2).

IV.3 .1.1. Simulation de système avec mode de glissement classique :

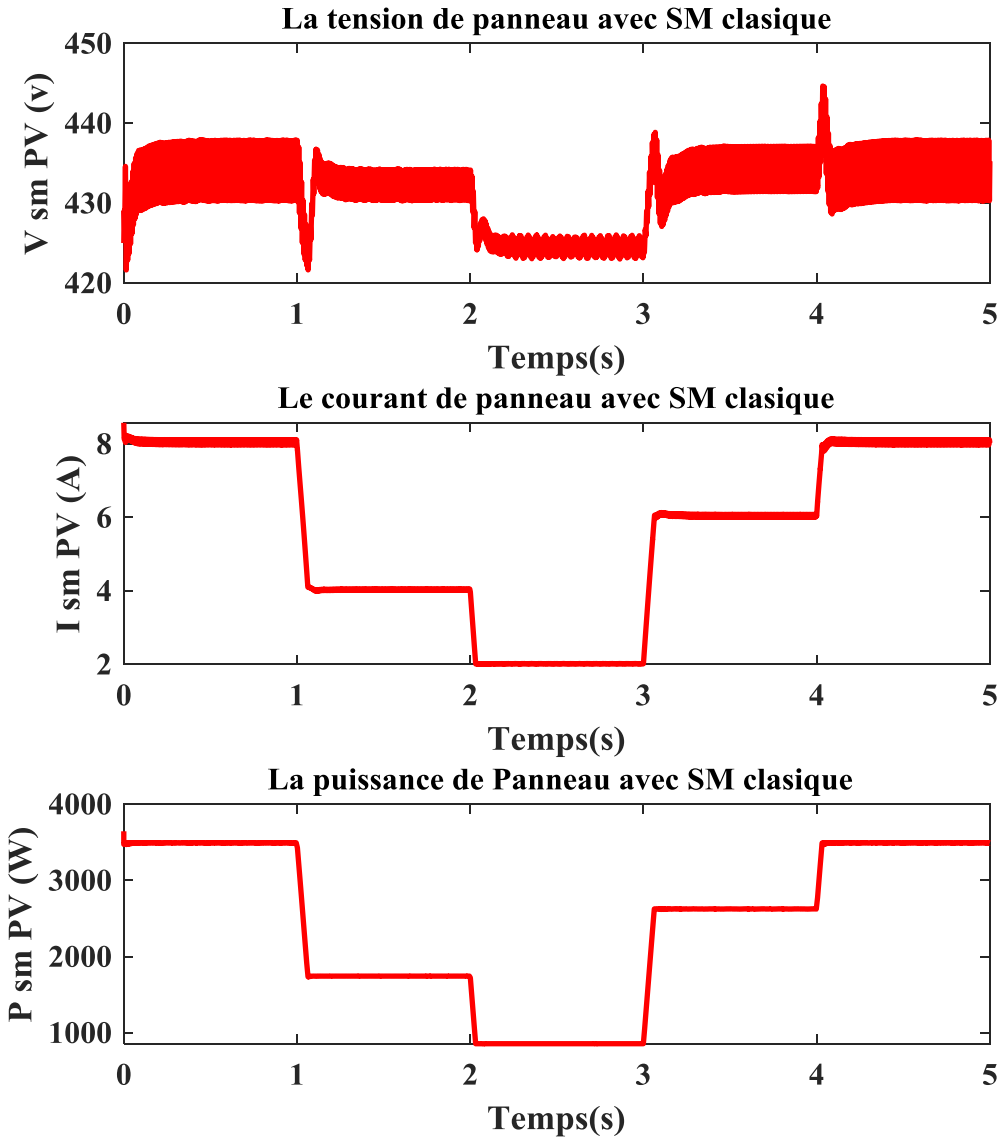


Figure IV. 3 : La tension PV, le courant PV puissance PV

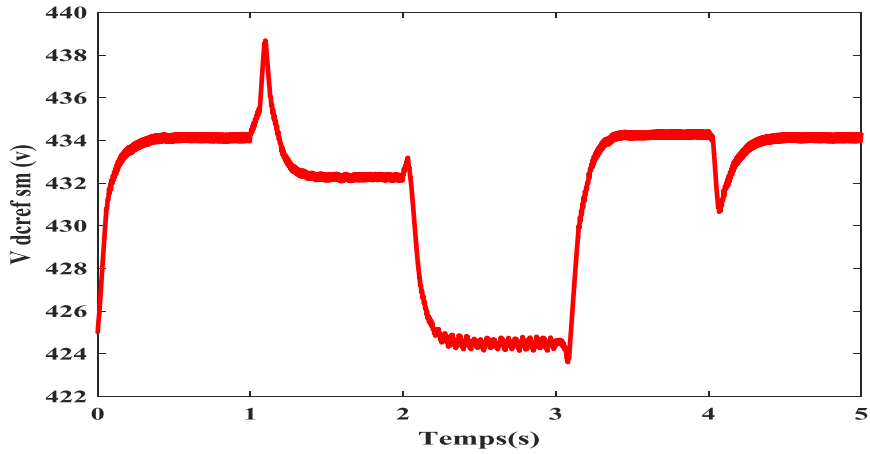


Figure IV.4 : La tension de référence a courant continue $V_{dc\ Ref}$

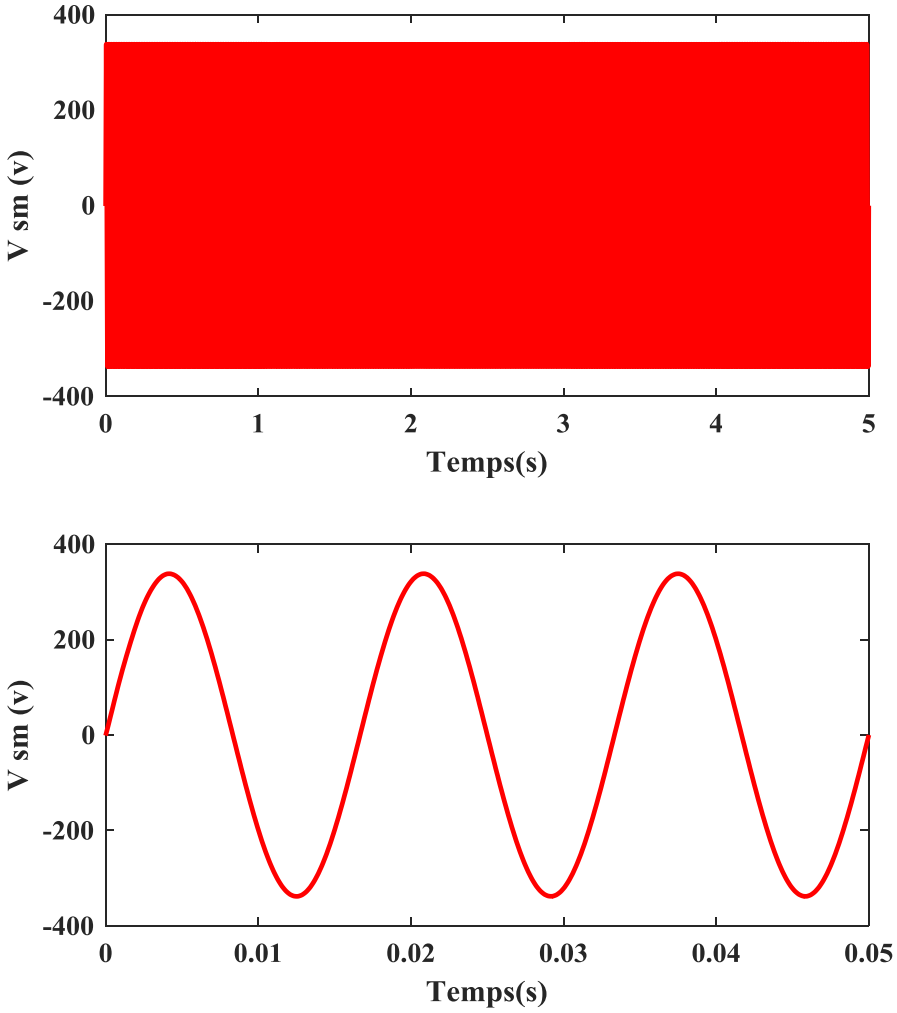


Figure IV.5 : La Tensions V fournit à la charge

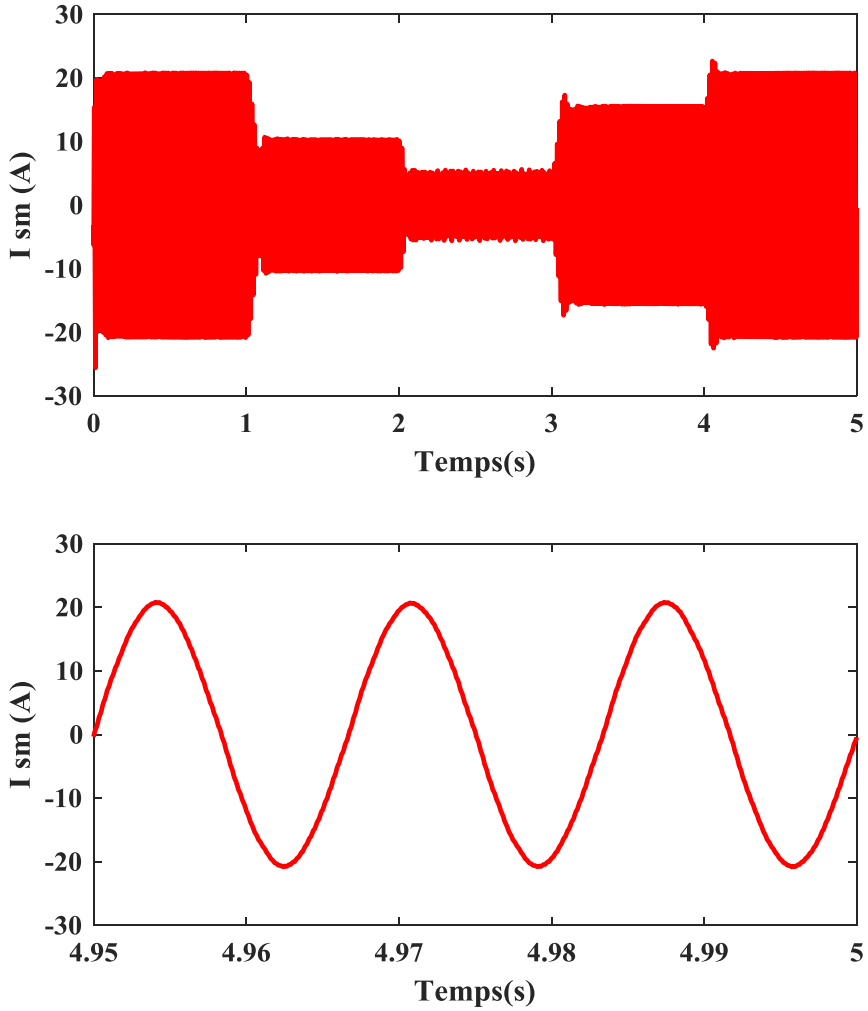


Figure IV.6 : Le courant I fournit à la charge

On observe de la (figure IV.7) que la tension et le courant de réseau sont en même phase (facteur de puissance de l'ordre de cos (α)=1). par conséquent, le système fournit la puissance active (figure IV.7) à la charge résidentielle avec un facteur de puissance unitaire comme prévu.

