

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2024



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

**Domaine:** Sciences et Technologie

**Filière:** Electrotechnique

**Spécialité:** Réseaux électrique

**Par:** Amyar Ibtissam et Attailia Khawla

### Thème

**Simulation d'un Onduleur Monophasé sur Proteus et Réalisation  
Pratique à Base d'une Carte Arduino.**

Soutenu publiquement, le 23/Juin/2024, devant le jury composé de:

M.BABOURI Abdesselam	Professeur	Univ. Guelma	Président/Examineur
M. FERAGA Chams-Eddine	Professeur	Univ. Guelma	Encadreur
Mme. Gerroui Assia	MCB	Univ. Guelma	Examineur principal
M. Azzouzi Ahmidet	Docteur	A.I.C. Annaba	Membre invité

**Année Universitaire:2023/2024**

## Remerciement

*Nous remercions avant tous le Bon Dieu qui nous a aidé pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions notre encadreur **M.FERAGA Chams-Eddine**, Professeur à l'Université 8 mai 1945, Guelma, pour son encadrement et ses conseils généreux et avisés qu'il a prodigués. Il était tout le temps disponible avec des clarifications et des réponses aux questions que nous avons sur le travail. Il n'a jamais cessé de nous donner des idées sur ce projet, il nous a témoigné sa confiance, sans oublier sa qualité humaine. Qu'il trouve ici, notre plus profonde gratitude.*

*De plus, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au **Dr AZOUZI Ahmidet**, qui nous a accompagné dans nos travaux pratiques et ne nous a épargné aucun de ses équipements et a été un soutien tout au long de ce travail. Nous tenons aussi à remercier également toute son équipe, à savoir la **Doctorante Mme BECHIR Samia**.*

*Nos sincères remerciements au Président du Jury, M. **BABOURI ABDESSELAM**, Professeur à l'Université du 8 mai 1945 de Guelma, à Mme. **GERROUI Assia**, maître de conférences à l'Université du 8 mai 1945 de Guelma, pour avoir accepté de faire partie du jury.*

*Nous remercions vivement les ingénieures de Laboratoires **Mme. Berkani Fatiha** et **Melle. Boukharouba Soraya**.*

*Nous remercions également tous nos chers collègues de la promotion réseaux électriques.*

*En fin, Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## **DEDICACES**

*A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le  
Chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce travail  
que je dédie:*

*A Mes parents*

*A Mon Frère 'AMINE'*

*A Mes Belle Sœurs*

*'AMELE , AMINA, WISSAL '*

*A Mon Petite Prince 'MOHAMMED'*

*A Ma chère Tante*

*A Mon binôme 'KHAWLA'*

*A tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé  
Pendant cette période mon ami intime.*



**Amyar Ibtissam**

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents, tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que j'ai pour vous, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et sacrifices que vous avez consenti pour mon éducation et mon bien-être. C'est grâce a vos encouragements que j'ai choisi ce noble métier.*

*Dédicace spéciale à*

*Mes Sœurs 'YASSMINE, HADIL, LINA'*

*A mon mari 'BOUBAKER'*

*A mon binôme 'IBTISSAM'*

*A tous ceux qui m'aiment*

*A tous ceux que j'aime.*



*Attailia khawla*

**Titre :** Simulation d'un Onduleur Monophasé sur Proteus et Réalisation Pratique à Base d'une Carte Arduino.

### Résumé :

L'objectif de ce projet est d'étudier, simuler et réaliser un onduleur monophasé basé sur un microcontrôleur Arduino Nano. Ce thème se constitue de trois chapitres. Nous avons d'abord traité les caractéristiques des interrupteurs statiques et les différentes structures d'onduleurs, puis expliqué en détail leur fonctionnement et les méthodes de contrôle associées pour assurer une compréhension approfondie de notre projet. Ensuite, en utilisant le logiciel Proteus, nous avons simulé la configuration de l'onduleur monophasé en pont, contrôlé par Arduino UNO, offrant ainsi un aperçu pratique de l'assemblage et du fonctionnement de ces dispositifs complexes. En fin, nous avons réalisé la simulation de l'onduleur monophasé en demi-pont et concrétisé ces concepts en réalisant un prototype de ce convertisseur statique à base d'une carte Arduino NANO.

**Mots-clés :** Onduleur, Simulation, Proteus, Arduino, Réalisation.

**Title :** Simulation of a Single-Phase Inverter on Proteus and Practical Realization Using an Arduino Board.

### Abstract:

The objective of this project is to study, simulate and create a single-phase inverter based on an Arduino Nano microcontroller. This theme consists of three chapters. We first studied the characteristics of the components and the different structures of inverters, and then explained in detail their operation and the associated control methods to ensure a thorough understanding of our project. Then, using Proteus software, we simulated the configuration of the single-phase bridge inverter, controlled by Arduino UNO, providing a practical insight into the assembly and operation of these complex devices. Finally, we carried out the simulation of the single-phase half-bridge inverter and concretized these concepts by creating a prototype of this static converter based on an Arduino NANO card.

