

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOQUERATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1



Faculté de Technologie
Département D'Automatique et Electrotechnique
Spécialité de Machine Electrique
Mémoire de projet de fin d'Etude de Master
Intitulé du projet

**ETUDE ET CONCEPTION D'UN
CONVERTISSEUR STATIQUE DC-AC
(ONDULEUR) POUR UN SYSTEME
PHOTOVOLTAIQUE**

Réalisé par :

- **ABBAS Mohamed**
- **AZEBI Abdelhak**

Encadré par :

- **Mr. KHELIFI
Othmane**

Promotion : 2022-2023

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le bon Dieu, le tout puissant de nous avoir armé de force et de courage pour mener à terme ce projet.

Tout d'abord, nous souhaitons adresser nos chaleureux remerciements à notre promoteur, Monsieur KHELIFI Othmane. Votre encadrement attentif, vos conseils éclairés et votre expertise ont été d'une valeur inestimable pour nous. Vous avez su guider nos efforts et nous inspirer tout au long de cette étude. Votre soutien constant a été une véritable source de motivation et nous avons énormément appris de votre enseignement.

Un remerciement spécial est également adressé à monsieur DOUMAZ Toufik. Votre accueil chaleureux, votre bienveillance et votre ouverture d'esprit ont permis la réalisation de ce projet.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants du Master 2 Machine Electrique. Votre enseignement rigoureux, vos connaissances approfondies et votre passion pour votre domaine ont été une source d'inspiration tout au long de nos études. Votre engagement envers notre formation a joué un rôle déterminant dans notre croissance académique et professionnelle.

Enfin, nous tenons à remercier notre famille et nos amis pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel et toute personne ayant contribué à la réalisation de ce projet.

Dédicaces

Je souhaite dédier humblement ce travail à mes précieux parents, dont la patience infinie, la compréhension et l'encouragement ont été un soutien inestimable tout au long de ma vie. Je leur dois ce que je suis aujourd'hui.

À mon frère Housseem, je souhaite exprimer ma gratitude pour leur soutien indéfectible et leur aide précieuse tout au long de ce projet. Leur collaboration a été essentielle pour surmonter les obstacles et avancer vers la réussite.

Mes chères sœurs, je tiens à vous remercier chaleureusement pour vos encouragements constants et votre soutien infaillible. Votre présence et votre soutien moral m'ont donné la force de persévérer dans cette entreprise.

À tous mes amis, je suis reconnaissant pour leur présence à mes côtés, pour les encouragements qu'ils m'ont prodigués et pour leur soutien inlassable tout au long de ce travail. Leur amitié a été une source de motivation et de réconfort.

Enfin, je souhaite adresser mes remerciements à mon binôme Abdelhak, pour son effort et sa compréhension tout au long de ce travail.

A. Mohamed

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à mes parents, car c'est grâce à leur amour, leur encouragement que j'ai pu atteindre ce stade de ma vie.

Je dédie également ce travail à mes frères, qui m'ont apportés leur soutien et leur aide précieuse dans la réalisation de ce projet.

À mes chères sœurs, je vous adresse mes remerciements pour vos encouragements constants et votre soutien indéfectible.

Enfin, un grand merci à mon binôme Mohamed, dont l'effort et la compréhension ont été des atouts précieux dans la réalisation de ce travail. Notre collaboration a été fructueuse, et je suis reconnaissant d'avoir partagé cette expérience avec lui.

A. Abdelhak

ملخص

يقدم هذا الأطروحة دراسة شاملة حول المحولات الكهربائية وأنظمة الطاقة الشمسية، مع التركيز على الخواص الفيزيائية وتصميم وإنتاج محولات الطاقة لأنظمة الطاقة الشمسية. يقدم النص الأول معلومات عامة عن المحولات، وليس نكش تفاصيل دوره. نوصي بالطاقة الكهربائية وليس نعرض أنواع المحولات لمختلفة. يركز النص على البنية الفيزيائية لأنظمة الطاقة الشمسية، مع التركيز على البنية الأساسية للخلايا الشمسية ونقطة تصميم المكونات الرئيسية لأنظمة الطاقة الشمسية. يصف النص أيضًا النماذج المستخدمة في المحولات الملائمة لأنظمة الطاقة الشمسية، ويشرح خطوات التصميم واختيار المكونات للأداء. تم إتمام المشروع بمرور الوقت لتوفير محول طاقة شمسية إلى مستوى نهائي من التردد والاختيار. نسلط هذا الأطروحة الضوء على أهمية الطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية: المحول العاكس، لوح الطاقة الشمسية، الطاقة الموجهة، تحويل الطاقة، التردد.
الم تردد

Résumé

Ce mémoire fournit une étude approfondie des onduleurs et des systèmes photovoltaïques, avec un accent particulier sur la conception et la production d'onduleurs adaptés aux systèmes photovoltaïques. Le premier chapitre présente des informations générales sur les onduleurs, examine leur rôle dans la conversion de l'énergie électrique et explore les différents types d'onduleurs. Le deuxième chapitre se concentre sur les systèmes photovoltaïques, en se concentrant sur les principes fondamentaux des cellules photovoltaïques et en introduisant les composants clés des systèmes photovoltaïques. Le troisième chapitre décrit la fabrication d'onduleurs adaptés aux systèmes photovoltaïques, détaillant les étapes de conception, la sélection des composants et les tests de performance. Le projet a été achevé avec succès pour fournir un onduleur qui convertit l'énergie photovoltaïque en courant alternatif.

Mot clés : onduleur, panneau photovoltaïque, énergie renouvelable, conversion d'énergie, courant alternatif.

Abstract

This thesis provides an in-depth study of inverters and photovoltaic systems, with a specific focus on the design and production of inverters suitable for photovoltaic systems. The first chapter presents general information about inverters, examines their role in electrical energy conversion, and explores different types of inverters. The second chapter focuses on photovoltaic systems, emphasizing the fundamental principles of photovoltaic cells and introducing key components of photovoltaic systems. The third chapter describes the manufacturing of inverters tailored for photovoltaic systems, detailing the design steps, component selection, and performance testing. The project was successfully completed to provide an inverter that converts photovoltaic energy into alternating current.

Key words : inverter, photovoltaic panel, renewable energy, energy conversion, alternative current.

Sommaire

LISTE DES FIGURES.....	I
Introduction générale.....	1
Chapitre 01 La description de l'onduleur	2
I.1 Introduction	2
I.2 Définition de l'onduleur	2
I.3 Principe général de fonctionnement	3
I.4 Types d'onduleur.....	4
I.4.1 Les onduleurs non autonomes	4
I.4.2 Les onduleurs autonomes	4
I.5 Type des onduleurs autonomes de tension	6
I.5.1 Onduleurs monophasé	6
I.5.2 Onduleurs triphasés	8
I.6 Les onduleurs de résonance.....	8
I.6.1 Onduleur à résonance parallèle.....	9
I.6.2 Onduleur à résonance série.....	10
I.7 Les applications des onduleurs	10
I.7.1 Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone	10
I.7.2 Alimentation de secours	11
I.7.3 Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes	12
I.8 La production d'un signal carré.....	12
I.9 Transformation d'un signal carré en signal sinusoïdal pur.....	14
I.10 Conclusion.....	17
Chapitre 02 Généralités sur les systèmes photovoltaïques	18
II.1 Introduction	18
II.2 Composants d'un système photovoltaïque (PV).....	18
II.2.1 Principe de fonctionnement	19
II.3 Générateur photovoltaïque	20
II.3.1 Principe.....	20
II.3.2 Cellules photovoltaïques	20
II.3.3 Caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque.....	22
II.4 Influence de la température et du rayonnement.....	23
II.4.1 Influence de la température	23
II.4.2 Influence du rayonnement	24
II.5 Module photovoltaïque.....	25
II.5.1 Composition d'un module solaire photovoltaïque	26
II.5.2 Caractéristiques d'un module solaire	27

II.6	Panneaux solaires	27
II.7	Champs photovoltaïques (PV).....	28
II.8	Orientation des panneaux solaires	28
II.8.1	Choix de l'orientation des modules.....	28
II.8.2	Choix de l'inclinaison des modules	29
II.8.3	Trajectoire apparente du soleil	29
II.9	Intérêt des panneaux solaires photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixes.....	30
II.10	Conclusion.....	31
Chapitre 03	La fabrication d'un onduleur solaire.....	32
III.1	Introduction	32
III.2	La liste des composants	32
III.2.1	Un transformateur.....	32
III.2.2	Une batterie	33
III.2.3	Un circuit imprimé	33
III.3	La conception de notre onduleur	39
III.4	La conception de notre système photovoltaïque.....	43
III.5	Conclusion.....	45
Conclusion générale	46
Bibliographie	47

ABREVEATION

PV : photovoltaïque

DC : courant continu

AC : courant alternatif

I : courant fournie par une cellule (Ampère)

V : tension aux borne de la cellule (volt)

U(t) : tension de sortie (volt)

K1, K2 : interrupteur

T : la période

D : diode

I_{cc} : courant de court-circuit (A).

V_{oc} : tetion de circuit ouvert (v)

P_c :puissance crête (W).

EVA : ethynile acétate de vinyle

HZ : heurtz

G : gate

S : source

LISTE DES FIGURES

FIGURE I. 1: SCHEMA DES CONVERTISSEURS STATIQUES	2
FIGURE I. 2 : SCHEMA DE PRINCIPE DE LA CONVERSION CONTINUE – ALTERNATIVE (DC-AC).....	3
FIGURE I. 3 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D’UN ONDULEUR AUTONOME.....	3
FIGURE I. 4: K1 FERME.....	3
FIGURE I. 5: TENSION $U_D(T)$ QUAND K1 ET K2 SONT FERMES	4
FIGURE I. 6: ONDULEUR DE COURANT EN PONT MONOPHASE.....	5
FIGURE I. 7: SIGNAUX DE COMMANDE ET FORME D’ONDE DES COURANTS.....	5
FIGURE I. 8 : ONDULEUR DE TENSION EN DEMI-PONT.....	6
FIGURE I. 9 : SIGNAUX DE COMMANDE ET FORME D’ONDE DE TENSION DE SORTIE.....	6
FIGURE I. 10: ONDULEUR DE TENSION EN PONT MONOPHASE.....	7
FIGURE I. 11 : SIGNAUX DE COMMANDE DE FORME D’ONDE DE TENSION DE SORTIE	7
FIGURE I. 12: CIRCUIT DE PUISSANCE D’UN ONDULEUR DE TENSION TRIPHASE	8
FIGURE I. 13: ONDULEUR A RESONANCE PARALLELE (MONOPHASE).....	9
FIGURE I. 14 : SIGNAUX DE COMMANDE ET FORME D’ONDE DES COURANTS.....	9
FIGURE I. 15: ONDULEUR A RESONANCE SERIE (MONOPHASE)	10
FIGURE I. 16 : SIGNAUX DE COMMANDE ET FORME D’ONDE DES TENSIONS.....	10
FIGURE I. 17: REGLAGE DE LA VITESSE DE ROTATION D’UN MOTEUR SYNCHROME	11
FIGURE I. 18: ALIMENTATION DE SECOURS	11
FIGURE I. 19: TRANSFERT DE L’ENERGIE ENTRE DEUX RESEAUX DE FREQUENCES DIFFERENTES.....	12
FIGURE I. 20: L’ONDULEUR A PONT EN H AVEC INTERRUPTEURS.....	12
FIGURE I. 21: SENS DU COURANT QUAND S1 ET S4 SONT FERMES	13
FIGURE I. 22 : SENS DU COURANT QUAND S2 ET S3 SONT FERMES	13
FIGURE I. 23: ONDULEUR A PONT EN H AVEC DES MOSFETS.....	13
FIGURE I. 24: LES PULSATIONS DE LA SINUSOÏDE	14
FIGURE I. 25: LA FORME DE LA MOYENNE DES PULSATIONS.....	15
FIGURE I. 26: LE CIRCUIT DE L’ONDULEUR POUR PRODUIRE LES PULSATIONS CARREES	15
FIGURE I. 27: SIGNAL PRODUIT PAR LE COMPAREUR 1 AU POINT A	16
FIGURE I. 28: LE SIGNAL VA-VB (LE TRAIN DE PULSATIONS)	17
FIGURE II. 1 : SCHEMA SYNOPTIQUE D’UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE.....	18
FIGURE II. 2 : PRESENTATION SCHEMATIQUE D’UNE CELLULE SOLAIRE.....	20
FIGURE II. 3 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D’UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE.....	21
FIGURE II. 4: CIRCUIT EQUIVALENT D’UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	22
FIGURE II. 5 : CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION D’UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	22
FIGURE II. 6: EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA CARACTERISTIQUE I-V.....	24
FIGURE II. 7: EVOLUTION DE LA CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION AVEC L’ENERGIE RECUE	25
FIGURE II. 8: MODULE PHOTOVOLTAÏQUE.....	26
FIGURE II. 9 : COMPOSITION D’UN MODULE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUES.....	26
FIGURE II. 10: EXEMPLE D’UN PANNEAU SOLAIRE	27
FIGURE II. 11: CHAMP DE PANNEAUX SOLAIRES EN SERIE-PARALLELE	28
FIGURE II. 12 : L’INCLINAISON IDEALE D’UN PANNEAU SOLAIRE	29
FIGURE II. 13: DIAGRAMME DE COMPARAISON ENTRE LA PRODUCTION AVEC SUIVEUR ET LA PRODUCTION AVEC SYSTEME FIXE.....	31

FIGURE III. 1: ONDULEUR DE SECOURS DE MARQUE APC.....	32
FIGURE III. 2 : BATTERIE 12 VDC.....	33
FIGURE III. 3: DES VARISTANCES	34
FIGURE III. 4 : MOSFET	35
FIGURE III. 5: LES CONDENSATEURS.....	35
FIGURE III. 6 : FUSIBLE D'ONDULEUR	36
FIGURE III. 7: DES RESISTANCES	36
FIGURE III. 8 : DES POTENTIOMETRES	37
FIGURE III. 9 : DES TRANSISTORS.....	38
FIGURE III. 10 : DES CIRCUITS INTEGRES	38
FIGURE III. 11 : MONTAGE D'UN OSCILLATEUR 50 HZ	39
FIGURE III. 12 : MOSFETS MONTES SUR DES RADIATEURS	40
FIGURE III. 13 : MONTAGE FINAL DE NOTRE ONDULEUR SANS BATTERIE	41
FIGURE III. 14 : LA TENSION DELIVREE PAR NOTRE ONDULEUR	41
FIGURE III. 15 : MONTAGE FINAL DE NOTRE ONDULEUR SOUS TENSION 12V	42
FIGURE III. 16 : VISUALISATION DU GRAPHE DE TENSION DE SORTIE DE L'ONDULEUR SUR L'OSCILLOSCOPE	42
FIGURE III. 17 : REGULATEUR DE CHARGE EN MODE MARCHE.....	43
FIGURE III. 18 : REGULATEUR DE CHARGE EN MODE CHARGE.....	44
FIGURE III. 19 : NOTRE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE EN ETAT DE FONCTIONNEMENT	44

Introduction générale

Introduction générale

Ce mémoire de fin d'étude porte sur l'électronique de puissance, qui traite des modifications de la présentation de l'énergie électrique à l'aide de convertisseurs statiques à semi-conducteurs. L'électronique de puissance joue un rôle essentiel dans le domaine de l'électricité industrielle grâce aux progrès réalisés dans les composants et leur mise en œuvre.

L'étude de l'électronique de puissance est abordée sous trois aspects. D'abord, l'étude des composants explore le fonctionnement des semi-conducteurs, leurs caractéristiques, les limitations à respecter et les conditions nécessaires pour les signaux de commande. Ensuite, l'étude des structures met en évidence la manière dont ces composants sont intégrés dans des circuits pour créer des convertisseurs statiques, en établissant les relations entre les grandeurs d'entrée et de sortie ainsi que les contraintes imposées aux composants. Enfin, l'étude de la commande explique comment élaborer les signaux de commande des semi-conducteurs en fonction des transformations à réaliser et de la dynamique souhaitée.

Ce mémoire se concentre principalement sur l'étude des structures d'un type de convertisseur et les onduleurs solaires. L'objectif principal est de fabriquer un onduleur solaire de secours personnalisé.

Le mémoire est divisé en trois chapitres. Le premier chapitre présente une introduction générale sur les onduleurs, en expliquant leur principe de fonctionnement, leurs différents types, ainsi que leurs applications. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des panneaux solaires, en mettant en avant les composants d'un système photovoltaïque, leur principe de fonctionnement, ainsi que certaines caractéristiques électriques des générateurs photovoltaïques.

Le troisième chapitre aborde la partie pratique du projet, avec le démontage d'un onduleur pour comprendre sa construction et son fonctionnement, ainsi que la fabrication d'un convertisseur statique DC-AC (onduleur) adapté à un système photovoltaïque.

Ce mémoire offre une approche complète pour approfondir la compréhension des onduleurs solaires, en fournissant des éléments théoriques et pratiques pour la réalisation du projet

Chapitre 01

La description de l'onduleur

I.1 Introduction

Ce chapitre introduit les concepts généraux de l'électronique de puissance et se concentre sur l'onduleur en tant que convertisseur DC-AC.

