

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Projet de Fin d'étude

**Pour l'obtention du diplôme de Master en Energies Renouvelables en
Électrotechnique**

Thème

Gestion de puissance des onduleurs photovoltaïques multi-sources

Préparé par :

CHIBOUT Tahar

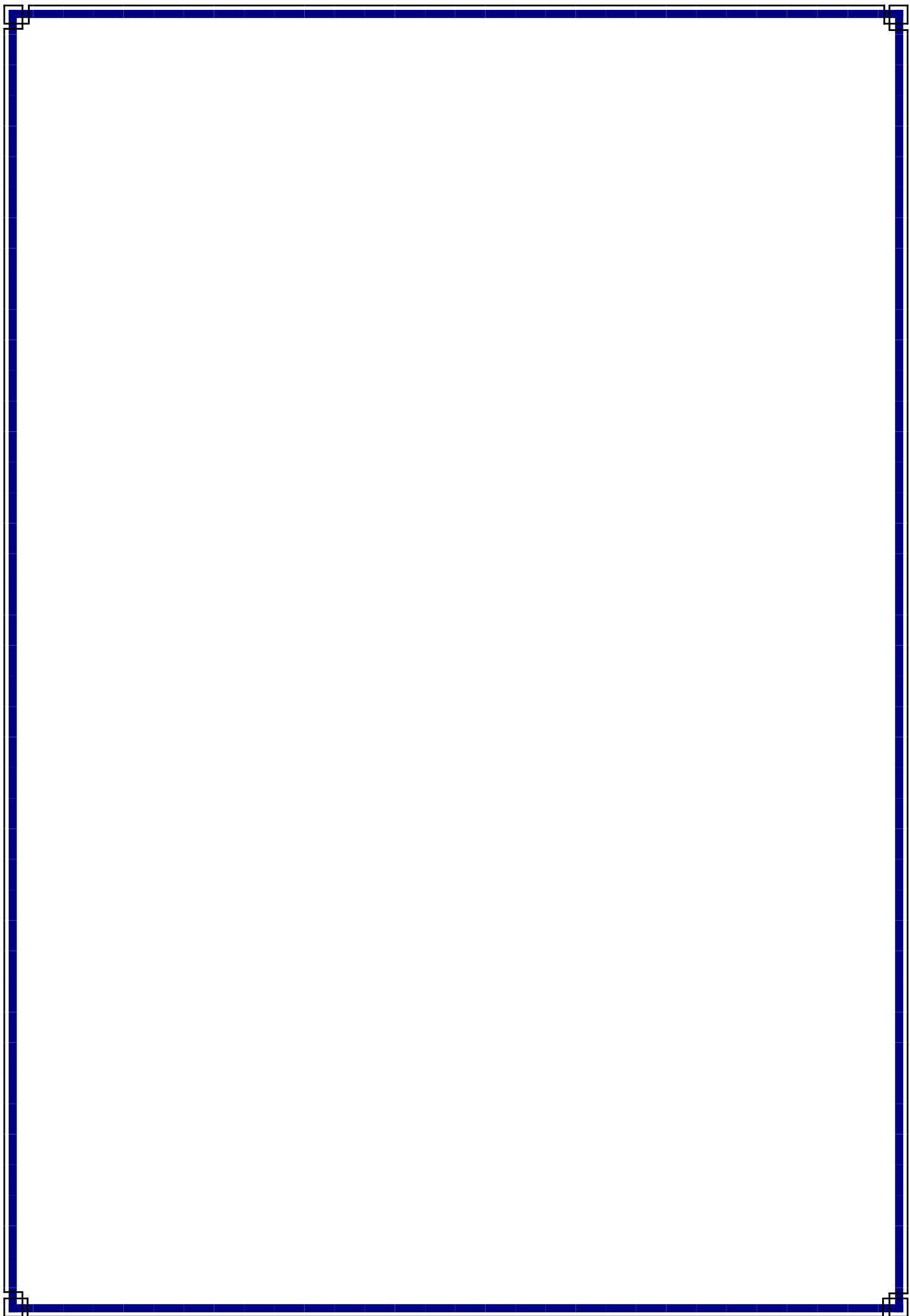
BENYRBAH Kamel

Encadré par :

Mr REKIOUA Toufik

Mr AZIL Abdelghani

Année Universitaire : 2024/2025



Remerciements

Avant toute chose, nous exprimons notre gratitude infinie à Dieu Tout-Puissant. Louange et reconnaissance Lui sont dues pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires tout au long de la réalisation de ce travail. C'est grâce à Son soutien que nous avons pu surmonter les difficultés rencontrées et mener à bien cette modeste contribution scientifique.

*Ce mémoire de fin d'études s'inscrit dans le cadre du projet de Master, et a été réalisé sous la direction de **Prof. REKIOUA Toufik**, que nous remercions chaleureusement pour son encadrement rigoureux, sa disponibilité et la richesse de ses conseils tout au long de ce travail.*

Nos sincères remerciements vont également à Monsieur M. AZIL Abdelghani, notre co-encadrant, pour son accompagnement constant, ses remarques constructives et son soutien précieux.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer notre travail.

Nos remerciements s'adressent au Département de Génie Électrique de l'Université de Bejaïa, ainsi qu'à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation durant ces années universitaires. Nous remercions également le Laboratoire LTII pour les moyens et le cadre de travail qu'il nous a offerts.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos familles et à toutes les personnes, de près ou de loin, qui nous ont soutenus, encouragés et aidés durant la préparation de ce mémoire.

Dédicace

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

*Tout d'abord, je remercie sincèrement mon encadrant **Pr. REKIOUA Toufik** pour sa disponibilité, ses conseils judicieux, et son accompagnement tout au long de ce projet. Son expertise et sa bienveillance ont été une source précieuse d'inspiration et de motivation.*

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance à mes amis, qui m'ont soutenu dans les moments de doute, encouragé dans les étapes les plus difficiles, et partagé avec moi de précieux instants de complicité.

Enfin, je dédie ce travail à ma famille, pour son amour inconditionnel, sa patience et son soutien moral constant. Sans eux, ce parcours n'aurait pas eu la même saveur.

À tous, merci du fond du cœur.

Chibout Tahar

Dédicace

Je tiens à exprimer ma plus sincère gratitude à toutes les personnes qui m'ont accompagné tout au long de cette aventure.

*Un grand merci à mon encadrant, **Pr. REKIOUA Toufik**, pour ses précieux conseils, sa patience et son encadrement attentif. Son appui a été déterminant dans l'aboutissement de ce projet.*

Je remercie également mes amis, pour leur présence constante, leurs encouragements et leur soutien moral. Leur bonne humeur et leurs mots motivants ont souvent été une bouffée d'oxygène dans les moments de doute.

Enfin, je dédie ce travail à ma famille, pilier de mon parcours. Leur confiance en moi, leur amour inébranlable et leurs sacrifices sont la base de tout ce que j'ai pu accomplir.

Merci à chacun de vous d'avoir été là.

Benyrbeh kemal

Sommaire

Introduction Générale

Chapitre I : Introduction aux systèmes d'énergie photovoltaïque

I.1 Introduction.....	2
I.2 Energie Photovoltaïque	2
I.2.1 Principe de fonctionnement	2
I.2.2 Les technologies des cellules photovoltaïques.....	3
I.2.2.1 Les cellules polycristallines (multicristallin)	4
I.2.2.2 Les cellules monocristallines	5
I.2.2.3 Les cellules amorphes (ou couches minces)	6
I.2.3 Comparaison des caractéristiques et rendement des types de cellule PV	6
I.3 Système Photovoltaïque.....	7
I.3.1 Systèmes Photovoltaïques Autonomes	8
I.3.1.2 Système Photovoltaïque à couplage directe	8
I.3.1.3 Système Photovoltaïque autonome avec système de stockage	9
I.3.2 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau.....	11
I.3.2.1 Systèmes PV connecté directement au réseau.....	12
I.3.2.2 Système à bus continu intermédiaire	14
I.4 Applications des systèmes photovoltaïques [10].....	17
I.4.1 Produits grand public utilisés en intérieur	17
I.4.2 Produits grand public à usage extérieur	17
I.4.3 Habitat isolé.....	18
I.4.4 Raccordement au réseau	18
I.4.5 Équipements professionnels.....	18
I.4.6 Centrales solaires	18
I.5 Conclusion	19

Chapitre II : Convertisseurs de puissance DC/AC et chargeurs de batterie DC/DC

II.1 Introduction	19
II.2 Technologies de conversion de puissance.....	19
II.2.1 Convertisseur de puissance DC-DC.....	21
II.2.1.1 Hacheur Buck (Abaisseur)	23
II.2.1.1.1 Principe de fonctionnement du hacheur Buck	23
II.2.1.1.2 Avantages du hacheur Buck	24
II.2.1.2 Hacheur BOOST (Elévateur)	25

Sommaire

II.2.1.2.1 Principe de fonctionnement du hacheur BOOST	25
II.2.1.2.2 Avantages du hacheur BOOST	26
II.2.1.3 Hacheur Buck-BOOST	26
II.2.1.3.1 Principe de fonctionnement du hacheur Buck-BOOST.....	26
II.2.1.3.2 Avantages du hacheur Buck-BOOST	28
II.3 Convertisseur AC-DC	29
II.3.1 Onduleur Monophasé à Pont H.....	30
II.3.2 Onduleur Monophasé à Demi-Pont.....	32
II.4 Conclusion.....	34

Chapitre III : Étude et conception d'une alimentation de secours hybride

III.1 Introduction.....	34
III.2 Description du fonctionnement du système.....	35
III.2.1 Sources d'énergie.....	36
III.2.2 Gestion d'énergie	37
III.2.3 Onduleur (convertisseur DC/AC)	38
III.3 Circuit d'alimentation hybride d'urgence	38
III.3.1 Simulation du système global sous Proteus.....	38
III.3.2 Chargeur de batterie hybride.....	39
III.3.3 Onduleur demi-pont.....	39
III.3.3.1 Commande des gâchettes MOSFETs.....	40
III.3.4 Transformateur.....	41
III.3.5 Arduino UNO	41
III.4 Résultats et interprétation	42
III.4.1 Comportement simulé du système	43
III.4.2 Résultats affichés par Arduino	43
III.5 Conclusion	45
Conclusion Générale	46
Références Bibliographiques	
Annexes	

Liste des Figures

Chapitre I : Introduction aux systèmes d'énergie photovoltaïque

Figure I- 1 Schéma simplifié de L'Effet photovoltaïque dans une cellule solaire.....	3
Figure I- 2 Production mondiale des cellules photovoltaïques selon les technologies de 2013-2023	4
Figure I- 3 Cellule polycristalline(multicristallin)	5
Figure I- 4 Cellule monocristalline	5
Figure I- 5 Cellule amorphe (ou couche mince)	6
Figure I- 6 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque à couplage direct	9
Figure I- 7 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec stockage	10
Figure I- 8 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque connectés au réseau.....	11
Figure I- 9 Plusieurs modules PV en série à un seul onduleur [9]	13
Figure I- 10 Bus à basse tension alternative [9]	14
Figure I- 11 Convertisseur de type forward alimentant le bus continu [2].....	15
Figure I- 12 Hacheur élévateur de tension avec onduleur centralisé [2].....	16
Figure I- 13 Structure avec convertisseur de type fly-back [9].....	17

Chapitre II : Convertisseurs de puissance DC/AC et chargeurs de batterie DC/DC

Figure II- 1 Divers types de convertisseurs statiques en électronique de puissance.....	20
Figure II- 2 Réversibilité et non réversibilité des convertisseurs statiques.....	21
Figure II- 3 Différents types de convertisseurs DC/DC	22
Figure II- 4 Schéma du Principe de fonctionnement du hacheur Buck.....	23
Figure II- 5 Les formes d'ondes courant /tension dans un convertisseur Buck	24
Figure II- 6 Schéma du Principe de fonctionnement Du hacheur BOOST	25
Figure II- 7 Les formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur BOOST	26
Figure II- 8 Schéma du Principe de fonctionnement du hacheur Buck-BOOST	27
Figure II- 9 Les Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck-BOOST	28
Figure II- 10 Schéma Synoptique de principe de la conversion DC –AC	30
Figure II- 11 Schéma d'Onduleur Monophasé à Pont H [20].....	30
Figure II- 12 Schéma d'Onduleur Monophasé à demi-Pont [20]	33

Chapitre III : Étude et conception d'une alimentation de secours hybride

Figure III- 1 Description du fonctionnement du montage proposé	36
Figure III- 2 schéma de la gestion d'énergie.....	37
Figure III- 3 Schéma du chargeur de batterie hybride.....	39
Figure III- 4 Schéma de conception de l'onduleur	40
Figure III- 5 Schéma du générateur du signal PWM	40
Figure III- 6 Signal de gâchette généré par UC2525	41
Figure III- 7 Schéma global sous Proteus.	42
Figure III- 8 Signal de sortie du transformateur.....	43
Figure III- 9 Résultat affiché sur LCD (fort ensoleillement.)	44
Figure III- 10 Résultat affiché sur LCD (absence d'ensoleillement)	44
Figure III- 11 Résultat affiché sur LCD (secteur et l'ensoleillement abusant)	45

Liste des Tableaux

Tableau I- 1 Récapitulatif de la comparaison des types de cellules photovoltaïques 6

Liste des Abréviations

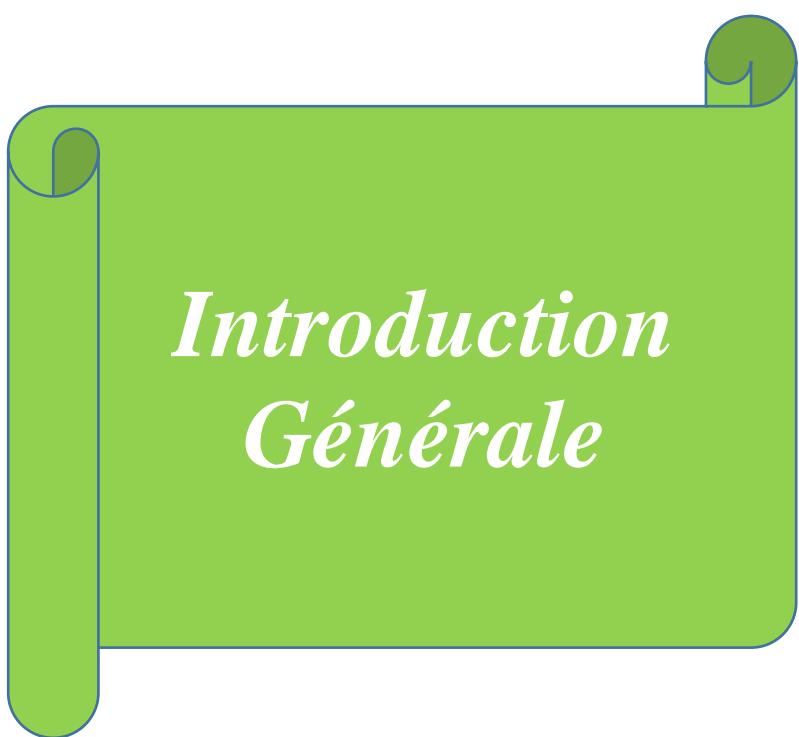
Abréviation

AC	Courant Alternatif (Alternating Current)
AC-DC	Conversion Courant Alternatif vers Courant Continu
ACS712	Capteur de courant basé sur effet Hall
ADC	Convertisseur Analogique-Numérique (Analog to Digital Converter)
Arduino UNO	Carte de développement basée sur microcontrôleur ATmega328P
BOS	Balance of System (Éléments annexes d'un système PV)
Buck	Convertisseur abaisseur de tension
Buck-Boost	Convertisseur abaisseur-élévateur de tension
DC	Courant Continu (Direct Current)
DC-AC	Conversion Courant Continu vers Courant Alternatif
DC-DC	Conversion Courant Continu vers Courant Continu
EMI	Interférences Électromagnétiques (Electromagnetic Interference)
GND	Masse électrique (Ground)
Hz	Hertz – unité de fréquence
I2C	Interface de communication série (Inter-Integrated Circuit)
IGBT	Transistor Bipolaire à Grille Isolée (Insulated Gate Bipolar Transistor)
IR2110	Driver de commande de MOSFET/IGBT (double driver haute/basse)
IRFZ44N	Modèle spécifique de transistor MOSFET
LM317	Régulateur de tension ajustable linéaire
MPPT	Suivi du point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking)
MOSFET	Transistor à effet de champ à grille métal-oxyde (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
MW	Mégawatt
PDIP	Boîtier Dual In-line Package (Plastic DIP)
PWM	Modulation de Largeur d'Impulsion (Pulse Width Modulation)
PV	Photovoltaïque
SOIC	Small Outline Integrated Circuit

Liste des Abréviations

Abréviation

SPWM	PWM Sinusoïdal (Sinusoidal Pulse Width Modulation)
TGV	Très Grande Vitesse (hors contexte technique ici, souvent dans ferroviaire)
THD	Taux de Distorsion Harmonique (Total Harmonic Distortion)
P2	parallèle double
CI	Circuit intégré
UC2525	Contrôleur de modulation de largeur d'impulsion
V	Volt – unité de tension
VDC	Tension en courant continu (Voltage Direct Current)
VDS	Tension drain-source dans un MOSFET
VGS	Tension grille-source dans un MOSFET
VREF	Tension de référence (Voltage Reference)



Introduction Générale

Introduction Générale

Dans un monde en pleine transition énergétique, le recours aux sources d'énergies renouvelables s'impose comme une solution incontournable pour un développement durable. Afin de produire de l'électricité de manière plus propre et plus fiable, de nombreux systèmes modernes associent plusieurs sources d'énergie pour pallier les limitations de chacune, notamment leur intermittence.

Cette approche, dite hybride, permet une meilleure exploitation de ressources disponibles tout en garantissant une continuité de service.

Dans le cas des systèmes d'alimentation autonomes ou de secours, la combinaison de plusieurs sources, telles que l'énergie photovoltaïque, le réseau électrique conventionnel et une batterie de stockage, permet de maintenir une alimentation stable, même en cas de défaillance d'une ou plusieurs sources. Cette solution devient particulièrement pertinente dans les régions confrontées à des coupures fréquentes de courant ou dans les zones isolées.

Cependant, pour assurer un fonctionnement optimal de ces systèmes hybrides, une gestion de la puissance est essentielle.

Elle permet de déterminer en temps réel quelle source doit alimenter la charge et comment gérer le stockage dans la batterie, en fonction de la disponibilité des sources et des besoins énergétiques instantanés.

C'est dans ce cadre qu'intervient le concept d'onduleur multi-sources, qui joue un rôle central dans la conversion et la distribution de l'énergie électrique, trouvant ainsi leur place aussi bien dans les installations fixes (domestiques, industrielles) que dans les applications mobiles (véhicules électriques, systèmes embarqués), permettant de répondre à des besoins ponctuels ou continus en énergie tout en optimisant les ressources disponibles.

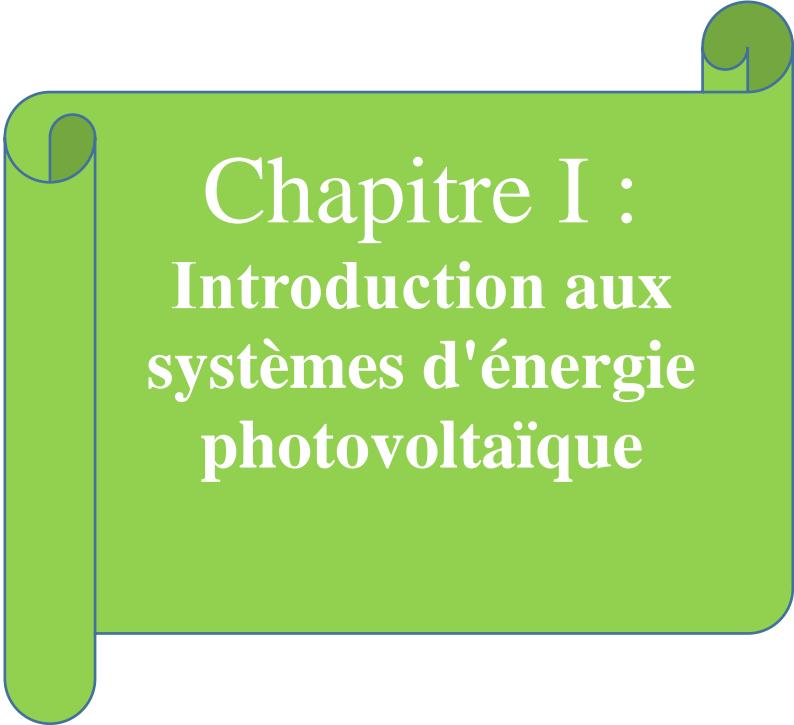
Le premier chapitre est consacré à la présentation des systèmes photovoltaïques, de leur fonctionnement, des technologies de cellules solaires, ainsi que de leurs applications.