**Keywords :** Inverter, Simulation, Proteus, Arduino, Realization.

**العنوان:** محاكاة عاكس أحادي الطور على برنامج بروتينوس والتنفيذ العملي باستخدام لوحة الاردوينو.

### ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو دراسة ومحاكاة وإنشاء عاكس أحادي الطور يعتمد على متحكم **Arduino Nano**. يتكون هذا الموضوع من ثلاثة فصول. قمنا أولاً بتغطية خصائص مفاتيح الحالة الصلبة وهيكل العاكس المختلفة، ثم شرحنا بالتفصيل تشغيلها وطرق التحكم المرتبطة بها لضمان فهم شامل لمشروعنا. بعد ذلك، باستخدام برنامج **Proteus**، قمنا بمحاكاة تكوين عاكس الجسر أحادي الطور، الذي يتم التحكم فيه بواسطة **Arduino UNO**، مما يوفر نظرة عامة عملية على تجميع وتشغيل هذه الأجهزة المعقدة. أخيراً، أجرينا محاكاة للعاكس نصف الجسر أحادي الطور وقمنا بتجسيد هذه المفاهيم من خلال إنشاء نموذج أولي لهذا المحول الثابت استناداً إلى بطاقة **Arduino NANO**.

الكلمات المفتاحية: العاكس، المحاكاة، بروتينوس، الاردوينو، تحقق

## **Sommaire**

### **Introduction générale.**

#### ***Chapitre I : Etude des onduleurs monophasés***

Introduction .....	4
I.1. Caractéristiques des interrupteurs électroniques.....	4
I.1.1. Diode.....	4
I.1.2. Thyristor.....	4
I.1.3. Transistor bipolaire.....	5
I.1.4. Transistor MOSFET.....	5
I.1.5. Transistor IGBT.....	6
I.2. Les Onduleurs.....	6
I.2.1. Types d'onduleur.....	7
I.2.1.1. Onduleur de tension.....	7
I.2.1.2. Onduleur de courant.....	8
I.3. Structures des onduleurs monophasés.....	9
I.3.1. Onduleur monophasé en demi-pont.....	9
I.3.1.1. Principe de fonctionnement.....	9
I.3.1.2. Etude de la Tension de sortie.....	9
I.3.2. Onduleur monophasé avec transformateur à point milieu.....	11
I.3.2. 1. Principe de fonctionnement de l'onduleur monophasé à point milieu.....	12
I.3.3. Onduleur monophasé en pont.....	12
I.3.3.1. Principe de fonctionnement de l'onduleur monophasé en pont.....	13
I.3.3.2. Etude de la tension de sortie.....	15
I.4. Commande de l'onduleur monophasé.....	16
I.4.1. Commande Classiques.....	16
I.4.1.1. Commande pleine onde.....	16
I.4.1.2. Commande décalée.....	16
I.4.2. Commande par modulation de largeur d'impulsion.....	17
I.5. Les applications des onduleurs.....	18
Conclusion.....	18

#### ***Chapitre II : Simulation de l'onduleur monophasé sur Proteus.***

Introduction.....	20
II.1. Principe de l'étude.....	20
II.2. Description du logiciel Proteus.....	20
II.3. Les étapes de réalisation d'un projet avec Proteus.....	21

II.4. Simulation de circuits électriques de l'onduleur de tension sur ISIS Proteus.....	21
II.4.1.Schéma fonctionnel d'un onduleur monophasé en pont.....	22
II.5.Les résultats de simulation.....	28
Conclusion.....	31

### *Chapitre III : Réalisation d'un Onduleur Monophasé*

Introduction.....	33
III.1.Méthodologie.....	33
III.2.Onduleur en demi-pont.....	33
III.2.1.Fonctionnement.....	34
III.3.Simulation de l'onduleur par proteus.....	35
III.4.Réalisation de l'onduleur.....	38
III.4.1.Description et choix des composants.....	38
III.4.1.1.Alimentation.....	38
III.4.1.2.Description de la partie de commande.....	38
III.4.1.2.1. Ordinateur.....	38
III.4.1.2.2. Câble USB Pour Arduino NANO Type –A vers Mini-B.....	38
III.4.1.2.3. Arduino Nano.....	39
III.4.1.3. Les composants utilisés.....	40
III.4.1.4.Description de la partie Puissance.....	41
III.4.1.4.1.Transformateur élévateur.....	41
III.4.1.4.2. Radiateur.....	41
III.4.1.4.3.Condensateur.....	42
III.4.2. Instruments de mesure.....	42
III.4.3. Etapes d'assemblage des éléments constitutifs de l'onduleur.....	43
III.4.4.Circuit Final.....	44
III.5.Interprétation des résultats.....	45
III.5.1. Signal d'entrée.....	45
III.5.2.Signal de commande.....	45
III.5.3.Tension de sortie.....	46
Conclusion.....	48
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>50</b>
<b>Bibliographe.....</b>	<b>51</b>