On y définit le convertisseur statique comme un système permettant d'adapter l'énergie électrique en effectuant une conversion.

Grâce aux avancées des semi-conducteurs et de l'électronique de puissance, les convertisseurs statiques ont remplacé les machines électriques couplées mécaniquement.

Les différents types de convertisseurs statiques comprennent les hacheurs (continu > continu), les onduleurs (continu > alternatif), les gradateurs (alternatif > alternatif) et les redresseurs (alternatif > continu). Chacun de ces types offre des fonctionnalités spécifiques et trouve des applications variées dans l'électronique de puissance [1].

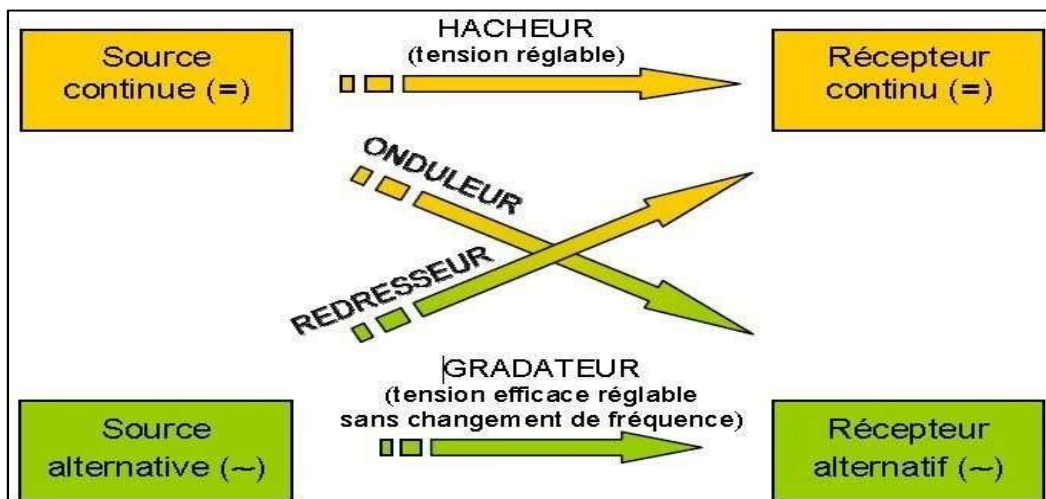


Figure I. 1: Schéma des convertisseurs statiques.

I.2 Définition de l'onduleur

L'onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de générer une énergie électrique de la forme alternative (AC) à partir de la forme continue (DC), en utilisant un dispositif de commande (semi-conducteur), afin d'obtenir une tension alternative réglable en fréquence, et en valeur efficace au bornes du récepteur, la tension de sortie d'un onduleur a une forme d'onde périodique qui n'est pas sinusoïdale, mais qui peut être très proche de la forme d'onde souhaitée. C'est la fonction inverse d'un redresseur [2].

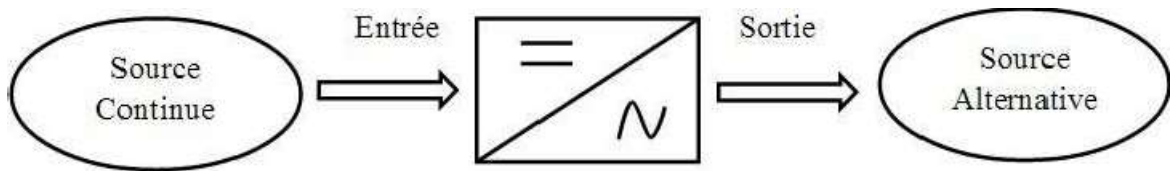


Figure I. 2 : Schéma de principe de la conversion continue – alternative (DC-AC).

I.3 Principe général de fonctionnement

Pour réaliser un onduleur autonome, il suffit de disposer d'un interrupteur inverseur K et d'une source de tension continue E comme le montre la figure au dessous :

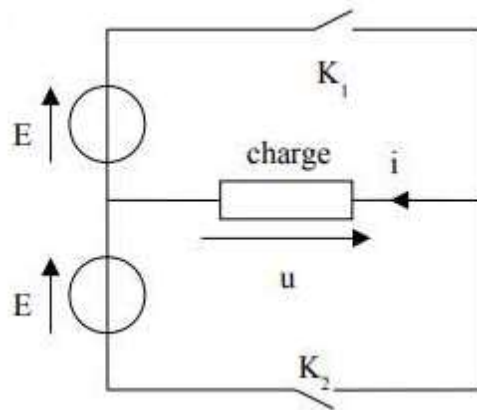


Figure I. 3 : Principe de fonctionnement d'un onduleur autonome.

Lorsque K₁ est fermé, on obtient le montage de la figure ci dessous:

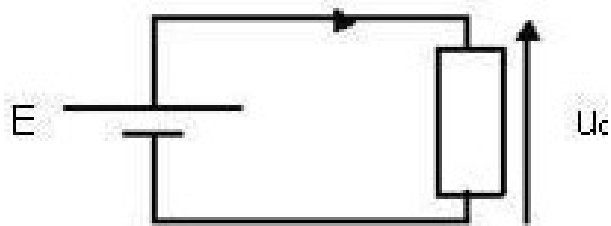


Figure I. 4: K₁ fermé.

Soit : $U(t) = E$

Lorsque K₂ est fermé on obtient $U = -E$

La figure ci dessous donne la forme d' $U_d(t)$ sur une période complète de fonctionnement.

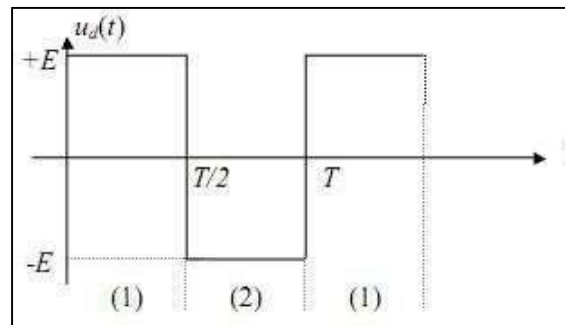


Figure I. 5: Tension $U_d(t)$ quand K_1 et K_2 sont fermés.

I.4 Types d'onduleur

Les onduleurs se déclinent en différents types, classés en fonction de plusieurs critères tels que le nombre de phases, l'utilisation de dispositifs semi-conducteurs de puissance, les principes de commutation et les formes d'ondes de sortie.

Les onduleurs sont classés en deux grandes catégories :

I.4.1 Les onduleurs non autonomes

Les composants utilisés peuvent être de simples thyristors commandés uniquement à la fermeture et la commutation est "naturelle" contrairement à l'onduleur autonome. L'application principale de ce type d'onduleur se trouve dans les variateurs pour moteurs synchrones de très forte puissance où les thyristors sont souvent les seuls composants utilisables [1].

I.4.2 Les onduleurs autonomes

C'est un système qui nécessite des composants commandés à la fois, à la fermeture et à l'ouverture, de fréquence variable, dont les instants de commutation sont imposés par des circuits externes. La charge est quelconque. Cet onduleur n'est pas réversible.

On distingue deux types d'onduleurs autonomes :

Les onduleurs de tension alimentés par une source de tension continue.

Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continue [1].

I.4.2.1 Onduleurs (autonomes) de courant

Un onduleur de courant, également appelé commutateur de courant, est un dispositif électronique qui fonctionne en étant alimenté par une source de courant continu. La particularité de cette source de courant continu est qu'elle possède une inductance interne suffisamment élevée pour que le courant traversant cette source, noté " I_{DC} ", ne soit pas affecté par les variations de tension, notée " U_{DC} ", aux bornes de la source. En d'autres termes, l'onduleur de courant est conçu pour maintenir un courant constant malgré les fluctuations de tension auxquelles il est soumis. Cela permet d'obtenir une sortie de courant alternatif stable et contrôlée, adaptée à l'alimentation de charges qui nécessitent une telle forme de courant.

Comme exemple, on prend le montage de la figure ci-dessous illustrant le modèle d'un onduleur de courant monophasé, qui se compose de quatre interrupteurs de puissance $K1$, $K2$, $K1'$ et $K2'$, et la figure 1.6 représente les signaux de commande et les formes d'ondes des courants correspondants [1].

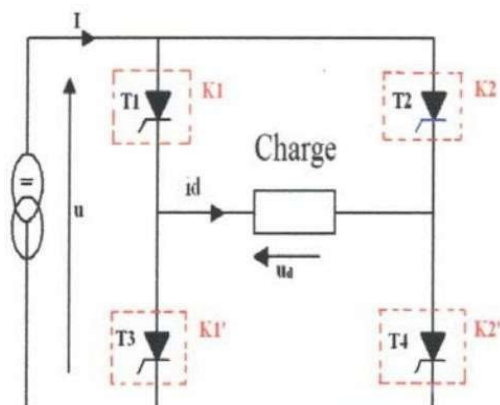


Figure I. 6: Onduleur de courant en pont monophasé.

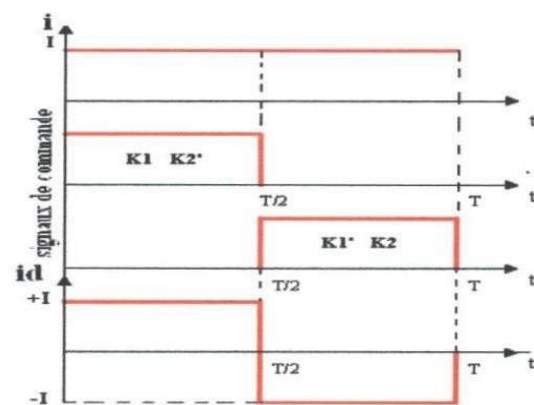


Figure I. 7: Signaux de commande et forme d'onde des courants.

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

- Pour $0 < t < T/2$: les interrupteurs, $K1$ $K2'$ sont fermés, et $K2$, $K1'$ sont ouverts.

D'où $I_d = +I$

- Pour $T/2 < t < T$: les interrupteurs, $K2$, $K1'$ sont fermés, et $K1$, $K2'$ sont ouverts.

D'où $I_d = -I$

La tension $U_d(t)$ de la sortie est donc la tension U à l'entrée, elle dépend de la charge placée

dans le coté alternatif. Dans ce cas, l'interrupteur est formé d'un semi- conducteur commandé à l'ouverture et à la fermeture, il n'a pas à être réversible en courant, alors on n'a pas besoin de diode mise en parallèle.

I.4.2.2 Onduleurs (autonomes) de tension

Un onduleur de tension est un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue (source d'impédance interne négligeable). La tension « U_{dc} » n'est pas affecté par les variations du courant « I_{dc} » qui la traverse, la source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie. Le courant à la sortie « I_{ch} » et aussi le courant à l'entrée « I_{dc} » dépendent de la charge placée du côté alternatif. Cette charge peut être quelconque à la seule condition qu'il ne s'agisse pas d'une autre source de tension (capacité ou f. e. m alternative) directement branchée entre les bornes de sortie [1].

I.5 Type des onduleurs autonomes de tension

I.5.1 Onduleurs monophasé

Pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue en utilisant deux interrupteurs, il faut un point milieu, soit du côté de la sortie alternative, soit du côté de l'entrée continue, cela correspond à :

L'onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu appelé onduleur push-pull.

L'onduleur monophasé avec diviseur capacitif à l'entrée appelé onduleur en demi- point.

Si on veut varier la largeur relative des créneaux formant les alternances de la tension de sortie, il faut quatre interrupteurs, c'est l'onduleur monophasé en pont [3].

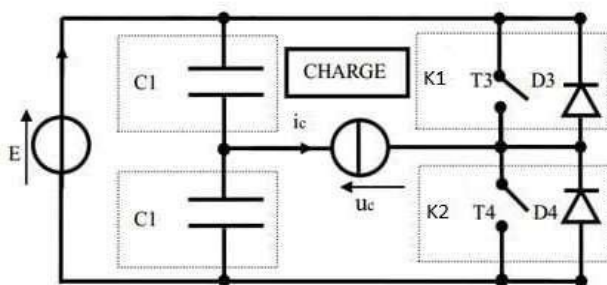


Figure I. 8 : Onduleur de tension en demi-pont.

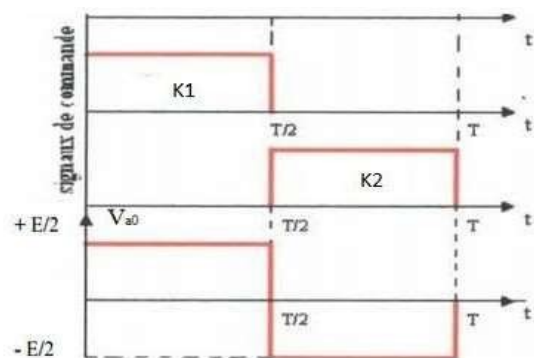


Figure I. 9 : Signaux de commande et forme d'onde de tension de sortie.

Les états des interrupteurs commandés nous permettent de donner l'expression de $E(t)$ comme suit :

Si la tension d'entrée de l'onduleur est constante et égale à U , quel que soit I on a :

- Pour $0 < t < T/2$: l'interrupteur $K1$ est fermé, et $K2$ est ouvert.

D'où $E = + E/2$

- Pour $T/2 < t < T$: l'interrupteur $K2$ est fermé, et $K1$ est ouvert.

D'où $E = - E/2$

Le courant de la sortie est donc le courant I à l'entrée, il dépend de la charge placée du côté alternatif.

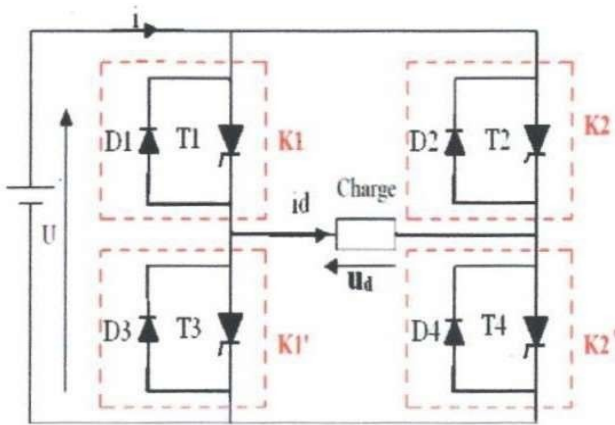


Figure I. 10 : Onduleur de tension en Pont monophasé.

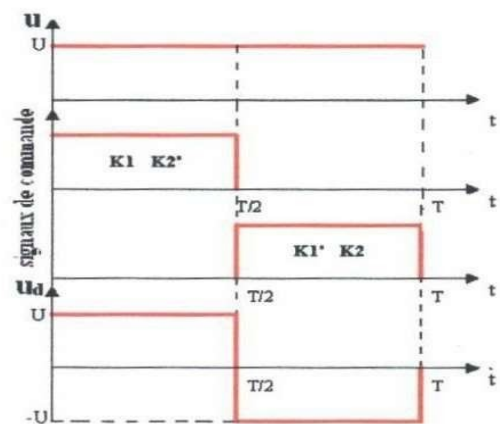


Figure I. 11 : Signaux de commande de forme d'onde de tension de sortie.

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

- Pour $0 < t < T/2$: les interrupteurs, $K1, K2'$ sont fermés, et $K2, K1'$ sont ouverts.

D'où $U_d = + U$

- Pour $T/2 < t < T$: les interrupteurs, $K2, K1'$ sont fermés, et $K1, K2'$ sont ouverts.

D'où $U_d = - U$

Le courant de la sortie est donc le courant I à l'entrée, il dépend de la charge placée du côté alternatif.

Dans le cas de l'onduleur figure 1.10, les interrupteurs, représentés par K_i , sont constitués de la mise en parallèle d'un semi-conducteur T_i contrôlé pour l'ouverture et la fermeture, ainsi que d'une diode D_i . La diode D_i garantit la continuité du courant, permettant ainsi la conduction d'un

courant négatif lorsque celui-ci est déphasé par rapport à la tension de sortie. Cette configuration assure le bon fonctionnement de l'onduleur en permettant la commutation et le maintien de la continuité du courant selon les exigences de la charge connectée [3].

I.5.2 Onduleurs triphasés

L'onduleur de tension triphasé découle immédiatement de trois demi-points monophasés, L'onduleur triphasé comprend six interrupteurs, chaque demi-pont comprend un thyristor (ou un transistor) et une diode. La source de tension continue est obtenue à partir d'un pont redresseur. Pour assurer la continuité des courants de sortie alternative i_a , i_b et i_c , les interrupteurs K_1 , $K'1$ et K_2 , $K'2$, K_3 et $K'3$ doivent être complémentaires deux à deux [4].