Le deuxième chapitre traite des convertisseurs de puissance, notamment les convertisseurs DC/DC (hacheurs Buck et Boost) et DC/AC (onduleurs), indispensables pour adapter la tension des sources à la charge.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude et la simulation sous Proteus du système proposé, qui valident le bon fonctionnement du système, la qualité de la gestion de puissance,

Introduction Générale

la stabilité de la tension alternative de sortie, et la cohérence des décisions de commutation, et à la fin une conclusion général avec des perspectives.



Chapitre I :

Introduction aux systèmes d'énergie photovoltaïque

I.1 Introduction

Le Soleil est une source d'énergie très abondante et pratiquement inépuisable. Chaque jour, il envoie vers la Terre une énorme quantité d'énergie, largement suffisante pour répondre aux besoins de l'humanité. Par exemple, l'énergie solaire reçue en une heure pourrait couvrir la consommation mondiale pendant un an. Face à ce potentiel, et dans un contexte où les énergies fossiles sont de plus en plus limitées et polluantes, l'intérêt pour l'énergie solaire ne cesse de grandir [1].

Depuis longtemps, l'homme cherche à exploiter cette énergie gratuite, propre et accessible partout sur la planète. L'une des solutions les plus efficaces trouvées est la cellule photovoltaïque, qui permet de transformer directement la lumière du Soleil en électricité. Cette conversion se fait sans bruit, sans pollution, et nécessite peu d'entretien.

Aujourd'hui, cette technologie est utilisée dans de nombreux systèmes photovoltaïques adaptés à différents besoins. Pour mieux comprendre leur fonctionnement, ce chapitre commence par rappeler les bases du rayonnement solaire et les propriétés des matériaux semi-conducteurs, à la base des cellules photovoltaïques. Il présente ensuite le principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque ainsi que ses deux grands types : les systèmes autonomes, qui fonctionnent sans réseau, et ceux connectés au réseau électrique.

I.2 Energie Photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable qui utilise la lumière du Soleil pour produire de l'électricité. Grâce à des panneaux solaires installés sur les toits, au sol ou sur d'autres structures, cette technologie permet de capter l'énergie solaire et de la transformer en électricité, sans bruit et sans pollution. C'est une solution de plus en plus utilisée dans le monde entier, aussi bien pour des maisons individuelles que pour de grandes installations. L'énergie photovoltaïque contribue à réduire la dépendance aux énergies fossiles et à protéger l'environnement, tout en répondant à une demande croissante en électricité.

I.2.1 Principe de fonctionnement

L'effet photovoltaïque, qui correspond à la production d'électricité à partir de la lumière, a été observé pour la première fois en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel. Cependant, ce n'est qu'au début des années 1950 que des chercheurs des laboratoires Bell, aux États-Unis, ont réussi à fabriquer la première cellule photovoltaïque fonctionnelle [1].

La cellule est composée de deux fines couches de matériau semi-conducteur, dopées différemment. La couche N contient un excès d'électrons (dopée négativement), tandis que la couche P en manque (dopée positivement). Cette différence crée un champ électrique interne. Quand les photons (lumière) frappent la cellule, leur énergie libère des électrons dans la couche N. Ces électrons traversent la jonction entre les deux couches, créant un courant électrique continu. Pour récupérer ce courant, des électrodes sont déposées sur chaque couche. L'électrode du dessus est une grille qui laisse passer la lumière. Une couche antireflet est aussi ajoutée pour améliorer l'absorption lumineuse [2].

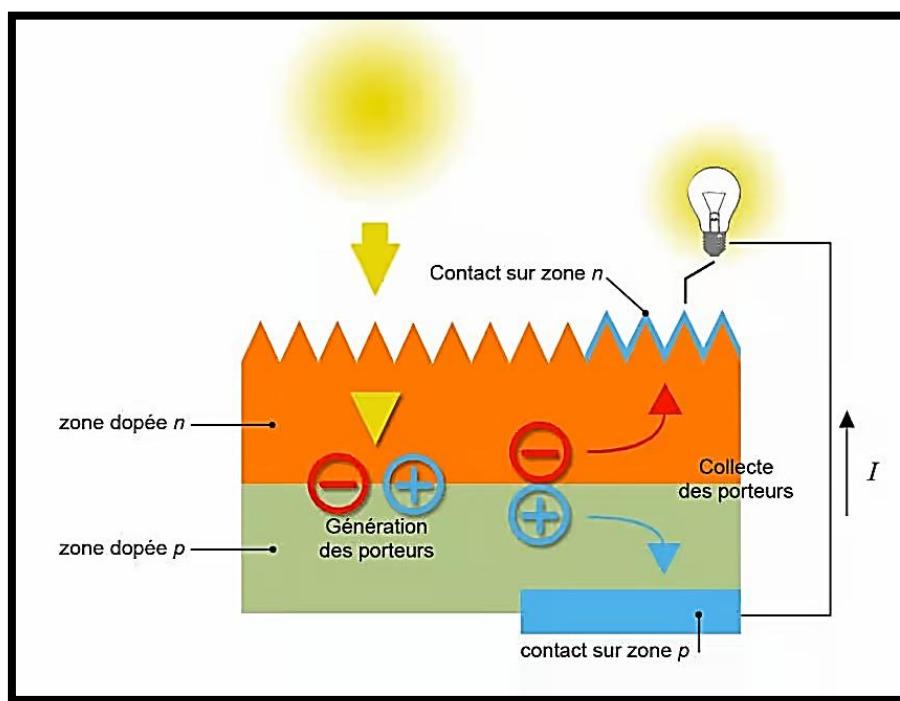


Figure I- 1 Schéma simplifié de L'Effet photovoltaïque dans une cellule solaire

I.2.2 Les technologies des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques peuvent être fabriquées à partir de différents matériaux semi-conducteurs. Actuellement, trois grandes technologies dominent le secteur : le silicium cristallin (monocristallin et multicristallin), les cellules organiques et les couches minces. Ces différentes filières n'occupent pas la même part du marché, comme l'illustre la figure ci-dessous [3].

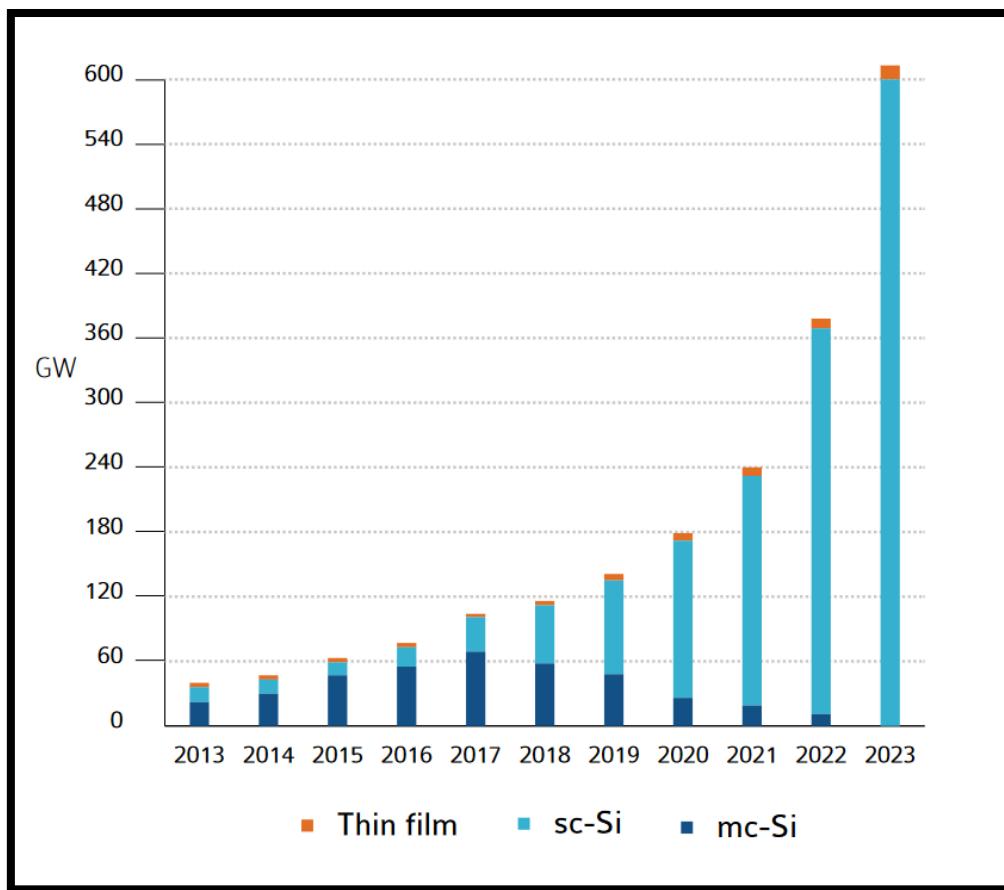


Figure I- 2 Production mondiale des cellules photovoltaïques selon les technologies de 2013-2023 [4]

La filière silicium domine largement le marché des modules photovoltaïques, représentant environ 99 % de la production mondiale. Le silicium est un matériau très répandu sur Terre, stable, non toxique et bien adapté à un usage industriel. Actuellement, on distingue trois principaux types de cellules photovoltaïques [5] :

I.2.2.1 Les cellules polycristallines (multicristallin)

- Leur fabrication est plus simple et moins coûteuse que celle des cellules monocristallines.
- Elles présentent une grande durabilité, avec une durée de vie pouvant atteindre 30 ans.
- Leur rendement se situe entre 11 et 13 %, et peut aller jusqu'à 18 % en laboratoire.
- En revanche, elles nécessitent plus de surface pour produire une quantité d'énergie équivalente à celle des monocristallines.

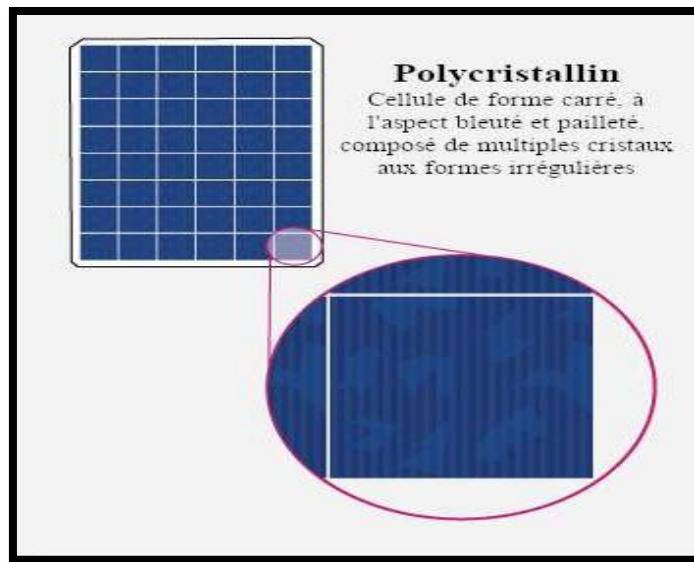


Figure I- 3 Cellule polycristalline(multicristallin)

I.2.2.2 Les cellules monocristallines

- Il s'agit des cellules solaires de première génération.
- Elles offrent un rendement élevé, pouvant atteindre 25 %.
- Leur coût est relativement élevé, en raison d'un procédé de fabrication plus complexe.
- La production de cristaux de silicium pur requiert une quantité importante d'énergie.

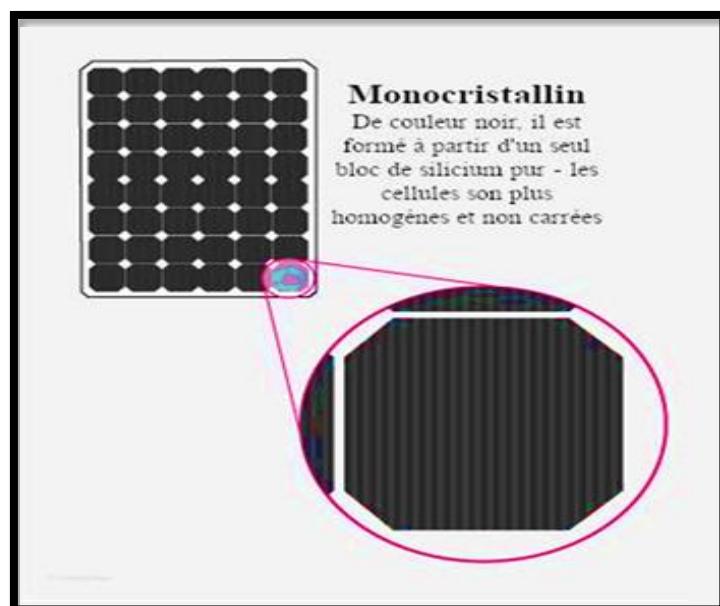


Figure I- 4 Cellule monocristalline

I.2.2.3 Les cellules amorphes (ou couches minces)

- Elles sont capables de mieux capter la lumière même en conditions de faible luminosité ou sous éclairage artificiel.
- Leur coût est généralement plus abordable.
- Le processus de fabrication reste complexe, bien qu'il diffère des deux précédents types.
- Leur rendement reste limité en plein soleil, ce qui les rend moins efficaces pour les grandes installations en extérieur.



Figure I- 5 Cellule amorphe (ou couche mince)

I.2.3 Comparaison des caractéristiques et rendement des types de cellule PV

Afin de mieux comprendre les différences entre les principales technologies de cellules photovoltaïques, le tableau suivant présente une comparaison claire entre les cellules. Ce comparatif met en évidence leurs caractéristiques techniques, leurs rendements, leurs coûts et leurs domaines d'application : [6]

Tableau I- 1 Récapitulatif de la comparaison des types de cellules photovoltaïques

Type de cellule	Rendement moyen*	Commercialisation	Durée de vie	Support	Usage
Silicium monocristallin	Entre 16% et 24%.	Oui.	Plus de 25 ans.	Rigide.	Projets résidentiels : toiture, sol.
Silicium polycristallin	Entre 14% et 18%.	Oui.	Plus de 25 ans.	Rigide.	Grands projets : toiture, sol.

Silicium amorphe en couche mince	Entre 4% et 10%.	Oui.	Une dizaine d'années.	Flexible.	Calculatrices et dispositifs portables.
Pérovskite	Entre 25% et 30%.	Non, en cours de recherche.	Moins de 10 ans.	Rigide ou flexible.	Projets résidentiels : toiture, sol, surfaces vitrées et courbées.
Organiques	Entre 8% et 12%.	Non, en cours de recherche.	Moins de 10 ans.	Flexible.	Projets résidentiels : toiture, sol, surfaces vitrées et courbées.
Tandem	Environ 30%.	Non, en cours de recherche.	Plus de 25 ans (en test).	Rigide ou flexible.	Projets résidentiels : toiture, sol, surfaces vitrées et courbées.

I.3 Système Photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques jouent un rôle essentiel dans la transition énergétique en offrant une solution fiable et propre pour produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire. Leur principal atout réside dans leur capacité à fournir de l'énergie de manière autonome, ce qui les rend particulièrement utiles dans les zones isolées ou mal desservies par les réseaux électriques traditionnels. Dès les années 1950, ces systèmes ont été utilisés pour alimenter les satellites, avant d'être déployés au sol dans des régions reculées. Bien que les premières installations ne produisaient que de très faibles puissances, elles ont permis de répondre à des

besoins spécifiques comme l'alimentation de balises ou d'équipements de télécommunication [2].

Un système photovoltaïque complet se compose de plusieurs éléments. Le cœur du dispositif est le champ de modules solaires, chargé de capter la lumière du Soleil et de la convertir en électricité. Autour de ce champ s'articulent divers composants appelés « Balance of System » (BOS), qui assurent le bon fonctionnement de l'ensemble : câblage, structure de montage, batteries de stockage (si présentes), régulateur de charge et onduleur. Ce dernier est essentiel pour adapter l'électricité produite (en courant continu) aux appareils fonctionnant en courant alternatif.

Il existe plusieurs configurations possibles pour un système photovoltaïque, notamment les systèmes à connexion directe au réseau, où l'électricité est injectée dans le réseau public via un onduleur, et les systèmes à bus continu intermédiaire, qui utilisent une architecture plus complexe pour optimiser la qualité de l'énergie produite [2]

I.3.1 Systèmes Photovoltaïques Autonomes

Les systèmes photovoltaïques autonomes ont pour rôle d'alimenter un ou plusieurs appareils électriques situés dans des zones isolées, non raccordées au réseau électrique. Comme le montre la Figure, un système autonome s'accompagne généralement d'un dispositif de stockage d'énergie. Ce stockage permet de garantir une alimentation électrique continue, même en l'absence de soleil pendant plusieurs jours, en compensant l'intermittence de la production solaire. [7]

Cependant, ce système de stockage représente une part importante du coût total de l'installation, et son fonctionnement impose des contraintes techniques élevées. Pour améliorer la durée de vie de ces systèmes et réduire leurs coûts d'exploitation, des stratégies de gestion de l'énergie ont été mises au point. La gestion intelligente de l'énergie dans les systèmes photovoltaïques autonomes reste d'ailleurs un sujet de recherche très actif dans le domaine du solaire, comme en témoignent plusieurs études récentes [7].

I.3.1.2 Système Photovoltaïque à couplage directe

Un système photovoltaïque à couplage direct est un système simple dans lequel l'énergie produite par les panneaux solaires est transmise directement aux charges à alimenter, sans passer par un dispositif de stockage. Les appareils peuvent être raccordés directement au

générateur photovoltaïque ou, si besoin, via un convertisseur continu–continu permettant d'adapter l'impédance entre la source et la charge. Ce type de configuration fonctionne uniquement lorsque la production solaire est suffisante, car il n'y a ni régulation, ni réserve d'énergie. Le système est généralement utilisé pour alimenter des charges en courant continu ou alternatif, selon leur nature, mais il reste entièrement dépendant de l'ensoleillement à l'instant donné.

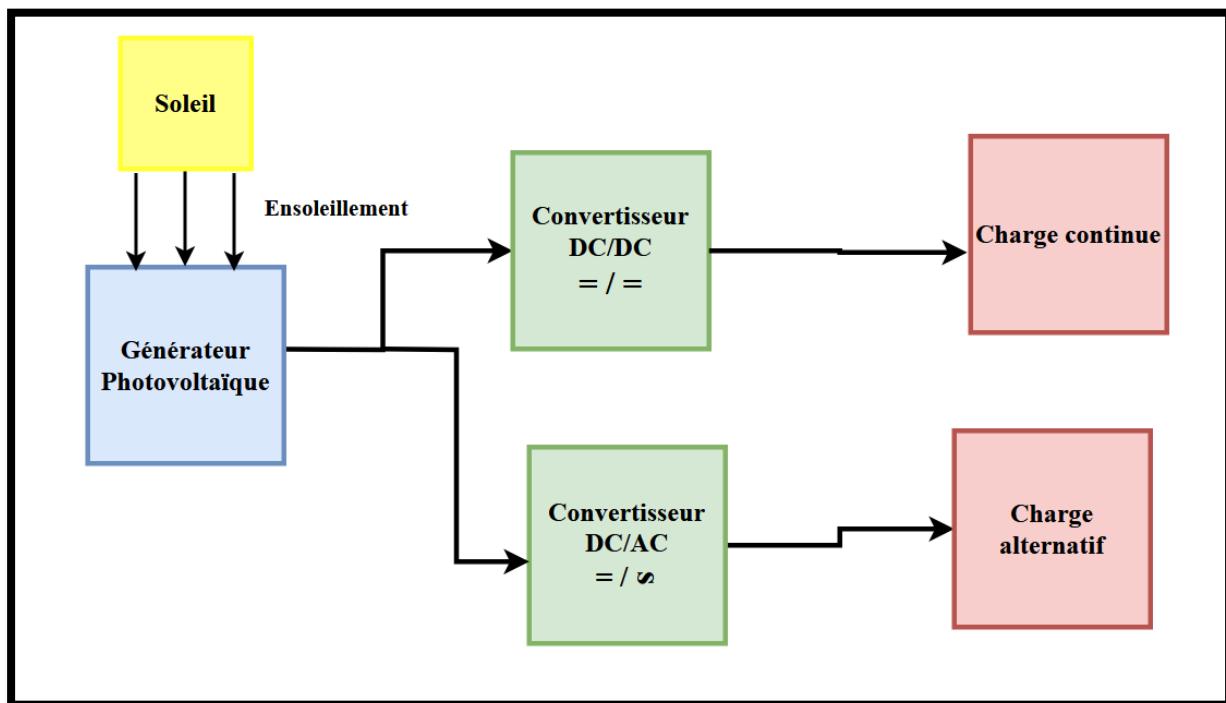


Figure I- 6 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque à couplage direct

I.3.1.3 Système Photovoltaïque autonome avec système de stockage

Un système photovoltaïque autonome avec stockage est conçu pour fonctionner de manière indépendante du réseau électrique. Il permet de produire, stocker et utiliser l'électricité de façon continue, même en l'absence d'ensoleillement. Contrairement aux systèmes à couplage direct, ce type de configuration intègre un dispositif de stockage, généralement des batteries, afin de garantir une alimentation électrique fiable à tout moment.