La période T=0.017 s donc la fréquence f =60 Hz.

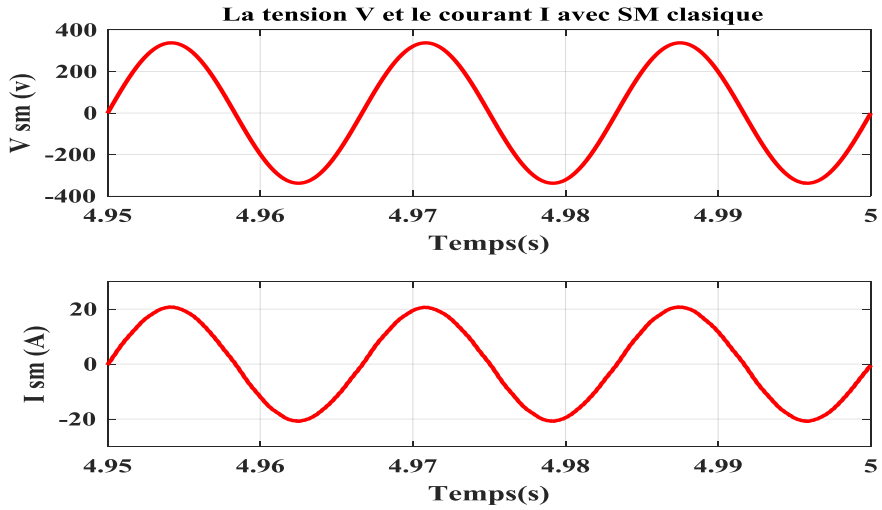


Figure IV.7: La tension V et le courant I fournis à la charge

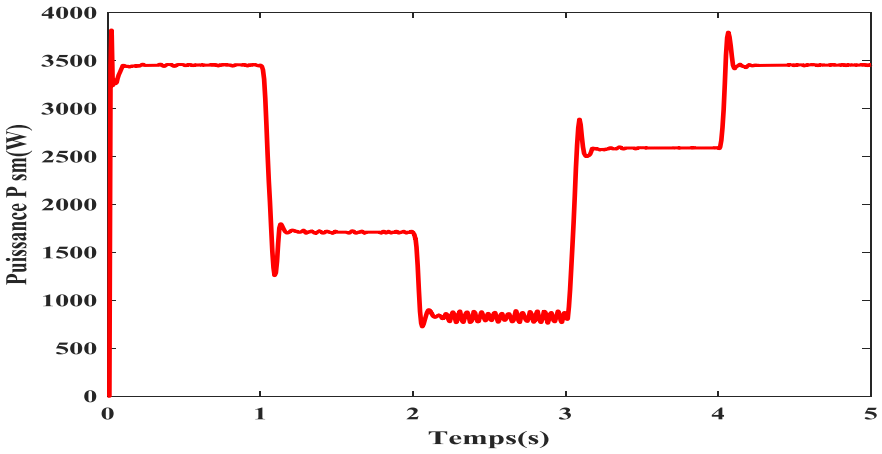


Figure IV.8 : La puissance P fournit à la charge

Les résultats des simulations montrent que le mode de glissement classique donne de bons résultats au niveau de la tension et du courant délivrés à la charge ainsi que la puissance, comme le montre la (figure IV.8).

IV.3.1.2. Simulation de système avec mode de glissement avec loi de convergence exponentielle:

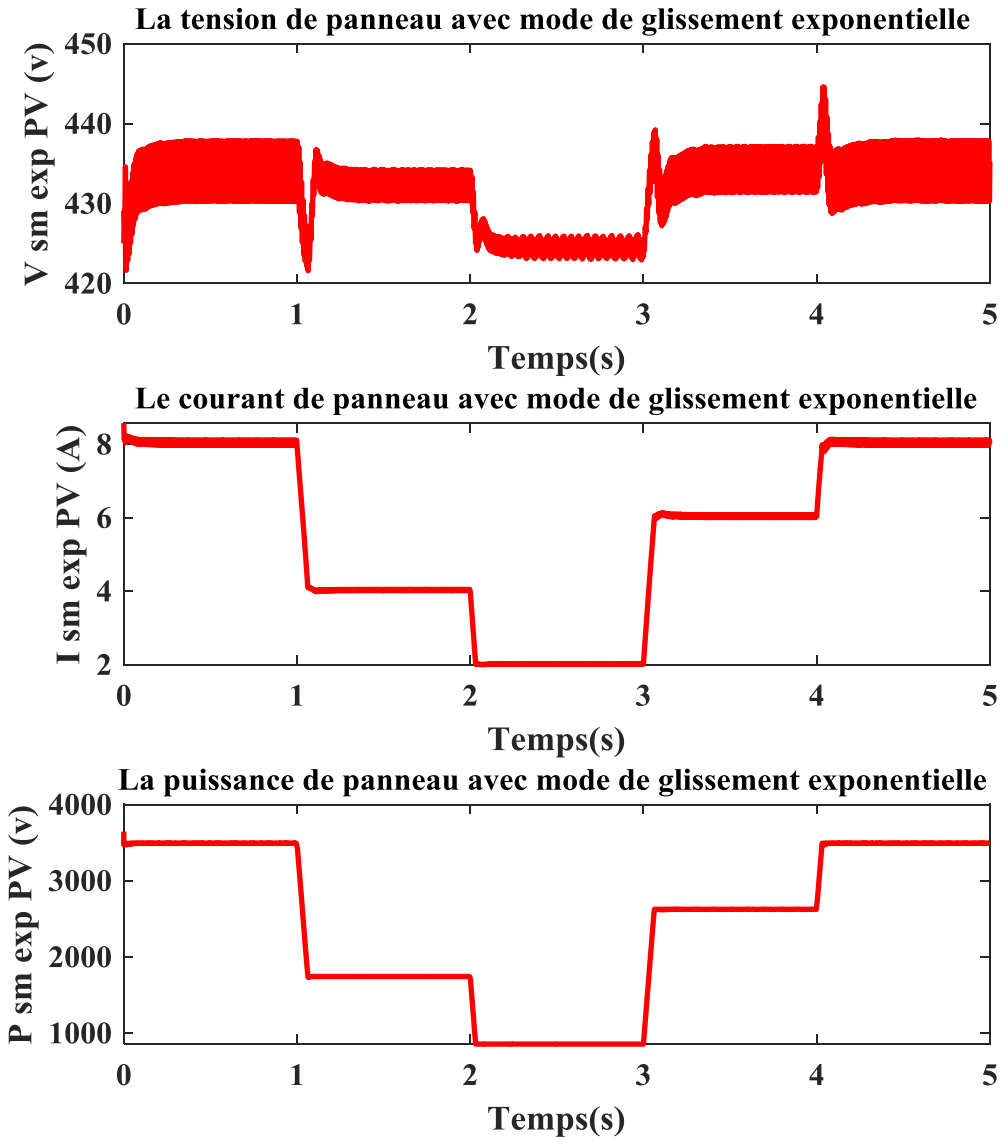


Figure IV.9 : La tension PV, le courant PV puissance PV

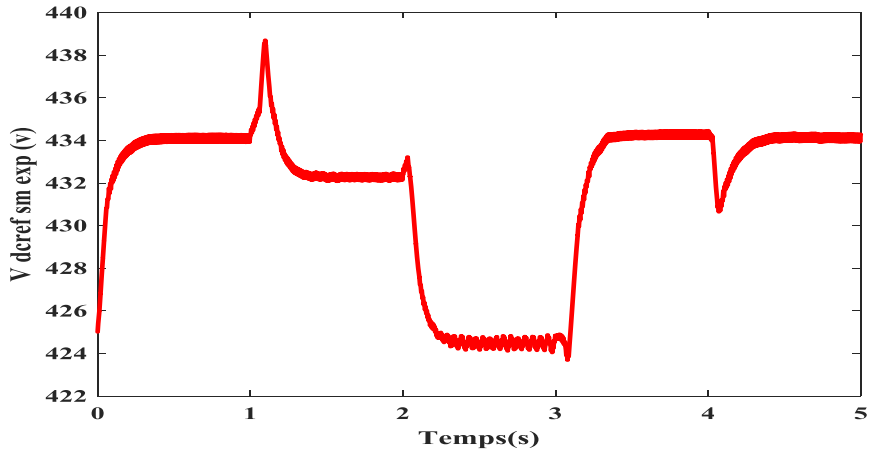


Figure IV.10 : La tension de référence a courant continue $V_{dc\ Ref}$

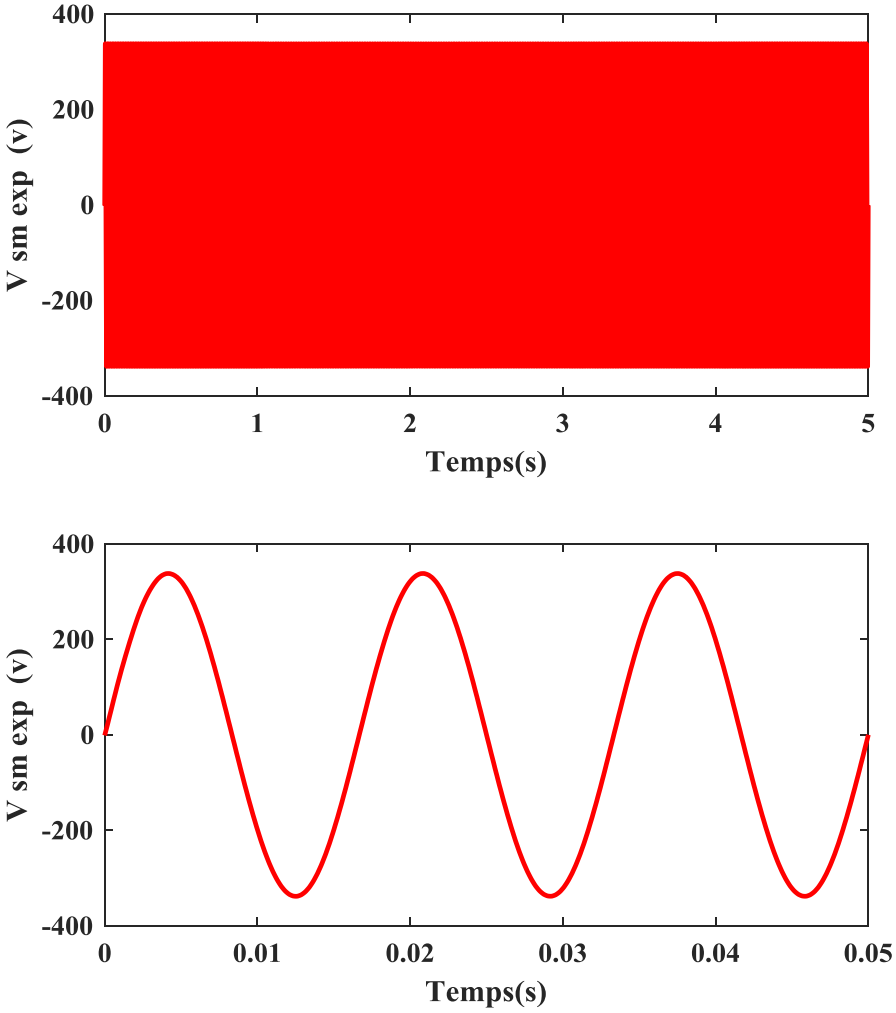


Figure IV.11 : La tension V fournit à la charge

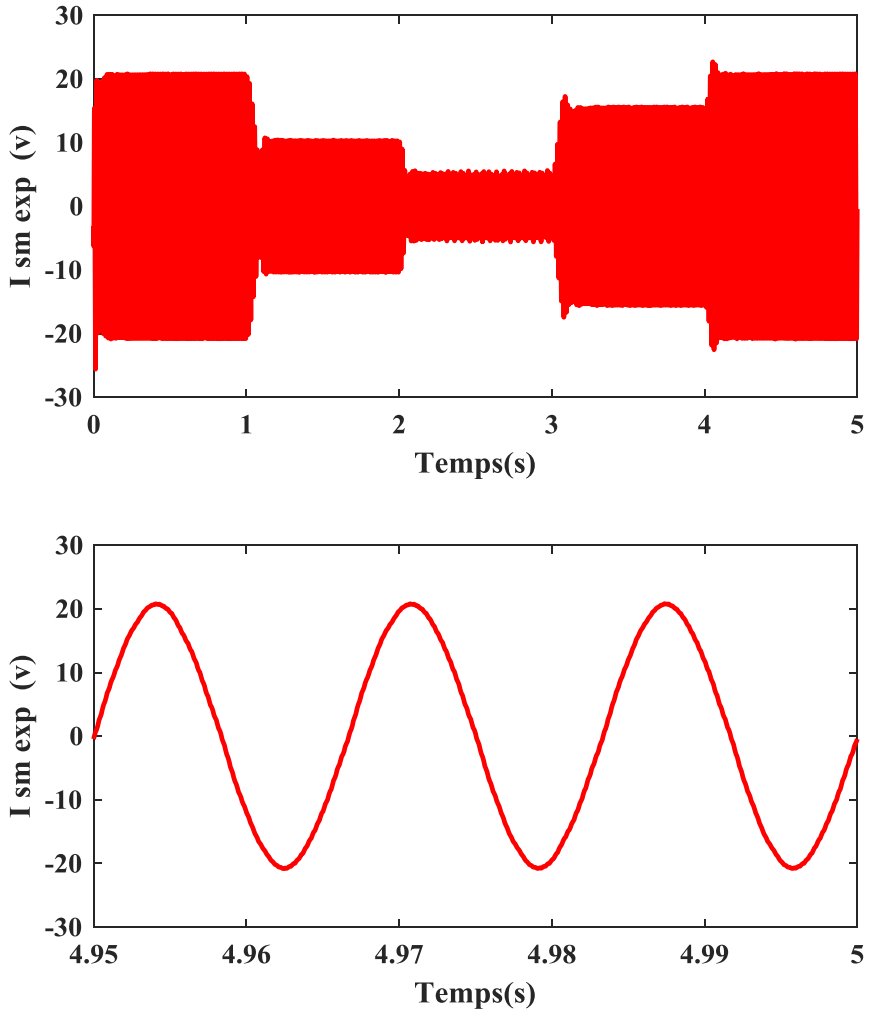


Figure IV.12 : Le courants I fournit à la charge

On observe de la (figure IV.13) que la tension et le courant de réseau sont en phase (facteur de puissance de l'unité cos(α)=1). Par conséquent, le système fournit la puissance active (figure IV.13) à la charge résidentielle avec un facteur de puissance unitaire comme prévu.

La période T=0.017 s donc la fréquence f =60 Hz .

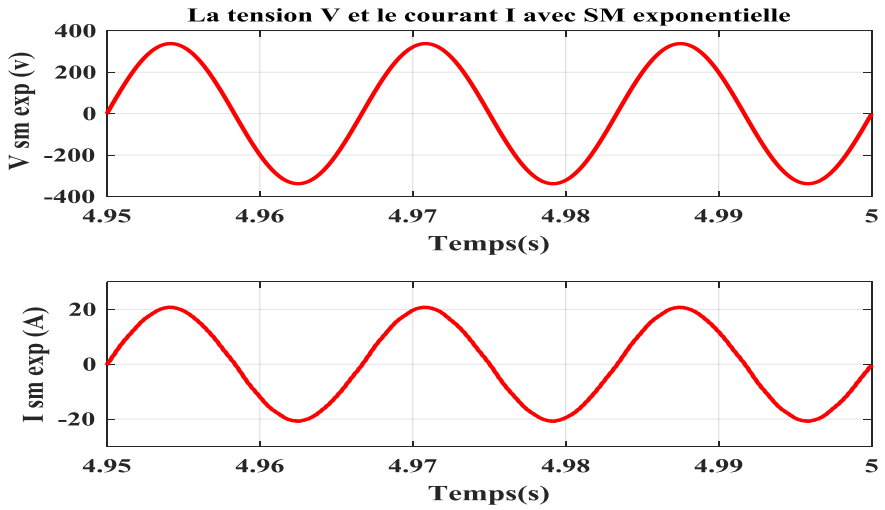


Figure IV.13: La tension V et le courant I fournit à la charge

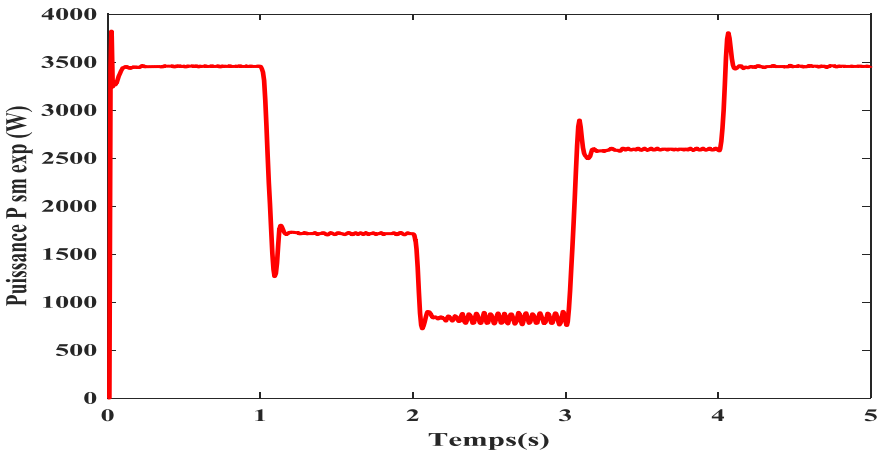


Figure IV.14 : La puissance P fournit à la charge

Les résultats des simulations montrent que le mode de glissement avec la loi de convergence exponentielle donne de bons résultats au niveau de la tension et du courant délivrés à la charge ainsi que la puissance , comme le montre la (figure IV.14).