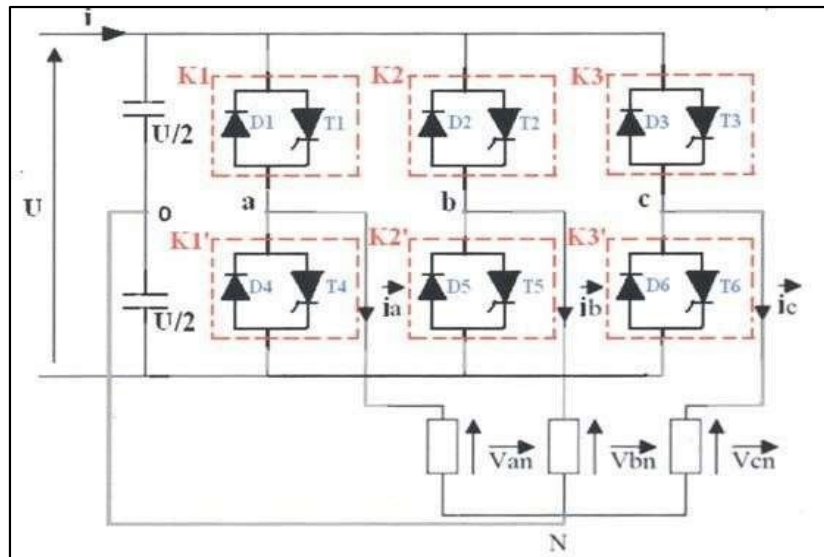


Figure I. 12: Circuit de puissance d'un onduleur de tension triphasé.

On peut commander l'onduleur de manière que :

- Chaque interrupteur conduit durant 120° .
- Chaque interrupteur conduit durant 180° .

I.6 Les onduleurs de résonance

On désigne sous ce nom des onduleurs de tension ou de courant dont la charge est constituée par des circuits oscillants peu amortis et dont la fréquence de fonctionnement est adaptée aux paramètres de la charge de façon à avoir en permanence un fonctionnement au voisinage de la résonance, ce qui entraîne en particulier que la grandeur non imposée par la source présente une allure quasi sinusoïdale. Par ailleurs, l'impédance de la charge évoluant très rapidement avec la

fréquence, ceci permet de régler l'amplitude de la grandeur de sortie libre par une simple action sur la fréquence de fonctionnement de l'onduleur [5].

Initialement, les onduleurs à résonance étaient réalisés à base de thyristors. Pour éviter d'avoir à leur adjoindre des circuits de blocage, on faisait systématiquement fonctionner ceux-ci à des fréquences telles que le circuit de charge se comporte comme un récepteur capacitif. Actuellement, l'utilisation au moins dans le cas des onduleurs de tension de semi-conducteurs à blocage par l'électrode de commande permet de s'affranchir de cette contrainte, le choix de la fréquence de fonctionnement n'étant plus guidé que par des considérations de réglage du signal de sortie non imposé par la source. Les onduleurs à résonance étant essentiellement à base de structures en pont [5].

On distingue deux modèles à résonance :

I.6.1 Onduleur à résonance parallèle

L'onduleur à résonance parallèle débite sur un circuit RLC résonnant parallèle peu amorti comme l'illustre la figure suivante :

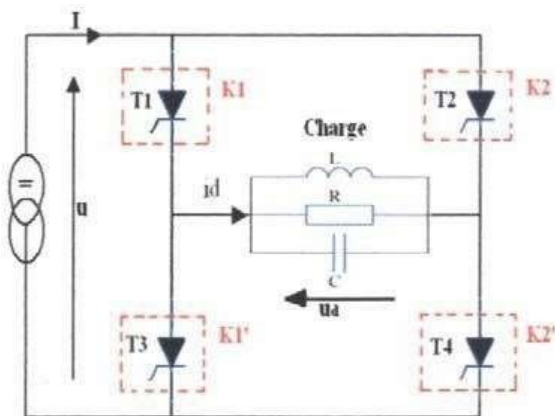


Figure I. 13: Onduleur à résonance parallèle (monophasé).

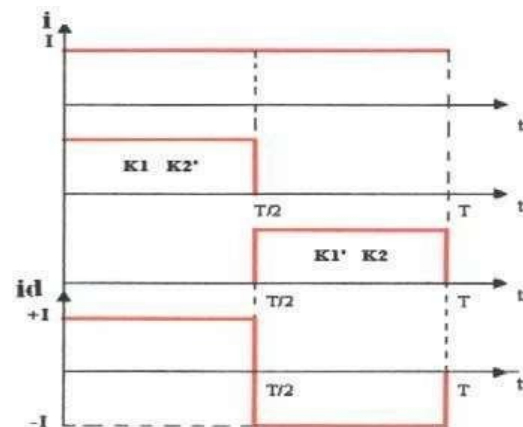


Figure I. 14 : Signaux de commande et forme d'onde des courants.

Pour cela, on dispose d'une capacité branchée entre les bornes de la sortie, pour s'opposer à la brusque variation de la tension; donc l'onduleur doit être alimenté par une source de courant continu. Il représente donc un cas particulier de l'onduleur de courant, dont la figure 1.14 donne les signaux de commande et les formes d'ondes des courants [6].

I.6.2 Onduleur à résonance série

Celui-ci débite sur un circuit RLC résonant en série peu amorti (figure 1.15) Dans ce cas, on dispose d'une inductance placée en série dans la charge, pour s'opposer aux discontinuités du courant I , donc l'onduleur doit être alimenté par une source de tension. Il représente alors un cas particulier de l'onduleur de tension. La figure 1.16 représente les signaux de commande et les formes d'ondes des tensions [7].

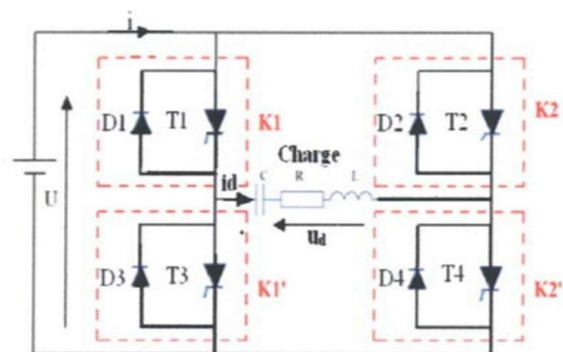


Figure I. 15: Onduleur à résonance série (monophasé).

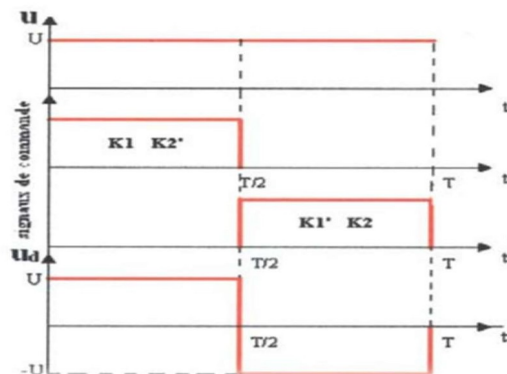


Figure I. 16 : Signaux de commande et forme d'onde des tensions.

I.7 Les applications des onduleurs

Parmi les nombreux domaines d'emploi des onduleurs autonomes, on trouve principalement les onduleurs à fréquence fixe à commutation forcée alimentés le plus souvent par une batterie d'accumulateur. Ils jouent d'ordinaire le rôle d'alimentation de sécurité.

Les onduleurs à fréquence variable à commutation forcée alimentés à partir du réseau industriel par l'intermédiaire d'un montage redresseur, ils délivrent une tension de fréquence et de valeur efficace nécessaires pour faire tourner à vitesse variable un moteur à courant alternatif [8].

I.7.1 Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

La vitesse d'un moteur synchrone est fixée par la pulsation des courants statiques. Pour changer de vitesse il faut donc changer la fréquence des tensions d'alimentation. Il faut donc redresser la tension du réseau puis l'onduler à la fréquence désirée.

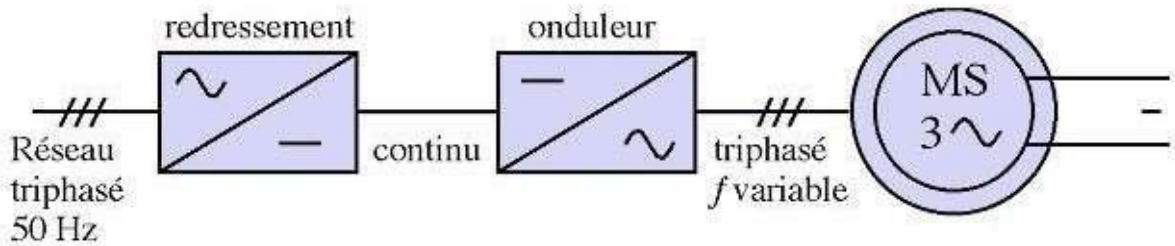


Figure I. 17: Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone.

Remarque :

Pour que la puissance du moteur reste nominale lorsque la fréquence varie, il faut en fait conserver le rapport (f/V) constant. (Si la fréquence augmente, il faut augmenter la tension d'alimentation proportionnellement) [8].

I.7.2 Alimentation de secours :

Lors d'une panne d'électricité, un onduleur assure la continuité de l'alimentation des machines à partir d'une batterie. En informatique professionnelle, un onduleur est indispensable pour éviter la perte d'informations en cas de panne du secteur [8].

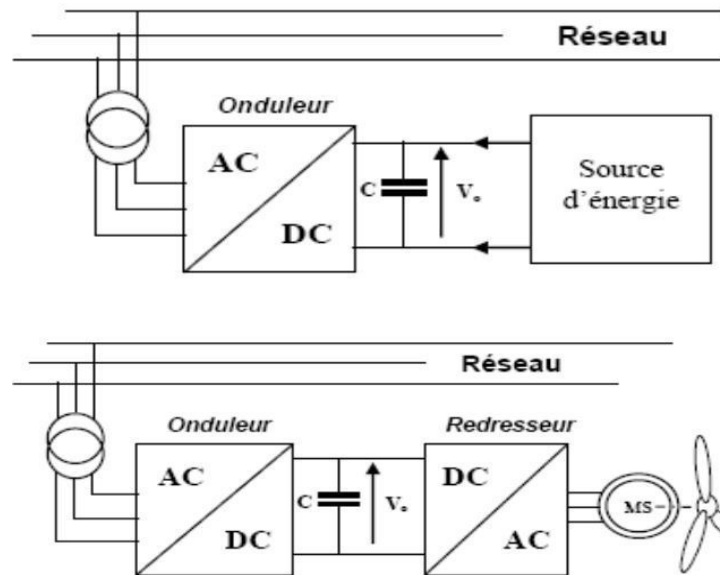


Figure I. 18: Alimentation de secours.

I.7.3 Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

La France fournit de l'énergie électrique à la Grande-Bretagne, mais la fréquence du réseau anglais est 60 Hz. Il faut donc adapter la fréquence.

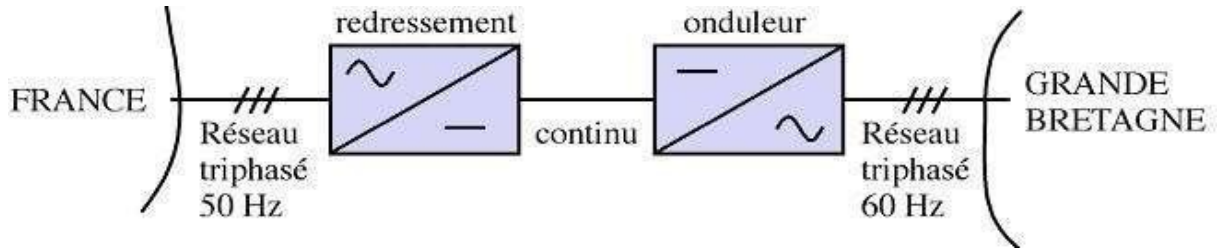


Figure I. 19: Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes.

I.8 La production d'un signal carré

Le courant alternatif change son sens d'une façon périodique, pour cela la valeur moyenne du courant alternatif pendant une seule période sera nulle.

Avant de parler d'un courant du signal sinusoïdal on vous montre d'abord comment un courant du signal carré est produit vu que les anciens onduleurs produisaient seulement des signaux carrés.

On réalise un circuit d'onduleur à pont en H « FULL BRIDGE INVERTER », qui se compose de quatre interrupteurs et une source de tension.

On met une charge R_1 entre les points A et B, comme le montre la Figure suivante :

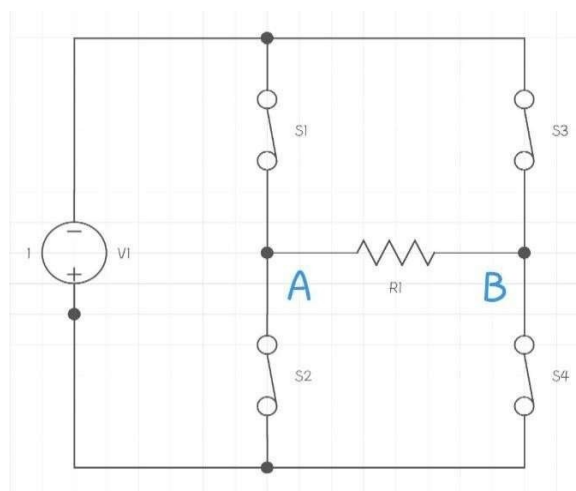


Figure I. 20: L'onduleur à pont en H avec interrupteurs.

On note le sens du courant quand les interrupteurs S1 et S4 sont fermés et S2 et S3 sont ouverts (Figure 1.21).

Ensuite, on fait l'inverse (Figure 1.22) où les interrupteurs S2 et S3 sont fermés et S1 et S4 sont ouverts et on observe le sens du courant.

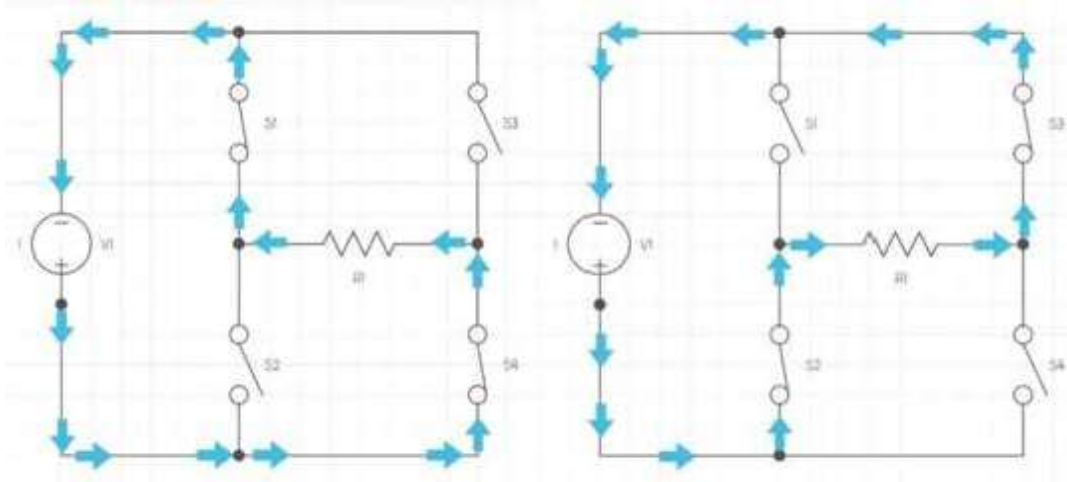


Figure I. 21: Sens du courant quand S1 et S4 sont fermés.

Figure I. 22 : Sens du courant quand S2 et S3 sont fermés.

On remarque que le sens du courant qui traverse la charge est inversé, c'est la technique basique qui produit un signal carré d'un courant alternatif.

On sait que la fréquence du secteur est 50Hz, autrement dit qu'il faut fermer et ouvrir les interrupteurs 100 fois par seconde, ce qui est impossible que ce soit manuellement ou bien en utilisant des interrupteurs mécaniques. Pour cette raison on utilise les semi-conducteurs, on a choisis les MOSFET, ils se ferment et s'ouvrent des milliers de fois par seconde. A l'aide du signal de contrôle, on peut ouvrir et fermer les transistors très facilement [9].

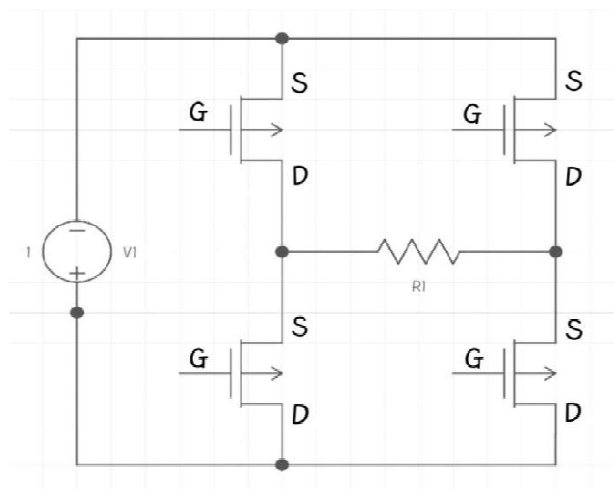


Figure I. 23: Onduleur à pont en H avec des MOSFETS.

I.9 Transformation d'un signal carré en signal sinusoïdal pur

La forme du signal carré est très approximative à la forme du signal sinusoïdal que les anciens onduleurs produisaient, c'est pour ça qu'on entend un bruit très aigue quand on allume les appareils qui utilisent une énergie d'un signal carré, ça chauffe aussi les équipements électriques. Les modernes onduleurs produisent un signal sinusoïdal pur, voici comment ce dernier est produit :

On utilise la technique de la modulation de largeur d'impulsion. Le fonctionnement de cette technique est simple, elle produit le DC voltage sous la forme des pulsations de différentes largeurs. Dans des régions où on a besoin de grandes amplitudes elle va produire des pulsations de grandes largeurs.