Un tel système est composé de plusieurs éléments essentiels : [8]

- Un générateur photovoltaïque, constitué de panneaux solaires, qui capte l'énergie du soleil et la convertit en électricité.

- Un moyen de stockage (électrochimique comme les batteries ou électrique comme les supercondensateurs), qui permet de conserver l'énergie pour une utilisation différée.
- Un convertisseur continu-continu (DC/DC), qui assure l'adaptation de la tension, l'alimentation du bus continu, et le suivi du point de puissance maximum (MPPT).
- Un convertisseur continu-alternatif (DC/AC), utilisé pour alimenter les charges fonctionnant en courant alternatif.
- Éventuellement, un transformateur, pour éléver la tension dans le cadre de la conversion DC/AC.
- Et un module de contrôle, qui gère la charge des batteries, surveille l'état du système et collecte les données nécessaires au bon fonctionnement.

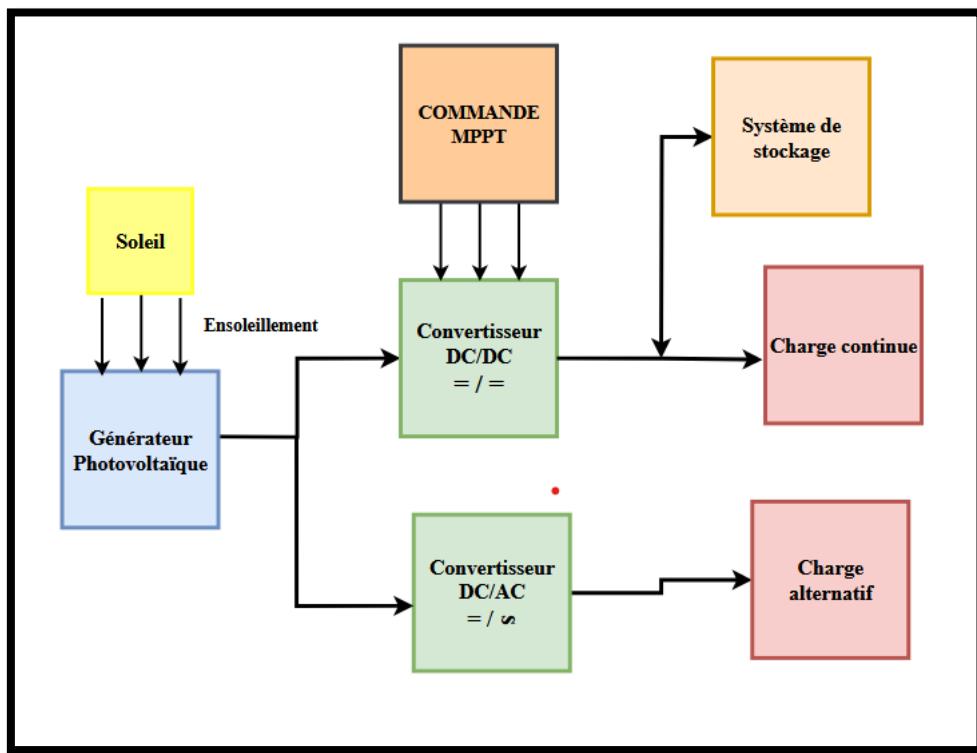


Figure I- 7 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec stockage

Ce type de système est particulièrement adapté aux zones isolées ou aux sites sans accès au réseau, offrant une autonomie énergétique complète grâce à une gestion efficace de la production et du stockage.

I.3.2 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Un système photovoltaïque connecté au réseau est une installation dans laquelle l'électricité produite par les panneaux solaires est directement injectée dans le réseau électrique public. Contrairement aux systèmes autonomes, ce type de système ne nécessite pas de dispositif de stockage, car l'énergie excédentaire peut être envoyée vers le réseau, et l'utilisateur peut consommer l'électricité du réseau lorsque la production solaire est insuffisante.

Ce type de système comprend généralement :

- Un générateur photovoltaïque (panneaux solaires),
- Un onduleur qui convertit le courant continu (DC) produit par les panneaux en courant alternatif (CA) compatible avec le réseau,
- Un système de surveillance pour suivre la production et détecter les anomalies,
- Un compteur bidirectionnel, qui mesure à la fois l'énergie injectée dans le réseau et celle consommée.

Ces systèmes sont largement utilisés dans les zones résidentielles, commerciales ou industrielles pour réduire la facture d'électricité, valoriser l'énergie verte, ou même vendre l'énergie produite.

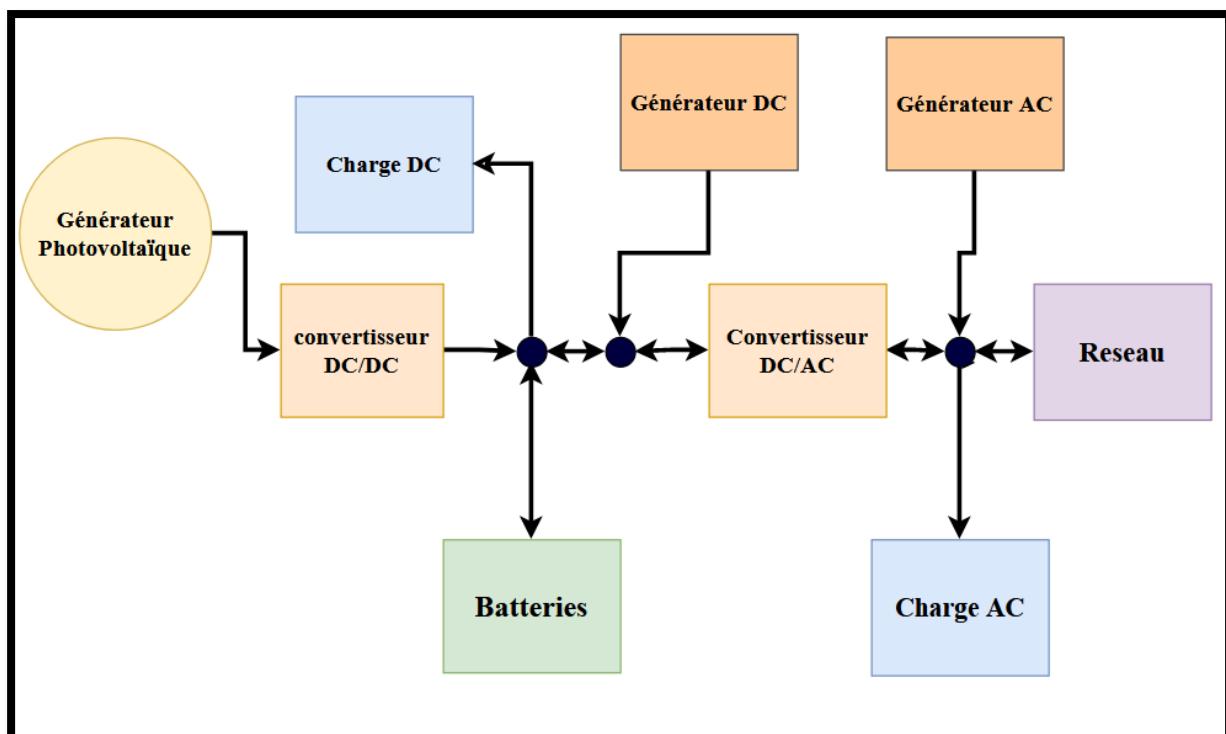


Figure I- 8 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque connectés au réseau

Il existe principalement deux structures de systèmes photovoltaïques raccordés au réseau :

- La connexion directe au réseau : dans cette configuration, le générateur photovoltaïque est directement relié à un onduleur, qui convertit le courant continu produit par les panneaux en courant alternatif compatible avec le réseau. Ce système est simple et largement utilisé.
- Le système à bus continu intermédiaire : ici, le générateur photovoltaïque est d'abord connecté à un bus continu via un convertisseur continu–continu (DC/DC). Ce convertisseur permet d'adapter la tension et d'optimiser la production. Ensuite, un onduleur transforme cette tension en courant alternatif modulé. Ce courant est filtré afin de réduire le taux d'harmoniques (THD) et d'obtenir une tension sinusoïdale stable, généralement de 230 V, conforme aux exigences du réseau. Plusieurs architectures sont possibles pour assurer cette conversion avec efficacité.

Ces deux approches permettent d'intégrer efficacement l'énergie solaire dans les réseaux électriques, tout en garantissant une qualité de tension conforme aux normes.

I.3.2.1 Systèmes PV connecté directement au réseau

a) Structure à convertisseur unique

Le dispositif illustré à la figure (I-9) représente l'architecture la plus simple d'un système photovoltaïque connecté au réseau, car il utilise un nombre réduit de composants.

Dans cette configuration, plusieurs modules photovoltaïques sont raccordés en série afin d'atteindre une tension continue suffisamment élevée. Cette méthode permet de se passer d'un convertisseur élévateur (type hacheur). La tension continue ainsi obtenue alimente directement un onduleur central, chargé de produire une tension sinusoïdale de 230 V, adaptée à l'injection dans le réseau. Pour des raisons de sécurité et d'isolation, il peut être judicieux d'ajouter un transformateur entre le système photovoltaïque et le réseau électrique [9].

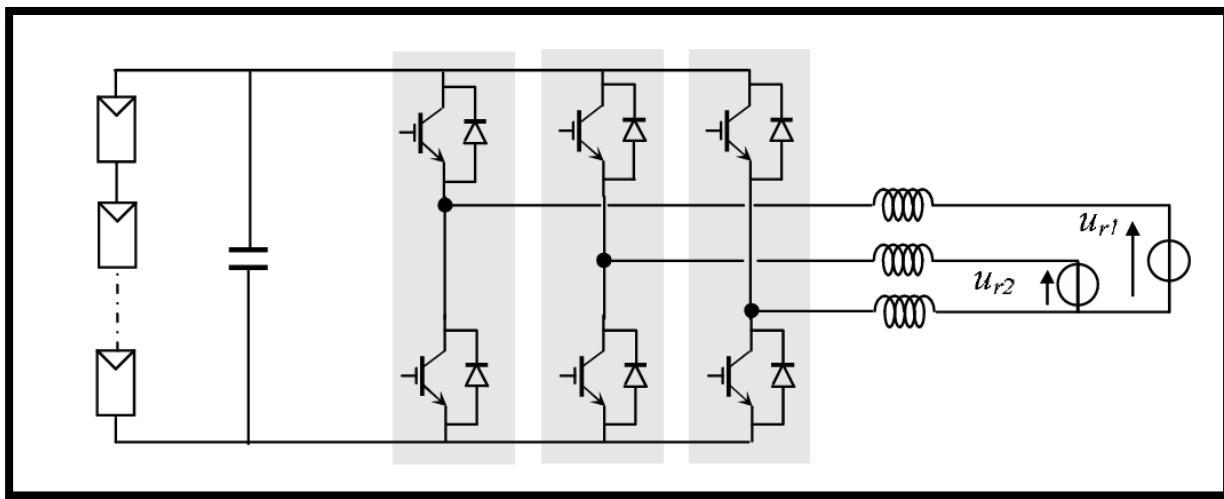


Figure I- 9 Plusieurs modules PV en série à un seul onduleur [9]

Cependant, ce type de dispositif présente certains inconvénients. En cas de défaillance en amont de l'onduleur, l'ensemble du système cesse immédiatement de produire de l'énergie. De plus, le suivi du point de puissance maximale (MPPT) est moins efficace, car les cellules photovoltaïques ne produisent pas toutes le même courant. Cela s'explique par des différences dans leur structure interne ou dans l'ensoleillement reçu, ce qui réduit le rendement global du système.

b) Structure avec bus à basse tension alternatif

La figure (I.1a) illustre une architecture dans laquelle chaque module photovoltaïque est directement relié à un onduleur équipé de son propre circuit de commande. La tension continue produite par le module est convertie en une tension alternative de 50 Hz. Cette tension est ensuite véhiculée via un bus alternatif (par exemple 220 V – 50 Hz) jusqu'à un transformateur central, chargé d'élever la tension à un niveau adapté à l'injection dans le réseau [2].

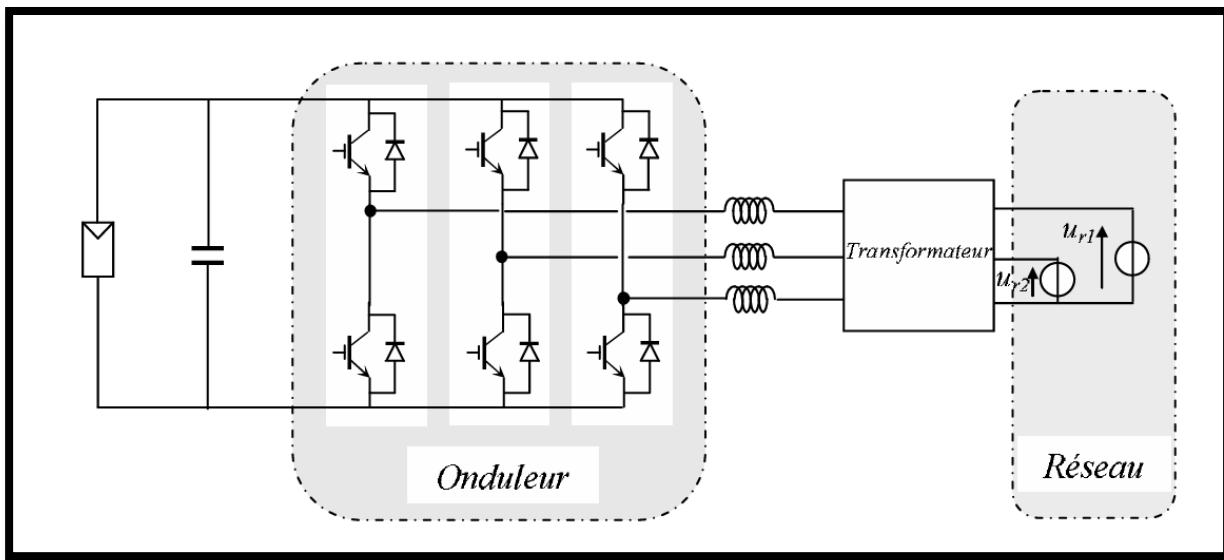


Figure I- 10 Bus à basse tension alternative [9]

L'un des principaux avantages de cette configuration réside dans le faible niveau de tension sur le bus alternatif, ce qui améliore la sécurité pour le personnel intervenant. Toutefois, cette architecture impose que la distance entre les modules photovoltaïques et le transformateur reste limitée, car les courants élevés entraînent des pertes par effet Joule dans les câbles. Il est donc nécessaire de trouver un compromis sur le niveau de tension du bus alternatif, en tenant compte à la fois de la sécurité et du rendement du système [2].

I.3.2.2 Système à bus continu intermédiaire

a) Structure avec convertisseur forward

La figure (I.11) illustre une configuration utilisant un convertisseur de type *forward*, capable d'élever la tension issue du module photovoltaïque jusqu'à environ 350 V, correspondant au niveau requis. Grâce à cette tension suffisamment élevée, l'utilisation d'un transformateur pour le couplage au réseau devient inutile. La conversion de la tension continue en tension alternative peut alors être réalisée de manière relativement simple via un onduleur centralisé.

Cependant, cette architecture présente plusieurs inconvénients notables : [2]

- Une capacité de filtrage importante est nécessaire pour compenser les ondulations du courant en sortie du module photovoltaïque.

- Le bus continu transporte un signal en forme de créneaux, ce qui génère des émissions électromagnétiques importantes et peut entraîner des pertes dues aux fuites magnétiques, notamment dans le transformateur intégré au convertisseur.
- Enfin, la tension élevée circulant dans le bus continu constitue un risque pour la sécurité des techniciens lors des opérations de maintenance.

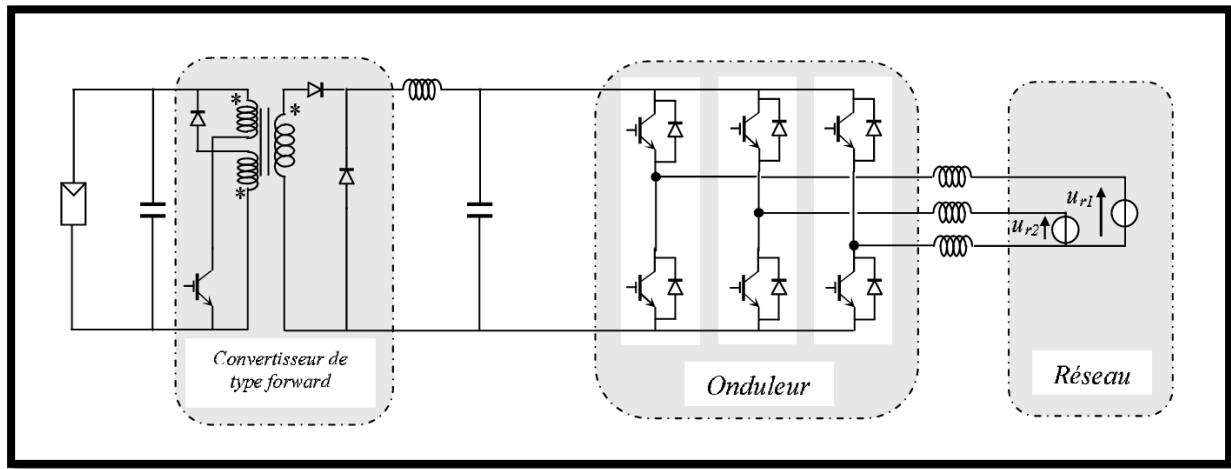


Figure I- 11 Convertisseur de type forward alimentant le bus continu [2]

b) Structure avec hacheur et onduleur :

La figure (I.12) illustre une architecture intégrant un hacheur élévateur qui permet d'augmenter la tension fournie par le module photovoltaïque jusqu'à environ 100 V sur le bus continu. Toutefois, ce type de hacheur présente des limites : en pratique, il ne permet généralement pas de multiplier la tension en sortie des modules par plus de 4 à 5 fois, en raison notamment des pertes causées par la résistance de l'inductance [9].

Pour obtenir une tension alternative sinusoïdale adaptée au réseau, un onduleur est ajouté en aval, suivi d'un transformateur. Ce dernier permet non seulement d'élever la tension au niveau requis, mais aussi d'assurer l'isolation entre la zone de production et celle de consommation.

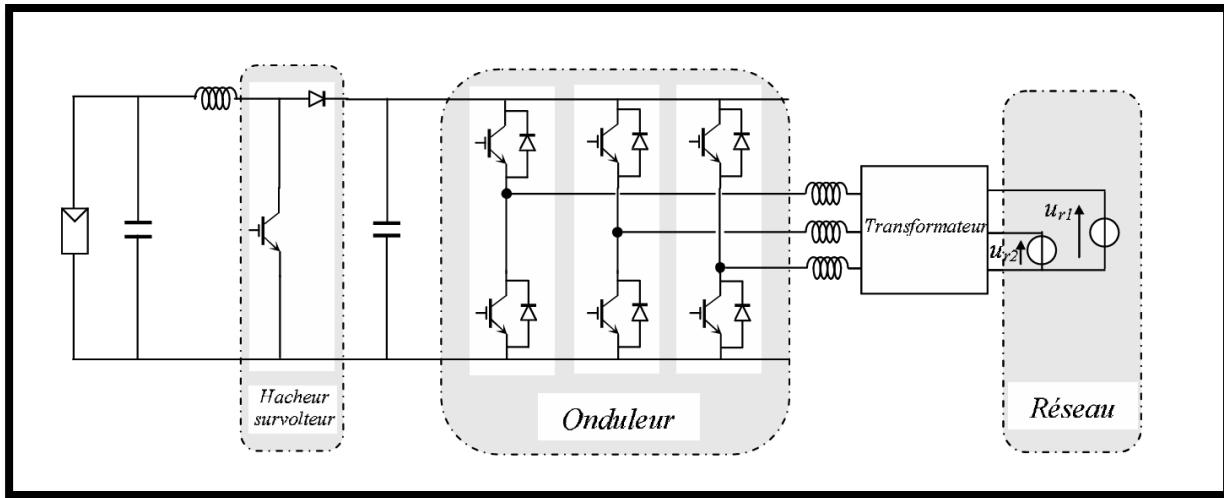


Figure I- 12 Hacheur élévateur de tension avec onduleur centralisé [2]

Un avantage notable de cette configuration est la possibilité d'intégrer facilement des batteries sur le bus continu, ce qui permet de constituer un système autonome. De plus, le courant en entrée est relativement stable, ce qui réduit le besoin en capacité de filtrage [9].

c) Structure avec convertisseur de type fly-back:

La figure (I.13) illustre une configuration reposant sur un convertisseur de type fly-back, utilisé pour éléver la tension en sortie du module photovoltaïque jusqu'au niveau requis. La particularité de ce type de convertisseur réside dans l'utilisation d'un transformateur qui joue à la fois le rôle d'inductance principale et assure l'isolation galvanique entre les étages. Le fonctionnement du hacheur est piloté de manière à extraire le maximum d'énergie du générateur photovoltaïque, tandis que l'onduleur stabilise la tension de sortie et permet le transfert de puissance vers le réseau. Toutefois, l'usage du transformateur entraîne des pertes énergétiques supplémentaires et engendre un surcoût au niveau de l'installation [2].