## **LISTE DES FIGURES**

### ***Chapitre I : Etude des onduleurs monophasés.***

Figure I.1 : Symbole et caractéristique de fonctionnement d'une diode.....	4
Figure I.2 : Symbole et caractéristique de fonctionnement d'un thyristor.....	5
Figure I.3 : Symbole du transistor bipolaire.....	5
Figure I.4 : Symbole d'un MOSFET.....	6
Figure I.5 : Symbole et circuit équivalent d'un IGBT.....	6
Figure I.6 : Schéma de l'onduleur de tension et formes d'onde.....	7
Figure I.7 : Schéma de l'onduleur de courant et formes d'onde.....	8
Figure I.8 : Montage d'un onduleur en demi- pont.....	9
Figure I.9 : Courant de charge pour une charge fortement inductive.....	11
Figure I.10 : Onduleur monophasé avec transformateur à point milieu.....	11
Figure I.11 : Montage d'un onduleur monophasé en pont complet.....	13
Figure I.12 : Les cas possible de commutation de l'onduleur.....	14
Figure I.13. Formes d'onde de l'onduleur en pont.....	15
Figure I.14 : Les formes d'onde de l'onduleur à commande décalée.....	17
Figure I.15 : Principe de la commande MLI.....	17

### ***Chapitre II : Simulation de l'onduleur monophasé sur Proteus.***

Figure II.1 : Interface principale de logiciel Proteus .....	22
Figure II.2 : Symbole dans Proteus ISIS du Arduino UNO.....	22
Figure II.3 : La carte Arduino UNO.....	23
Figure II.4 : Signaux de commande des deux bras de l'onduleur via Arduino UNO.....	23
Figure II.5 : Symbole dans Proteus ISIS du circuit du driver IR2112.....	24
Figure II.6 : Circuit de test d'un Driver IR2112.....	25
Figure II.7 : Transistor de commutation MOSFET IRFP460.....	26
Figure II.8 : Symbole dans Proteus ISIS du MOSFET IRFP460.....	26
Figure II.9 : Diode 1N4007.....	26
Figure II.10 : Schéma d'un onduleur monophasé en pont avec charge R sur Proteus.....	27
Figure II.11 : Schéma d'un onduleur monophasé en pont avec charge RL.....	27
Figure II.12 : Signal de commande des interrupteur Q1 et Q4.....	29
Figure II.13 : Signal de commande des interrupteur Q2 et Q3.....	29
Figure II.14 : Signal de tension de sortie de l'onduleur (aux bornes de la charge R).....	29
Figure II.15 : Signal de tension de sortie de l'onduleur (aux bornes de la charge R L).....	30
Figure II.16 : Courant de sortie d'un onduleur de tension sur Proteus ISIS.....	31

**Chapitre III : Réalisation Pratique d'un onduleur Monophasé**

Figure III.1 : Schéma synoptique de l'onduleur.....	33
Figure III.2 : Schéma de principe.....	34
Figure III.3 : Schéma de l'onduleur sur Proteus.....	36
Figure III.4 : Allure de l'impulsion de commande du transistore MOSFET Q1.....	36
Figure III.5 : Allure de l'impulsion de commande du transistore MOSFET Q2.....	37
Figure III.6 : Allure de la tension Vs à la sortie du transformateur élévateur.....	37
Figure III.7 : Source de tension continue variable.....	38
Figure III.8 : Câble USB Type-A vers Mini-B.....	39
Figure III.9 : Constitution de la carte Arduino NANO.....	40
Figure III.10 : Transformateur 12-0-12 V.....	41
Figure III.11 : Image du condensateur.....	42
Figure III.12 : Multimètre numérique.....	42
Figure III.13 : Image de l'Oscilloscope.....	43
Figure III.14 : Poste à souder.....	43
Figure III.15 : Photo de la carte électronique de commande.....	44
Figure III.16 : Programmeur Arduino Nano.....	44
Figure III.17 : Projet finale réalisé.....	44
Figure III.18 : Banc d'essais expérimental.....	45
Figure III.19 : Signal continu d'entrée.....	45
Figure III.20 : Signal de commande de la porte 10.....	46
Figure III.21 : Signal de commande de la porte9.....	46
Figure III.22 : La valeur de la tension mesurée à la sortie l'onduleur.....	47
Figure III.23 : Tension à la sortie du circuit vue sur l'oscilloscope.....	47