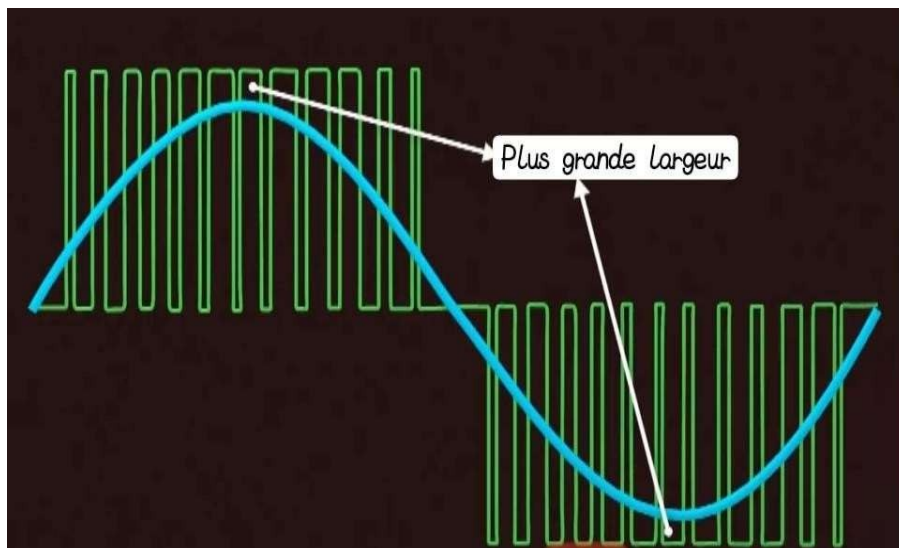


Figure I. 24: Les pulsations de la sinusoïde.

C'est là que cela devient plus complexe. Qu'arriverait-il si nous calculions la moyenne de ces pulsations sur une petite période de temps ?

La forme de cette moyenne des pulsations serait très similaire à la courbe d'une sinusoïde.

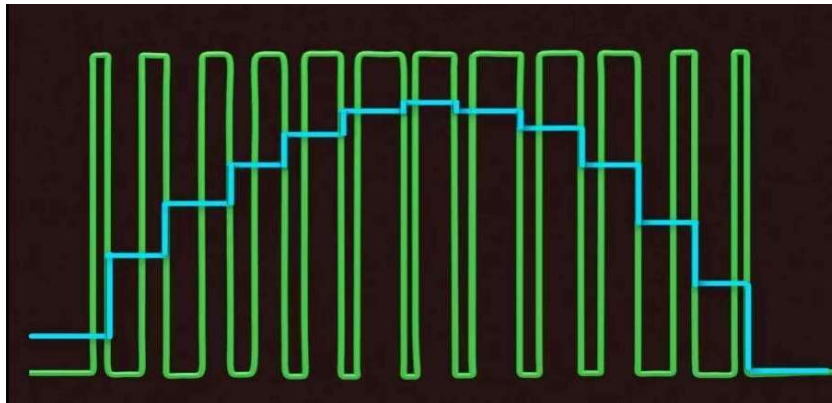


Figure I. 25: La forme de la moyenne des pulsations.

La question essentielle est de savoir comment générer ces pulsations et comment calculer leur moyenne de manière pratique ?

À cette fin, on utilise deux comparateurs qui comparent une période d'un signal sinusoïdal avec celle d'un signal triangulaire. L'un des comparateurs utilise un signal sinusoïdal de référence, tandis que l'autre utilise le signal de sortie de l'onduleur. Le premier comparateur contrôle les interrupteurs S1 et S2, tandis que le deuxième contrôle les interrupteurs S3 et S4. De cette manière, les comparateurs permettent de réguler et de synchroniser les interrupteurs pour générer les pulsations souhaitées et calculer leurs moyennes.

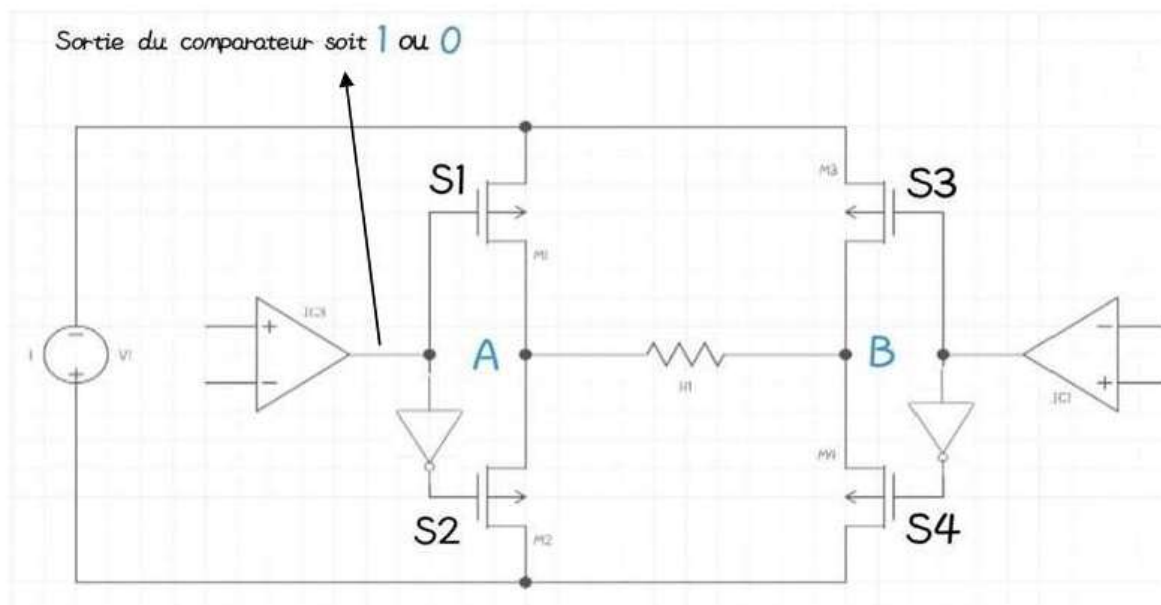


Figure I. 26: Le circuit de l'onduleur pour produire les pulsations carrées.

S1 et S2 déterminent la tension au point A, et S3 et S4 déterminent la tension au point B, et une branche de sortie du comparateur a une porte logique « NOT » pour assurer que quand S1 est fermer, S2 est ouvert et vice versa, ça veut dire qu'on peut jamais fermer S1 et S2 en même temps ce qui va causer un court- circuit.

Quand on ferme S1 ça nous donne une tension V au point A et quand on ferme S2 ça nous donne $0V$ au même point. C'est la même chose pour le point B. La logique de commutation MLI (modulation de largeur d'impulsion) est simple, quand le signal sinusoïdal est plus grand par rapport au signal triangulaire le comparateur produit un signal égal à 1 sinon il produit un signal égal à 0. On observe sur la figure suivante la variation du signal de tension V_a du comparateur 1 au point A suivant la logique cité dessus. Quand $V_a = 1$ le MOSFET est en état de marche.

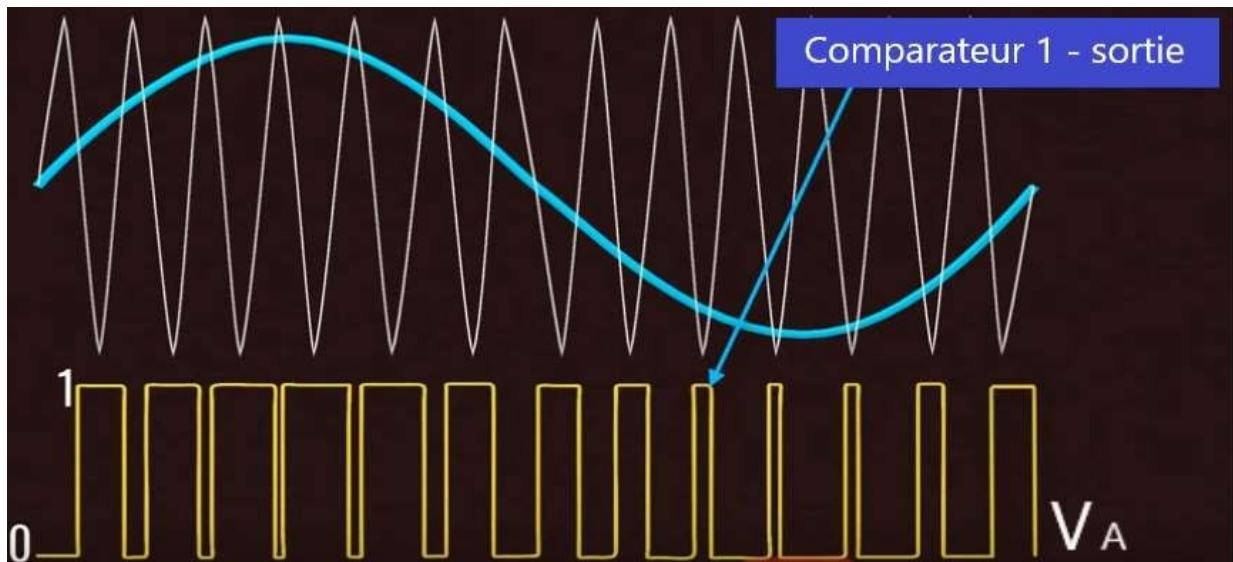


Figure I. 27: Signal produit par le comparateur 1 au point A.

On applique la même logique avec le comparateur 2 et on observe le signal de tension V_b produit au point B. Et puisqu'on veut obtenir le signal produit entre le point A et B, la tension totale va être la différence entre V_a et V_b , comme le montre la figure suivante.

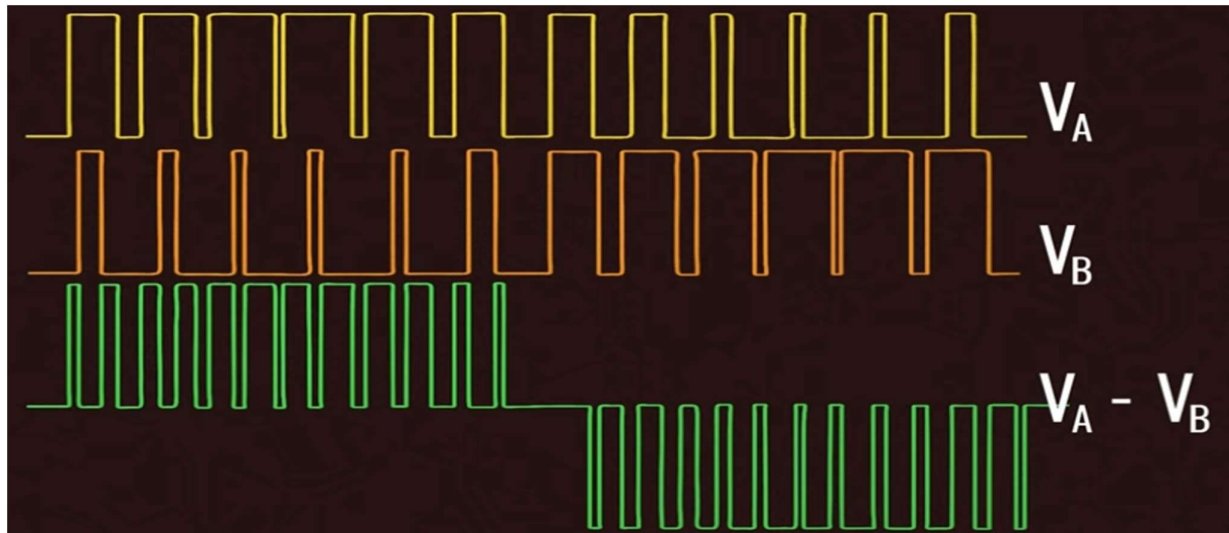


Figure I. 28: Le signal V_a-V_b (le train de pulsations).

Voilà donc le signal qu'on doit avoir pour produire le signal sinusoïdal, plus le signal triangulaire est précis plus le train de pulsations est précis. Pour rendre ce dernier un signal sinusoïdal on utilise les inductances et les capacités pour lisser le flux de puissance, ils sont appelés des filtres passifs, l'inductance est utilisée pour lisser le courant, et les capacités sont utilisés pour lisser la tension [10].

I.10 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous avons abordé en détail la théorie de l'onduleur, en mettant en évidence sa constitution physique fondamentale ainsi que son fonctionnement. Nous avons également examiné les principales applications de l'onduleur et passé en revue les différentes structures existantes. Ce chapitre nous a permis de développer une compréhension approfondie de l'onduleur, en mettant en lumière son rôle essentiel dans la conversion de l'énergie électrique et en soulignant sa polyvalence dans divers domaines de l'électricité industrielle. Cette base théorique solide sera un point de départ essentiel pour les chapitres à venir, où nous approfondirons l'étude des onduleurs et explorerons leur utilisation dans des systèmes photovoltaïques et d'autres applications spécifiques.

Chapitre 02

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

II.1 Introduction

Le chapitre suivant se concentre sur les systèmes photovoltaïques, une solution majeure dans la transition vers une énergie propre et durable. L'énergie solaire, abondante et renouvelable, joue un rôle essentiel dans la production d'électricité grâce aux systèmes photovoltaïques qui convertissent directement la lumière solaire en électricité. Ce chapitre explore en détail les différents aspects des systèmes photovoltaïques, mettant en évidence leur importance dans le contexte actuel. Ce chapitre explore les composants des systèmes photovoltaïques, les principes de fonctionnement des générateurs photovoltaïques, les caractéristiques des modules solaires, ainsi que des considérations telles que l'orientation optimale des panneaux solaires. Nous examinerons également les avantages des panneaux solaires photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixes. L'objectif est de fournir une compréhension approfondie des systèmes photovoltaïques et de leur rôle essentiel dans la production d'électricité propre et durable.

II.2 Composants d'un système photovoltaïque (PV)

Un module photovoltaïque seul ne suffit généralement pas pour alimenter régulièrement une application. Tout comme l'éclairage, l'énergie qu'il fournit est très variable, et toujours en courant continu: il faut souvent la stocker et parfois la transformer [11] .

On appelle "système photovoltaïque" l'ensemble du composant nécessaire à l'alimentation d'une application en toute fiabilité. Généralement, un system photovoltaïque comprend les différents éléments indiqués par la figure suivante :

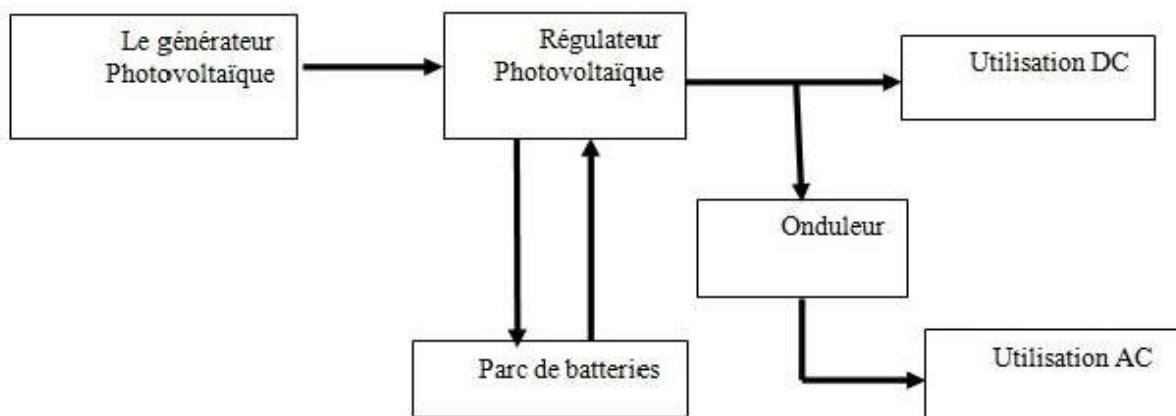


Figure II. 1 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque.

Les composants d'un système photovoltaïque sont les éléments essentiels qui travaillent ensemble pour capturer la lumière solaire et la convertir en électricité utilisable. Voici une présentation des principaux composants d'un système photovoltaïque :

- **Panneaux solaires** : Les panneaux solaires, également appelés modules photovoltaïques, sont composés de cellules photovoltaïques qui absorbent la lumière du soleil et génèrent un courant électrique continu. Ils sont généralement fabriqués à partir de matériaux semi-conducteurs, tels que le silicium cristallin, qui ont des propriétés photovoltaïques [12].

- **Régulateur de charge** : Le régulateur de charge contrôle la charge de la batterie en régulant le courant et la tension provenant des panneaux solaires. Il protège également la batterie contre une surcharge ou une décharge excessive, ce qui peut endommager sa durée de vie [12].

- **Batterie** : La batterie est utilisée pour stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires. Elle permet d'utiliser l'électricité pendant les périodes où les panneaux solaires ne produisent pas suffisamment d'énergie, comme la nuit ou par temps nuageux [13].

- **Onduleur** : L'onduleur est un appareil qui convertit le courant continu produit par les panneaux solaires et stocké dans la batterie en courant alternatif, qui est utilisé dans la plupart des appareils électriques. Il est essentiel pour alimenter les appareils ménagers, les systèmes d'éclairage et d'autres charges électriques [13].

- **Câbles et connexions** : Les câbles et les connexions assurent la connexion entre les différents composants du système photovoltaïque, permettant le transfert d'énergie électrique de manière sûre et efficace.