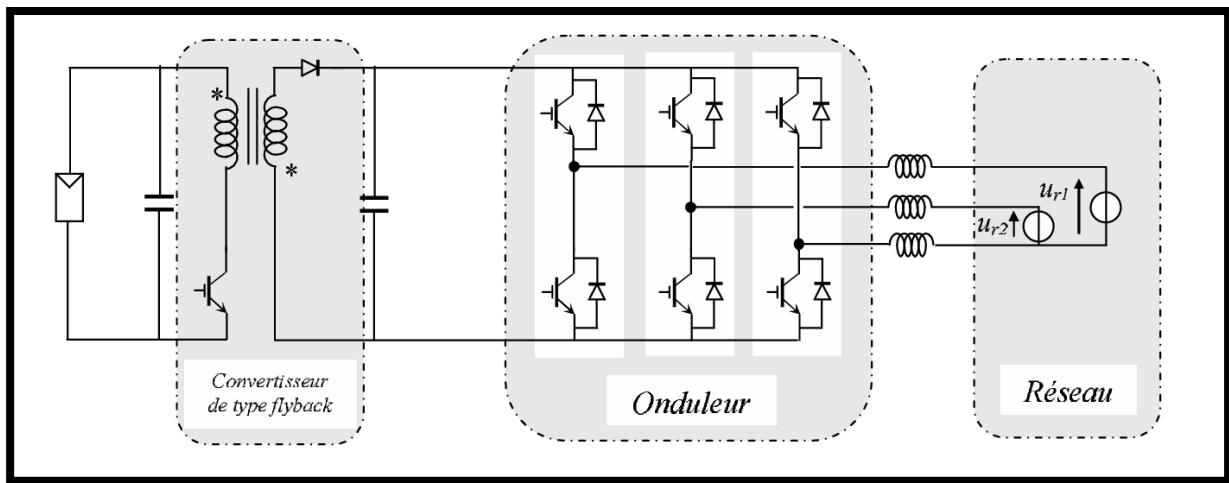


Figure I- 13 Structure avec convertisseur de type fly-back [9]

I.4 Applications des systèmes photovoltaïques [10]

L'énergie photovoltaïque permet d'alimenter en électricité des appareils de manière autonome, sans raccordement au réseau. Elle couvre une large plage de puissances, allant du microwatt (μW) au mégawatt (MW), ce qui la rend adaptée à de nombreuses applications, tant domestiques que professionnelles

I.4.1 Produits grand public utilisés en intérieur

De nombreux appareils à faible consommation électrique, souvent exposés à la lumière, peuvent fonctionner grâce à des capteurs solaires. Exemples : Calcullettes, montres, jouets, Lampes de poche, balances, pèse-personnes, Radios portables, animations publicitaires en vitrine, etc.

Avantages de cette alimentation solaire :

- Fonctionnement sans fil ni branchement électrique,
- Économie sur les piles et suppression de leur remplacement,
- Réduction des coûts de fabrication (pas de logement pile).

I.4.2 Produits grand public à usage extérieur

Les dispositifs à consommation modérée ou intermittente, placés à l'extérieur, peuvent être rendu totalement autonomes grâce à des panneaux solaires. Exemples : Éclairage de jardin, fontaines, portails motorisés, etc.

I.4.3 Habitat isolé

L'électricité solaire est particulièrement adaptée aux logements non raccordés au réseau. Elle n'est pas encore compétitive en zone urbaine, mais elle s'impose dans certaines situations spécifiques :

Cas d'usage pertinents :

- Sites éloignés ou difficiles d'accès (zones rurales, montagneuses, îles),
- Besoins énergétiques limités : éclairage, réfrigérateur, pompe à eau, petit électroménager (hors chauffage),
- Utilisation ponctuelle : maisons de week-end, refuges,
- Complémentarité avec un groupe électrogène,
- Alimentation d'équipements extérieurs (portails, pompes, etc.).

I.4.4 Raccordement au réseau

Le raccordement d'une installation photovoltaïque au réseau électrique s'effectue via un convertisseur DC/AC, sans batteries. Cela permet :

- D'utiliser l'énergie solaire produite localement,
- De revendre l'excédent à la compagnie nationale (ex. SONELGAZ).
- Cependant, cette solution reste économiquement peu rentable aujourd'hui, en raison du coût initial élevé.

I.4.5 Équipements professionnels

Dans ce domaine, l'énergie solaire est surtout choisie pour sa fiabilité et sa facilité de maintenance, en particulier dans des environnements éloignés ou difficiles d'accès.

Domaines concernés :

- Télécommunications, signalisation routière, sécurité,
- Stations météorologiques, télémesure, gestion des eaux,
- Surveillance, mobilier urbain, information publique,
- Agriculture : serres, irrigation, pompes, etc.

I.4.6 Centrales solaires

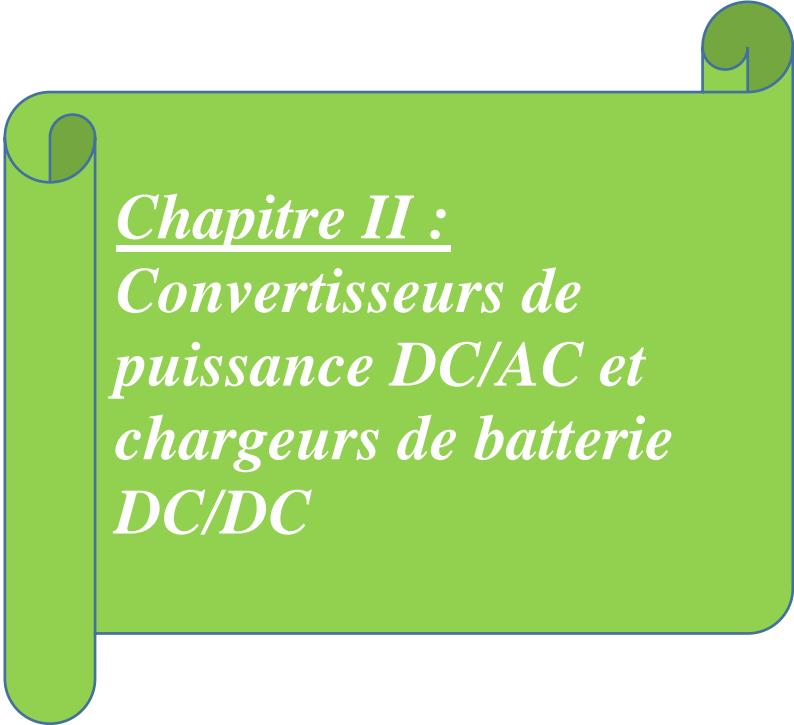
Des centrales photovoltaïques de grande puissance (plusieurs MW) sont construites dans des régions : Ensoleillées, Où de vastes terrains sont disponibles Et où la demande en électricité

est forte en journée (ex. climatisation aux États-Unis). Elles s'intègrent dans une logique de diversification énergétique, à l'image des centrales électriques conventionnelles.

I.5 Conclusion

L'énergie photovoltaïque constitue aujourd'hui une solution durable et prometteuse pour répondre aux besoins énergétiques tout en respectant les exigences environnementales. Ce chapitre a permis d'explorer les principes de base de la conversion photovoltaïque, les différentes technologies de modules solaires, ainsi que les types de systèmes, qu'ils soient autonomes ou raccordés au réseau. Toutefois, pour valoriser efficacement l'électricité produite – de nature continue (DC) et variable – il est essentiel de faire appel à des dispositifs électroniques capables d'assurer son adaptation, son stockage ou son injection dans un réseau alternatif.

Ainsi, dans le chapitre suivant, on va entamer l'étude des convertisseurs statiques, en particulier les convertisseurs DC/AC (onduleurs) utilisés pour alimenter des charges en courant alternatif, et les convertisseurs DC/DC, indispensables pour la gestion du stockage d'énergie via des batteries. Cette transition vers l'électronique de puissance appliquée permettra de mieux comprendre l'interface entre la source photovoltaïque et les éléments de consommation ou de stockage, et d'optimiser le rendement global du système.



Chapitre II :
*Convertisseurs de
puissance DC/AC et
chargeurs de batterie
DC/DC*

II.1 Introduction

La gestion de l'énergie dans les systèmes photovoltaïques et dans de nombreuses applications électroniques nécessite l'utilisation de convertisseurs de puissance capables d'adapter les niveaux de tension et de courant selon les besoins. Ce chapitre est consacré à l'étude des technologies de conversion de puissance, avec un focus particulier sur les convertisseurs DC-DC et AC-DC. Nous commençons par les hacheurs DC-DC, notamment les topologies Buck (abaisseur), Boost (élévateur) et Buck-Boost, en détaillant leur principe de fonctionnement et leurs avantages. Ensuite, nous abordons les convertisseurs AC-DC, en présentant les structures des onduleurs monophasés à pont H et à demi-pont, utilisés notamment pour l'alimentation de charges en courant alternatif à partir d'une source continue. Ces dispositifs jouent un rôle essentiel dans l'efficacité et la fiabilité des systèmes modernes de conversion et de stockage de l'énergie.

II.2 Technologies de conversion de puissance

Un convertisseur de puissance est un circuit électrique destiné à transformer l'énergie électrique d'une forme à une autre, de manière optimisée pour une charge spécifique. Il fonctionne généralement par commutation à haute fréquence, en utilisant des dispositifs semi-conducteurs tels que des transistors, thyristors ou diodes, qui agissent comme des interrupteurs (ouverts ou fermés). Ces composants sont souvent associés à des éléments réactifs comme des inductances et condensateurs, permettant d'atteindre un rendement de conversion très élevé, pouvant approcher les 100 % [11] [12].

Les convertisseurs statiques jouent ainsi un rôle essentiel dans le contrôle et la conversion de l'énergie électrique. Leur fonction principale est d'assurer une adaptation efficace entre la source et le récepteur, en modifiant les caractéristiques de la tension ou du courant. Un convertisseur peut, par exemple, augmenter ou diminuer l'amplitude de la tension d'entrée, inverser la polarité, ou encore produire plusieurs tensions de sortie (de même polarité, de polarité opposée ou mixtes) à partir d'une seule source [12] [11].

Dans le domaine de l'électronique de puissance, on distingue généralement quatre grandes fonctions de conversion réalisées par ces convertisseurs :

- Conversion continu-continu (DC-DC),
- Conversion alternatif-continu (AC-DC, ou redressement),

- Conversion continu–alternatif (DC–AC, ou onduleur),
- Conversion alternatif–alternatif (AC–AC, ou gradateur/convertisseur de fréquence).

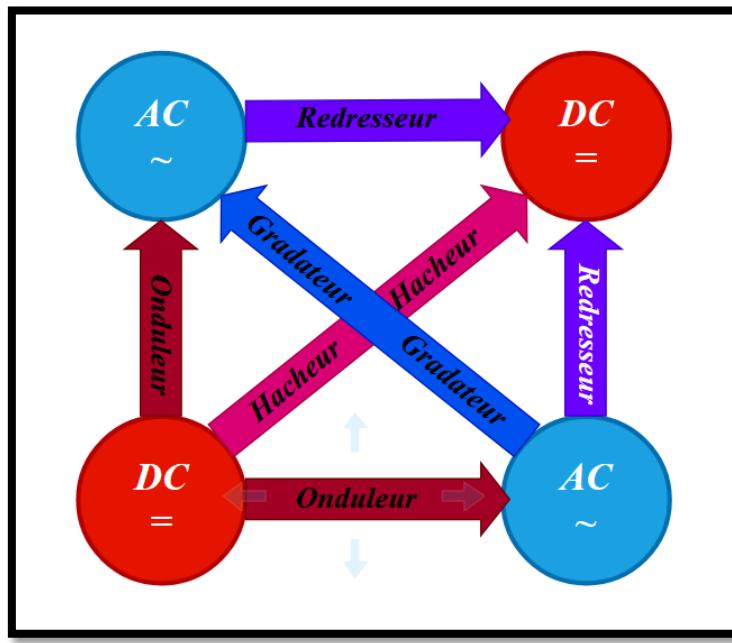


Figure II- 1 Divers types de convertisseurs statiques en électronique de puissance.

La notion de réversibilité est fondamentale en électronique de puissance. Un convertisseur statique d'énergie est qualifié de réversible lorsqu'il permet le transfert d'énergie dans les deux sens : de la source vers la charge ou de la charge vers la source. Cette réversibilité peut être soit naturelle, soit commandée, selon la structure et le principe de fonctionnement du convertisseur. Certains convertisseurs sont naturellement réversibles, comme les onduleurs, tandis que d'autres, tels que les redresseurs à diodes, sont naturellement non réversibles, en raison de leur conception unidirectionnelle [12].

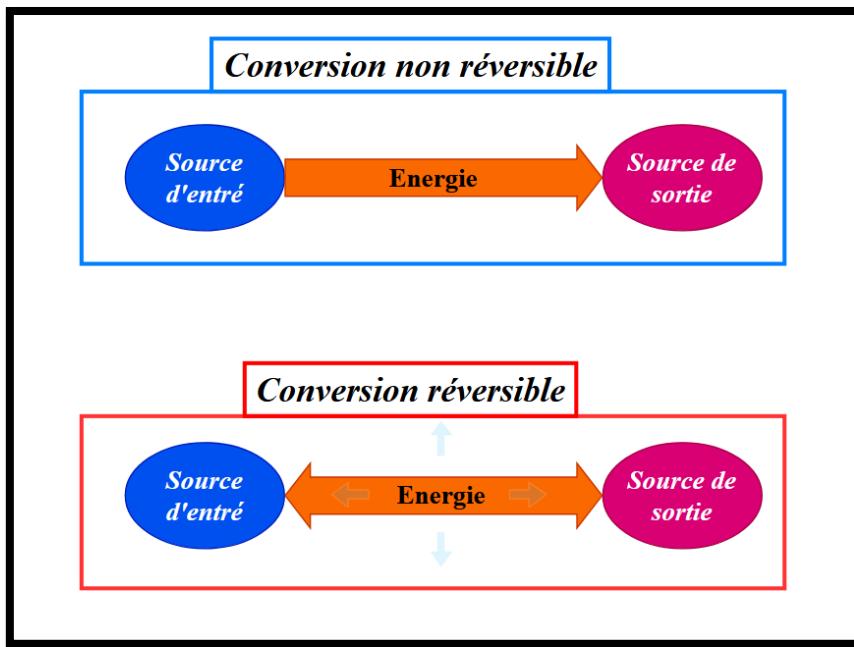


Figure II- 2 Réversibilité et non réversibilité des convertisseurs statiques

II.2.1 Convertisseur de puissance DC-DC

Un hacheur est un convertisseur statique de type DC-DC qui transforme une tension continue d'entrée fixe en une tension continue de sortie réglable. Il permet ainsi d'augmenter ou de diminuer la tension selon les besoins de l'application [11].

Les hacheurs sont largement utilisés pour adapter les niveaux de tension dans les systèmes électroniques et assurer une meilleure efficacité énergétique, tout en répondant aux exigences spécifiques de la charge [12].

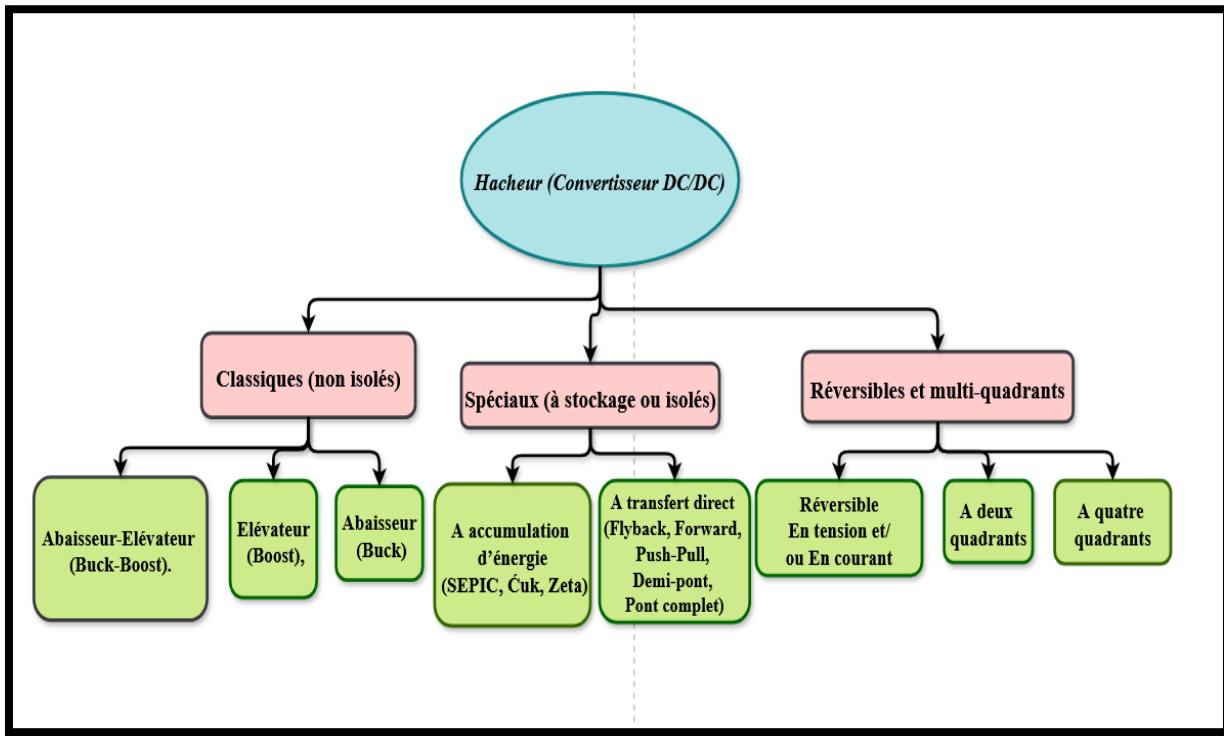


Figure II- 3 Différents types de convertisseurs DC/DC

Les hacheurs sont largement exploités dans de nombreux domaines d'application, notamment : [12]

- Contrôle de la vitesse des moteurs à courant continu (MCC) : Ils sont couramment utilisés dans les systèmes de traction moyenne, comme ceux des métros. Par exemple, la première génération de TGV (TGV Sud-Est) utilisait des ensembles hacheurs pour alimenter les moteurs à courant continu.
- Systèmes d'énergie renouvelable (solaire et éolienne) : Les hacheurs jouent un rôle essentiel en régulant une tension d'entrée fortement variable, ce qui les rend indispensables pour assurer la stabilité des systèmes fonctionnant à partir d'énergies renouvelables.
- Alimentation des moteurs pas à pas : Utilisés dans des applications nécessitant un positionnement précis, comme les imprimantes 3D ou les machines-outils à commande numérique, les hacheurs permettent d'alimenter efficacement ce type de moteurs.