***LISTE DES TABLEAUX :***

***Chapitre I : Etude des onduleurs monophasés.***

Tableau I.1 : Configurations possibles de l'onduleur monophasé en pont.....13

***Chapitre III : Réalisation d'un Onduleur Monophasé sur Proteus***

Tableau III.1 : Composants utilisés.....40

**LISTE DES SYMBOLES**

- $V_{AK}$  : La tension entre les bornes de diode (anode et cathode).
- $U_{ch}$  : Tension de sortie.
- $I_{ch}$  : courant de charge.
- $P_{ch}$  : puissance de sortie.
- $U_s$  : Tension continue.
- $V_{GS}$  : tension grille source
- $I_D$  : courant de drain continu
- $P_d$  : puissance maximale dissipée
- $T$  : période.
- $t$  : La durée.
- $\omega$  : la fréquence de la tension de sortie (en rad/s).
- $F$  : fréquence
- $L$  : Inductance.
- $C$  : Condensateur.
- $R$  : Résistance.
- $R_{DS}$  : résistance à l'état passant
- $T1, T2, T3, T4$  : Transistors de puissance.
- $D1, D2, D3, D4$  : Diodes de puissance.
- $Q1, Q2, Q3, Q4$ : Transistors avec une diode antiparallèle.
- AC : Courant Alternative.
- DC : Courant Continu.
- IGBT : insulated Gate Bipolaire Transistor .
- GTO : Gate Turnes Off.
- VSM : Virtual System Modeling .
- MOSFET : Métal-Oxyde-Semi-conducteur Field Effet Transistor .
- USB : Universel Serial Bus.
- PWM : Pulse Width Modulation.
- ISIS : Intelligent Schématique Input System

# *Introduction Générale*

## **Introduction générale :**

L'électronique de puissance a trait aux changements dans la manière dont l'énergie électrique est manipulée, et ce, en utilisant des moyens de conversion statique basés sur des semi-conducteurs de puissance fonctionnant en régime de commutation. Grâce aux avancées dans ces composants et leur utilisation, elle est devenue essentielle dans le domaine de l'électricité industrielle.

Les défis croissants liés aux changements climatiques renforcent la nécessité d'élargir l'utilisation des énergies renouvelables, augmentant ainsi la demande de technologies de conversion d'énergie avancées. En outre, le développement continu dans le domaine des énergies renouvelables et des technologies industrielles renforcent le besoin urgent de convertisseurs monophasés.

Dans ce travail intitulé «Simulation d'un Onduleur Monophasé sur Proteus et Réalisation Pratique à Base d'une Carte Arduino.», nous avons réalisé une étude expérimentale d'un Onduleur monophasé, contrôlé par une carte Arduino. Pour aboutir aux objectifs de ce travail, notre mémoire est structuré en trois chapitres présentés comme suit :

D'abord, nous traitons les onduleurs monophasés sous différents angles. Nous commencerons par étudier les interrupteurs électroniques, tels que : les diodes et les transistors, qui sont essentiels à leur fonctionnement. Ensuite, nous examinons les différents types d'onduleurs monophasés et leur principe de fonctionnement. Nous discuterons également de la commande de ces onduleurs et de leurs applications dans divers domaines.

Ensuite, nous examinons la conception et la simulation d'un onduleur de tension avec le logiciel Proteus dans le deuxième chapitre. Nous détaillons les fonctionnalités du logiciel et explorons les étapes de réalisation d'un projet avec Proteus, en mettant l'accent sur la simulation des circuits de l'onduleur et l'analyse des résultats pour valider sa conception.

Dans le dernier chapitre, nous examinons la simulation et la mise en œuvre pratique d'un onduleur monophasé avec transformateur à point milieu à l'aide de Proteus et d'une carte Arduino. Nous détaillons la méthodologie, le schéma de principe, la simulation sur Proteus, la sélection des composants, les étapes d'assemblage, le circuit final, et enfin, nous analysons les résultats obtenus.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion, où nous mettons l'accent sur l'importance et l'intérêt de l'onduleur monophasé dans le domaine de l'électronique de puissance, ainsi que son rôle crucial dans le secteur des énergies renouvelables.

# *Etude des onduleurs monophasés*

## Introduction :

Les convertisseurs statiques sont des dispositifs qui transforment l'énergie électrique afin de l'adapter à une charge spécifique. Autrefois, cette transformation se faisait via des machines électriques connectées mécaniquement (groupe génératrice-moteur). Cependant, l'avènement des semi-conducteurs et de l'électronique de puissance, comme les diodes, les thyristors et les transistors, a révolutionné ce domaine. Parmi ces convertisseurs statiques, nous étudions dans ce chapitre les onduleurs de tension. Dans cette section nous présentons tout d'abord les caractéristiques de composants électroniques utilisés dans la constitution de ces convertisseurs statiques, puis nous abordons les structures des onduleurs monophasés les plus utilisés.

### I.1. Caractéristiques des interrupteurs électroniques :

Il est largement reconnu qu'un onduleur comme tous convertisseurs de l'électronique de puissance est composé d'interrupteurs électroniques de base, lesquels sont soumis à des contraintes à la fois de courant (dictées par la charge) et de tension (imposées par la source). En pratique, plusieurs types d'interrupteurs électroniques existent, et les plus fréquemment utilisés sont : la diode, le thyristor et les transistors.

#### I.1.1. Diode :

Il s'agit d'un composant à courant et tension unidirectionnels, ce qui implique que le courant et la tension ne circulent que dans une seule direction. En règle générale, la valeur de la tension de blocage est imposée par la source, tandis que la valeur du courant de conduction est imposée par la charge. Il est crucial que ces valeurs restent dans la plage autorisée pour le type de diode sélectionné (Voir figure I.1).