En combinant ces composants de manière appropriée, un système photovoltaïque peut produire de l'électricité propre et renouvelable à partir de la lumière du soleil, offrant ainsi une alternative durable aux sources d'énergie conventionnelles [13].

II.2.1 Principe de fonctionnement

Le processus de conversion de l'énergie solaire en électricité repose sur l'utilisation de cellules photovoltaïques. Ces cellules, composées de matériaux semi-conducteurs spéciaux tels que le

silicium, sont capables de générer un courant électrique lorsque la lumière du soleil les frappe. Le principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque, où les photons de lumière solaire excèdent les électrons dans le matériau, créant ainsi un flux de courant électrique continu [14].

II.3 Générateur photovoltaïque

II.3.1 Principe

Un générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules photovoltaïques regroupées dans un module. Chaque cellule génère une petite quantité de courant, mais lorsque les cellules sont connectées en série ou en parallèle, elles produisent une puissance plus élevée. Le générateur photovoltaïque permet donc de collecter et d'exploiter efficacement l'énergie solaire [15].

II.3.2 Cellules photovoltaïques

II.3.2.1 Structure d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est composée de différentes couches de matériaux qui jouent des rôles spécifiques dans le processus de conversion de l'énergie solaire en électricité. Parmi ces couches, on trouve d'un abri du verre (g), un encapsulant (e) pour éviter la corrosion, un métal en arrière contact (m) afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident et deux couches de silicium, une couche de matériau dopé positivement (P) et une couche de matériau dopé négativement (N), ainsi qu'une jonction entre ces deux couches [16].

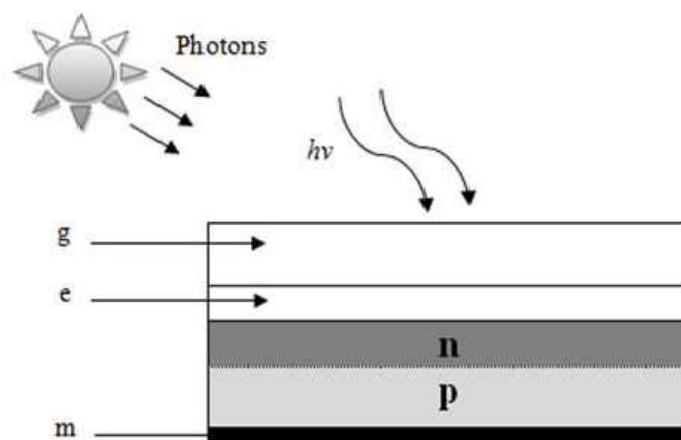


Figure II. 2 : Présentation schématique d'une cellule solaire.

II.3.2.2 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Lorsque la lumière solaire atteint la cellule photovoltaïque, les photons transportent suffisamment d'énergie pour libérer les électrons de la couche de matériau dopé négativement. Ces électrons sont ensuite dirigés vers la couche de matériau dopé positivement, créant ainsi un déséquilibre de charge électrique qui génère un courant électrique.

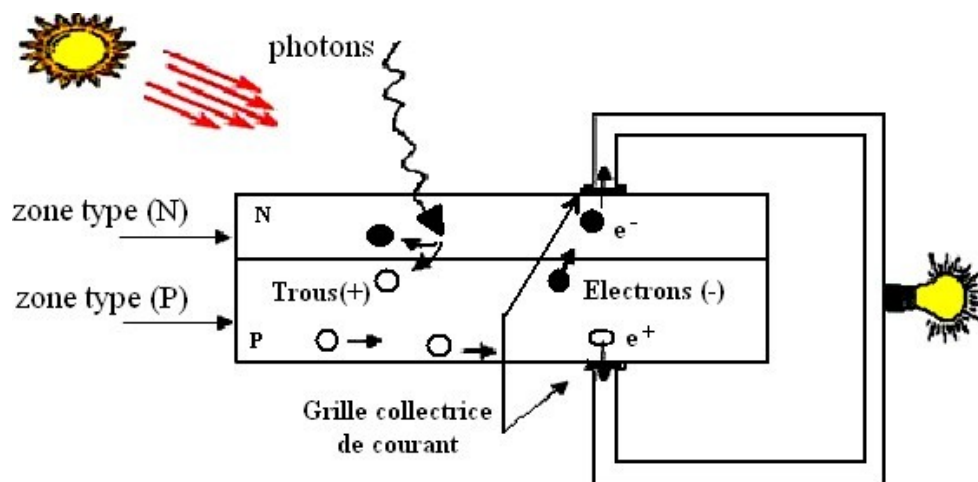


Figure II. 3 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

II.3.2.3 Différents types de cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs technologies de cellules photovoltaïques, les plus courantes étant basées sur le silicium cristallin. Cependant, il existe également des cellules à film mince, qui utilisent des couches minces de matériaux semi-conducteurs, ainsi que des cellules organiques qui exploitent des polymères conducteurs. Chaque type de cellule présente des caractéristiques spécifiques en termes d'efficacité, de coût et d'applications.

II.3.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

La modélisation et la simulation des caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque sont essentielles pour comprendre son comportement et optimiser sa performance. Différentes méthodes de modélisation, telles que le modèle équivalent de circuit électrique, permettent de prédire les courbes courant-tension et tension-puissance, ainsi que d'évaluer le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque [17].

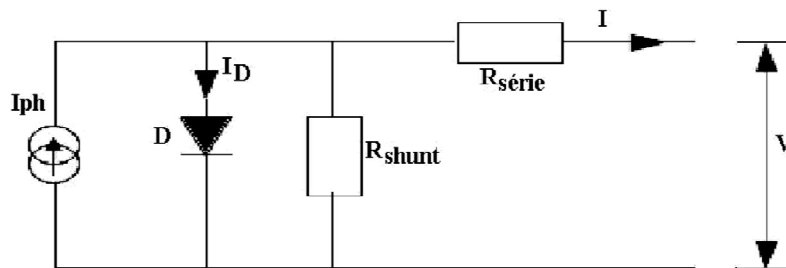


Figure II. 4: Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque .

R série (R_s) représente la résistance série qui tient compte des pertes ohmiques du matériau des métallisations et du contact métal/semi-conducteur, R shunt (R_{sh}) représente une résistance parallèle (ou résistance de fuite) provenant de courants parasites entre le dessus et le dessous de la cellule par le bord en particulier et à l'intérieur du matériau par des irrégularités ou impuretés.

Ces composants et principes de fonctionnement des systèmes photovoltaïques constituent la base de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

II.3.3 Caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque

II.3.3.1 Caractéristique courant-tension

La caractéristique courant-tension d'un générateur photovoltaïque décrit la relation entre le courant produit par les cellules photovoltaïques et la tension à leurs bornes. Cette relation est non linéaire et peut être représentée par une courbe. La courbe courant-tension permet de visualiser le comportement du générateur dans différentes conditions d'irradiation solaire et de charge. Elle indique notamment le courant de court-circuit, la tension de circuit ouvert et le point de fonctionnement optimal du générateur comme elle est illustrée sur la figure suivante [18]:

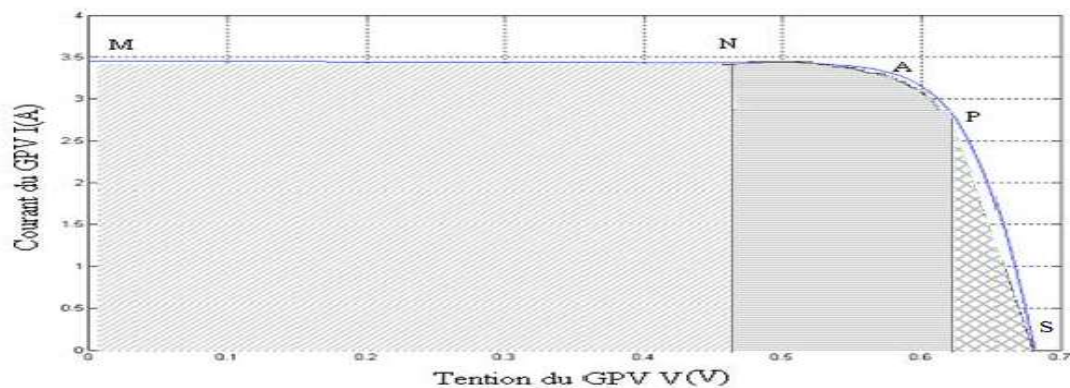


Figure II. 5 : Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.

La courbe de la cellule solaire $I=f(V)$, dans figure précédente passe par trois points essentiels qui sont :

Le courant de court-circuit I_{cc} en M ;

La puissance maximale en A ;

La tension de circuit ouvert V_{oc} .

II.3.3.2 Rendement de la conversion

Le rendement de la conversion représente l'efficacité avec laquelle un générateur photovoltaïque convertit l'énergie solaire en électricité. Il est calculé en comparant la puissance électrique de sortie du générateur à l'énergie solaire incidente. Le rendement dépend de divers facteurs tels que la qualité des cellules photovoltaïques, la température, la propreté des modules solaires et les pertes éventuelles dans le système de conversion [18].

II.3.3.3 Puissance délivrée par une cellule PV

La puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque est calculée en multipliant le courant de sortie par la tension de sortie de la cellule. Elle dépend directement des caractéristiques électriques de la cellule, telles que le courant de court-circuit, la tension de circuit ouvert et le point de fonctionnement. La puissance délivrée par une cellule photovoltaïque varie en fonction des conditions d'irradiation solaire, de la température et de la charge connectée.

Ces caractéristiques électriques sont essentielles pour comprendre le fonctionnement et les performances d'un générateur photovoltaïque. Elles permettent d'évaluer son rendement, sa capacité à fournir de l'électricité dans différentes conditions et d'optimiser sa conception et son installation pour une efficacité maximale.

II.4 Influence de la température et du rayonnement

II.4.1 Influence de la température

La température a un impact significatif sur les performances des cellules photovoltaïques. Lorsque la température augmente, la tension de sortie des cellules diminue, ce qui réduit la puissance électrique générée. Les cellules photovoltaïques ont également un coefficient de température, qui indique comment leur rendement varie en fonction des changements de température. Une gestion adéquate de la dissipation de chaleur est essentielle pour maintenir les

performances optimales du système photovoltaïque ainsi que sa durabilité.

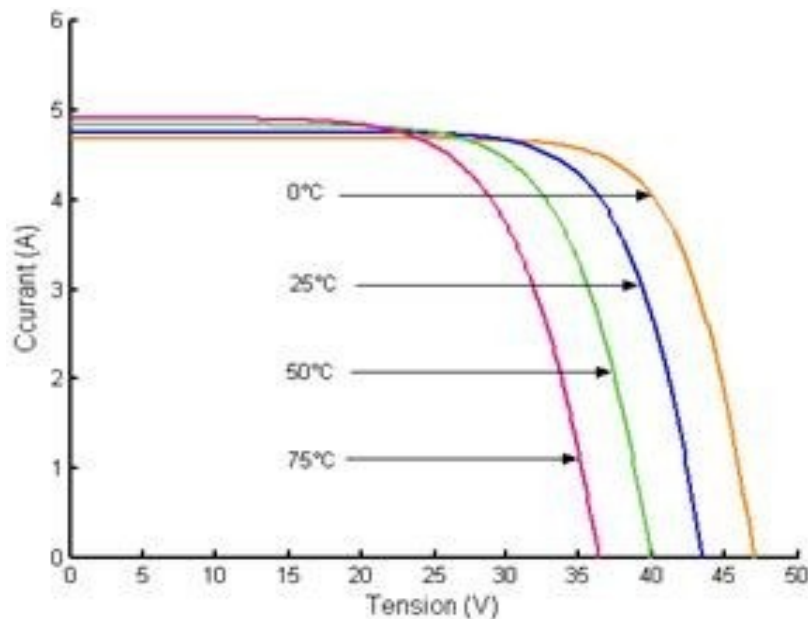


Figure II. 6: Effet de la température sur la caractéristique I-V.

On remarque une importante variation de la tension, et une petite variation de l'intensité lorsque la température augmente; ceci peut être expliqué par une meilleure absorption de la lumière [19].

II.4.2 Influence du rayonnement

Le rayonnement solaire est une source d'énergie essentielle pour les systèmes photovoltaïques. La quantité de rayonnement reçue dépend de divers facteurs tels que la localisation géographique, l'orientation des panneaux solaires et les conditions météorologiques. Une bonne estimation du rayonnement solaire disponible permet de dimensionner et d'optimiser les systèmes photovoltaïques.

L'intensité et la qualité du rayonnement solaire ont un impact direct sur la production d'électricité photovoltaïque. Une plus grande intensité lumineuse entraîne généralement une augmentation de la puissance électrique générée par les cellules photovoltaïques. La qualité du rayonnement, notamment sa composition spectrale, peut également influencer l'efficacité de conversion. Certains types de cellules photovoltaïques sont plus sensibles à certaines longueurs d'onde du spectre solaire, ce qui peut affecter leur rendement global [20].

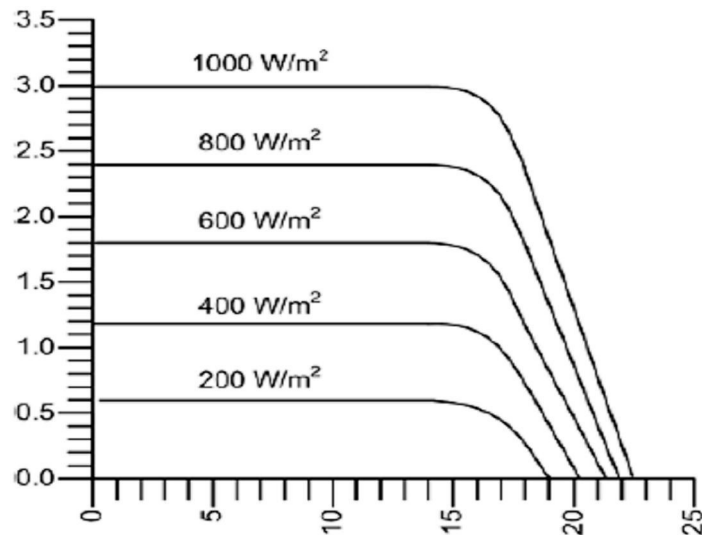


Figure II. 7: Evolution de la caractéristique courant-tension avec l'énergie reçue.

Pour différents niveaux d'éclairement figure précédente, on remarque que le courant est directement proportionnel à l'irradiation à ces niveaux d'éclairement. La tension par contre n'est pas très dégradée lorsque l'irradiation baisse ; donc à température constante :

- I_{cc} est proportionnel à l'ensoleillement,
- V_{co} diminue légèrement avec l'ensoleillement ;
- P_{max} est en première approximation proportionnelle à l'ensoleillement

II.5 Module photovoltaïque

Un module photovoltaïque regroupe plusieurs cellules photovoltaïques interconnectées pour former une unité fonctionnelle. Il est protégé par une couche transparente et encapsulé pour assurer sa durabilité et sa performance. Les modules photovoltaïques sont les composants clés des installations solaires et peuvent être utilisés individuellement ou en groupements pour fournir une puissance électrique significative.

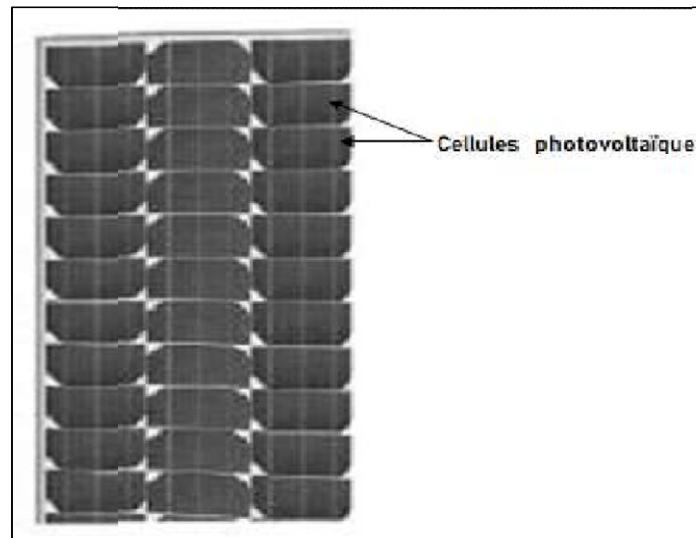


Figure II. 8: Module photovoltaïque.

II.5.1 Composition d'un module solaire photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque est composé de plusieurs éléments. Les principaux composants sont les cellules photovoltaïques, qui convertissent la lumière en électricité, ainsi que les connexions électriques qui relient les cellules en série ou en parallèle pour former des circuits électriques. Le module comprend également une couche de protection, souvent en verre, qui protège les cellules des conditions environnementales et assure une transmission optimale de la lumière, ainsi qu'une feuille de Tedlar blanc pour assurer plus de résistance mécanique des grands modules. Le module se compose aussi d'une couche de l'EVA (éthylène-acétate de vinyle) qui a pour rôle de résister aux intempéries et à l'humidité, le tout est fixé par un joint dans un cadre en aluminium [21].