IV.3.2. Cas de fixer l'irradiation et varie la température :

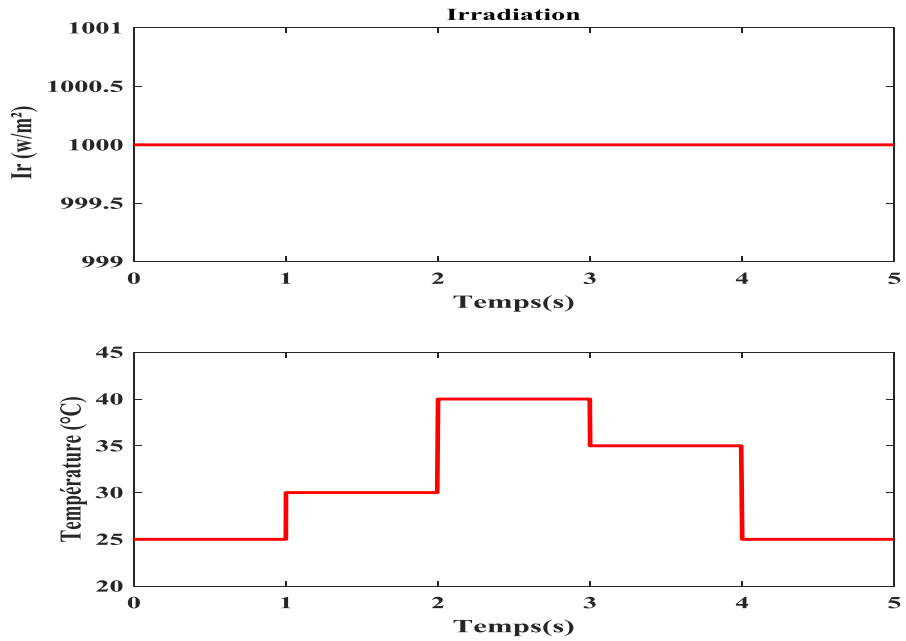


Figure IV. 15 : la variation l'irradiation et la température

La température stabilisée à la valeur 25 °C pendant 1 secondes, comme il est présenté dans la (figure IV. 15).

La température est stabilisée à la valeur 25 °C pendant 1 secondes, puis elle augmente rapidement dans l'intervalle [1s-1.03s] jusqu'à la valeur 30 °C et elle se stabilise dans l'intervalle [1.03s-2s]. Après , elle augmente rapidement dans l'intervalle [2s-2.04s] jusqu'à la valeur 40 °C et se stabilise dans l'intervalle [2.04s-3s]. Après elle diminue rapidement dans l'intervalle [3s-3.06s] jusqu'à 35 ° C et se stabilise dans l'intervalle [3.06s-4s]. Enfin elle diminue rapidement dans l'intervalle [4s-4.03s] jusqu'à 25 °C et se stabilise jusqu'à 5 secondes (Figure IV. 15).

L irradiation à la valeur 1000 W/m² dans l'intervalle [0s-5s] autrement dit toute la durée étudiée, comme il est présenté dans la (figure IV. 2)

IV.3 .2.1. Simulation de système avec mode de glissement classique :