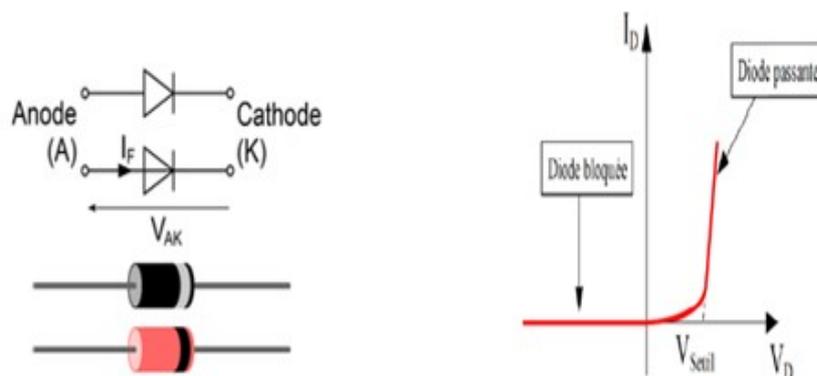


Figure I. 1: Symbole et caractéristique de fonctionnement d'une diode.

#### I.1.2. Thyristor:

Il comporte une troisième électrode, appelée gâchette, qui permet de le débloquer. Par conséquent, il reste en position bloquée si l'opérateur ne prend pas d'action sur la gâchette

(une tension positive entre la gâchette et la cathode sous forme d'impulsions répétées d'environ 1 V crête). Contrairement à une diode, une tension  $V_{AK}$  positive peut donc se développer à ses bornes lorsqu'il est bloqué. Lorsque le thyristor est conducteur, rien ne le distingue d'une diode. La figure ci-dessous illustre le schéma de principe d'un thyristor :

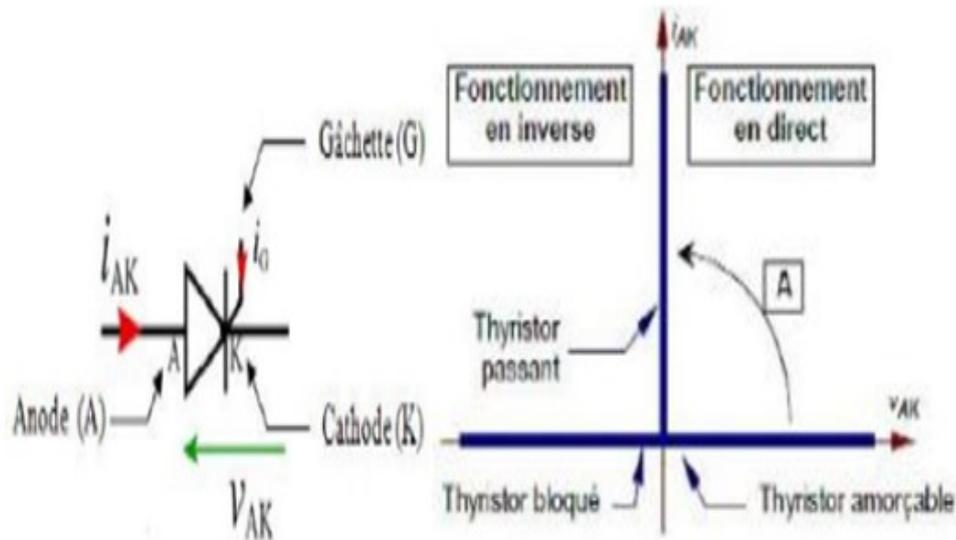


Figure I.2 : Symbole et caractéristique de fonctionnement d'un thyristor.

**I.1.3. Transistor bipolaire :**

Il comporte également une troisième broche, similaire au thyristor. Cependant, contrairement à ce dernier, cette troisième broche, appelée "Base", permet non seulement de débloquent le transistor (avec une tension Base-Emetteur d'environ 0,7 V) mais aussi de le bloquer (avec une tension Base-Emetteur nulle).

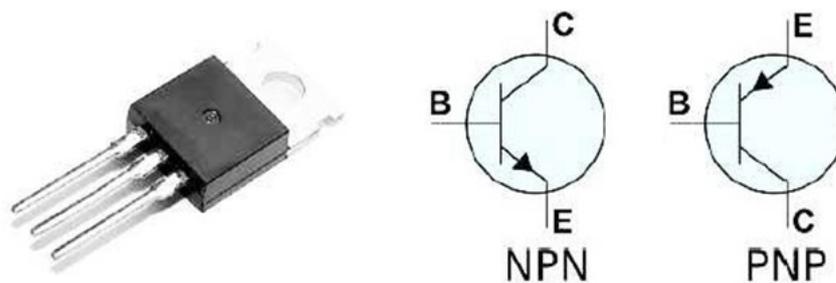


Figure I.3: Symbole du transistor bipolaire [1].