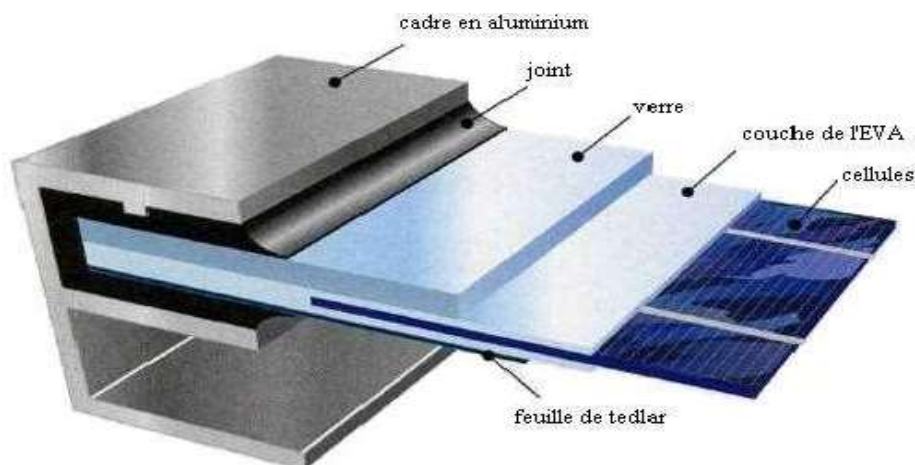


Figure II. 9 : Composition d'un module solaire photovoltaïques.

II.5.2 Caractéristiques d'un module solaire

Les modules solaires sont caractérisés par plusieurs spécifications techniques importantes. La puissance nominale d'un module, exprimée en watts crête (W_c), indique la puissance maximale qu'il peut produire dans des conditions standardisées (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2). Le rendement d'un module représente l'efficacité avec laquelle il convertit la lumière en électricité. La tension de sortie du module est également une spécification clé, car elle détermine la compatibilité avec les systèmes de charge ou d'onduleurs.

La compréhension de l'influence de la température et du rayonnement sur les systèmes photovoltaïques ainsi que la connaissance des composants et des caractéristiques des modules solaires sont essentielles pour concevoir, installer et exploiter efficacement des installations photovoltaïques. Ces facteurs jouent un rôle crucial dans la performance globale du système et doivent être pris en compte lors de la planification et de l'optimisation des installations solaires [21].

II.6 Panneaux solaires

Les panneaux solaires, également appelés modules photovoltaïques, sont des assemblages de plusieurs modules solaires. Ils sont conçus pour fournir une plus grande puissance de sortie en combinant plusieurs cellules photovoltaïques en série et/ou en parallèle. Les panneaux solaires sont les éléments constitutifs de base d'un système photovoltaïque et sont utilisés pour collecter et convertir l'énergie solaire en électricité. Ils sont généralement montés sur des structures de support et installés sur des toits, des terrains ou d'autres surfaces appropriées pour maximiser l'exposition au soleil.



Figure II. 10: Exemple d'un panneau solaire.

II.7 Champs photovoltaïques (PV)

Un champ photovoltaïque, également connu sous le nom de parc solaire ou de ferme solaire, est une installation composée de plusieurs panneaux solaires interconnectés pour former un système photovoltaïque à grande échelle. Les champs photovoltaïques sont utilisés pour générer de l'électricité à grande échelle, souvent pour alimenter des réseaux électriques locaux ou nationaux. Ils sont généralement situés dans des zones vastes où l'ensoleillement est optimal. La taille et la configuration d'un champ photovoltaïque peuvent varier en fonction des besoins de puissance et des contraintes géographiques.

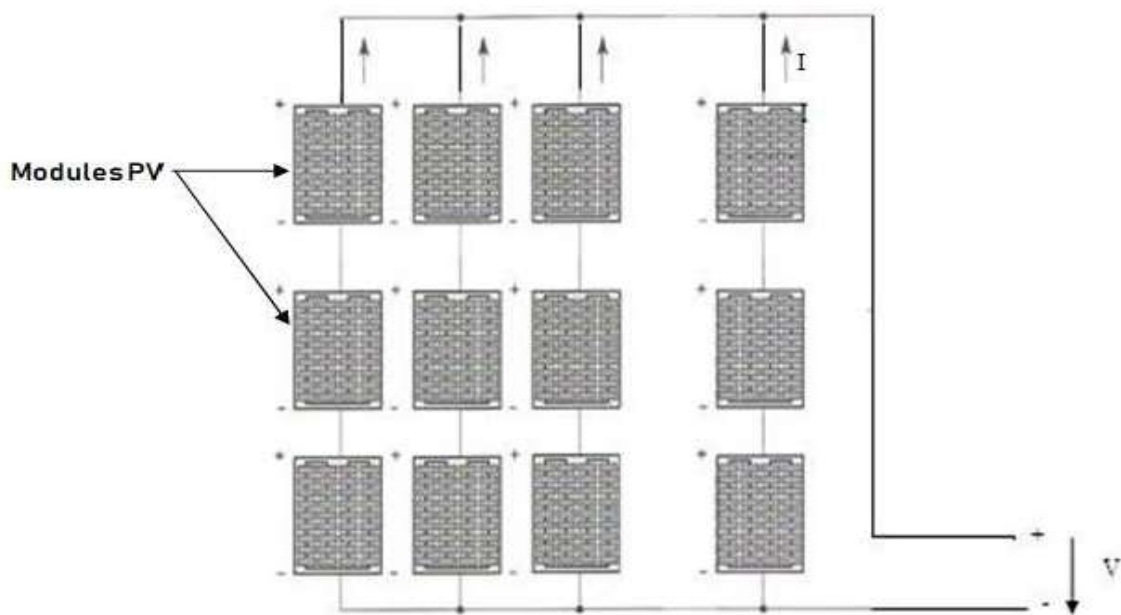


Figure II. 11: Champ de panneaux solaires en serie-parallèle.

II.8 Orientation des panneaux solaires

L'orientation des panneaux solaires est un élément crucial pour maximiser l'efficacité de la collecte d'énergie solaire. L'angle d'inclinaison et la direction du panneau solaire doivent être optimisés en fonction de la latitude géographique et des conditions locales. Une orientation adéquate permet de capter la plus grande quantité possible de rayonnement solaire tout au long de la journée et de l'année [22].

II.8.1 Choix de l'orientation des modules

Idéalement, les panneaux solaires devraient être orientés vers le sud dans l'hémisphère nord (ou vers le nord dans l'hémisphère sud) pour maximiser l'exposition au soleil tout au long de la

journée. Cependant, en fonction des objectifs spécifiques et des contraintes du site, d'autres orientations peuvent être utilisées. Des systèmes de suivi solaire peuvent également être mis en place pour suivre le mouvement du soleil et optimiser la capture de l'énergie solaire.

II.8.2 Choix de l'inclinaison des modules

L'inclinaison des panneaux solaires est également importante pour maximiser l'efficacité. L'inclinaison optimale dépend de la latitude du site et de l'objectif recherché. Dans de nombreuses régions, une inclinaison égale à la latitude du site offre une bonne performance globale. Cependant, des ajustements peuvent être nécessaires en fonction de l'application spécifique et des conditions locales, telles que les variations saisonnières de l'angle du soleil [22].

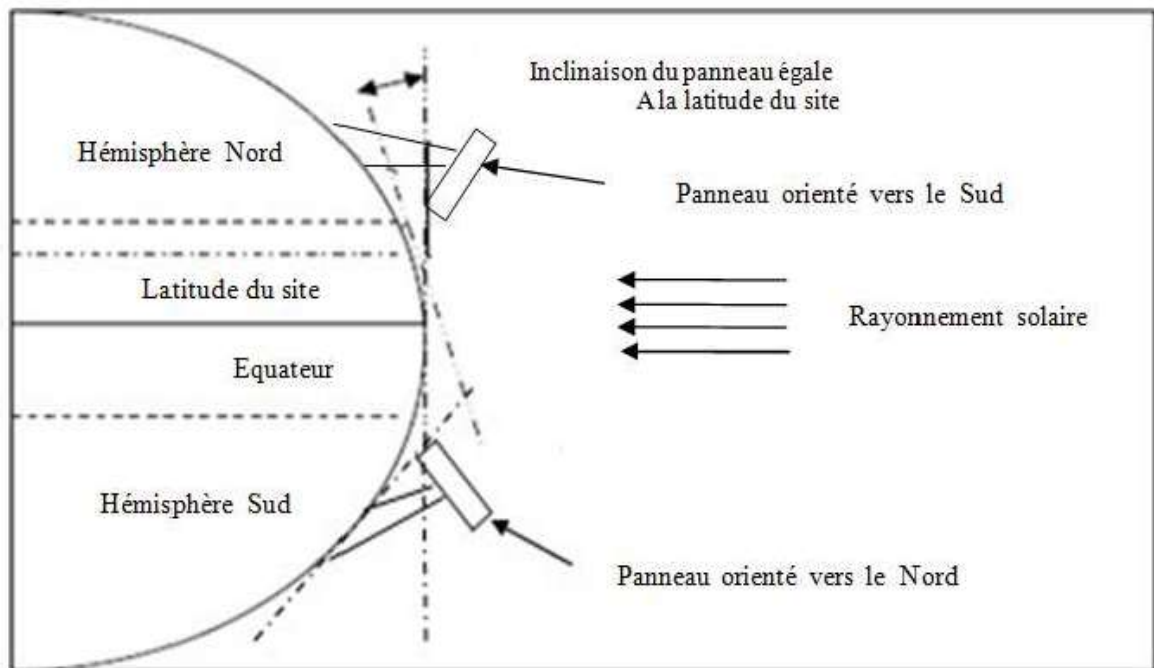


Figure II. 12 : L'inclinaison idéale d'un panneau solaire.

II.8.3 Trajectoire apparente du soleil

La trajectoire apparente du soleil fait référence au mouvement apparent du soleil dans le ciel tout au long de la journée. Elle est influencée par plusieurs facteurs, notamment la latitude géographique, la saison, l'heure de la journée et l'orientation de la surface sur laquelle elle est observée.

La trajectoire apparente du soleil varie en fonction de la latitude. Aux latitudes équatoriales, le

soleil apparaît généralement plus haut dans le ciel et suit une trajectoire plus directe tout au long de l'année. Aux latitudes plus élevées, comme les régions polaires, le soleil peut rester près de l'horizon pendant une partie de l'année, créant des périodes prolongées de jours ou de nuits polaires.

Au cours d'une journée, le soleil se lève à l'est, atteint son point culminant (le zénith) à midi solaire et se couche à l'ouest. La trajectoire apparente du soleil est plus haute dans le ciel pendant les mois d'été et plus basse pendant les mois d'hiver, en raison de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport à son plan orbital.

L'observation de la trajectoire apparente du soleil est importante dans la conception des systèmes photovoltaïques afin de déterminer l'orientation optimale des panneaux solaires pour capturer le plus d'énergie solaire possible. Des outils tels que les diagrammes solaires et les logiciels de simulation peuvent être utilisés pour calculer avec précision la trajectoire du soleil à une position géographique donnée et à une heure spécifique.

Il convient de noter que la trajectoire apparente du soleil peut être influencée par des facteurs tels que la réfraction atmosphérique, la présence de nuages et les conditions météorologiques locales, ce qui peut entraîner des variations par rapport aux prédictions théoriques [22].

II.9 Intérêt des panneaux solaires photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixes

Les panneaux solaires photovoltaïques mobiles offrent plusieurs avantages par rapport aux panneaux fixes. Tout d'abord, leur mobilité leur permet d'être déplacés et installés dans différents endroits en fonction des besoins énergétiques. Cela les rend particulièrement utiles dans des situations telles que les projets temporaires, les applications mobiles ou les installations en zones reculées où l'accès à l'électricité est limité.

De plus, les panneaux solaires photovoltaïques mobiles sont souvent conçus avec une structure légère et compacte, ce qui les rend faciles à transporter et à installer. Ils peuvent être utilisés pour alimenter des équipements ou des appareils lors de déplacements, de campings, de voyages en plein air ou d'événements temporaires.

Un autre avantage des panneaux solaires photovoltaïques mobiles est leur capacité à être ajustés pour optimiser l'exposition au soleil. Ils peuvent être inclinés ou orientés de manière à capturer plus efficacement la lumière solaire tout au long de la journée. Cela permet d'augmenter la production d'électricité et d'optimiser les performances du système.

Enfin, les panneaux solaires photovoltaïques mobiles offrent une flexibilité dans leur

dimensionnement. Ils peuvent être utilisés individuellement ou en combinaison avec d'autres panneaux pour répondre aux besoins spécifiques en termes de puissance. Cela permet une adaptation facile en fonction des besoins énergétiques changeants.

En conclusion, les panneaux solaires photovoltaïques mobiles présentent des avantages significatifs en termes de mobilité, de facilité d'installation, d'ajustabilité et de flexibilité de dimensionnement. Ils offrent une solution pratique et polyvalente pour la production d'électricité à partir de l'énergie solaire dans diverses applications [23].



Figure II. 13: Diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe.

II.10 Conclusion

Les systèmes photovoltaïques sont des moyens efficaces et durables de convertir l'énergie solaire en électricité. Ils sont composés de différents éléments tels que les cellules photovoltaïques, les générateurs photovoltaïques, les modules solaires et les panneaux solaires.

Grâce à leur fonctionnement basé sur l'effet photovoltaïque, ils offrent de nombreux avantages environnementaux, économiques et sociaux. Les systèmes photovoltaïques contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à la création d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables et à la promotion de l'indépendance énergétique. Leur adoption croissante est un pas vers un avenir plus propre et plus durable.

Chapitre 03

La fabrication d'un onduleur solaire

III.1 Introduction

Dans ce troisième chapitre, notre attention se porte sur la construction d'un onduleur solaire. Pour ce faire, nous avons acquis un modèle de l'onduleur de la marque APC, qui offre une puissance de 500 W. Notre objectif est de procéder à son démontage afin d'étudier en détail ses différents composants ainsi que leur fonctionnement.

Notre objectif final est de développer notre propre onduleur solaire, en adaptant les connaissances acquises pour concevoir un système qui répond à nos besoins spécifiques. Cette étape nous permettra de maîtriser la construction des onduleurs et de créer une solution sur mesure pour la conversion et la gestion de l'énergie électrique.

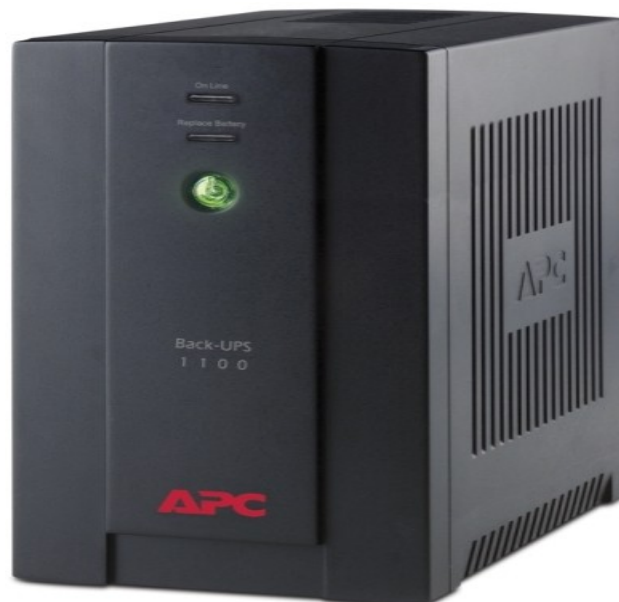


Figure III. 1: Onduleur de secours de marque APC.

III.2 La liste des composants

III.2.1 Un transformateur

Le transformateur à point milieu est un type de transformateur électrique qui comporte un enroulement primaire et plusieurs enroulements secondaires. Parmi les enroulements secondaires, les trois premiers fils sont utilisés pour créer un point de connexion central, appelé point milieu. Cela permet d'obtenir une tension alternative symétrique par rapport à ce point de référence. Les autres enroulements secondaires peuvent être utilisés pour différentes fonctions, telles que le feedback ou la régulation de la tension, permettant ainsi de maintenir une tension stable malgré les variations de charge.

III.2.2 Une batterie

La batterie est la source d'énergie constante utilisée dans notre système. Elle délivre une tension continue de 12V DC avec une capacité maximale de 5Ah. L'onduleur est chargé de convertir cette tension continue en une tension alternative.



Figure III. 2 : Batterie 12 VDC.

III.2.3 Un circuit imprimé

Le circuit imprimé d'un onduleur est une plaque en matériau isolant sur laquelle sont montés et interconnectés les composants électroniques nécessaires au fonctionnement de l'onduleur. Il s'agit d'une structure stratégique qui permet de soutenir et de relier les divers éléments du circuit, tels que les transistors de puissance, les diodes, les condensateurs, les résistances et autres composants. Le circuit imprimé facilite le cheminement des signaux électriques à travers les différentes parties de l'onduleur, assurant ainsi le bon fonctionnement de la conversion de l'énergie électrique.

III.2.3.1 Les composants d'un circuit imprimé

La carte électrique comprend une variété de composants électroniques, parmi lesquels nous pouvons mentionner :

- **Les varistances**

La varistance est une résistance électrique fortement non linéaire utilisée principalement dans les parafoudres. Elle est conçue pour éliminer les surtensions parasites en offrant une résistance

élevée dans des conditions normales. Cependant, lorsque la tension dépasse un certain seuil, sa résistance diminue rapidement, permettant une dérivation instantanée du courant pour protéger les composants sensibles contre les surtensions.