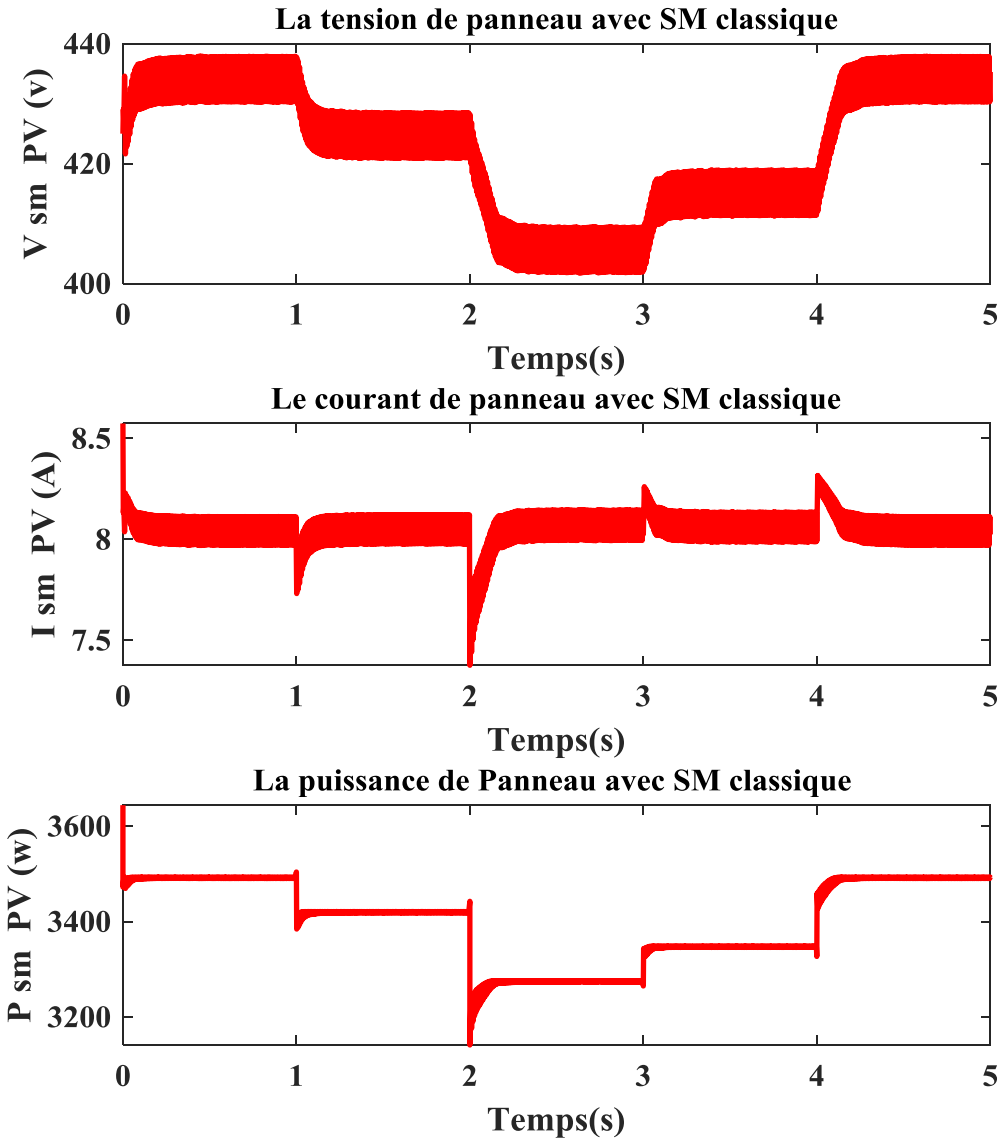


Figure IV. 16 : La tension PV, le courant PV puissance PV

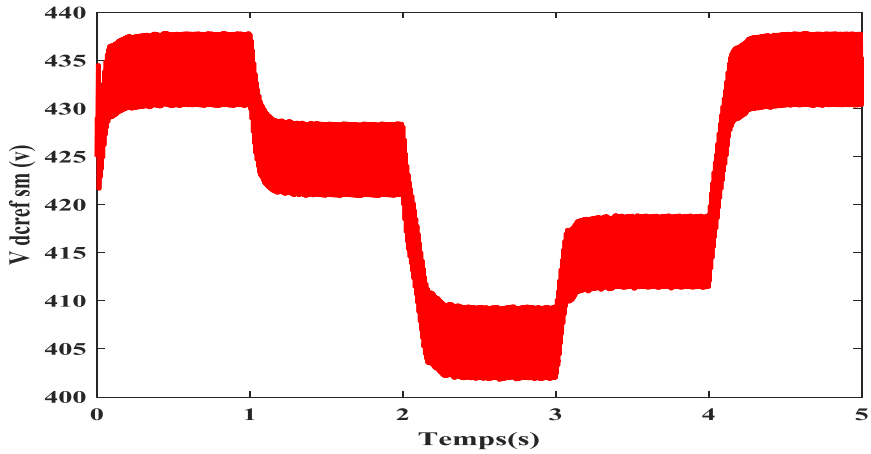


Figure IV.17 : La tension de référence a courant continue $V_{dc\,Ref}$

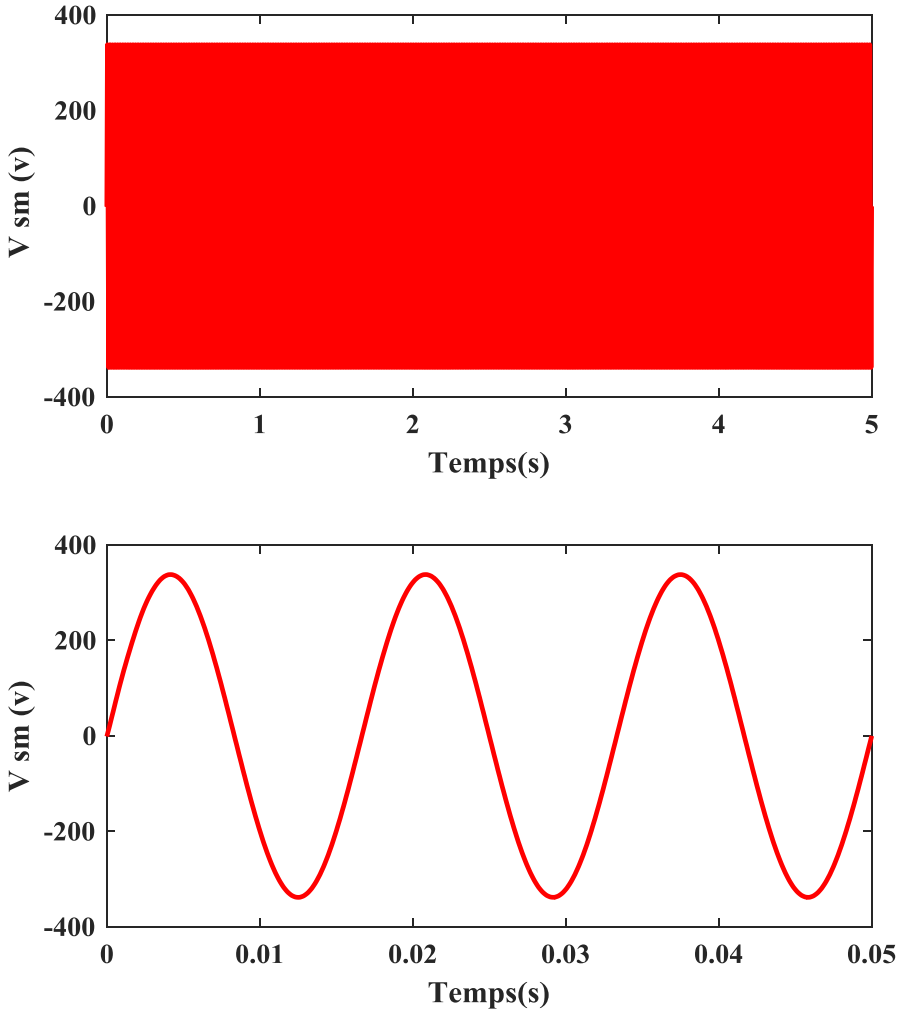


Figure IV.18 : La Tensions V fournit à la charge

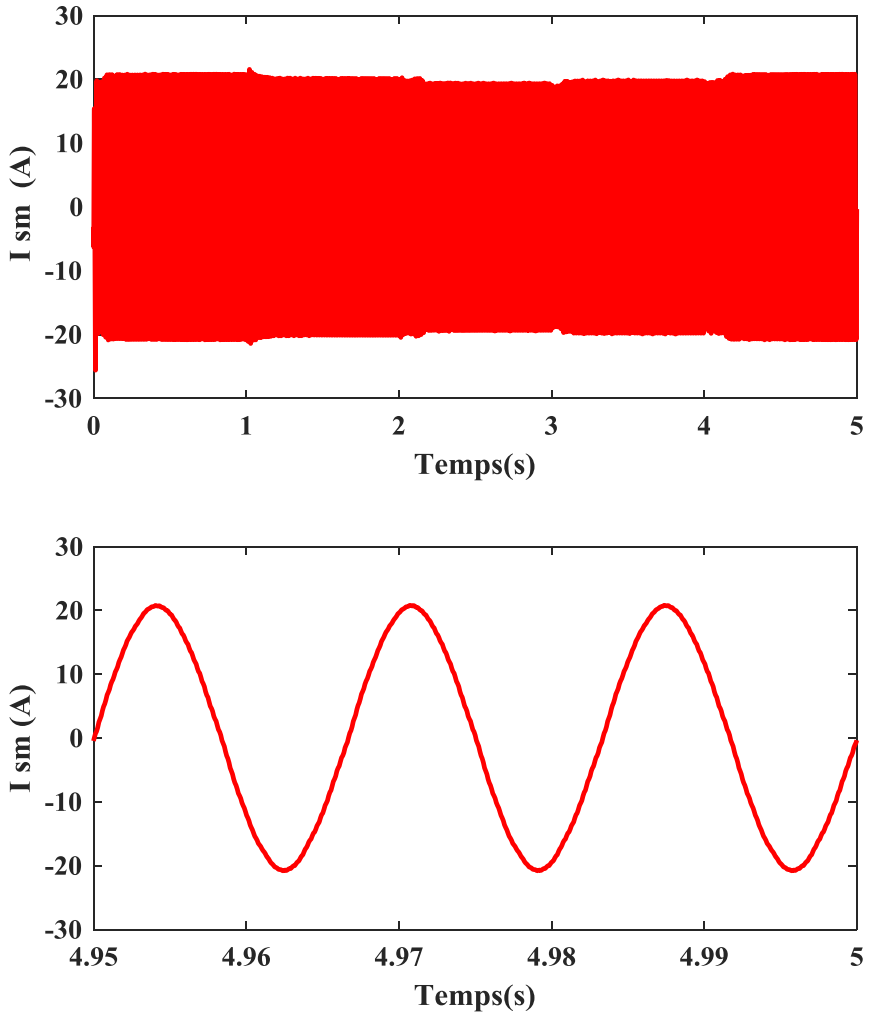


Figure IV.19 : le courant I fournit à la charge

On observe de la (figure IV.20) que la tension et le courant de réseau sont en même phase (facteur de puissance de l'ordre de cos (α)=1). par conséquent, le système fournit la puissance active (figure IV.20) à la charge résidentielle avec un facteur de puissance unitaire comme prévu.

La période T=0.017 s donc la fréquence f =60 Hz.

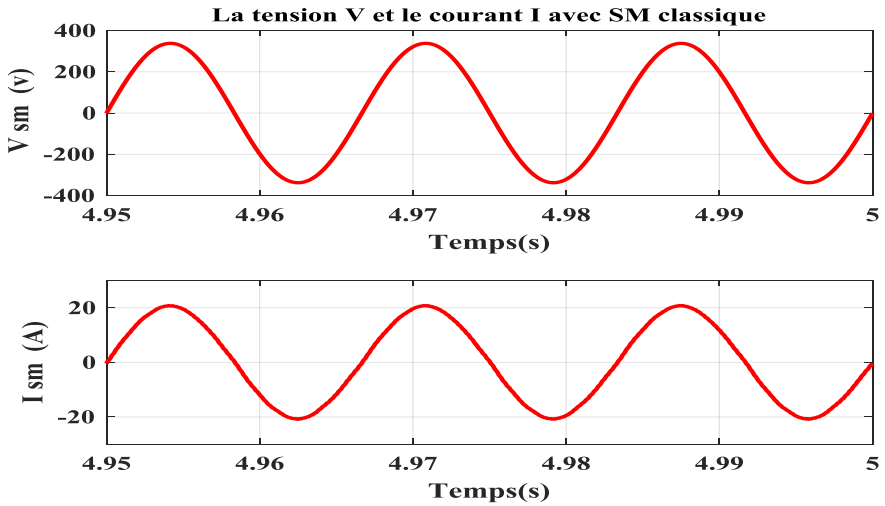


Figure IV.20: La tension V et le courant I fournis à la charge

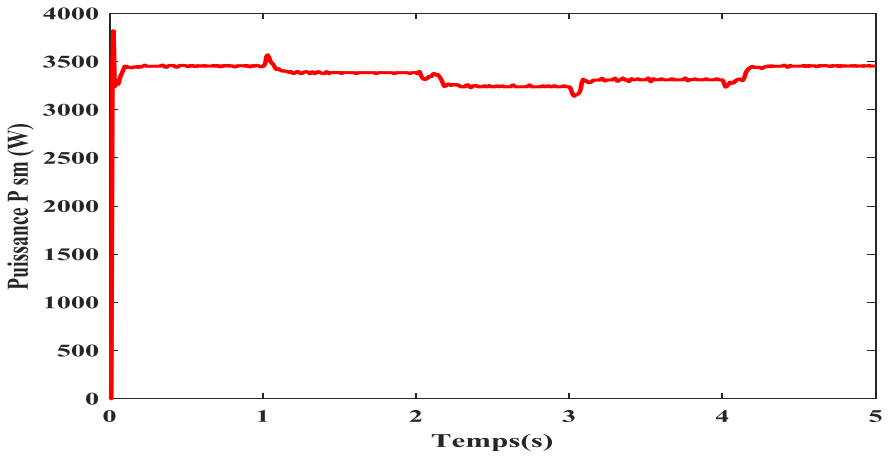


Figure IV.21 : La puissance P fournit à la charge

Les résultats des simulations montrent que le mode de glissement classique donne de bons résultats au niveau de la tension et du courant délivrés à la charge ainsi que la puissance , comme le montre la (figure IV.21).