II.2.1.1 Hacheur Buck (Abaisseur)

On l'appelle fréquemment dévolteur ou hacheur abaisseur de tension, car il permet de réduire de manière contrôlée la tension de sortie par rapport à celle d'entrée. Ce type d'hacheur est généralement composé d'un interrupteur de commande (tel qu'un transistor bipolaire, MOSFET ou IGBT) placé en série avec la source d'alimentation, ainsi que d'une diode de roue libre connectée en parallèle. Ces deux composants agissent comme des commutateurs fonctionnant de façon périodique pour réguler la tension délivrée à la charge. [13]

II.2.1.1.1 Principe de fonctionnement du hacheur Buck

Le circuit est donc alimenté par une source de tension V_E , la sortie est chargée par une résistance R , et débite un courant de sortie I_{ch} . Le fonctionnement du convertisseur dépend du régime de conduction du courant dans l'inductance L : on distingue un mode où le courant est continu (ne s'annule pas au cours du cycle) et un mode discontinu. [14]

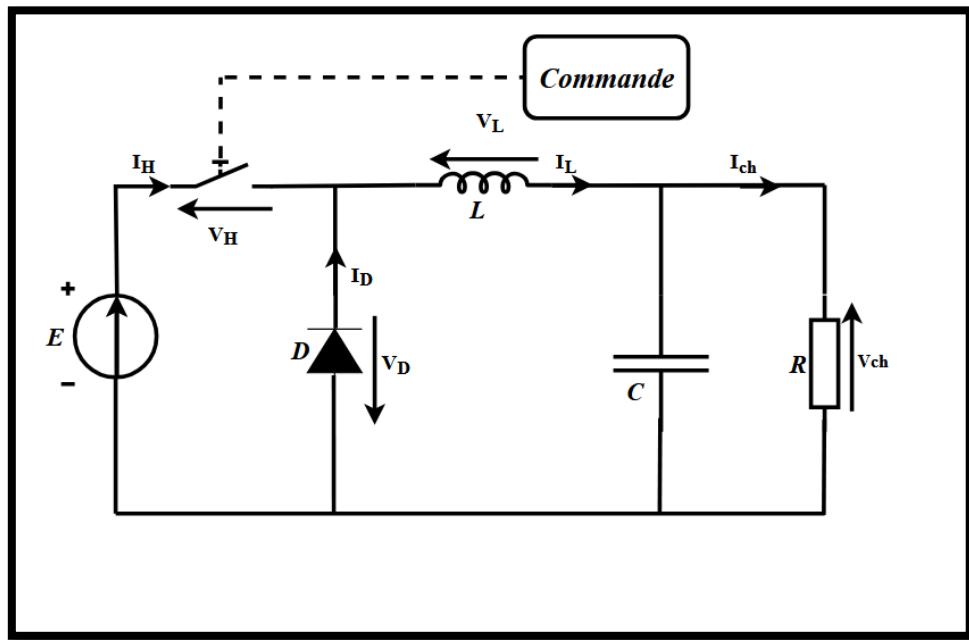


Figure II- 4 Schéma du Principe de fonctionnement du hacheur Buck

Le fonctionnement du convertisseur s'appuie sur un cycle de commutation d'une période T , divisé en deux phases distinctes : [15]

- Phase 1 (de 0 à αT) : L'interrupteur H, généralement un MOSFET de puissance, est fermé (conduct). La diode de roue libre D est alors bloquée (polarisée en inverse). Durant cette phase, la source de tension V_E alimente simultanément la charge R et l'inductance L, cette dernière stockant de l'énergie. Le rapport cyclique α (compris entre 0 et 1) détermine la durée de cette étape.
- Phase 2 (de αT à T) : L'interrupteur est ouvert. L'énergie accumulée dans l'inductance est restituée à la charge via la diode D, qui devient conductrice. Ce courant de roue libre assure la continuité du courant dans la charge pendant cette phase.

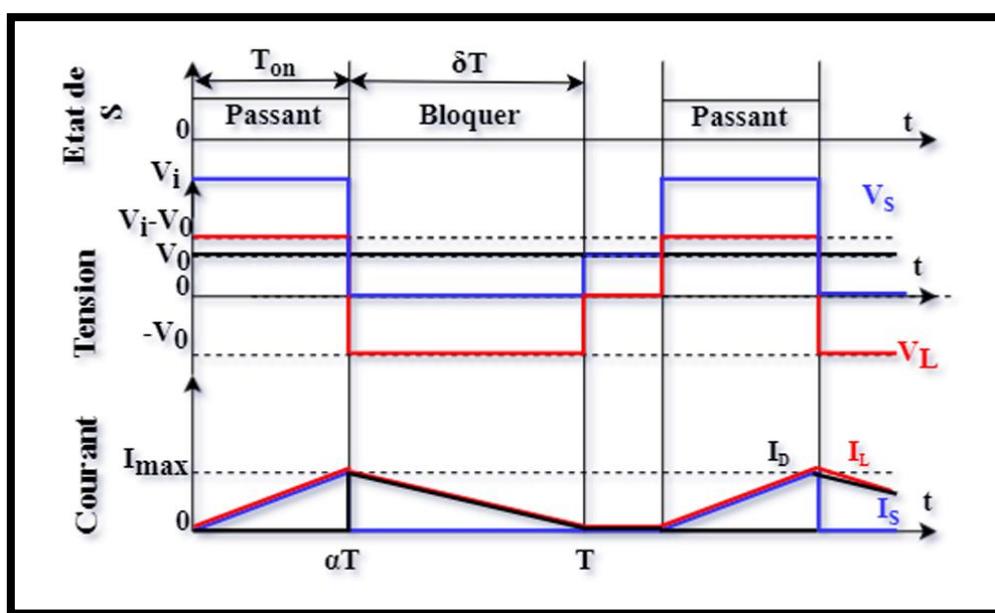


Figure II- 5 Les formes d'ondes courant /tension dans un convertisseur Buck

II.2.1.1.2 Avantages du hacheur Buck

Le hacheur Buck, en tant que convertisseur abaisseur de tension, présente plusieurs avantages notables qui expliquent sa large utilisation dans les applications d'électronique de puissance : [16]

- Haute efficacité énergétique : Rendement élevé, minimisant les pertes thermiques.
- Faible dissipation thermique : Génère moins de chaleur, réduisant le besoin de systèmes de refroidissement.

- Conception simple : Moins complexe que d'autres topologies, facilitant la conception et la maintenance.

II.2.1.2 Hacheur BOOST (Elévateur)

II.2.1.2.1 Principe de fonctionnement du hacheur BOOST

Le circuit est alimenté par une source de tension V_E , et sa sortie est chargée par une résistance R qui fournit un courant I_{ch} . L'interrupteur H, représenté ici par un MOSFET de puissance, est commandé périodiquement avec un rapport cyclique α à une fréquence $F = \frac{1}{T}$. Deux modes de fonctionnement peuvent être distingués selon que le courant dans l'inductance L reste continu (c'est-à-dire ne s'annule pas durant la période) ou devient discontinu. [14]

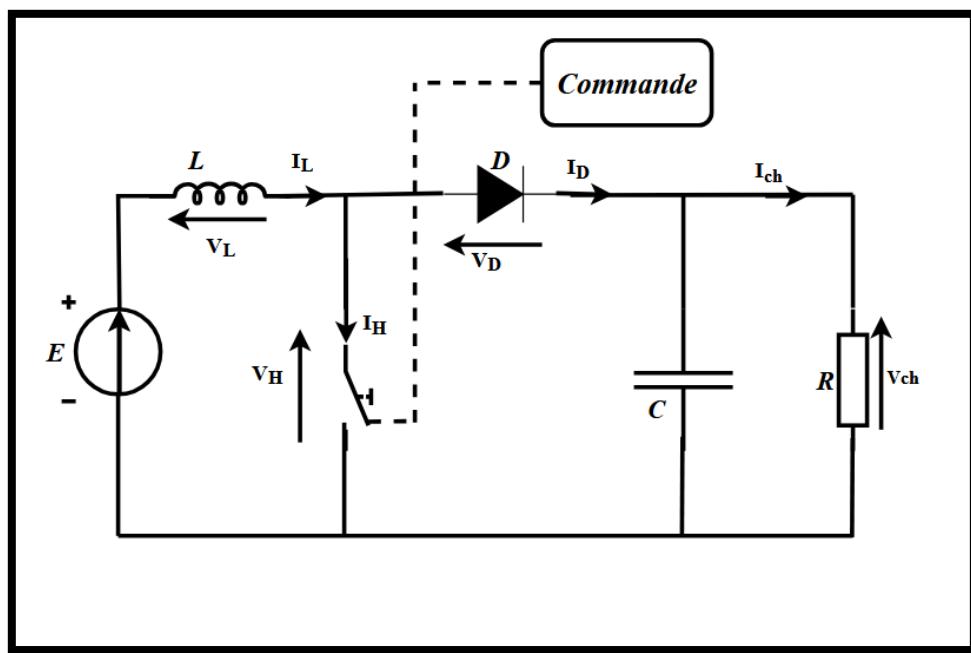


Figure II- 6 Schéma du Principe de fonctionnement Du hacheur BOOST

Le cycle de fonctionnement du convertisseur se décompose en deux phases complémentaires, chacune jouant un rôle essentiel dans la gestion de l'énergie. [15]

- Pendant la première phase, qui s'étend de 0 à αT , l'interrupteur commandé est fermé, ce qui maintient une tension nulle à ses bornes. Durant cette période, la source et la charge sont déconnectées, la diode reste bloquée, tandis que le courant dans l'inductance augmente de façon linéaire.

- Lors de la seconde phase, de αT à T , l'interrupteur s'ouvre, permettant à l'énergie accumulée dans l'inductance de circuler à travers la diode, qui devient alors conductrice.

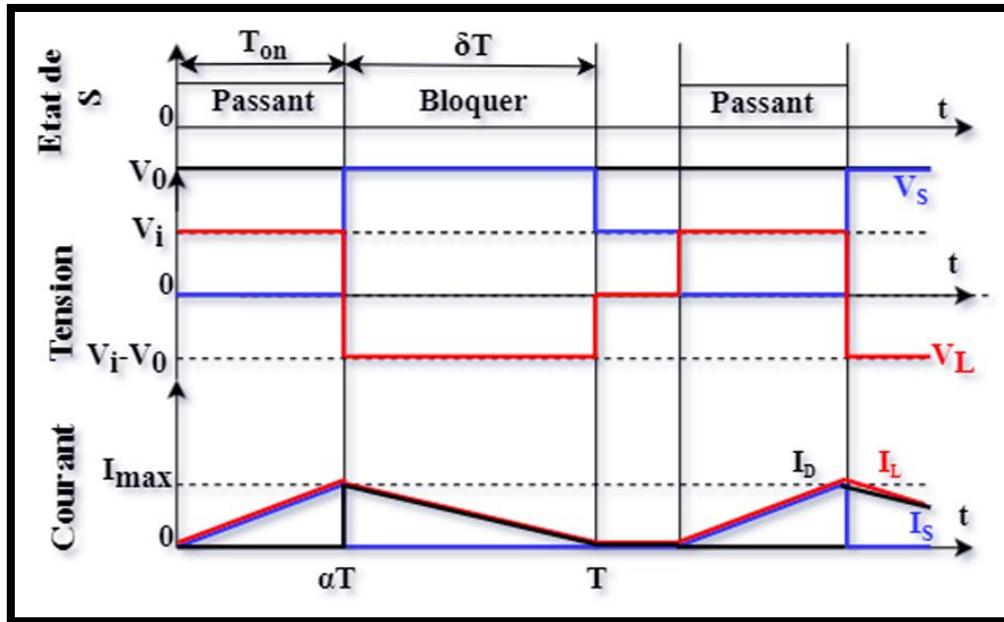


Figure II- 7 Les formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur BOOST

II.2.1.2.2 Avantages du hacheur BOOST

Ce type de convertisseur se distingue par plusieurs avantages essentiels qui contribuent à son efficacité et à sa popularité dans de nombreuses applications. Parmi ceux-ci, on peut citer notamment : [17]

- Bon rendement : Efficacité énergétique élevée, réduisant les pertes d'énergie.
- Taille et masse réduites : Conception compacte, facilitant l'intégration dans des systèmes restreints.
- Fonctionnement silencieux : Absence de composants mécaniques mobiles, réduisant le bruit opérationnel.

II.2.1.3 Hacheur Buck-BOOST

II.2.1.3.1 Principe de fonctionnement du hacheur Buck-BOOST

Le circuit est alimenté par une source de tension V_E , tandis que la sortie est reliée à une charge résistive R traversée par un courant I_s . L'interrupteur H, représenté ici par un MOSFET de puissance, est commandé de manière périodique selon un rapport cyclique α , à une

fréquence $F = \frac{1}{T}$. Le fonctionnement du convertisseur dépend du régime de courant dans l'inductance L, qui peut être soit continu (le courant ne s'annule jamais), soit discontinu. Ces deux modes, présentant chacun des particularités d'intérêt, seront étudiés de manière successive dans ce qui suit. [14]

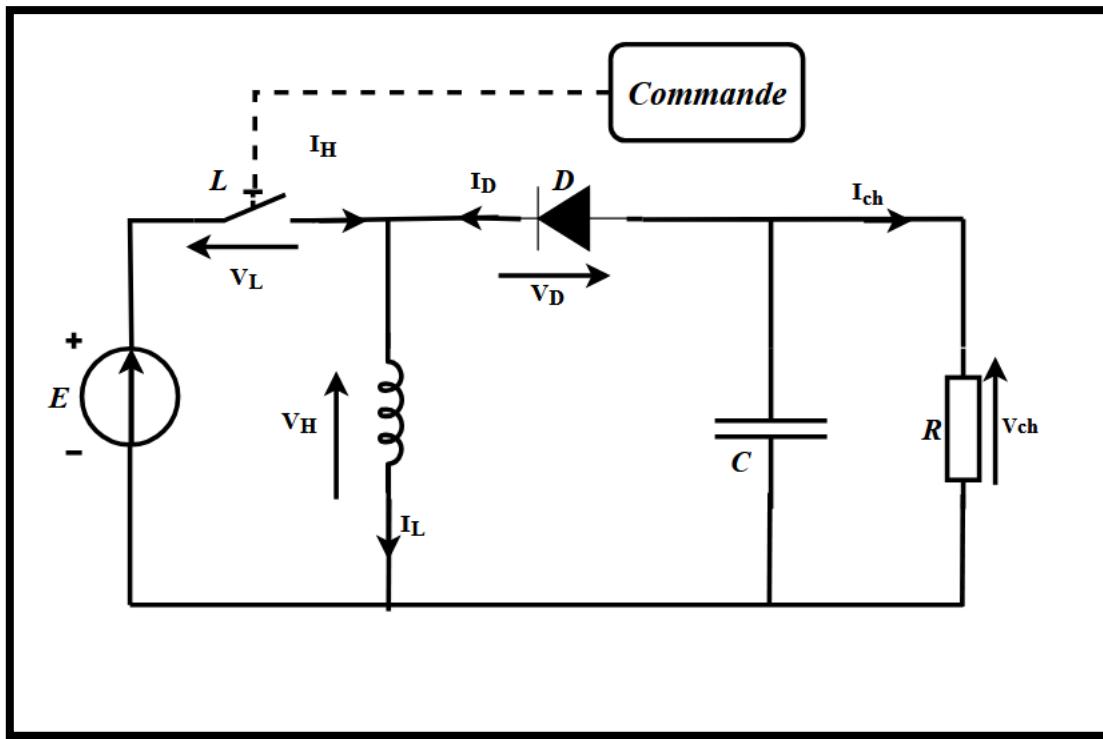


Figure II- 8 Schéma du Principe de fonctionnement du hacheur Buck-BOOST

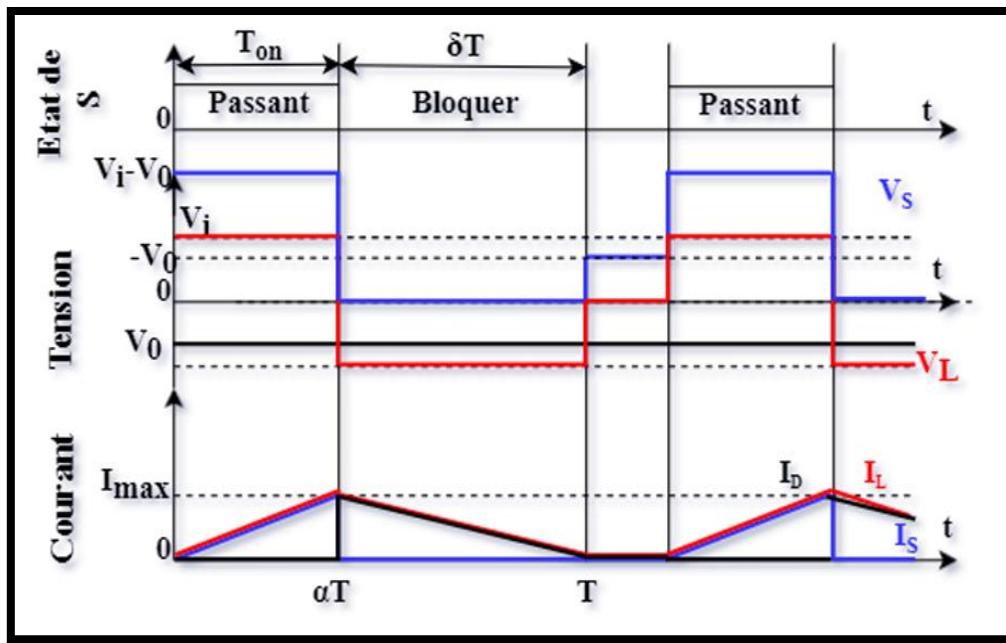


Figure II- 9 Les Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck-BOOST

Ce convertisseur statique permet de produire une tension continue variable, pouvant être soit supérieure, soit inférieure à la tension d'entrée, cette dernière restant constante : [15]

- Durant la première phase de conduction, comprise entre 0 et αT , l'interrupteur commandé est fermé, la diode est bloquée, et l'inductance emmagasine l'énergie fournie par la source.
- Lors de la seconde phase, entre αT et T , l'interrupteur s'ouvre, la diode devient conductrice, et l'énergie stockée dans l'inductance est transférée à la charge.

II.2.1.3.2 Avantages du hacheur Buck-BOOST

Le hacheur Buck-BOOST se distingue par sa capacité à assurer une conversion de puissance fiable et stable dans des conditions de fonctionnement variées. Grâce à sa structure polyvalente, il présente plusieurs avantages techniques qui en font une solution particulièrement adaptée aux applications nécessitant une large plage de tension d'entrée et une régulation efficace de la sortie. Parmi ses principaux atouts, on peut citer : [18]

- Flexibilité de tension : Capable de gérer des variations de tension d'entrée, fournissant une tension de sortie stable malgré les fluctuations.
- Conception compacte : Nécessite moins de composants externes, permettant une intégration dans des espaces restreints.

- Efficacité sur une large plage de tensions : Maintient une efficacité élevée sur une large gamme de tensions d'entrée et de sortie.

II.3 Convertisseur AC-DC

Un onduleur est un dispositif électronique qui permet de convertir une tension continue (DC) en une tension alternative (AC). Cette transformation s'effectue grâce à des composants de commutation à semi-conducteurs, commandés selon une séquence précise. L'onduleur permet ainsi de générer, aux bornes de la charge, une tension alternative dont la fréquence et l'amplitude peuvent être ajustées.

On distingue principalement deux types d'onduleurs, en fonction du niveau de puissance à fournir : [19]

- Onduleur monophasé : Ce type d'onduleur délivre une tension alternative à une seule phase en sortie. Il est généralement utilisé pour des applications résidentielles ou de faible puissance. La plage de puissance typique des onduleurs photovoltaïques monophasés se situe entre 2,2 kW et 6 kW.
- Onduleur triphasé : Ce type d'onduleur est constitué de trois cellules de commutation, chacune alimentant une phase. Il est conçu pour fournir un système de tension triphasé, avec des composantes fondamentales équilibrées : les tensions des trois phases doivent être égales en amplitude et déphasées de manière symétrique (120°). Ce type d'onduleur est adapté aux applications industrielles ou à forte puissance, car il permet de délivrer une puissance plus élevée que les systèmes monophasés.

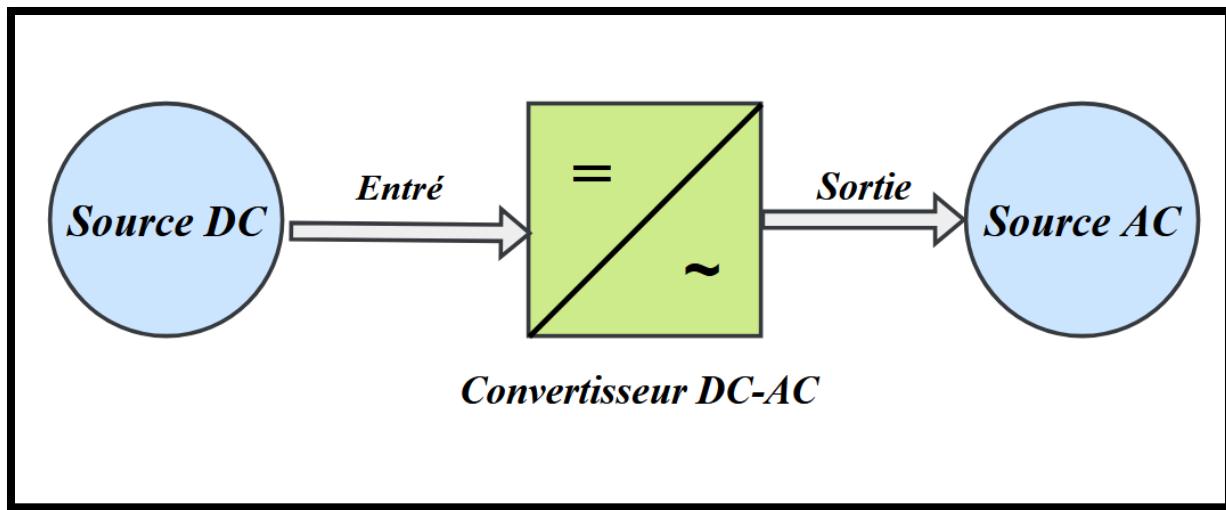


Figure II- 10 Schéma Synoptique de principe de la conversion DC –AC

II.3.1 Onduleur Monophasé à Pont H

Un onduleur monophasé à pont est un montage électronique composé de quatre interrupteurs électroniques (souvent des transistors IGBT ou MOSFET) disposés en pont en H. Ces interrupteurs sont commandés de façon à générer une tension alternative à partir d'une source continue.