**I.1.4. Transistor MOSFET :**

Le MOSFET est un type de transistor à effet de champ, il régule le courant qui le traverse à l'aide d'un signal appliqué sur son électrode appelée grille, comme tous les transistors. Il est largement utilisé dans les circuits intégrés numériques et en électronique de puissance. Pour commander un transistor MOSFET, une tension positive est appliquée à sa grille. Lorsque cette tension dépasse un seuil spécifique, le transistor devient conducteur entre le drain et la source, permettant ainsi le passage du courant. Dans cette configuration,

le transistor se comporte presque comme un fil entre le drain et la source. En revanche, lorsque la tension de grille est nulle, le transistor se comporte comme un interrupteur ouvert. La figure suivante présente le symbole d'un MOSFET :

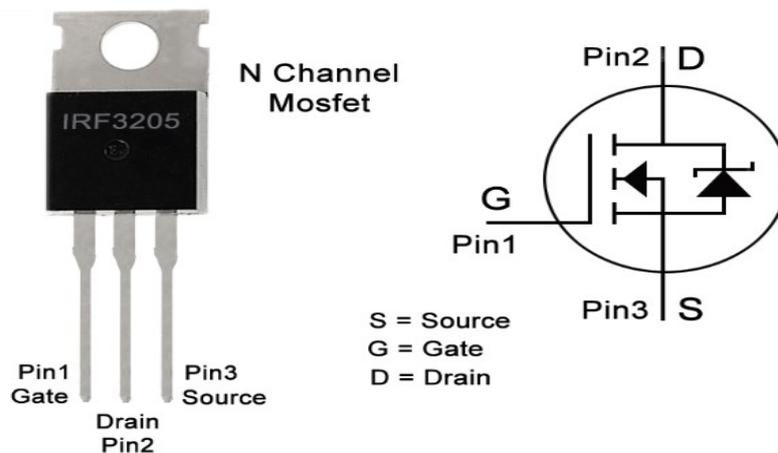


Figure I.4 : Symbole d'un MOSFET [1].

### I.1.5. Transistor IGBT :

Le transistor bipolaire à grille isolée (Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)), est un composant semi-conducteur appartenant à la famille des transistors, principalement utilisé comme interrupteur électronique dans les applications de l'électronique de puissance. La fonction principale d'un IGBT est de commuter rapidement les courants électriques avec le moins de pertes possible. Il possède une structure de grille isolée ; la grille elle-même est en fait un MOSFET. Ainsi, l'IGBT combine les avantages des forts courants admissibles et des hautes tensions de blocage d'un transistor bipolaire avec le contrôle à faible consommation d'un MOSFET (Voir la figure I.5).

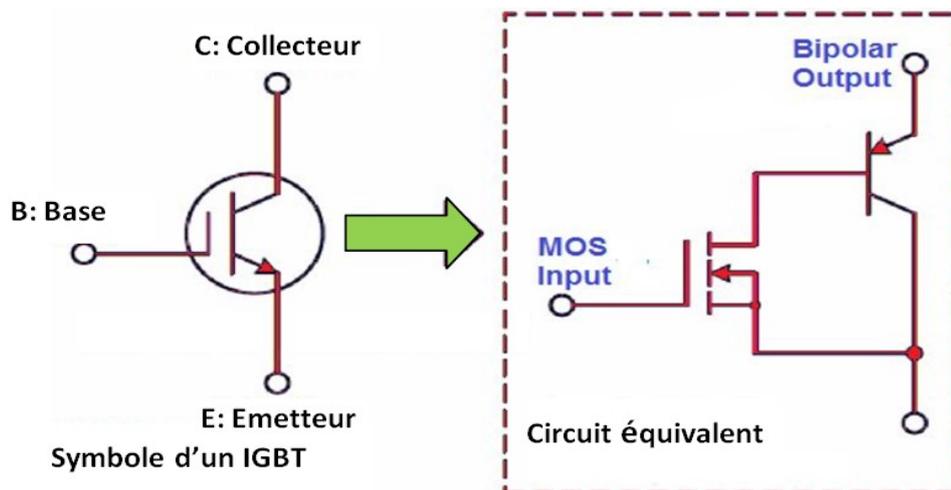


Figure I.5 : Symbole et circuit équivalent d'un IGBT.

### I.2. Les Onduleurs :

Un onduleur est un dispositif utilisé en électrotechnique pour convertir une énergie électrique de type continue en alternatif. Il peut fournir des tensions ou courants alternatifs

de fréquences et amplitudes variables, ou bien des tensions alternatives de fréquence et amplitude fixes. On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant en fonction de la source d'entrée continue (source de tension ou source de courant). La technologie des onduleurs de tension est la plus répandue et est utilisée dans la plupart des systèmes industriels, quelle que soit leur puissance (de quelques watts à plusieurs mégawatts). Les onduleurs sont classés selon leur mode de commutation. On rencontre l'onduleur autonome et l'onduleur non autonome.

-Un onduleur est dit **autonome** s'il utilise l'énergie d'un circuit auxiliaire propre à lui pour la commutation des interrupteurs statiques, tels que IGBTs ou d'autres semi-conducteurs, dans ce cas, nous commandons la fréquence de l'onde de tension de sortie [1].