IV.3.2.2. Simulation de système avec mode de glissement avec loi de convergence exponentielle :

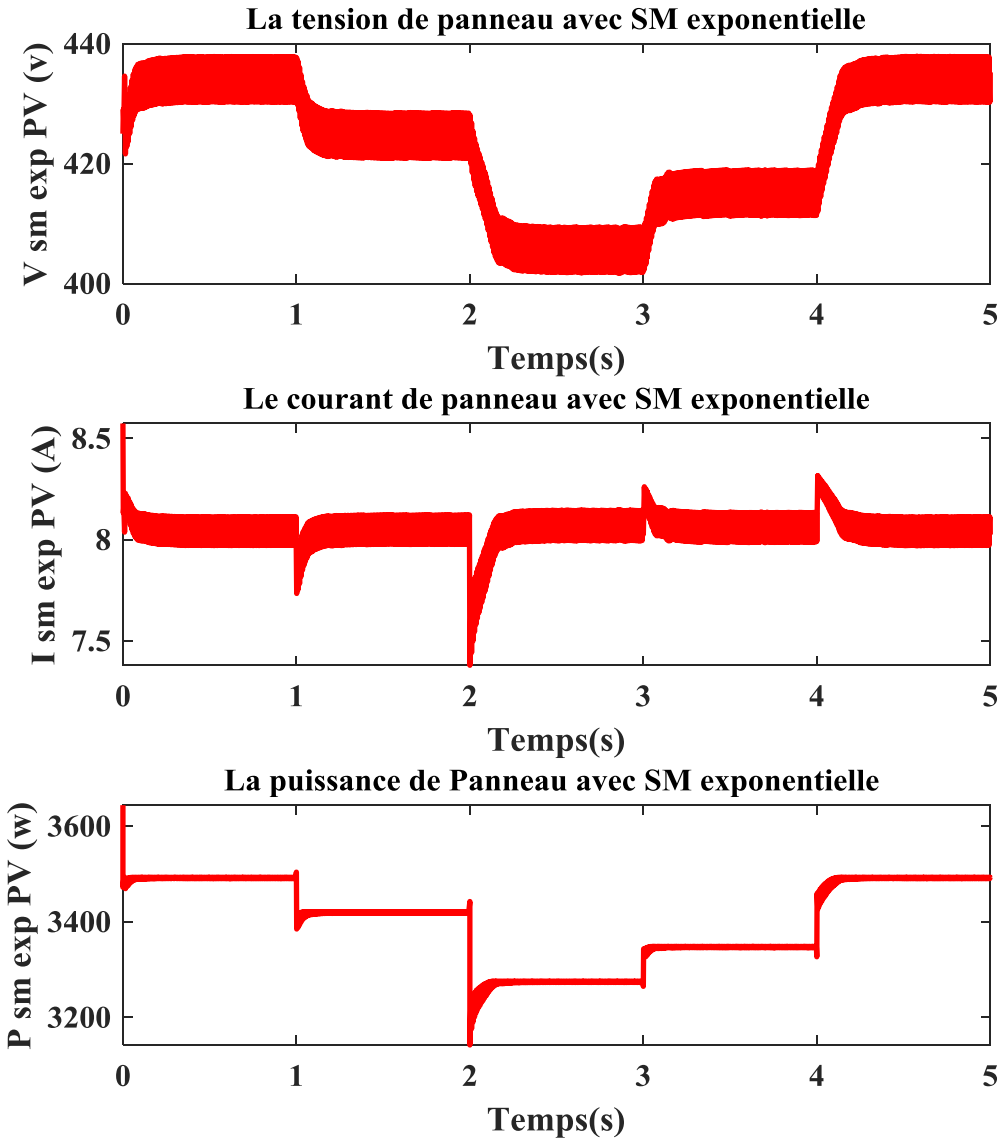


Figure IV.22 : La tension PV, le courant PV puissance PV

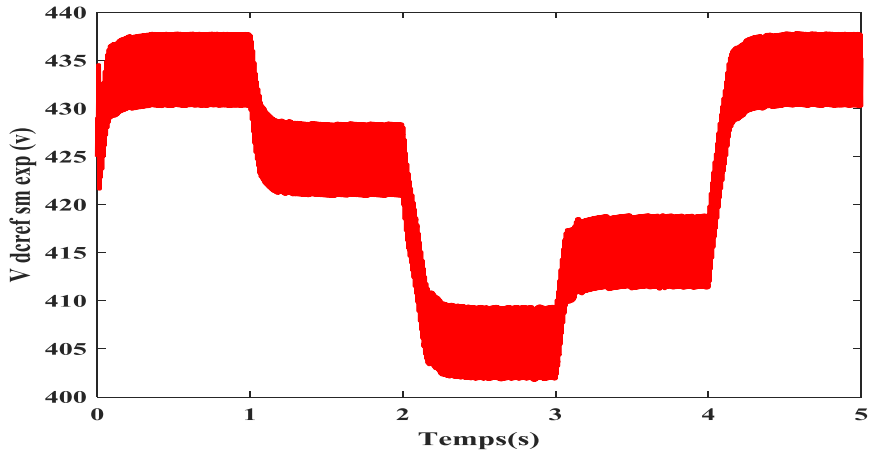


Figure IV.23 : La tension de référence a courant continue $V_{dc\,Ref}$

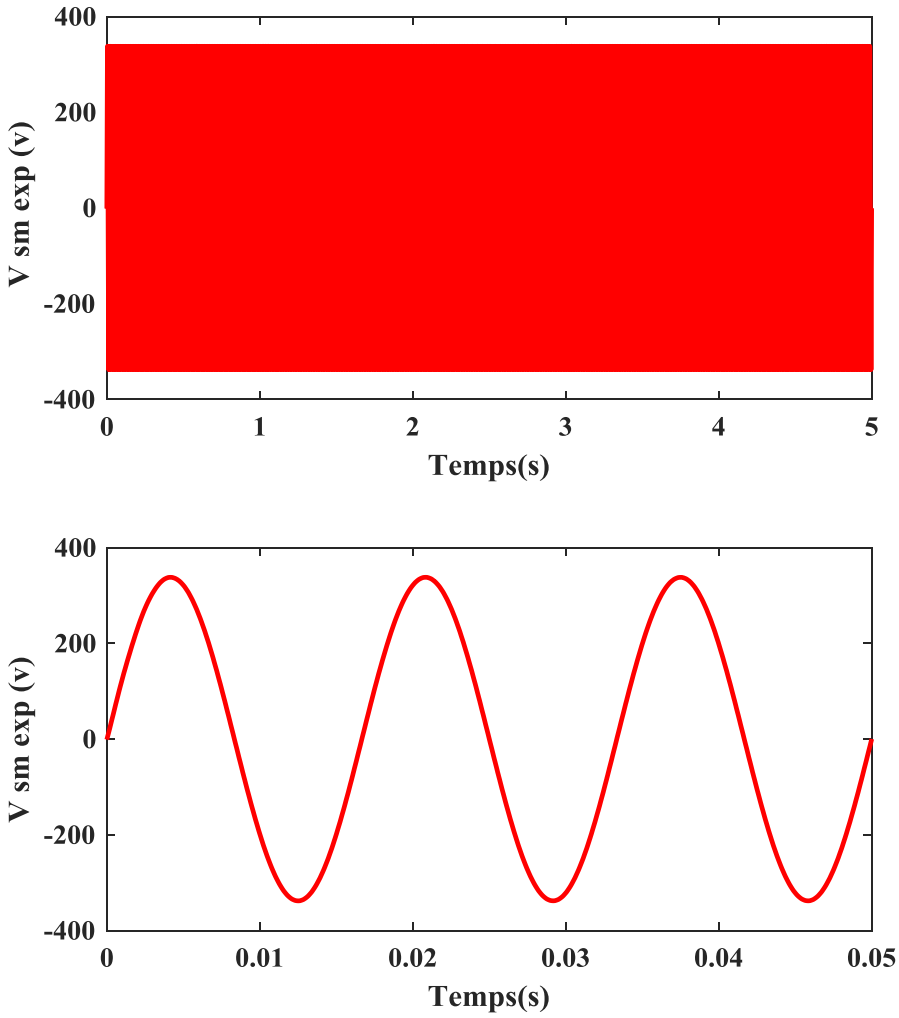


Figure IV.24 : La Tensions V fournit à la charge

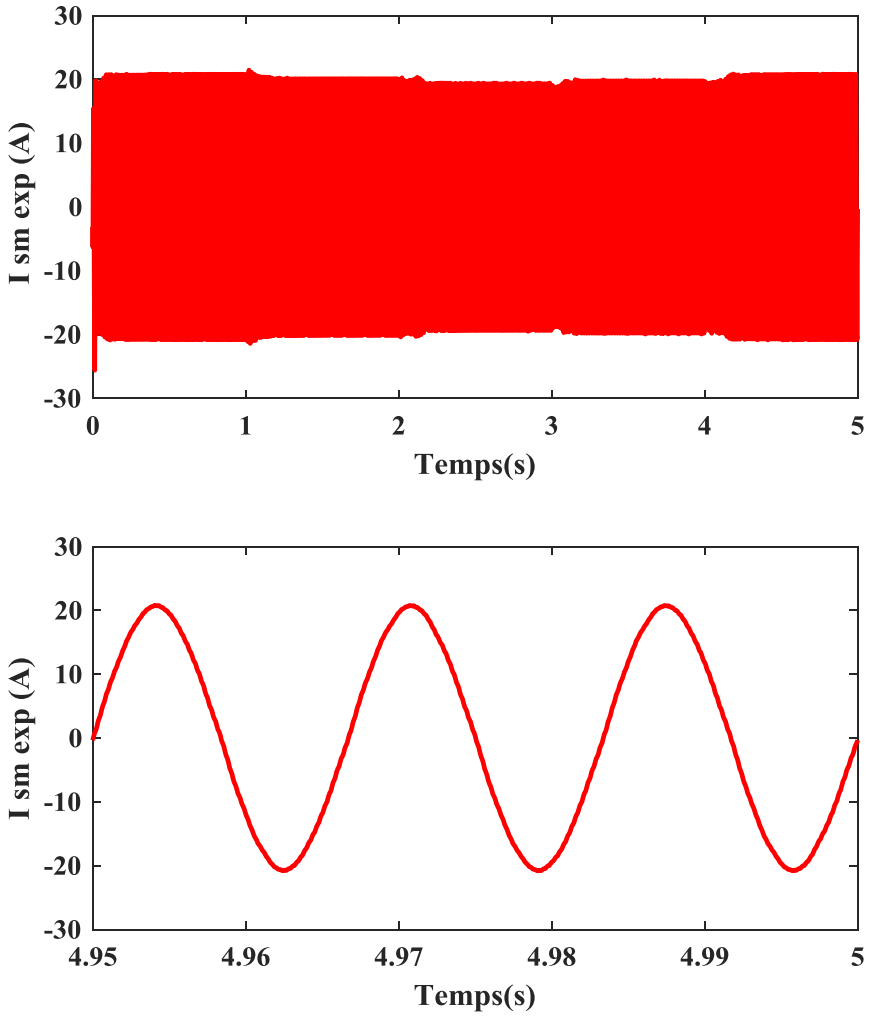


Figure IV.25 : le courant I fournit à la charge

On observe de la (figure IV.26) que la tension et le courant de réseau sont en même phase (facteur de puissance de l'ordre de cos (α)=1). par conséquent, le système fournit la puissance active (figure IV.26) à la charge résidentielle avec un facteur de puissance unitaire comme prévu.