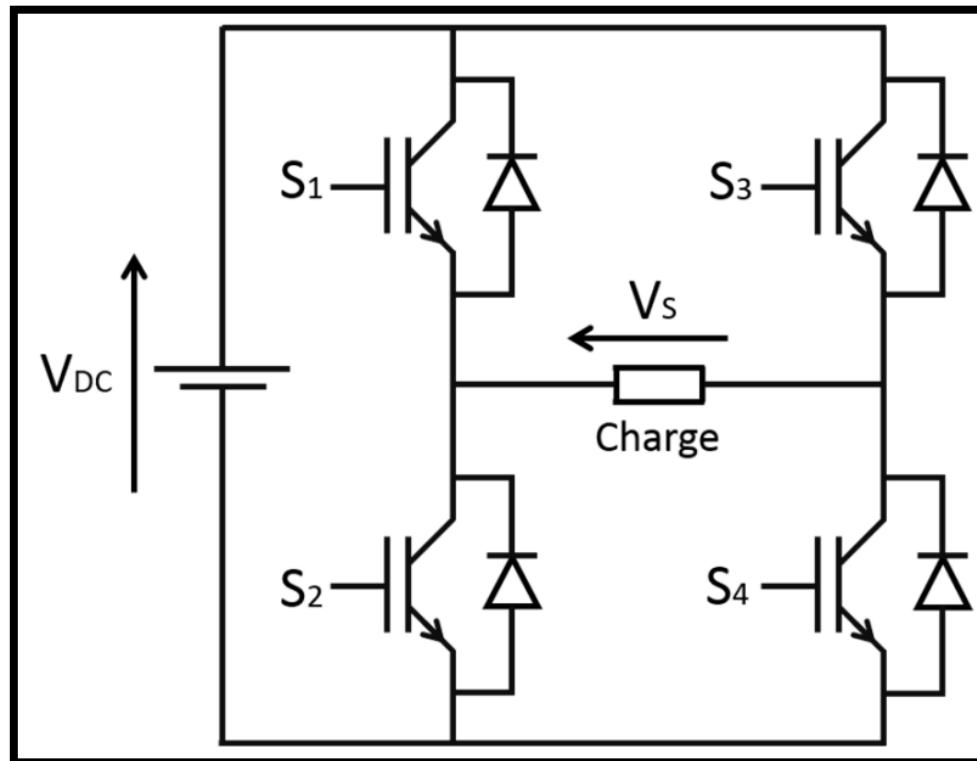


Figure II- 11 Schéma d'Onduleur Monophasé à Pont H [20]

Cette topologie repose sur quatre interrupteurs de puissance (généralement des MOSFET ou IGBT), organisés en deux branches, ce qui permet une commutation contrôlée entre plusieurs niveaux de tension. En fonction de l'état des interrupteurs, il est possible d'appliquer à la charge des tensions de $+V_{DC}$, 0 ou $-V_{DC}$, ce qui permet de synthétiser une onde alternative de meilleure qualité. [20]

Les diodes de roue libre connectées en antiparallèle à chaque interrupteur assurent la continuité du courant lorsque les transistors sont bloqués, et permettent également à l'onduleur de fonctionner en mode bidirectionnel. Cette réversibilité énergétique est essentielle dans les applications comme le stockage d'énergie, les systèmes PV connectés au réseau, ou les entraînements de moteurs, où l'on peut avoir un flux de puissance inverse (régénération).

Par ailleurs, cette structure autorise une commande plus sophistiquée, comme la modulation sinusoïdale par largeur d'impulsion (SPWM), qui améliore la qualité spectrale de la tension de sortie et réduit les pertes harmoniques.

➤ **Principe de fonctionnement**

L'onduleur monophasé à pont en H utilise quatre interrupteurs électroniques (souvent des MOSFETs ou IGBTs), disposés en deux branches de deux interrupteurs chacune. La charge est connectée entre les points centraux de ces deux branches. En agissant sur l'état (ouvert ou fermé) de ces interrupteurs selon un schéma précis, on parvient à appliquer une tension alternative à la charge.

Le fonctionnement repose sur l'activation croisée des interrupteurs, selon deux configurations principales :

1. Première configuration : S1 et S4 fermés, S2 et S3 ouverts S1 (coin supérieur gauche) et S4 (coin inférieur droit) sont fermés (état passant). Le courant circule depuis le pôle positif de la source continue ($+V_{DC}$) à travers S1, passe par la charge (du côté gauche vers le côté droit), puis traverse S4 vers le négatif de la source. La charge voit donc une tension positive à ses bornes ($V_S = +V_{DC}$). Cette configuration correspond à la demi-alternance positive de la tension de sortie.

2. Deuxième configuration : S2 et S3 fermés, S1 et S4 ouverts S2 (coin inférieur gauche) et S3 (coin supérieur droit) sont fermés. Le courant circule depuis le pôle positif à travers S3, traverse la charge en sens inverse (de droite à gauche), puis passe par S2 jusqu'au négatif de la source. La charge voit cette fois une tension négative à ses bornes ($V_S = -V_{DC}$). Cela correspond à la demi-alternance négative de la tension de sortie.

3. Alternance des deux états : En alternant rapidement entre ces deux configurations à une fréquence donnée (souvent entre quelques centaines de Hz et plusieurs kHz), on génère une tension alternative à la sortie. En ajoutant une modulation de largeur d'impulsion (PWM), on peut façonner l'onde pour qu'elle ressemble à une sinusoïde, tout en contrôlant la fréquence et l'amplitude de la tension alternative

II.3.2 Onduleur Monophasé à Demi-Pont

Un onduleur monophasé à demi-pont est une topologie de conversion DC/AC qui permet de produire deux niveaux de tension en sortie, généralement $+\frac{V_{DC}}{2}$, et $-\frac{V_{DC}}{2}$, en utilisant deux interrupteurs électroniques (IGBT ou MOSFET) et deux condensateurs de découplage en série sur le bus continu. Ce montage est plus simple que l'onduleur à pont complet, car il requiert moins de composants actifs, ce qui se traduit par un coût réduit et une commande plus facile. [20]

Cependant, cette simplicité s'accompagne de limitations fonctionnelles. En effet, le demi-pont ne permet pas d'obtenir un niveau nul sans une structure spéciale, ce qui réduit la qualité de l'onde alternative générée. De plus, le contrôle de la tension de sortie est moins flexible, et la contrainte de diviser la tension continue d'entrée en deux parties égales nécessite un équilibrage précis des condensateurs, ce qui peut être délicat dans les applications dynamiques.

Ce type d'onduleur est néanmoins adapté aux petites puissances et aux applications peu exigeantes en termes de qualité du signal, comme certaines alimentations industrielles ou des dispositifs domestiques.

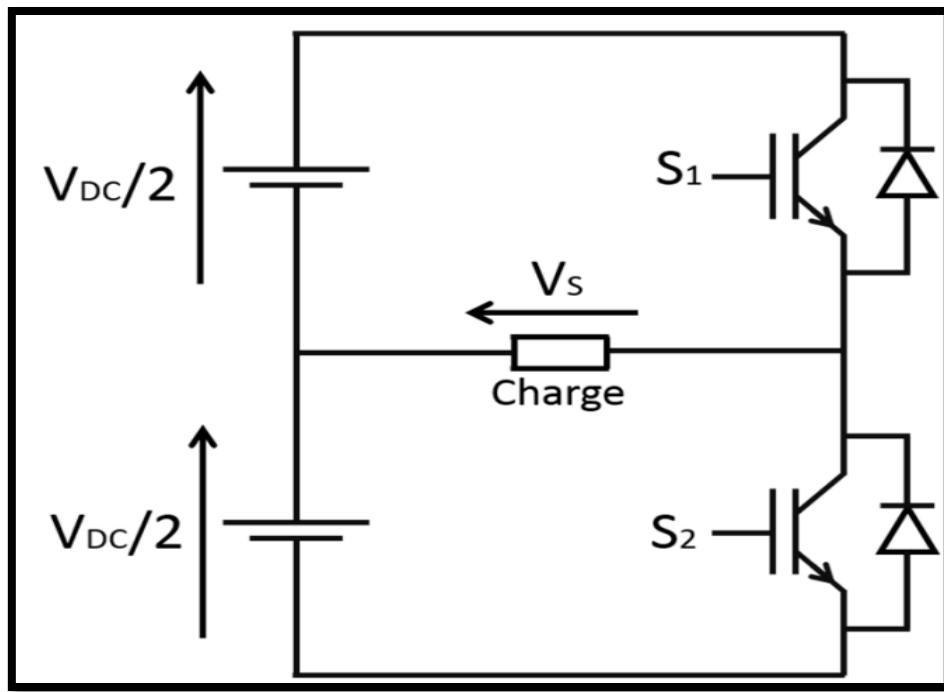


Figure II- 12 Schéma d'Onduleur Monophasé à demi-Pont [20]

➤ Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de l'onduleur à demi-pont repose sur une commutation alternée de deux interrupteurs (généralement des transistors de puissance de type MOSFET ou IGBT), notés S1 et S2, alimentés par une source continue V_{DC} divisée en deux à l'aide de deux condensateurs montés en série. Cette configuration permet d'obtenir un point milieu (masse virtuelle), situé à la moitié de la tension d'entrée, soit $\frac{V_{DC}}{2}$.

Pendant le fonctionnement :

- Lorsque l'interrupteur S1 est fermé (conduit) et que S2 est ouvert, la borne supérieure de la charge est connectée au niveau $+\frac{V_{DC}}{2}$. La tension de sortie appliquée à la charge est donc positive, et le courant circule de la source vers la charge.
- Inversement, lorsque S1 est ouvert et que S2 est fermé, la borne inférieure de la charge est connectée au niveau 0V (masse virtuelle, point milieu des condensateurs). La tension aux bornes de la charge devient alors négative par rapport au point milieu, et le courant s'inverse.

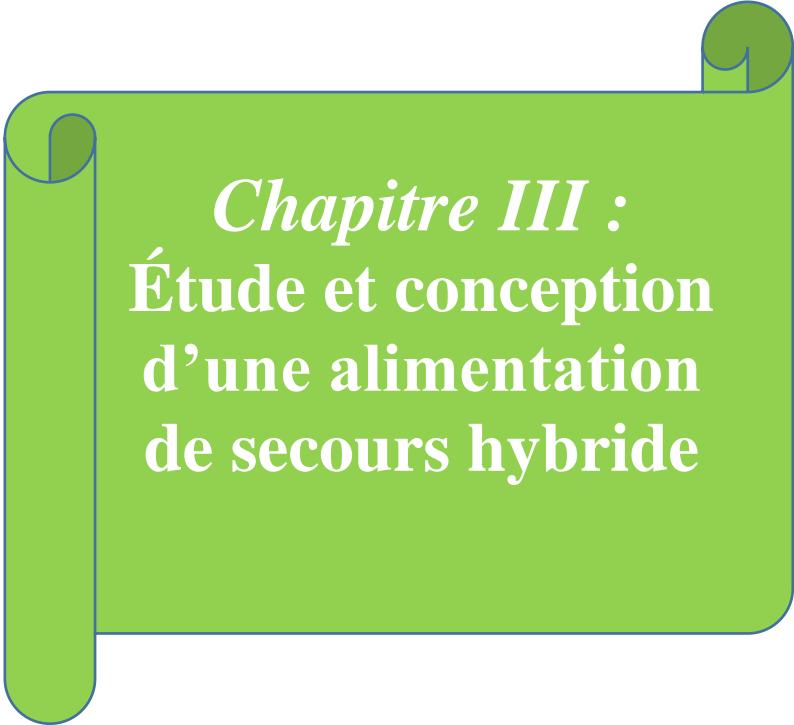
En alternant régulièrement la conduction entre S1 et S2, une tension alternative est générée à la sortie. Si cette commutation est effectuée à une fréquence constante et avec des durées

égales de conduction pour S1 et S2, la forme d'onde résultante est une onde carrée bipolaire. Pour obtenir une onde plus proche d'un sinus, on peut utiliser des techniques de modulation de largeur d'impulsion (PWM). Ainsi, en commandant les deux interrupteurs de manière complémentaire (l'un conduit pendant que l'autre est bloqué), l'onduleur génère une tension alternative à deux niveaux ($+\frac{V_{DC}}{2}$ et $-\frac{V_{DC}}{2}$) adaptée à l'alimentation de charges en courant alternatif

II.4 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude des différentes structures de conversion de puissance utilisées dans les systèmes de conversion d'énergie photovoltaïque. Nous avons étudié :

- les différents types de hacheurs DC-DC (Buck, Boost, Buck-Boost), leur principe de fonctionnement ainsi que leurs domaines d'application.
- les convertisseurs DC-AC, notamment les onduleurs à pont H et à demi - pont, essentiels pour alimenter des charges alternatives à partir de sources continues. Ces connaissances constituent une base indispensable pour la conception et l'optimisation de systèmes d'alimentation autonomes ou connectés au réseau



Chapitre III :
**Étude et conception
d'une alimentation
de secours hybride**

III.1 Introduction

Dans de nombreux pays, notamment dans les régions isolées ou en développement, l'accès à une alimentation électrique stable et continue demeure un défi majeur. Les coupures fréquentes du réseau électrique affectent non seulement le confort des usagers domestiques, mais aussi le bon fonctionnement des équipements sensibles dans les secteurs de la santé, de l'industrie et de l'éducation. Afin de remédier à ce problème, les systèmes d'alimentation de secours sont devenus indispensables. L'alimentation de secours hybride se distingue par sa capacité à combiner intelligemment plusieurs sources d'énergie pour garantir la continuité de l'alimentation électrique. Dans le cadre de ce projet, deux sources principales ont été retenues

L'objectif de ce chapitre est de concevoir une alimentation de secours hybride capable de fournir une tension alternative de 220V, en exploitant efficacement l'énergie solaire tout en assurant une autonomie suffisante grâce au stockage sur batterie, intégrant des circuits de régulation, de commutation, de conversion DC/AC (onduleur), ainsi qu'un système de supervision basé sur un microcontrôleur Arduino UNO pour la mesure et la visualisation en temps réel.

III.2 Description du fonctionnement du système

Le système hybride assure une alimentation continue en utilisant trois sources : panneau solaire (source primaire), secteur 220V, puis batterie en dernier recours. La tension continue est convertie en 220V AC par un onduleur à base de UC2525, deux MOSFETs et transformateur. Un Arduino Uno affiche les tensions et le niveau de la batterie sur un écran LCD, permettant un suivi en temps réel. La Figure 1 montre une description du système global.

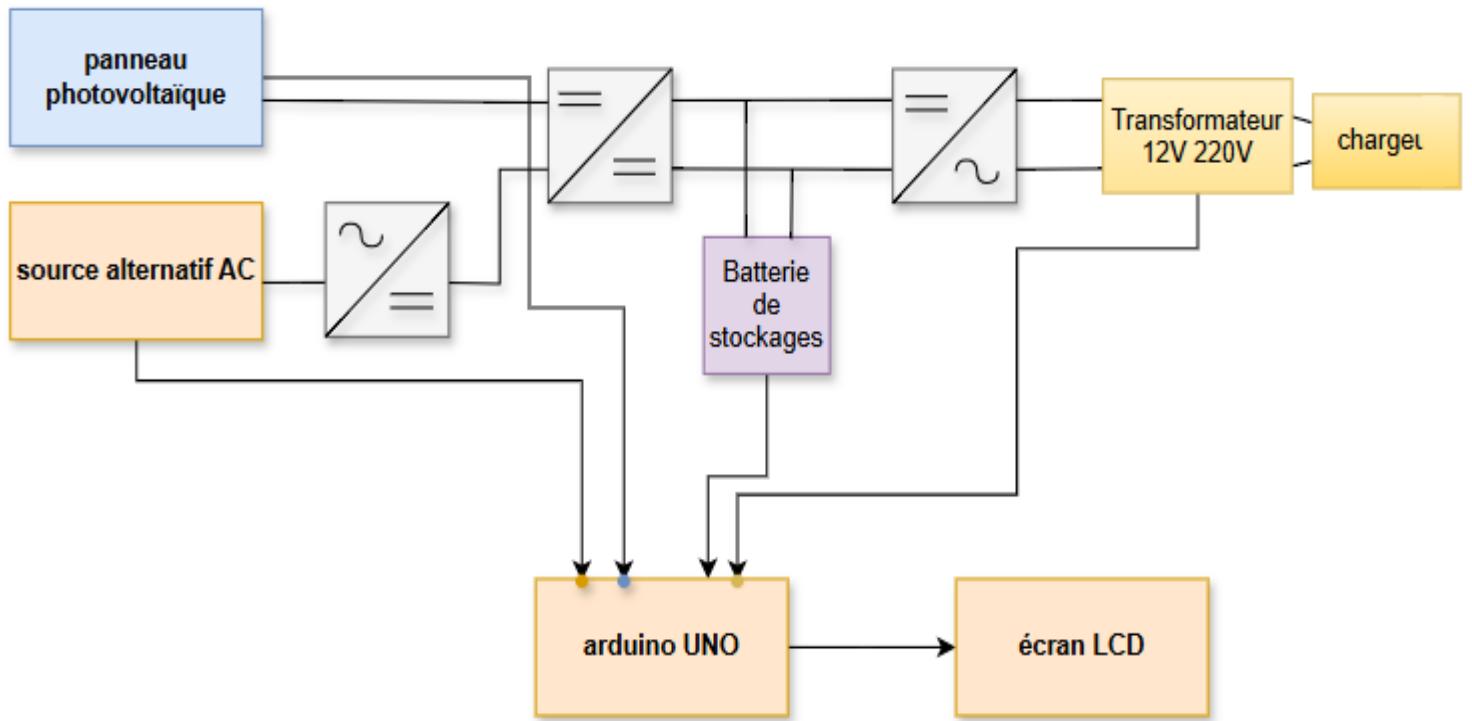


Figure III- 1 Description du fonctionnement du montage proposé

III.2.1 Sources d'énergie

A. Panneau photovoltaïque (PV)

Le panneau photovoltaïque est le générateur d'énergie de type continu. Il capte l'énergie solaire et la convertit en courant continu (DC). Cette production est variable et dépend directement des conditions d'ensoleillement et de la position du soleil. Les caractéristiques du panneau photovoltaïque sont les suivants [] :

- **Tension nominale** : 24V (peut varier légèrement selon l'irradiation)
- **Courant maximal** : déterminé selon la puissance du panneau (ex. 8A pour un panneau 200W)
- **Fonction** :
 - Alimentation directe de la charge en journée
 - Recharge de la batterie lorsque la production excède la consommation
 - Génère une tension variable (16V à 24V) selon l'ensoleillement.

B. Source alternative 220V

Le deuxième générateur qui peut être le réseau ou groupe électrogène sert à :

- a. Alimente la charge si l'énergie solaire est insuffisante
- b. Recharge la batterie via un régulateur LM317

C. Batterie

La batterie joue le rôle de stockage d'énergie. Elle permet de stocker l'excès d'énergie produit par le panneau solaire pour une utilisation ultérieure, notamment la nuit ou lors des journées nuageuses et aussi en cas de coupure énergie.

1. **Type** : Plomb-acide ou lithium-ion (12V)
2. **Capacité** : dépend de l'autonomie souhaitée (ex. 100Ah = 2.4 kWh)
3. **Fonction** :
 - o Fourniture d'énergie uniquement en cas d'absence simultanée des deux autres sources
 - o Maintien de la stabilité du système
 - o Sert d'élément de stockage central du système

III.2.2 Gestion d'énergie

Le principe de fonctionnement du montage est régit suivant le schéma de la Figure 2.