-Par contre **l'onduleur non autonome** est le nom donné au montage redresseur tout thyristors qui en commutation naturelle assistée par le réseau auquel il est raccordé, permet un fonctionnement en onduleur. À la base du développement des entraînements statiques à vitesse variable pour moteurs à courant continu et alternative, cyclo-convertisseurs, onduleurs de courant pour machines synchrones et asynchrones, jusqu'à des puissances de plusieurs MW, ce type de montage est progressivement supplanté, au profit de convertisseurs à IGBT ou GTO [1].

**I.2.1. Types d'onduleur:**

**I.2.1.1. Onduleur de tension :**

On appelle onduleur de tension, un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue. La figure I.6 représente le principe des onduleurs de tension dans le cas où la sortie est monophasée et à quatre interrupteurs : Q1, Q2, Q3 et Q4.

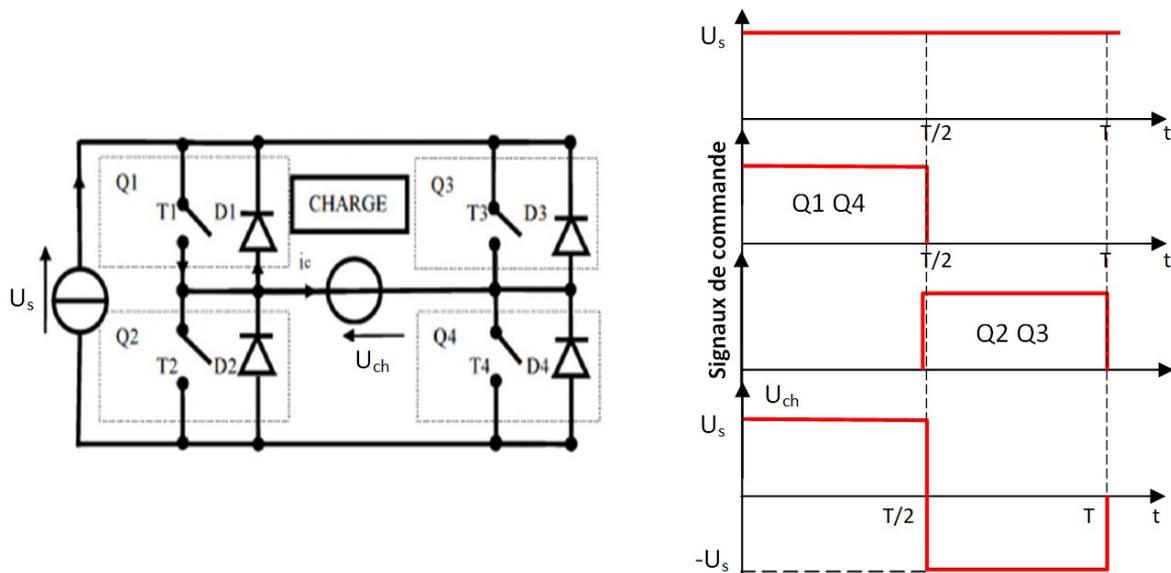


Figure I.6: Schéma de l'onduleur de tension, et formes d'onde.

Notant que les interrupteurs  $Q_i$  de l'onduleur; Figure I.6 sont formés par la mise en parallèle d'un semi-conducteur  $T_i$  commandé à l'ouverture et à la fermeture et d'une diode  $D_i$ . Cette dernière assure la continuité de courant permettant ainsi la conduction d'un courant négatif dans le cas où le courant est déphasé par rapport à la tension de sortie [2].

**I.2.1.2. Onduleur de courant :**

On dit onduleur de courant, un onduleur qui est alimenté par une source de courant continue. Comme exemple, on prend le montage de la Figure I.7 ci-dessous illustrant le modèle d'un onduleur de courant monophasé, qui se compose de quatre interrupteurs de puissance  $Q_1, Q_2, Q_3$  et  $Q_4$ . Sur La Figure I.7 sont représentés les signaux de commande et les formes d'ondes des courants correspondants [2].