La période T=0.017 s donc la fréquence f =60 Hz.

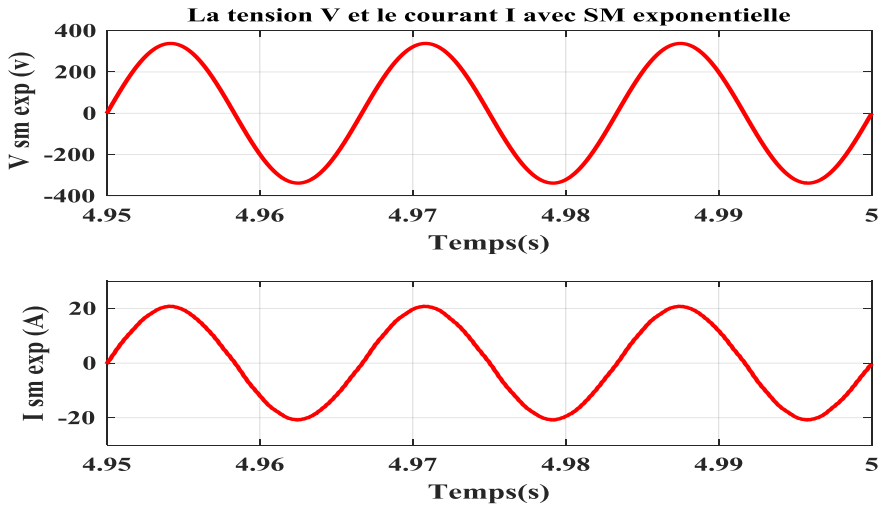


Figure IV.26: La tension V et le courant I fournis à la charge

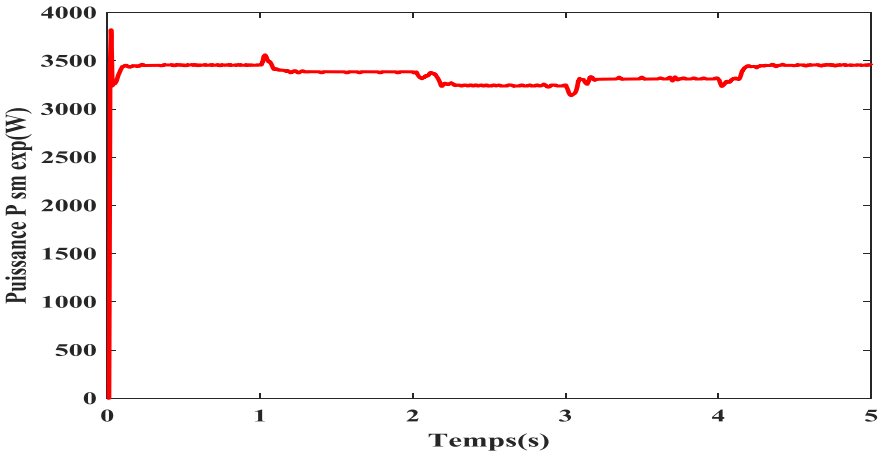


Figure IV.27 : La puissance P fournit à la charge

Les résultats des simulations montrent que le mode de glissement classique donne de bons résultats au niveau de la tension et du courant délivrés à la charge ainsi que la puissance , comme le montre la (figure IV.27).

IV.3.3. Etude comparative de la THD entre les deux 2 contrôleurs :

- ✓ Dans le cas de variation de l'irradiation nous avant les (figures IV.28 et IV.29).

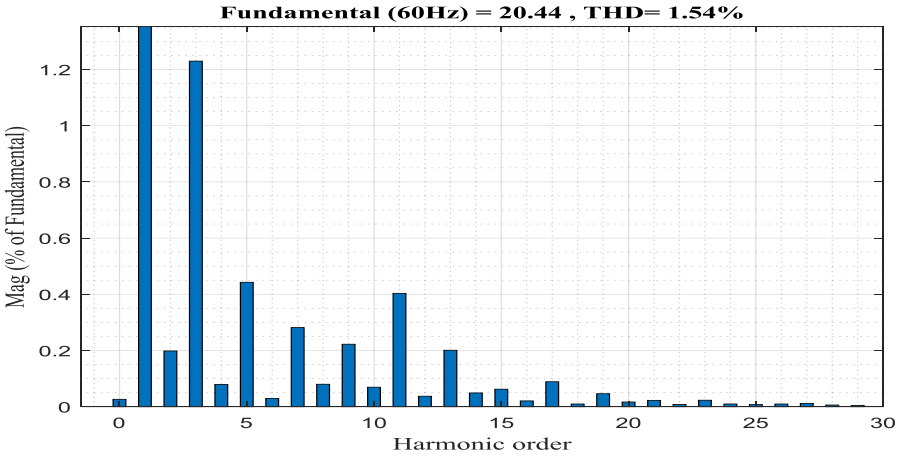


Figure IV.28 : Les harmoniques de courant I avec la méthode SM classique

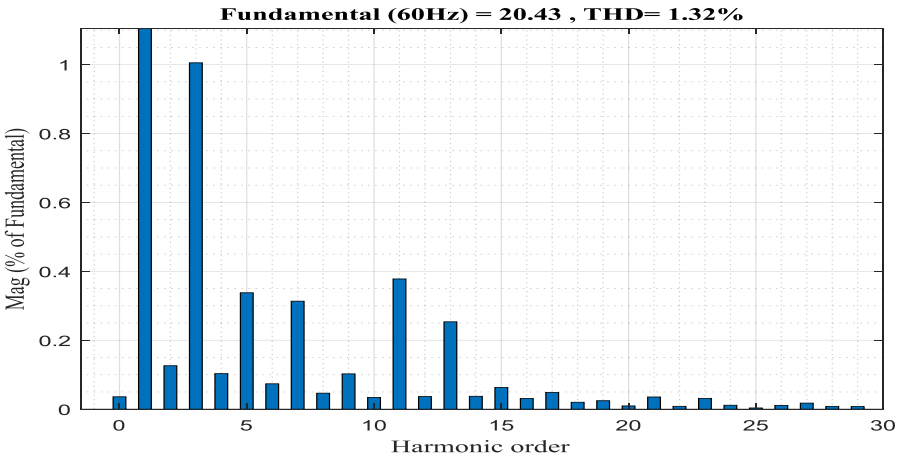


Figure IV.29 : Les harmoniques de courant I avec la méthode SM exp

D'après les (figures IV.28 et IV.29), on a vu que la meilleure valeur de THD est donné par le régulateur mode de glissement avec loi de convergence exponentielle puis par le mode de glissement classique.

- ✓ Dans le cas de variation de température nous avant les (figures IV.30 et IV.31).

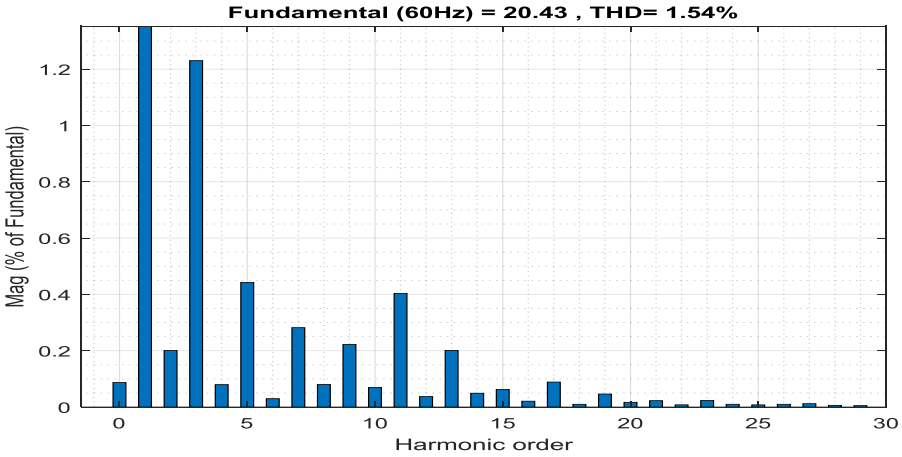


Figure IV.30 : Les harmoniques de courant I avec la méthode SM classique

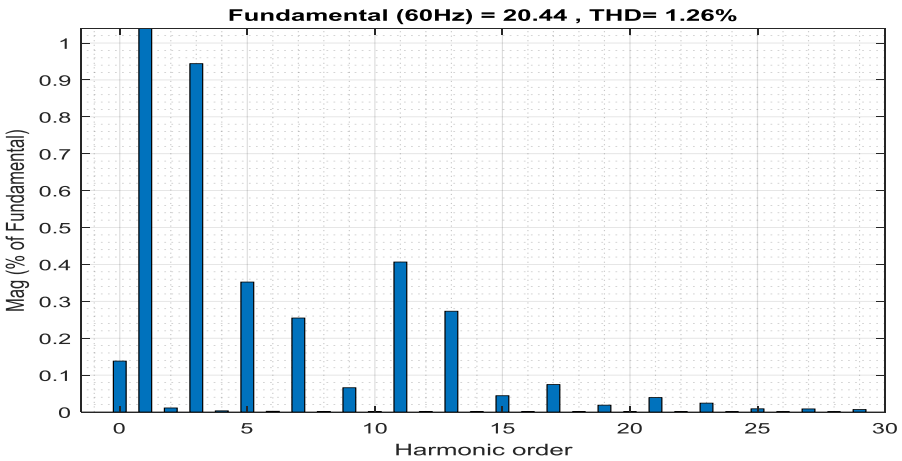


Figure IV.31 : Les harmoniques de courant I avec la méthode SM exp

D'après (les figures IV.30 et IV.31), on a vu que la meilleure valeur de THD est donné par le régulateur mode de glissement avec loi de convergence exponentielle puis par le mode de glissement classique.

IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons simulé deux régulateurs pour la commande de la boucle interne (Boucles des courants du système du convertisseur DC/AC) : mode de glissement classique, mode de glissement avec loi de convergence exponentielle.

Les résultats des simulations montrent que le mode de glissement classique et mode de glissement avec la loi de convergence exponentielle donnent tous deux de bons résultats au niveau de la tension et du courant délivrés à la charge ainsi que la puissance.

Le THD du courant de l'onduleur est très satisfaisant avec les deux techniques. Néanmoins la méthode de mode glissant avec loi de convergence exponentielle montre une légère supériorité.

Les résultats simulés, obtenus pour différentes conditions de fonctionnement, ont montré de bonnes performances du système photovoltaïque résidentiel avec les approches proposées.

Les régulateur MPPT ne sont pas influencé par le température (robust).

Conclusion générale

L'objectif préalablement défini de ce travail consistait à la commande d'un Convertisseur DC/AC monophasé source de tension VSC par commande à mode glissant classique (SM) et commande a mode glissent avec loi du convergence exponentielle (SMexp) puis synthétisé une loi de commande pour les deux types de contrôle (mode glissant classique SM et mode de glissement avec loi du convergence exponentielle SMexp) et cela a pour objectif d'extraire le maximum de puissance à partir d'un panneau photovoltaïque .

Au premier chapitre, on s'intéresse à la description générale et le principe de fonctionnement des systèmes photovoltaïques PV et sa modélisation , en donner les différentes architecture des système PV pour que nous choisissions le système PV connecte au réseau qui est à la base de notre étude.

On a étudié, dans un deuxième chapitre, convertisseurs DC-AC et Structure de l'onduleur monophasé (Onduleur en demi- pont et Onduleur en pont), utilisés dans le système photovoltaïques connecte au réseau. donne le mécanisme de la poursuite pour l'extraction de la puissance maximale sous différentes conditions de fonctionnement. On a présenté les méthodes MPPT basées sur l'algorithme IncCond et commande MLI et commande PLL.

Nous avons présenté dans le troisième chapitre la théorie de la commande par mode de glissement (mode glissant classique SM et mode de glissement avec loi du convergence exponentielle SMexp) . Cette technique reste de nos jours parmi les plus utilisées pour la commande des systèmes non linéaire en raison de son caractère robuste et la facilité de son implémentation.

La simulation a été réalisée sous logiciel Matlab-Simulink 2018a , nous avons simulé deux régulateurs pour la commande de la boucle interne (Boucles des courants du système du convertisseur DC/AC) : mode de glissement classique, mode de glissement avec loi de convergence exponentielle. alors ,Les résultats simulés obtenus ont montré de bonnes performances du système photovoltaïque résidentiel avec les approches proposées.

Le mode de glissement classique et mode de glissement avec la loi de convergence exponentielle donnent tous deux de bons résultats au niveau de la tension et du courant délivrés à la charge ainsi que la puissance, cependant la méthode de mode glissante avec la loi de convergence exponentielle montre un léger avantage en termes de Le THD du courant de onduleur.

Bibliographie

[1] **R.M.Bass** and **P. T. Krein**, « SwitchingBoundaryGeometry and the Control of Single Phase Inverter » IEEE. Power ElectronicsSpecialistsConferencepp. 543-547, 1989.

[2] **Mr. DeghboudjImen** « COMMANDE DES SYSTEMES NON LINEAIRES PAR MODE GLISSANT D'ORDRE SUPERIEUR » Université Constantine1.21/11/2013.

[3] **Smaïl SEMAOUI**, « Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'alimentation des maisons individuelles dans les zones du sud Algérien », Thèse de doctorat, soutenue le 26 Avril 2014, Université HADJ LAKHDAR Batna.

[4] **BENEDDINE Aboubaker**, **BOUDERBALA Abdellah** « Analyse des défauts d'une installation photovoltaïque », Mémoire de Master, UNIVERSITE DR. Yahia Fares de Médéa, 2018.

[5] lycée des métiers de l énergie de la métallurgie et de la vente jean oaillaud « L'ENERGIE SOLAIREPHOTOVOLTAÏQUE », http://ww2.acpoitiers.fr/electrotechnique/IMG/pdf/energie_solaire_photovoltaique.pdf. ,16 Mars 2020.

[6] **D. Salim** « Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone » Université Ferhat Abbase De Setif, Algérie 2011.

[7] **Z. Bendjellouli** « contribution de Modalisation d'une cellule solaire » Mémoire de Magistère, université de bechare.,Algerie,2009.

[8] **Z.Abid**, **Alitim**, « Application De La Logique Flou Pour Poursuite Du Point De Puissance Maximale D'un Générateur Photovoltaïque », Mémoire De Master, Université Dr Tahar Moulay, Sadïa, 2017.

[9] **N.Debili**, « Etude Et Optimisation En Environnement Matlab /Simuling D'un Système De Pompage Photovoltaïque ». Mémoire De Magister, Université Des Sciences Et Technologie, Constantine, 2015.

[10] **HADJI Slimane** , «Optimisation de la conversion énergétique pour les systèmes à énergie Photovoltaïque»,Université Ferhat Abbas Sétif 1, Sétif, Mémoire de Doctorat, Science**s**, 10 octobre 2018

[11] **Mr. KHOUALED Karim**, « techniques de commande d un système photovoltaïque connecté au réseau utilisant de contrôleur MPPT », Mémoire De Master, UNIVERSITE YAHIA FARES DE, MEDEA, 2016.

[12] **mr. fekroun sidahmed**, **mr. otmanine omar**, « poursuite du point de puissance maximale (mppt) d'un systeme photovoltaïque par un controleur flou type 2 t2flc.», mémoire de master, universite yahia fares de medea , 2017.

[13] **Melle Kihal HAfidha** , **Melle Baghdadi fatiha**, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque connecté aux réseaux », Mémoire De Master, Université de YAHIA Fares de Médéa, 2017.

[14] **EL AJJOURI T ARIK** , « méthode avancée de contrôle commande d'un onduleur monophasé pour une réduction de la banque de condensateurs, en vue d'accroître la durée de vie du convertisseur», mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en génie électrique, université du québec à montréal, décembre 2018.

[15] **Eric JONCQUEL**, « Liaisons à convertisseurs source de tension Fonctionnement des liaisons à courant continu haute tension », Livre , 10 févr. 2006.

[16] **MEKARET Fayssal** , ***ZIDOURI Abdelkhaliq***, «Etude, simulation et réalisation d'un mini onduleur pour systèmes photovoltaïques ». Mémoire de master. Université de Tlemcen. 2018.

[17] **Mr. MOUSSOUNI Nasser Eddine** , **OUADFEL Sofiane**, « Etude et réalisation d'un onduleur de tension monophasé ». Mémoire de master. Université de Bejaia.2017.

[18] **AARIDDA Nabil** , « Etude et simulation des étages DC-DC et DC-AC d'un onduleur photovoltaïque ». Mémoire de master. Juin 2014.

[19] **Mohammed MCHICHOU**, « et conception d'un onduleur photovoltaïque », Mémoire De Master, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Marc, 2015.

[20] **jasim farhood sultani**, «modelling, design and implementation of d-q control in single-phase grid-connected inverters for photovoltaic systems used in domestic dwellings.», mémoire de master, de montfort university, uk, 2013.

[21] **EmiraNECHADI** ,« Systemes non lineaires »,cours,universite ferhat abbas de setif 1.

[22] **A.L. Nemmour**, « Contribution à la commande vectorielle de la machine asynchrone àdouble alimentation », Thèse de Magister, soutenue à l'université de Batna en 2001.

[23] **V. I. UTKIN**, « Discontinuous control system: State of art in theory and application ». Institute of Control Sciences, Ed. MIR, Moscou,1978.

[24] **I. J. Slotine**, « Applied nonlinear control », Englewood Cliffs, NJ. Prentice.

[25]**W.Gao, J.C.Hung**, «Variable structure control system », IEEE ,Trans.Idust.Applic.Vol.40, N°.1, pp45-55,1993.

[26] **A. J. Fossard**, « Commande à structure variable, systèmes de régulation, Collaboration automatique ».Editions Masson, 1996.

[27] **O. Mahmoudi**, **N. Madani**, **M. F Benkhoris**, **F. Boudjema**, « Cascade sliding mode control of à field oriented induction machine drive », The European Physical journal, April 1999.

[28] **Bühler H**.« Réglage par mode de glissement ». Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1986.

[29] **V. I. UTKIN**, « Sliding modes and their application in variable structure systems » ,Edition MIR, Moscou, 1978.

[30] **Fallaha C. J**. et **al**, « Sliding Mode Robot Control With Exponential Reaching Law » , IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58: 600-610, 2011.