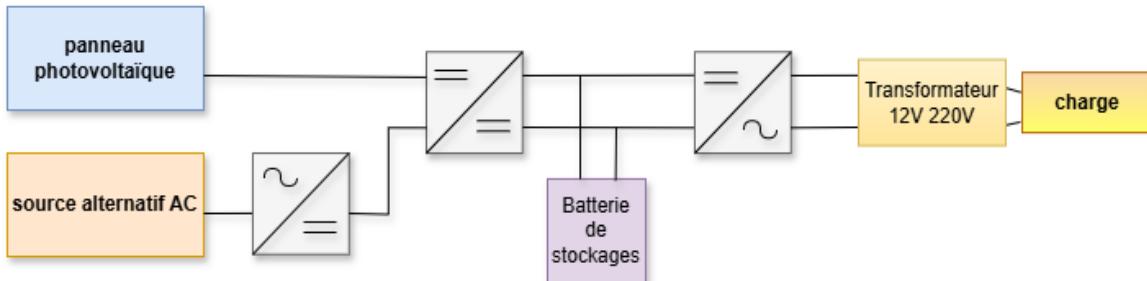


Figure III- 2 schéma de la gestion d'énergie

- Si l'énergie photovoltaïque est disponible, elle alimente la charge et stocke l'énergie dans la batterie
- La deuxième source fonctionne si l'énergie photovoltaïque est indisponible
- La batterie fonctionne si aucune source n'est disponible
- Commutation assurée par des diodes

III.2.3 Onduleur (convertisseur DC/AC)

C'est l'élément final du système. Il convertit la tension continue de 12V issue de la batterie ou du panneau solaire en tension alternative, compatible avec les appareils domestiques.

- **Technologie :**
 - Étage de commande SPWM (modulation sinusoïdale en largeur d'impulsion) avec SG2525 et Arduino
 - Étage de puissance demi-pont, IRFZ44N et MOSFETS
 - Transformateur pour élévation de tension et isolation

III.3 Circuit d'alimentation hybride d'urgence

Le circuit d'alimentation hybride d'urgence présenté a été conçu pour répondre à une problématique courante : assurer une alimentation électrique fiable et continue en cas de coupure du réseau. Le système repose sur une architecture double source DC, combinant un panneau solaire photovoltaïque comme source primaire et une batterie 12V comme réserve, la gestion automatique entre ces deux sources est assurée par une combinaison de diodes Schottky à commutation rapide et d'un microcontrôleur Arduino UNO qui effectue la surveillance en temps réel et les actions de protection.

III.3.1 Simulation du système global sous Proteus

Le logiciel Proteus est reconnu pour sa capacité à simuler des circuits mixtes analogiques-numériques avec un bon degré de précision. Il a permis de tester la logique du système, la commutation entre sources, et le bon comportement des circuits PWM, tout en visualisant en temps réel les signaux électriques. Les interactions entre UC2525, LM317, MOSFETS, transformateur et Arduino ont pu être observées avec précision. Toutefois, il faut garder à

l'esprit que Proteus reste une simulation : les phénomènes tels que les pertes thermiques, les parasites EMI, ou les tolérances des composants ne sont que partiellement modélisés. Des tests expérimentaux restent nécessaires pour valider les performances réelles.

III.3.2 Chargeur de batterie hybride

Le chargeur de batterie hybride permet de recharger automatiquement une batterie 12V, en utilisant une source d'énergie, sachant que la gestion d'énergie prend la disponibilité de l'énergie photovoltaïque en prioritaire en utilisant deux diodes parallèle en montage P2. Le chargeur de batterie est basé sur CI : LM317 (annexe 1). Le LM 317 est un régulateur de tension linéaire ajustable à courant constant, il est capable de fournir une tension continue stable comprise entre 1,25V et 37V, avec un courant maximal de 1,5 A (Figure 3).

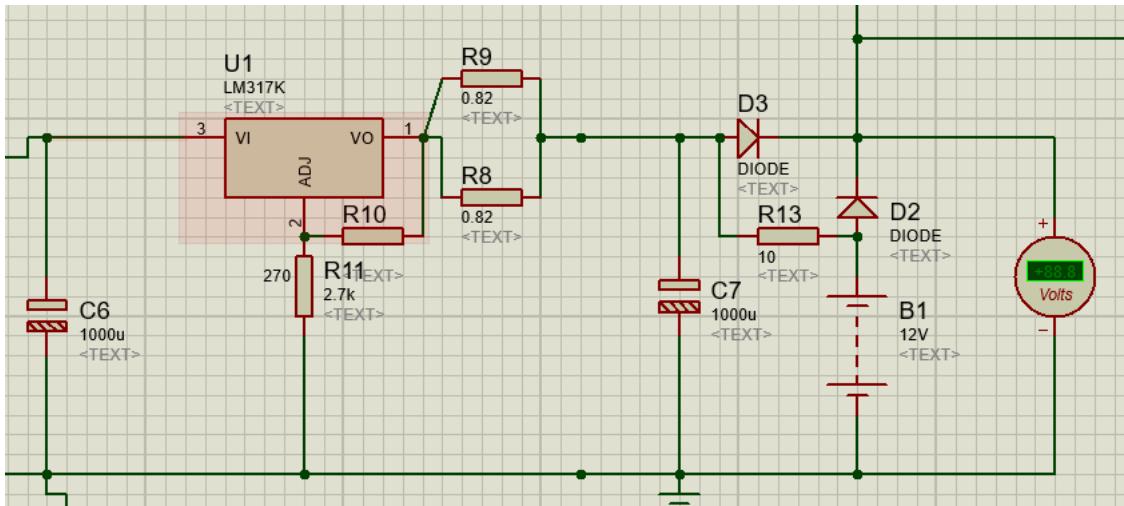


Figure III- 3 Schéma du chargeur de batterie hybride

III.3.3 Onduleur demi-pont

On utilise un onduleur en demi pont, le circuit de commande est basé sur le Circuit oscillateur UC2525, pour la partie puissance on utilise deux transistors MOSFETs et Transformateur 12V/220V à point milieu (Figure 4).

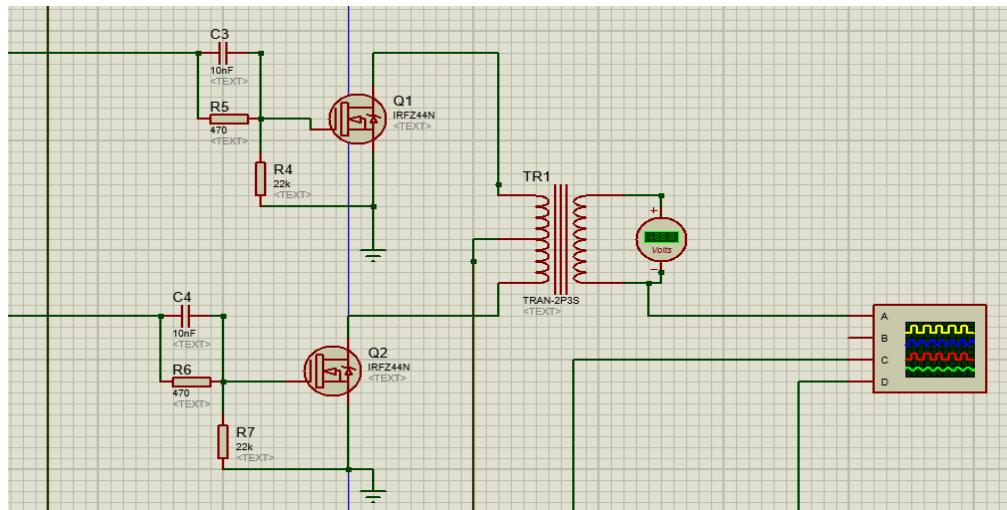


Figure III- 4 Schéma de conception de l'onduleur

III.3.3.1 Commande des gâchettes MOSFETs

Le UC2525 est un modulateur en largeur d'impulsion (PWM) conçu pour piloter des convertisseurs DC-DC et des onduleurs. Il intègre les fonctions essentielles pour la régulation, la protection et le contrôle d'une alimentation à découpage.

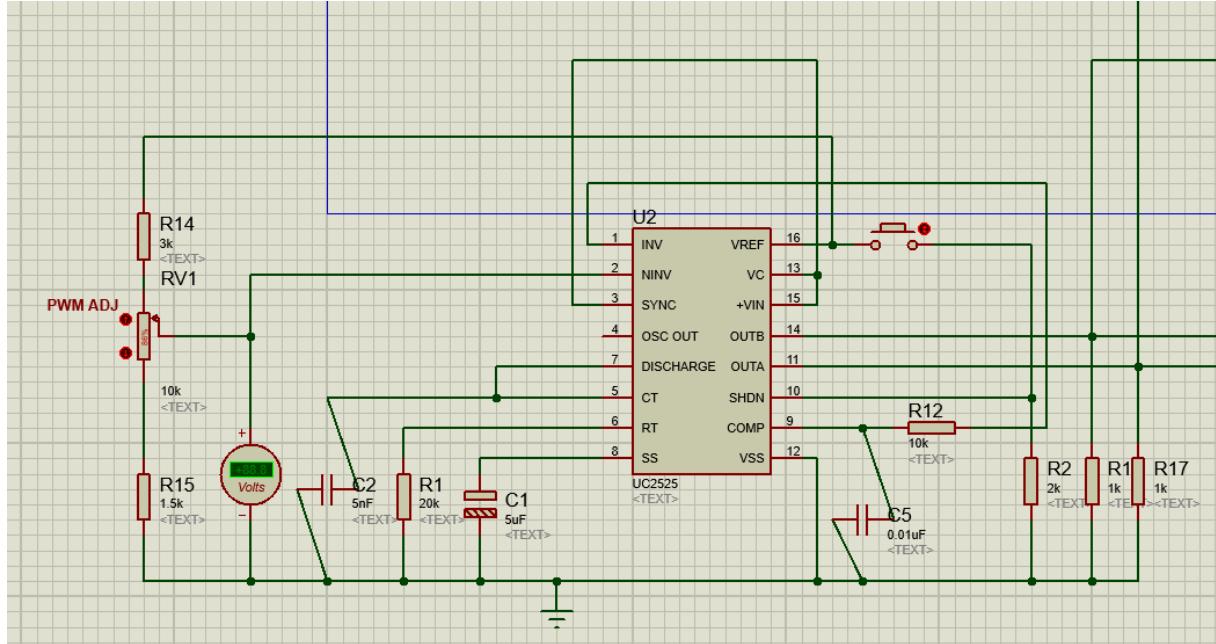


Figure III- 5 Schéma du générateur du signal PWM

- Le signal PWM commence avec un temps haut (MOSFET conducteur), puis un temps bas (MOSFET bloqué).

- La largeur de l'impulsion (temps haut) détermine l'énergie transférée à la charge.
- Les sorties peuvent être utilisées :
 - Soit alternativement (push-pull : Output A et B en déphasage de 180°),
 - Soit parallèlement (les deux activées ensemble, selon configuration).

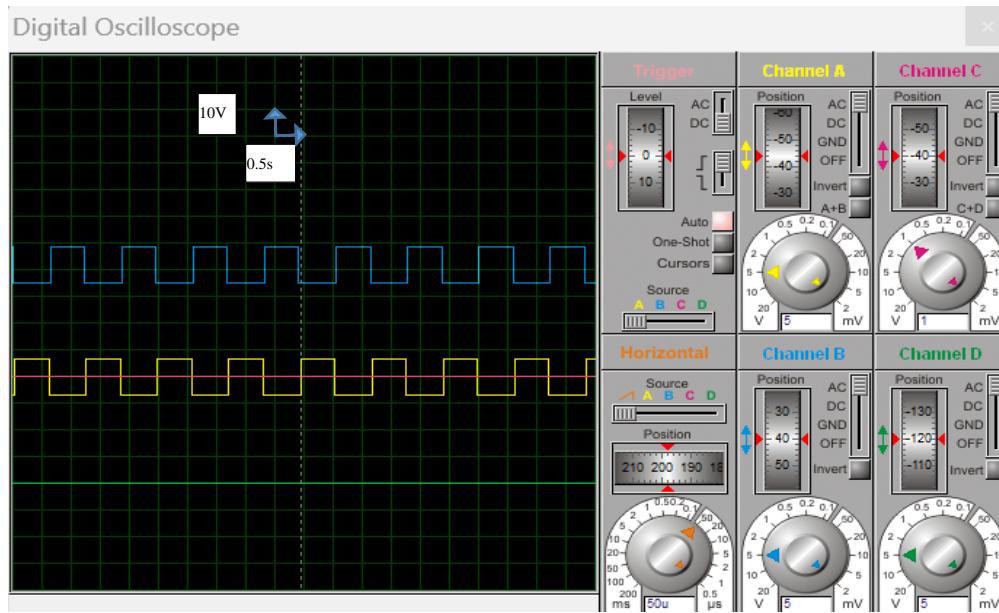


Figure III- 6 Signal de gâchette généré par UC2525

III.3.4 Transformateur

Le résultat confirme que le transformateur élève efficacement la tension continue en une tension alternative de 220V. La forme d'onde quasi sinusoïdale et la fréquence de 50 Hz indiquent une conversion stable et conforme, validant le bon fonctionnement de l'onduleur et du transformateur.

III.3.5 Arduino UNO

L'Arduino UNO joue un rôle fondamental dans le suivi en temps réel de l'état du système. En utilisant des diviseurs de tension et le module ADC intégré, il lit les tensions des trois sources et les affiche clairement à l'aide d'un écran LCD I2. Ce système peut être enrichi avec des fonctionnalités telles que la mémorisation des valeurs historiques, la transmission de données vers une application mobile, ou la gestion intelligente de l'énergie à travers des algorithmes.

Comme il ne contrôle pas les éléments de puissance, il reste isolé des perturbations électriques et améliore la fiabilité globale.

- Utilisé uniquement pour la supervision et l'affichage
- Mesure :
 - Tension PV via diviseur de tension
 - Tension batterie via diviseur de tension
 - Tension secteur via diviseur + redressement
- Affichage sur écran LCD I2 2x16
- Ne commande aucun circuit de puissance

III.4 Résultats et interprétation

Cette section présente les résultats obtenus à la suite des différentes étapes de conception et de simulation du système sous Proteus, nous avons pu analyser le comportement du système dans diverses conditions de fonctionnement. Les résultats portent principalement sur la stabilité de la tension de sortie, la réponse aux variations des sources d'entrée, ainsi que la performance globale de la commutation entre les différentes sources d'énergie. Ces observations permettent d'évaluer la fiabilité, l'efficacité et les éventuelles limites du système proposé. La Figure 7 présente le schéma global sous Proteus.

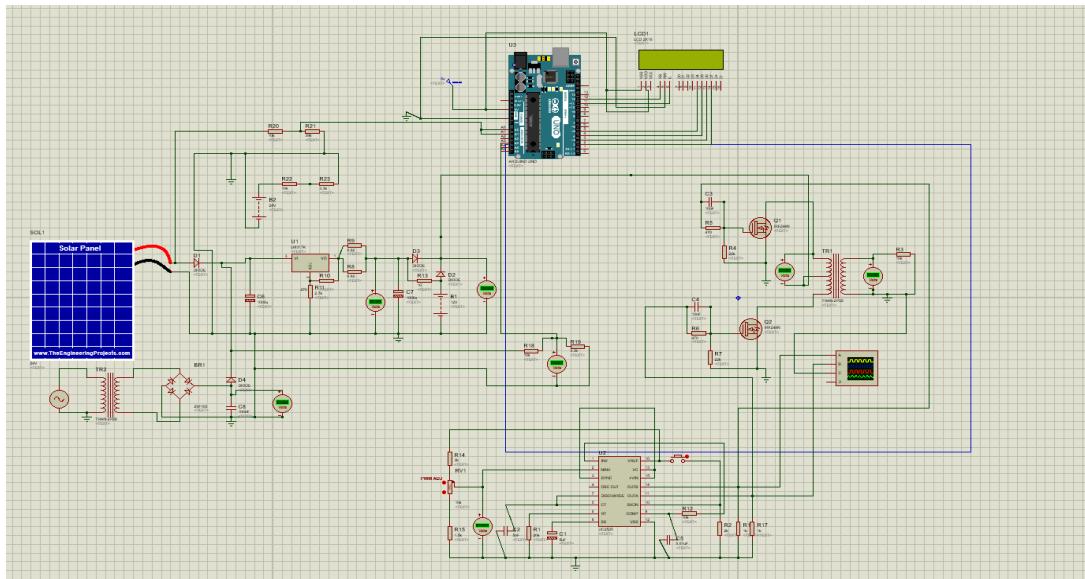


Figure III- 7 Schéma global sous Proteus.

III.4.1 Comportement simulé du système

L'analyse du signal simulé à la sortie du transformateur présenté dans la Figure 8 permet de convertir correctement la tension continue en 220V alternatif. Elle permet d'observer la forme d'onde, la fréquence et la qualité du signal, afin de s'assurer que l'onduleur peut alimenter efficacement des appareils domestiques

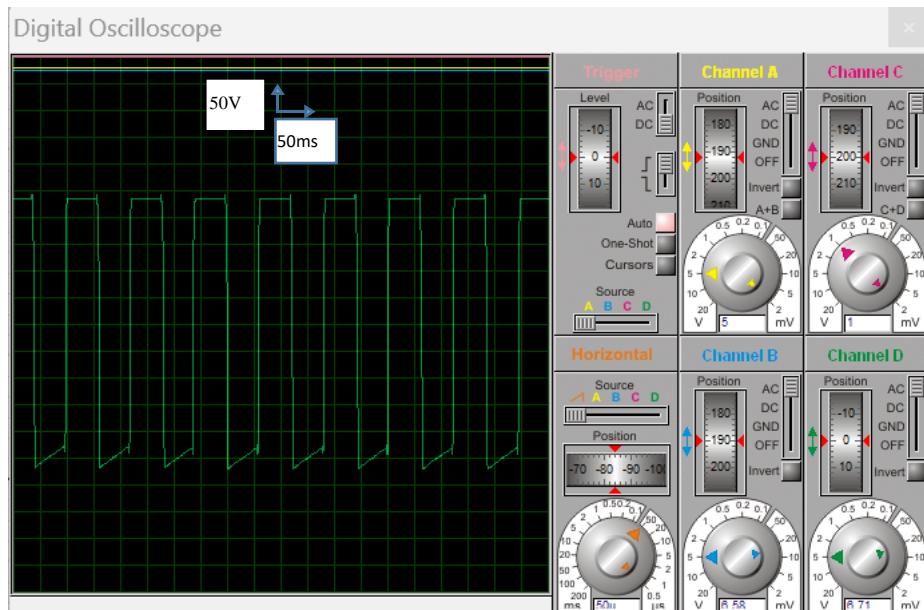


Figure III- 8 Signal de sortie du transformateur.

III.4.2 Résultats affichés par Arduino

L'écran LCD affiche en temps réel les tensions mesurées au niveau du panneau solaire (PV), de la batterie, et de la source secteur, ainsi que le niveau de charge de la batterie sous forme de pourcentage.

- **1 er cas : Fort ensoleillement**
 - La tension PV est suffisante → le chargeur PWM fonctionne → la batterie se recharge.
 - Le LCD affiche :
 - PV: 24.0V
 - Batt: 12.6V (100%)
 - Secteur: 0V

CHAPITRE III: Étude et conception d'une alimentation de secours hybride

- État: PV actif

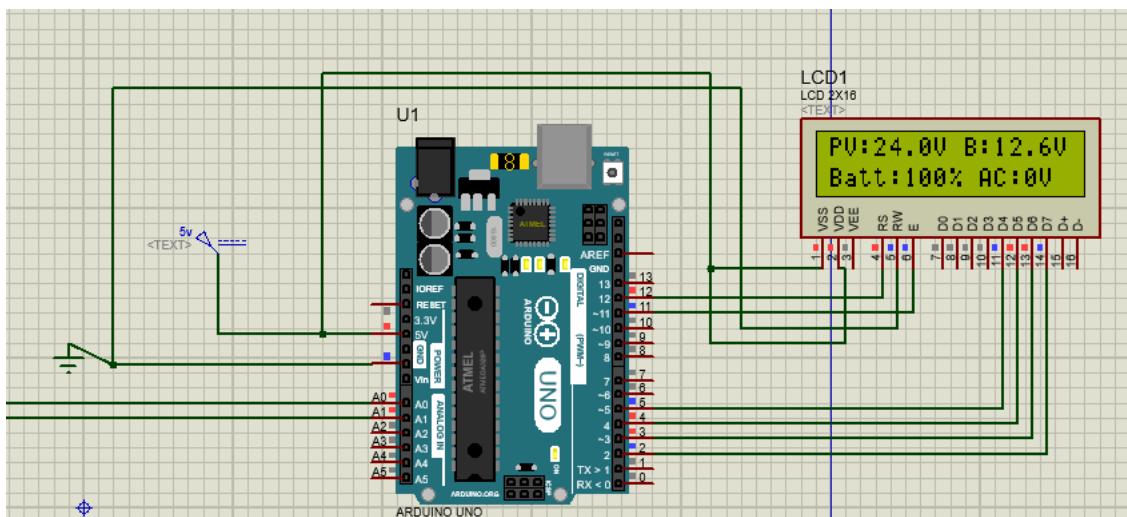


Figure III- 9 Résultat affiché sur LCD (fort ensoleillement.)