Figure III. 3: Des varistances.

- Un filtre LC

Le filtre LC est un composant essentiel utilisé pour filtrer le signal de sortie afin d'obtenir une forme d'onde plus propre et de réduire les harmoniques indésirables. Il est composé d'une bobine (L) et d'un condensateur (C) agencés de manière spécifique.

Le filtre LC joue un rôle crucial dans la suppression des parasites, des interférences et des fréquences indésirables présentes dans le signal de sortie de l'onduleur. Il est conçu pour atténuer sélectivement certaines fréquences, permettant ainsi de lisser le signal et d'obtenir une forme d'onde sinusoïdale plus proche de celle du réseau électrique.

En fonction de sa configuration, un filtre LC peut fonctionner comme un filtre passe-bas, un filtre passe-haut ou un filtre passe-bande. Il est dimensionné en fonction des spécifications de l'onduleur et des fréquences indésirables à éliminer.

- Les MOSFET

Les MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors) sont des dispositifs électroniques à semi-conducteurs utilisés dans de nombreuses applications. Ils sont basés sur la technologie MOS et se composent de trois parties principales : la source, le drain et la grille. Ils permettent de contrôler le courant en appliquant une tension à la grille grâce à une couche d'oxyde de métal isolante. Les MOSFET sont largement utilisés comme commutateurs électroniques, amplificateurs et convertisseurs de puissance en raison de leur faible

consommation d'énergie, de leur vitesse de commutation élevée et de leur grande capacité de commutation.



Figure III. 4 : MOSFET.

- Les condensateurs

Les condensateurs sont des composants passifs utilisés dans les circuits électroniques pour stocker et libérer de l'énergie électrique. Elles sont constituées de deux plaques conductrices séparées par un matériau isolant appelé diélectrique. Lorsqu'une tension est appliquée aux plaques, une charge électrique s'accumule, créant un champ électrique entre les plaques. La capacité est mesurée en farads (F) et représente la quantité d'énergie électrique stockée par unité de tension. Sa propriété principale est de pouvoir stocker des charges électriques opposées sur ses armatures.

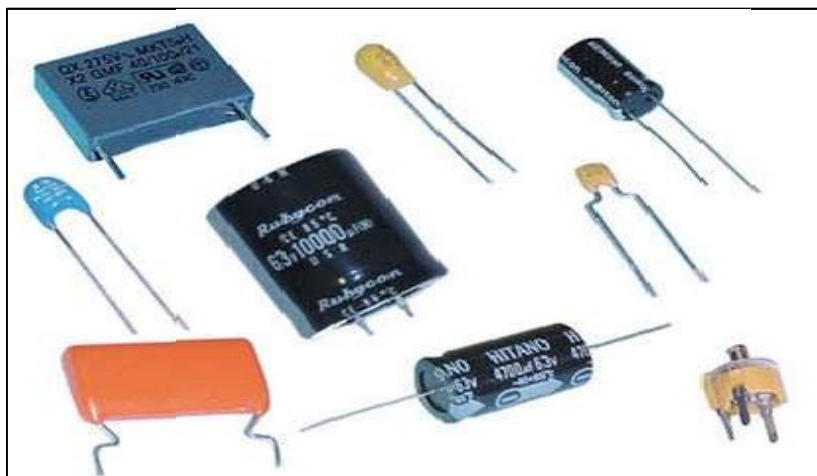


Figure III. 5: Les condensateurs.

- Les fusibles

Un fusible est un dispositif de protection électrique utilisé pour prévenir les surcharges et les courts-circuits. Il est constitué d'un filament conducteur de courant qui fond lorsque le courant électrique dépasse une certaine limite prédéfinie. Lorsque le fusible fond, il interrompt le flux de courant et protège ainsi les composants électriques de l'onduleur contre les dommages. Les fusibles sont des dispositifs remplaçables et sont conçus pour protéger les circuits électriques en coupant rapidement le courant en cas de problème.



Figure III. 6 : Fusible d'onduleur.

- Résistance

Les résistances sont des composants électroniques passifs qui limitent le courant électrique dans un circuit. Elles sont utilisées pour contrôler la tension et le courant, et pour dissiper l'énergie thermique. Les résistances sont caractérisées par leur valeur de résistance, mesurée en ohms (Ω), qui détermine la quantité de courant qui peut passer à travers elles. Dans un onduleur, les résistances peuvent être utilisées dans diverses applications telles que la régulation de la tension, la protection contre les surintensités, et la dissipation de la chaleur.

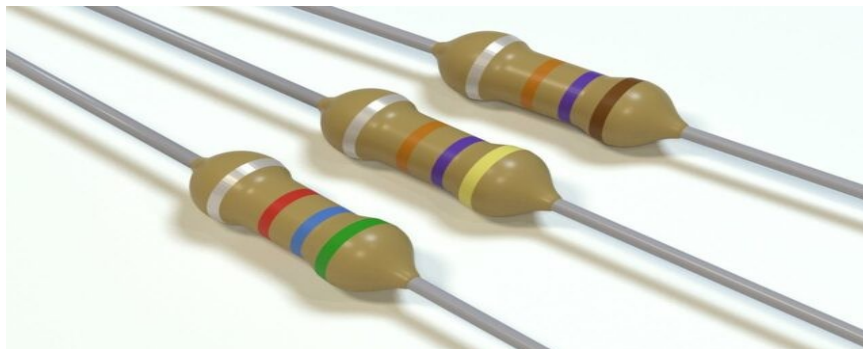


Figure III. 7: Des résistances.

- Potentiomètres

Dans un onduleur, un potentiomètre est un composant électrique ajustable utilisé pour régler des paramètres spécifiques du système. Il peut être utilisé pour ajuster la tension de sortie de l'onduleur, le taux de modulation de la fréquence, ou d'autres paramètres liés à la conversion de l'énergie. Le potentiomètre permet de modifier la valeur de résistance dans le circuit de contrôle de l'onduleur, ce qui influence les caractéristiques de sortie du système. En ajustant le potentiomètre, l'utilisateur peut personnaliser certains aspects du fonctionnement de l'onduleur en fonction de ses besoins spécifiques.



Figure III. 8 : Des potentiomètres.

- Transistors

Dans un onduleur, les transistors sont des composants électroniques essentiels utilisés pour la commutation et le contrôle du courant électrique. Ils jouent un rôle clé dans la conversion de l'énergie continue en une tension alternative. Les transistors peuvent être de différents types, tels que les transistors bipolaires (NPN et PNP). Ils permettent de réguler et de moduler le courant et la tension dans le circuit de l'onduleur, permettant ainsi de générer une sortie électrique de la fréquence et de l'amplitude souhaitées. Les transistors sont contrôlés par des signaux de commande qui activent ou désactivent leur conductivité, permettant ainsi de contrôler le flux de courant et de réaliser la conversion de l'énergie de manière efficace et précise.



Figure III. 9 : Des transistors.

- Circuits intégrés

Un circuit intégré est un composant électronique qui regroupe plusieurs fonctions et éléments nécessaires au fonctionnement de l'onduleur. Il s'agit d'un minuscule circuit électronique fabriqué sur une seule puce de silicium. Le circuit intégré d'un onduleur peut comprendre des transistors, des diodes, des résistances, des condensateurs, des amplificateurs opérationnels, des régulateurs de tension, des oscillateurs, des circuits de commande et d'autres composants intégrés. Il est conçu pour réaliser des opérations spécifiques, telles que la génération d'ondes sinusoïdales, le contrôle de la commutation des transistors, la régulation de la tension de sortie et d'autres fonctionnalités essentielles à la conversion de l'énergie continue en une tension alternative de sortie stable et de qualité. Le circuit intégré offre l'avantage d'une conception compacte, d'une intégration élevée des composants et d'une fiabilité accrue, ce qui en fait un élément central dans le fonctionnement efficace et précis de l'onduleur.

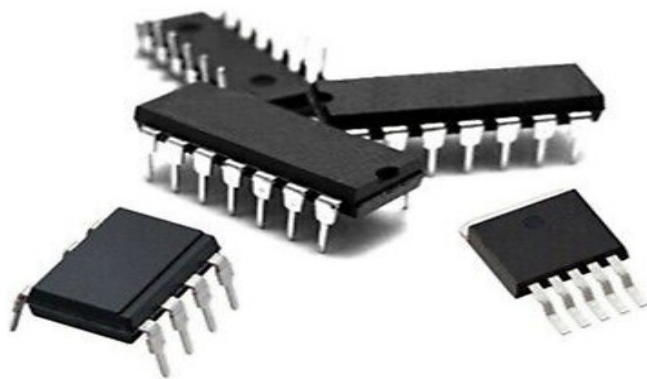


Figure III. 10 : Des circuits intégrés.

- Un second transformateur

Le second transformateur dans un onduleur est un composant utilisé pour modifier la tension de sortie générée par l'onduleur. Il peut être utilisé pour augmenter ou diminuer la tension en fonction des besoins de l'application. Le second transformateur peut également fournir une isolation électrique entre l'onduleur et les appareils connectés, assurant ainsi la sécurité et protégeant les équipements sensibles contre les interférences électromagnétiques. Son utilisation dépend des exigences spécifiques de l'onduleur et des caractéristiques du système dans lequel il est intégré.

III.3 La conception de notre onduleur

Nous allons vous présenter en premier lieu une méthode pour fabriquer un onduleur en utilisant des composants simples et accessibles.

Cet onduleur se compose de trois parties : un oscillateur de 50 HZ, deux transistors MOSFET qui amplifient les signaux et la troisième partie c'est le transformateur.

Il faut d'abord fabriquer l'oscillateur qui peut être considéré comme un composant à part entière.

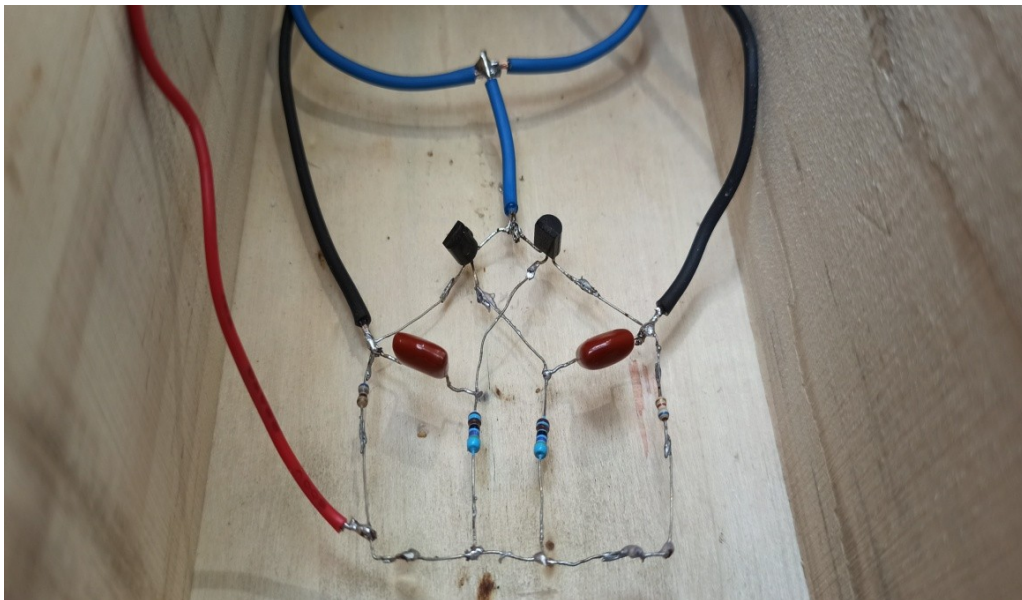


Figure III. 11 : Montage d'un oscillateur 50 HZ.

Il nous donne un courant positif d'un côté et nul de l'autre puis inversement à une fréquence que l'on veut. Pour avoir la fréquence de secteur 50 HZ.

- Liste des composants de l'oscillateur

l'oscillateur se compose de : 2 transistors 2N5551, 2 capacités 0.22 microfarads, 2 résistances 4.7 k Ohm et 2 résistances 600 Ohm.

Dans notre conception d'onduleur, nous utilisons des transistors MOSFET car ils nécessitent un courant minimal entre la broche G (Gate) et la broche S (Source) pour s'activer, ce qui n'affecte pas la fréquence de l'oscillateur.

Il est essentiel que les transistors soient parfaitement synchronisés, sans aucun temps mort ni activation simultanée des deux transistors.

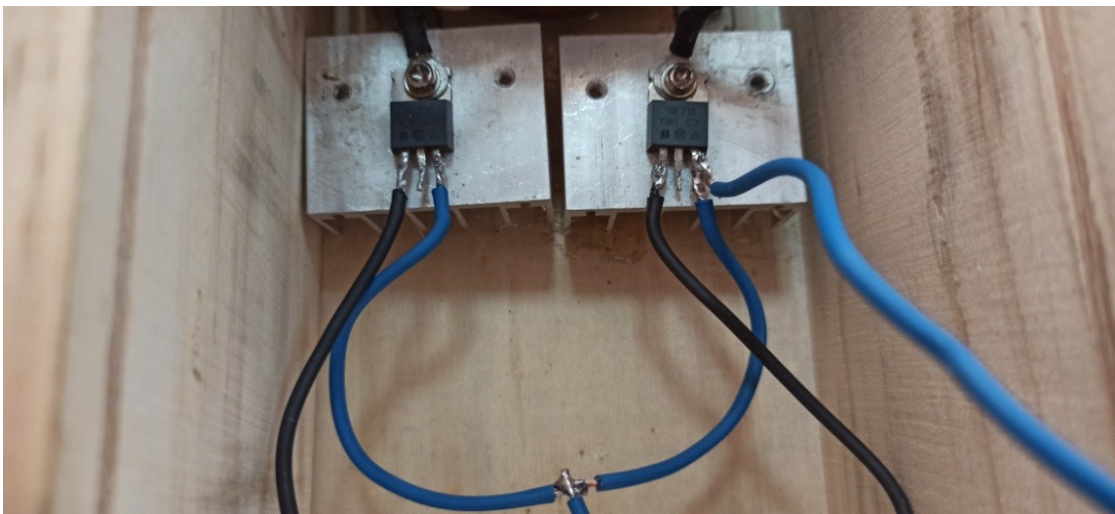


Figure III. 12 : MOSFETS montés sur des radiateurs.

Les sorties de l'oscillateur sont connectées aux broches G des MOSFET respectivement. La fréquence de l'oscillateur est de 50 Hz. Chaque centième de seconde, le transistor activé change. Pour passer de 12V à 230V, le transformateur doit avoir un rapport de 1 pour 19. Étant donné que les bobines primaires sont en sens inverse, le sens du courant induit dans la bobine secondaire est opposé selon qu'il provienne d'une bobine primaire ou de l'autre. Ainsi, nous obtenons une tension quasi sinusoïdale de 230V/50Hz, idéale pour alimenter des appareils secteur.

Les broches D des MOSFET sont connectées au transformateur, ce qui complète le montage final de notre onduleur.

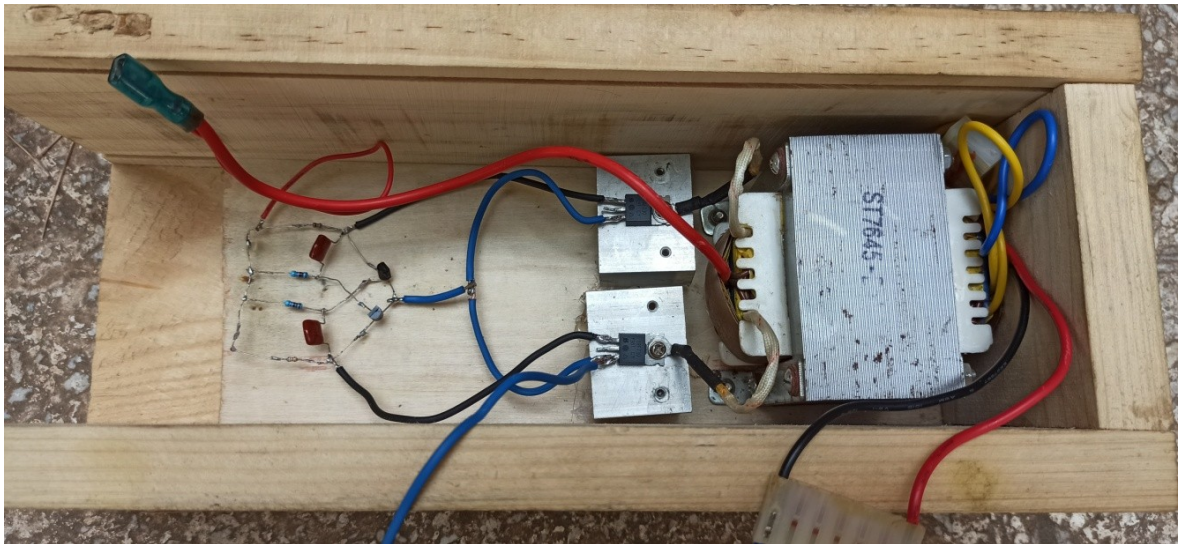


Figure III. 13 : Montage final de notre onduleur sans batterie.