2eme cas : absence d'ensoleillement

- PV devient < 18V → le secteur prend le relais
- La source alternative AC est sollicitée via relais → activation du chargeur secteur
- Le LCD affiche :
- PV: 0.0V
- Batt : 12.6V (100%)
- Secteur: 220V
- État: Source secourt

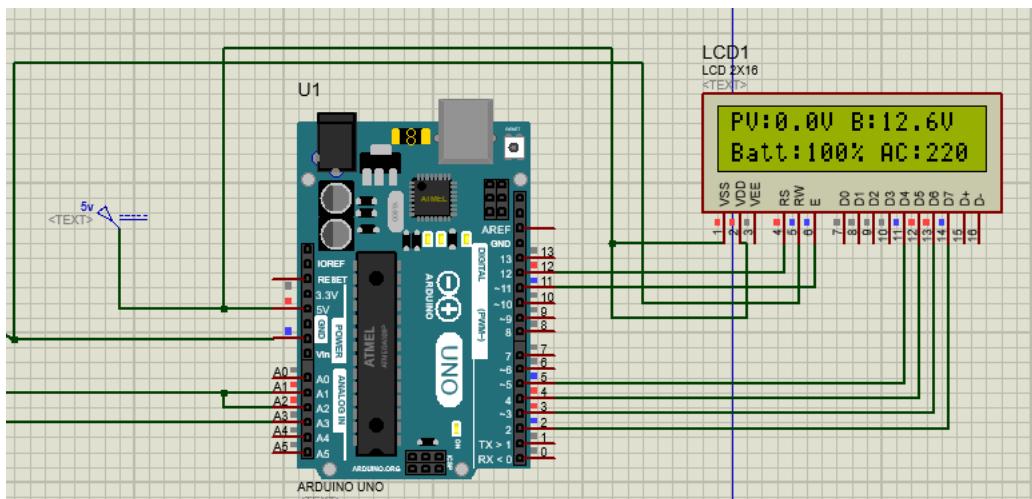


Figure III- 10 Résultat affiché sur LCD (absence d'ensoleillement)

3eme cas : secteur et l'ensoleillement abusant :

- PV devient < 18V, secteur=0v → la batterie prend le relais
- Le LCD affiche :
 - PV: 0.0V
 - Batt: 12.2V (76%)
 - Secteur: 0V
 - État: Batterie

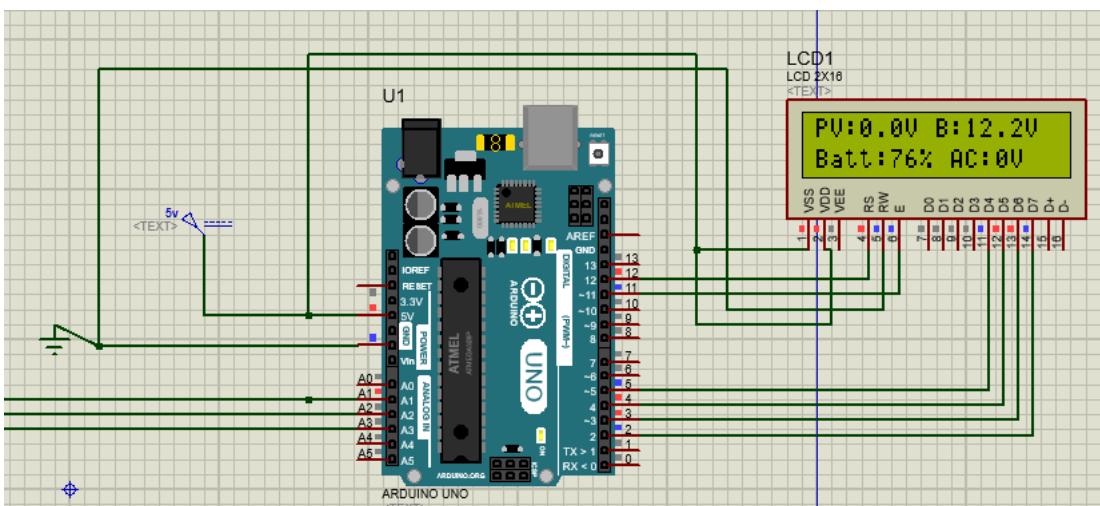


Figure III- 11 Résultat affiché sur LCD (secteur et l'ensoleillement abusant)

- Le PWM reste stable à 50 kHz grâce au SG2525
- Les MOSFETs commutent proprement sans échauffement excessif (si refroidissement appliqué)
- Le système est autonome, aucune intervention manuelle n'est requise

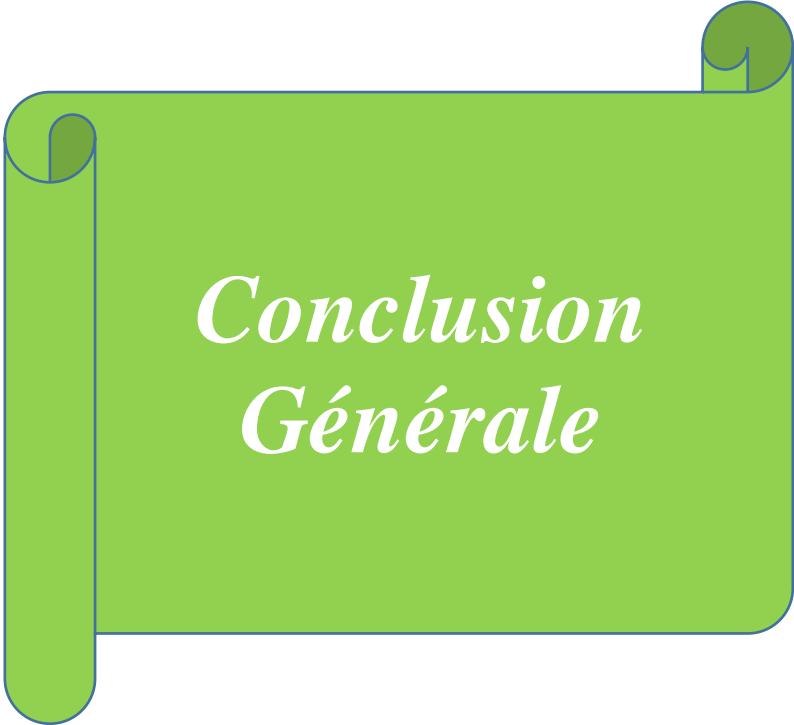
III.5 Conclusion

La conception des prototypes en industrie électronique doit passer obligatoirement par des simulations en utilisant des logiciels de typage de type Proteus, Orcad...

La réalisation de cette alimentation de secours hybride, fondée sur l'intégration d'énergies renouvelables et d'un stockage électrique, détaillée du système, réalisée sous Porteuse, nous permet de valider le dimensionnement des composants ainsi que l'étude du fonctionnement du dispositif.

CHAPITRE III: Étude et conception d'une alimentation de secours hybride

L'ajout d'un microcontrôleur Arduino pour la supervision en temps réel et l'affichage des paramètres critiques (tension, courant, état de charge) a considérablement amélioré la robustesse et l'ergonomie de l'alimentation. Cette couche de contrôle intelligent offre la possibilité d'une gestion adaptative, optimisant ainsi l'efficacité énergétique et la durée de vie des batteries.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

S'inscrivant pleinement dans la dynamique de transition énergétique, ce type d'alimentation hybride offre une réponse adaptée aux besoins croissants d'énergie électrique dans des zones isolées en utilisant l'énergie photovoltaïque pour des applications temporaires.

Ce travail nous a permis de concevoir en utilisant un logiciel de prototypage PRTEUS 8. Un schéma de prototype d'une d'alimentation de secours hybride à deux sources a été étudié par simulation.

En effet :

- Le montage P2 à diodes permet la commutation primaire
- Le circuit LM 317 permet une charge de la batterie avec une tension et un courant constants
- La commande de l'onduleur se fait par le circuit **UC2525** qui assure toute la logique de commande (PWM), tandis que l'Arduino fournit une interface utilisateur simple et claire. Tout en assurant la séparation entre contrôle de puissance et affichage

Ce type d'alimentation hybride est parfaitement adapté comme alimentation de secours pour les équipements sensibles :

- Ordinateur
- Téléphone portable

En perspective la réalisation pratique qui se fera automatique par la conception imprimé (PCB) par le logiciel Proteus.

Références Bibliographiques

- [1] BENSACI Wafa, «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté,» Thème de Master, Université Kasdi Merbah–Ouargla, 2012.
- [2] Y. PANKOW, «Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque,» Thèse Doctorat, Ecole National supérieurs d'Arts et Métiers Lille,, 2004.
- [3] HELALI KAMELIA, «Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque,» Mémoire de MAGISTER, UNIVERSITE MOULLOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2012.
- [4] IEA-PVPS, «Trends in Photovoltaic Applications,,» Avril 2024.
- [5] G. B. SAHOUR D, «Etude et modélisation d'un panneau photovoltaïque,» Thème master université, 2021.
- [6] «DualSun,» [En ligne]. Available: <https://dualsun.com/guides/panneau-solaire/cellule-photovoltaïque>. [Accès le Avril 2025].
- [7] Y. RIFFONNEAU, «GESTION DES FLUX ENERGETIQUES DANS UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AVEC STOCKAGE CONNECTE AU RESEAU,» Thèse Doctorat, UNIVERSITE JOSEPH FOURIER, 2009.
- [8] A. T. SINGO, «Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride,» Thèse Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I , 2010.
- [9] CHEBANA Abdelkrim, «Controle d'un systeme photovoltaïque connecte au reseau,» Mémoire de Fin d'Etudes,Université Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [10] B. Djamel, «Contribution à l'Optimisation des Systèmes de Conversion d'énergie. Application au systèmes photovoltaïque,» Thèse de Doctorat , Université DE BATNA, 2009.
- [11] C. S. ANDRIANIAINA, «ETUDE DES CONVERTISSEURS DE PUISSANCE,» UNIVERSITE D'ANTANANARIVO , 2024.
- [12] G. S. HAMDANI Youmna, «Commande indirecte d'un convertisseur matriciel,» Memoire de Master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA , 2024.
- [13] B. H. O. NASRI SABRINE, «ETUDE ET SIMULATION D'UN HACHEUR (BUCK-BOOST),» PROJET FIN DE CYCLE, Université BADJI MOKHTAR, 2021.
- [14] B. AKRAM, «Étude et simulation de convertisseurs DC/DC pour véhicule,» mémoire fin d'études, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA, 2021.
- [15] W.Chouikhi, «Réalisation d'une commande buck-boost pour PV,» mémoire de fin d'étude Université Abou BakrBelkaid Tlemcen , 2018.

Références Bibliographiques

- [16] A. & A. A. Mahmoudi, «Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque,» Mémoire de fin d'études, Université de Tiaret., 2018.
- [17] S. & B. S. Nasri, «Commande d'un hacheur Buck-Boost pour une application photovoltaïque,» Mémoire de fin d'études, Université Badji Mokhtar - Annaba., 2022.
- [18] S. & B. Boudjema, «Analyse et commande d'un hacheur Buck-Boost destiné à une application photovoltaïque,» Mémoire de Master, Université de Biskra., 2019.
- [19] K. D. E. L. O. kalthoum, « Conception d'une chaîne de conversion photovoltaïque monophasé à base de convertisseur multiniveaux,» Mémoire de fin d'étude, Université de Ghardaïa, 2023.
- [20] C. BRUYANT-ROZOY, «Conception de la commande et analyse de stabilité d'un onduleur photovoltaïque connecté au réseau de distribution,» MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC , 2019.

Annexes



**LM117/217
LM317**

1.2V TO 37V VOLTAGE REGULATOR

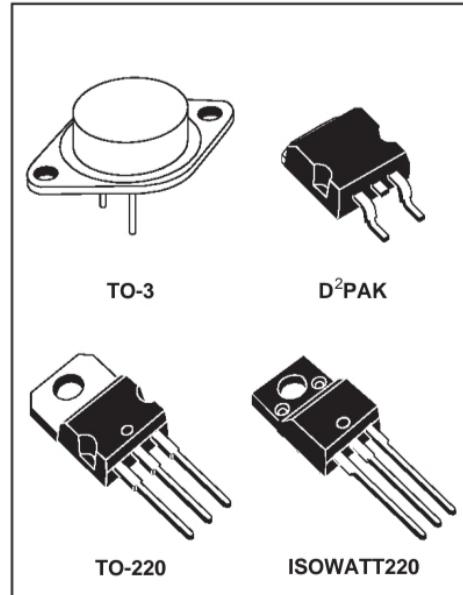
- OUTPUT VOLTAGE RANGE : 1.2 TO 37V
- OUTPUT CURRENT IN EXCESS OF 1.5A
- 0.1% LINE AND LOAD REGULATION
- FLOATING OPERATION FOR HIGH VOLTAGES
- COMPLETE SERIES OF PROTECTIONS : CURRENT LIMITING, THERMAL SHUTDOWN AND SOA CONTROL

DESCRIPTION

The LM117/LM217/LM317 are monolithic integrated circuit in TO-220, ISOWATT220, TO-3 and D²PAK packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V range.

The nominal output voltage is selected by means of only a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.



ABSOLUTE MAXIMUM RATING

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{i-o}	Input-output Differential Voltage	40	V
I_o	Output Current	Internally Limited	
T_{op}	Operating Junction Temperature for: LM117 LM217 LM317	-55 to 150 -25 to 150 0 to 125	°C
P_{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to 150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	TO-3	TO-220	ISOWATT220	D ² PAK	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max 4	3	4	3	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max 35	50	60	62.5	°C/W

International Rectifier



PD - 94053

IRFZ44N

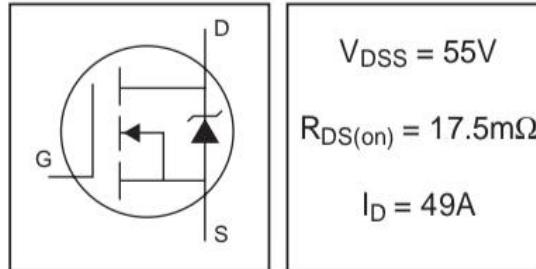
HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	49	
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	25	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	9.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	
T_{STG}	Storage Temperature Range		°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
R_{JC}	Junction-to-Case	—	1.5	
R_{CS}	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	°C/W
R_{JA}	Junction-to-Ambient	—	62	

Annexes

REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

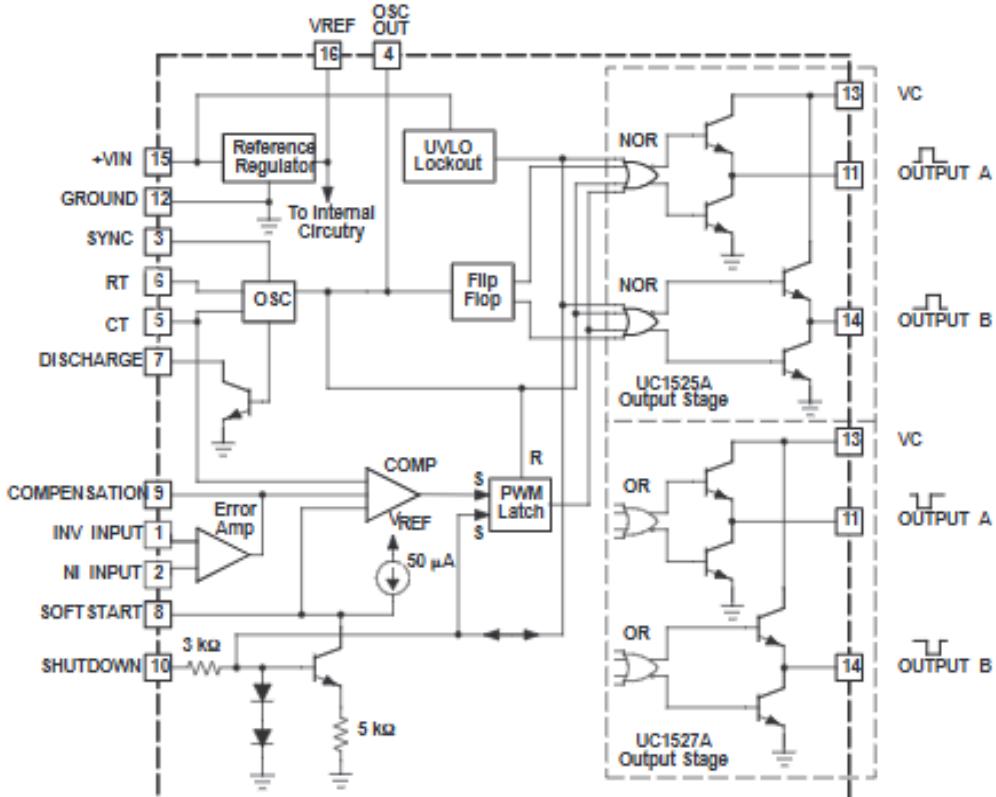
FEATURES

- 8-V to 35-V Operation
- 5.1-V Reference Trimmed to 1%
- 100-Hz to 500-kHz Oscillator Range
- Separate Oscillator Sync Terminal
- Adjustable Deadtime Control
- Internal Soft-Start
- Pulse-by-Pulse Shutdown
- Input Undervoltage Lockout With Hysteresis
- Latching PWM to Prevent Multiple Pulses
- Dual Source/Sink Output Drivers

DESCRIPTION

The UC1525A/1527A series of pulse width modulator integrated circuits are designed to offer improved performance and lowered external parts count when used in designing all types of switching power supplies. The on-chip +5.1-V reference is trimmed to 1% and the input common-mode range of the error amplifier includes the reference voltage, eliminating external resistors. A sync input to the oscillator allows multiple units to be slaved or a single unit to be synchronized to an external system clock. A single resistor between the C_T and the discharge terminals provides a wide range of dead-time adjustment. These devices also feature built-in soft-start circuitry with only an external timing capacitor required. A shutdown terminal controls both the soft-start circuitry and the output stages, providing instantaneous turn off through the PWM latch with pulsed shutdown, as well as soft-start recycle with longer shutdown commands.

BLOCK DIAGRAM



Résumé : Le Soleil représente une source d'énergie abondante et inépuisable, dont l'irradiation quotidienne suffit à couvrir les besoins énergétiques mondiaux. Grâce aux cellules photovoltaïques, cette énergie peut être transformée directement en électricité de manière propre, silencieuse et sans entretien. Les systèmes photovoltaïques, adaptés à diverses configurations, permettent ainsi une production décentralisée d'énergie, aussi bien en site isolé qu'en connexion au réseau. Pour exploiter efficacement cette énergie, des convertisseurs de puissance sont nécessaires afin d'ajuster les niveaux de tension et de courant. Parmi ces dispositifs, on retrouve les hacheurs DC-DC (Buck, Boost, Buck-Boost) et les onduleurs DC-AC (pont H, demi-pont), qui assurent la conversion entre les différentes formes d'électricité. Dans les régions confrontées à des coupures fréquentes du réseau, la mise en place de systèmes d'alimentation de secours devient indispensable. C'est dans ce contexte qu'une solution hybride, associant panneau solaire et batterie, garantit une alimentation continue et autonome. Le système étudié dans ce projet intègre ainsi un onduleur, des circuits de régulation, un système de commutation, et un microcontrôleur Arduino UNO chargé de superviser les mesures et d'afficher en temps réel les paramètres essentiels du système.

Mots-clés : Système photovoltaïque, Convertisseurs de puissance, Onduleur DC-AC, Alimentation de secours

Abstract : The Sun represents an abundant and inexhaustible energy source, with daily irradiation sufficient to meet global energy needs. Thanks to photovoltaic cells, this energy can be directly converted into electricity in a clean, silent, and maintenance-free way. Photovoltaic systems, adaptable to various configurations, thus enable decentralized energy production, both in isolated locations and grid-connected setups. To efficiently harness this energy, power converters are required to adjust voltage and current levels. Among these devices are DC-DC converters (Buck, Boost, Buck-Boost) and DC-AC inverters (H-bridge, half-bridge), which ensure the conversion between different forms of electricity. In regions frequently affected by power outages, the implementation of backup power systems becomes essential. In this context, a hybrid solution combining solar panels and batteries ensures continuous and autonomous power supply. The system studied in this project therefore integrates an inverter, regulation circuits, a switching system, and an Arduino UNO microcontroller responsible for monitoring measurements and displaying key system parameters in real time.

Keywords : Photovoltaic system, Decentralized energy production, Power converters, DC-DC converters