En alimentant notre circuit d'onduleur avec une batterie de 12 VDC, nous avons mesuré une tension de sortie de 224 VAC comme indiqué sur l'illustration ci-dessous :



Figure III. 14 : La tension délivrée par notre onduleur.

Après avoir suivi les étapes précédentes, nous avons réussi à réaliser le montage final de notre onduleur. Nous avons alimenté une lampe qui s'est allumée avec succès, ce qui confirme la réalisation de notre objectif. La figure ci-dessous illustre le montage final de notre onduleur.



Figure III. 15 : Montage final de notre onduleur sous tension 12V.

Après la réalisation et le test d'onduleur on a brancher un oscillateur avec l'onduleur pour visualiser le graphe du tension de sortie, et on a obtenu le résultat suivant :

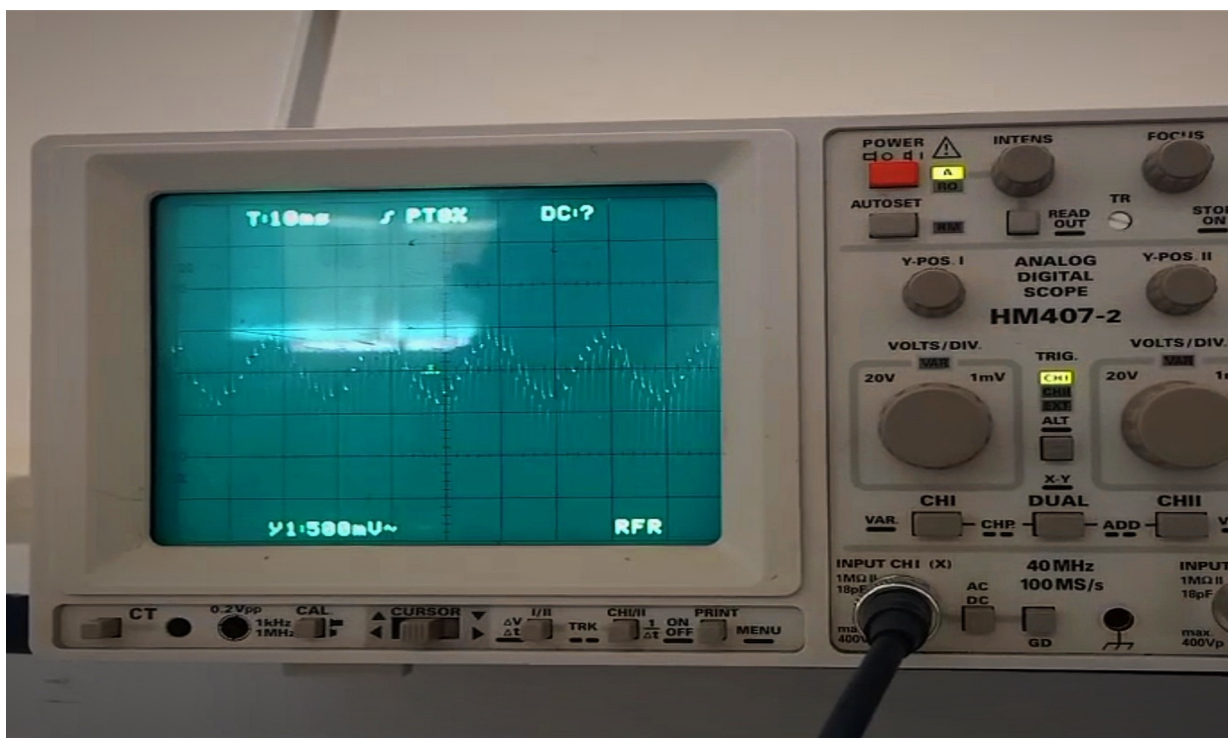


Figure III. 16 : Visualisation du graphe de tension de sortie de l'onduleur sur l'oscilloscope.

La figure précédente met en évidence que la forme du signal de sortie de l'onduleur est pratiquement sinusoïdale pure. Cette caractéristique est très favorable, car elle ne risque pas d'avoir un impact négatif sur les appareils connectés à la sortie de l'onduleur.

III.4 La conception de notre système photovoltaïque

Tout d'abord, nous avons installé un régulateur de charge 12V capable de supporter un courant de 7A. Son objectif principal est de garantir la stabilité de la tension afin de protéger la batterie contre les surtensions.

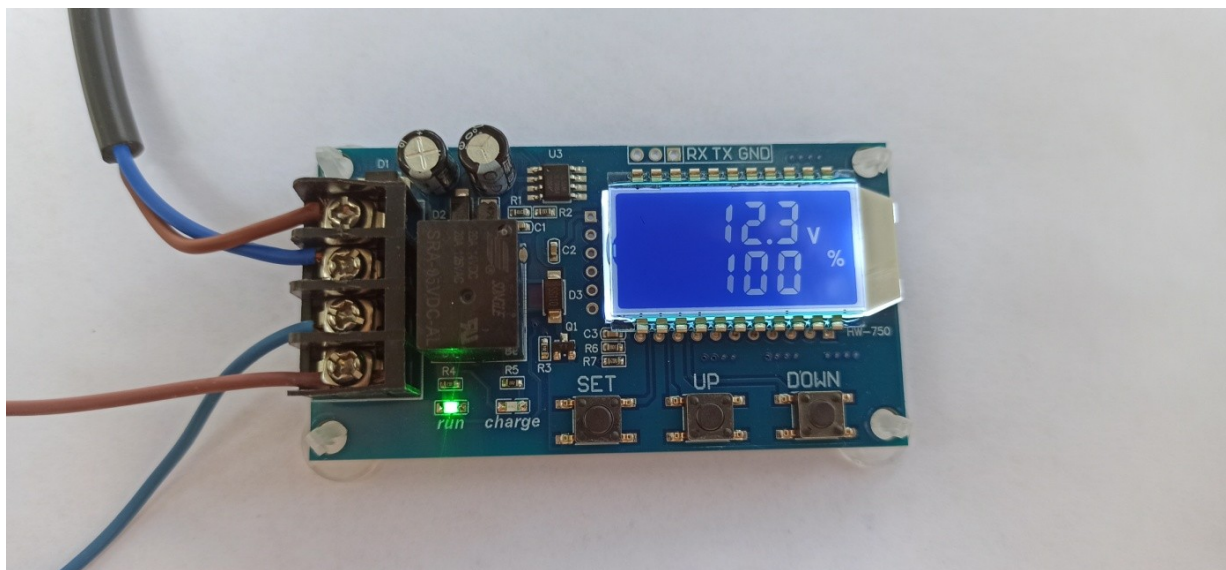


Figure III. 17 : Régulateur de charge en mode marche.

Le régulateur de charge est connecté d'un côté au panneau solaire et de l'autre à la batterie. En plus de sa fonction de régulation de tension, il joue également un rôle essentiel dans la gestion de la charge. Nous avons réglé le seuil d'arrêt de charge à 12,3V et le seuil de démarrage de charge à 11,5V. La figure suivante montre le début de charge quand on a atteint le seuil de démarrage de charge :

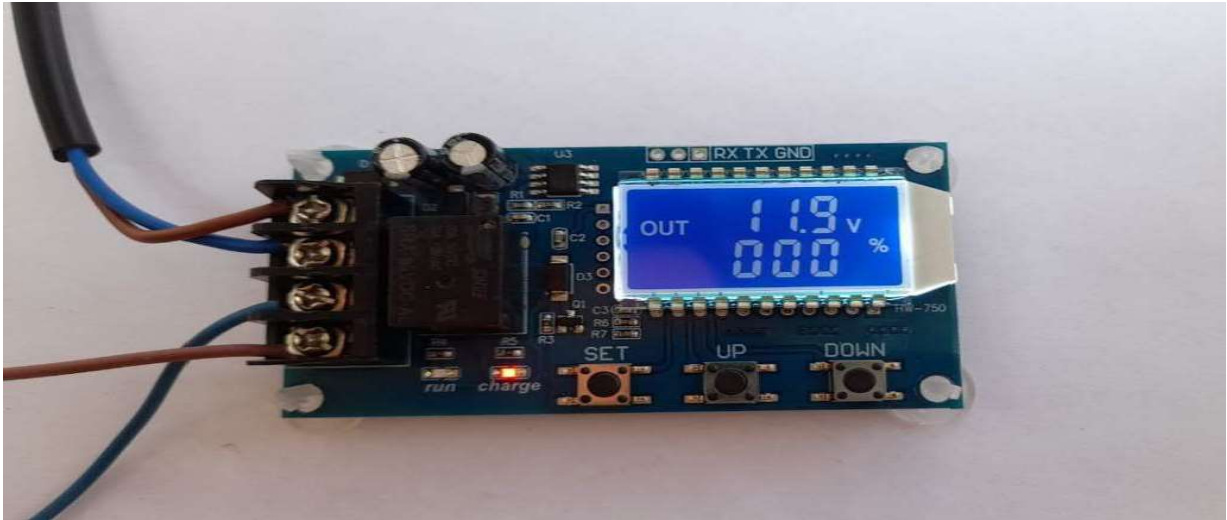


Figure III. 18 : Régulateur de charge en mode charge.

Après avoir garanti la régulation de tension et la gestion de charge de la batterie, nous procéderons maintenant au branchement de notre système, tel qu'illustré dans la figure suivante :



Figure III. 19 : Notre système photovoltaïque en état de fonctionnement.

Le panneau solaire que nous avons utilisé est responsable de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Il est connecté à l'une des extrémités du régulateur de charge, tandis que l'autre extrémité est connectée à la batterie. Cette batterie alimente notre onduleur, qui se charge de convertir le courant continu en courant alternatif, nous fournissant ainsi une tension alternative de 220V à une fréquence de 50Hz en sortie.

III.5 Conclusion

En conclusion de ce troisième chapitre dédié à la réalisation de l'onduleur solaire, nous pouvons affirmer avoir atteint des jalons essentiels dans notre projet. En suivant une approche méthodique, nous avons acquis une compréhension approfondie et mis en pratique les différentes étapes de conception et d'expérimentation d'un onduleur adapté à un système photovoltaïque.

Nous avons ensuite procédé à la réalisation concrète de notre onduleur solaire en suivant les étapes de conception, de prototypage et de test. Nous avons vérifié l'efficacité de notre onduleur en mesurant ses performances, en qualité de l'onde de sortie et de stabilité du système.

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion générale de ce mémoire de fin d'études, notre exploration approfondie des onduleurs et des systèmes photovoltaïques, avec une focalisation sur la conception et la réalisation d'un onduleur adapté à un système photovoltaïque, a été une expérience enrichissante. Nous avons acquis une expertise solide dans le domaine de l'électronique de puissance et de l'énergie solaire, tout en surmontant des défis stimulants.

Dans le premier chapitre, nous avons examiné les généralités sur les onduleurs, en comprenant leur rôle essentiel dans la conversion d'énergie électrique, leur pertinence dans les systèmes d'énergie renouvelable tels que les systèmes photovoltaïques, ainsi que les différents types d'onduleurs, leurs avantages, inconvénients et applications spécifiques.

Le deuxième chapitre était consacré aux généralités sur les systèmes photovoltaïques, où nous avons approfondi nos connaissances sur les principes de base des cellules photovoltaïques, leur fonctionnement et leur utilisation pour convertir la lumière solaire en électricité. Nous avons également examiné les composants clés d'un système photovoltaïque, notamment les panneaux solaires et les régulateurs de charge.

Dans le troisième chapitre, nous avons mis en pratique nos connaissances en réalisant notre propre onduleur adapté à un système photovoltaïque. En suivant une approche méthodique, nous avons conçu l'onduleur en tenant compte des spécificités de notre système photovoltaïque, sélectionné les composants appropriés et effectué des prototypages et des tests pour évaluer ses performances.

Notre projet d'onduleur solaire a été couronné de succès grâce à notre dévouement. Nous avons obtenu des résultats satisfaisants, avec un onduleur capable de convertir efficacement l'énergie photovoltaïque en courant alternatif de qualité. Nous sommes conscients que le domaine de la conception et de l'optimisation des onduleurs solaires est en constante évolution, avec de nouvelles avancées technologiques et des exigences croissantes en termes d'efficacité énergétique et de durabilité. Cependant, grâce aux bases solides que nous avons établies, nous sommes confiants dans notre capacité à relever ces défis et à contribuer au développement continu des systèmes solaires photovoltaïques.

Bibliographie

- [1] N. Mohan, T. M. Undeland, et W. P. Robbins, *Power electronics: converters, applications, and design*, 2nd ed. New York: Wiley, 1995.
- [2] M. H. Rashid, Éd., *Power electronics handbook: devices, circuits, and applications*, 3rd ed. Burlington, MA: Elsevier, 2011.
- [3] A. Mabrouk, M. Haddadi, M. Ali, et H. Mohammed Moundji, « Etude et conception d'un onduleur monophasé autonome géré par microcontrôleur PIC 16F876A », *Rev. Energ. Renouvelables*, vol. 12, p. 543-550, déc. 2009.
- [4] TY - THES AU - Rondon-Pinilla, Eliana PY - 2014/06/18 SP - T1 - Conception de convertisseurs électroniques de puissance à faible impact électromagnétique intégrant de nouvelles technologies d'interrupteurs à semi-conducteurs ER - .
- [5] M. Salem, A. Jusoh, N. R. N. Idris, H. S. Das, et I. Alhamrouni, « Resonant power converters with respect to passive storage (LC) elements and control techniques – An overview », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, p. 504-520, août 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.020.
- [6] H. Weiwei, F. Zhiguo, et H. Yigang, *A Novel Parallel Resonant Inverter Topology for Inductive Power Transfer Systems*". in IEEE Transactions on Power Electronics. 2014.
- [7] TY - JOUR AU - Hu, Aiguo AU - Covic, Grant AU - Boys, John PY - 2006/06/01 SP - 809 EP - 812 T1 - Direct ZVS start-up of a current-fed resonant inverter VL - 21 DO - 10.1109/TPEL.2006.873226 JO - Power Electronics, IEEE Transactions on ER - .
- [8] P. Warriar et P. Shah, « Fractional Order Control of Power Electronic Converters in Industrial Drives and Renewable Energy Systems: A Review », *IEEE Access*, vol. 9, p. 58982-59009, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3073033.
- [9] « Electronics For You | Free DIY and Electronics Projects | Tech News », 12 février 2016. <https://www.electronicsforu.com> (consulté le 2 juillet 2023).
- [10] « convertir un signal carré en un signal sinusoidal ». <https://forums.futura-sciences.com/electronique/224757-convertir-un-signal-carre-un-signal-sinusoidal.html> (consulté le 2 juillet 2023).
- [11] S. Zaaamta, « Réalisation d'un régulateur solaire à base de microcontrôleur pour le contrôle de l'état de charge et la protection des accumulateurs ».
- [12] E. Martin, « Installation photovoltaïque : quels sont ses éléments ? », Nara Solar, 11 mai 2022. <https://www.narasolar.com/fr/composants-dun-systeme-photovoltaique/> (consulté le 2 juillet 2023).
- [13] « Les panneaux photovoltaïques ». <https://sites.uclouvain.be/lee/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaïques/Principes/Composants.htm> (consulté le 2 juillet 2023).
- [14] « I.ON - Comment fonctionne un système photovoltaïque? » <https://www.ion-e.ch/fr/fonctionnement-panneaux-solaires> (consulté le 2 juillet 2023).
- [15] A. Tsamda et K. Mahmoud, « Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques », Thesis, 2007. Consulté le: 2 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/4093>
- [16] A. Labouret, M. Viloz « Energie Solaire Photovoltaïque ». 2eme édition, Dunod, Paris 2003/2005.
- [17] M. Angel, C. Pastor, «Conception Et Réalisation De Modules Photovoltaïques Electroniques» Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse Spécialité : Conception des Circuits Microélectroniques et Microsystèmes. septembre 2006.
- [18] Antony Falk, Le photovoltaïque pour tous: conception et réalisation d'installations / Antony Falk, Christian Dürschner, Karl-Heinz Remmers ; [traduction et adaptation technique de Alban Lapierre]. Paris Berlin: Observ'ER Solarpraxis, 2006.

Bibliographie

- [19] T. Dr. Robert J, Influence of Temperature on Electronic Devices and Circuits". [En ligne]. Disponible sur: <https://ieeexplore.ieee.org/>
- [20] TY - JOUR AU - Nasrin, Rehana AU - Hasanuzzaman, Md AU - Rahim, N.A. PY - 2017/10/01 SP - T1 - Effect of high irradiation on photovoltaic power and energy VL - 42 DO - 10.1002/er.3907 JO - International Journal of Energy Research *ER* -
- [21] « Solar Panel Construction », *CLEAN ENERGY REVIEWS*, 20 mars 2020. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction> (consulté le 2 juillet 2023).
- [22] « Panneau solaire : inclinaison & orientation optimales [2020] », Terre Solaire, 29 mars 2023. <https://terresolaire.com/Blog/batiment-solaire/inclinaison-panneau-solaire-orientation/> (consulté le 2 juillet 2023).
- [23] « Panneau solaire mobile : Quel est ce type de panneau solaire ? », <https://www.upenergie.com>, 18 mai 2022. <https://www.upenergie.com/panneau-solaire-mobile/> (consulté le 2 juillet 2023).