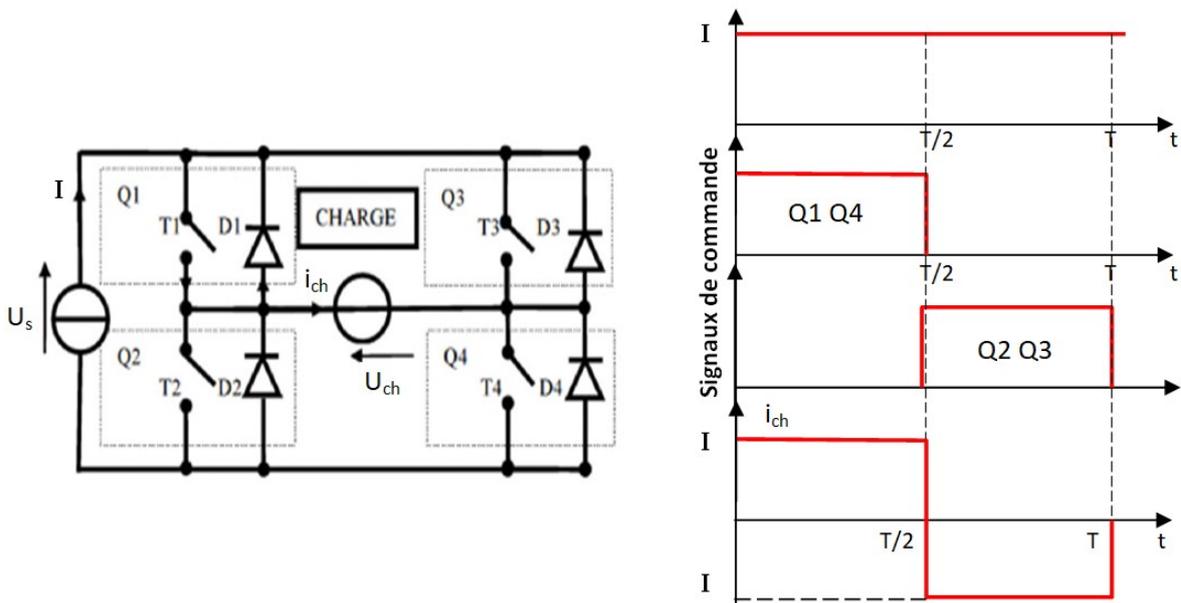


Figure I.7: Schéma de l'onduleur de courant et les formes d'onde.

De même, pour l'onduleur de courant, les états des interrupteurs commandés nous permettent de donner l'expression de  $i_{ch}$  si le courant d'entrée est constant et égal à  $I$ , quel que soit  $U$ :

- Pour  $0 < t < T / 2$  : les interrupteurs,  $Q_1, Q_4$  passants et  $Q_2, Q_3$  bloqués :

$$i_{ch} = +I$$

- Pour  $T / 2 < t < T$  : les interrupteurs,  $Q_2, Q_3$  passants et  $Q_1, Q_4$  bloqués :

$$i_{ch} = -I$$

La tension de sortie  $U_{ch}(t)$  est donc la tension  $U_s$  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 la fermeture, il n'a pas à être réversible en courant, alors on n'a pas besoin de diode mise en parallèle [2].

### I.3. Structures des onduleurs monophasés :

Dans le domaine de la conversion de l'énergie électrique. Il existe plusieurs types d'onduleur monophasé pour transformer le courant continu en courant alternatif. Les plus employés dans l'industrie sont sous cités:

#### I.3.1. Onduleur monophasé en demi-pont :

L'onduleur monophasé équipé d'un diviseur capacitif à l'entrée, connu sous le nom d'onduleur en demi-pont (Figure I.8).

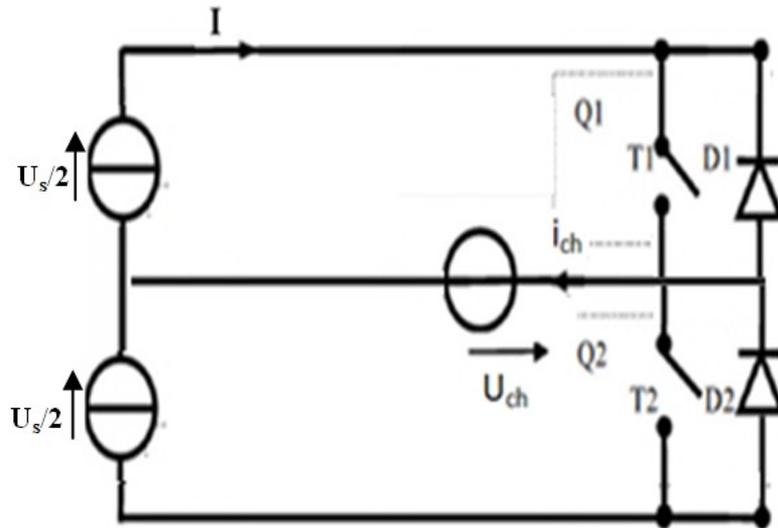


Figure I.8 : Montage d'un onduleur monophasé en demi-pont.

##### I.3.1.1. Principe de fonctionnement :

-Quand le transistor  $T_1$  est amorcé pendant une durée  $t/2$  la tension instantanée de la charge est  $\frac{U_s}{2}$

-Si le transistor  $T_2$  est allumé seul, durant un temps  $t/2$ , la tension  $-\frac{U_s}{2}$  apparait aux bornes de la charge. Pour qu'il y ait fonctionnement propre de l'onduleur il faut respecter la condition que  $T_1$  et  $T_2$  ne doivent pas être amorcé en même temps [4].

##### I.3.1.2. Etude de la Tension de sortie :

La valeur efficace de la tension de sortie peut être exprimée par l'expression ci-dessous [4] :

$$U_{ch} = \left( \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{U_s^2}{4} dt \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{U_s}{2} \quad (\text{I.1})$$

La décomposition en série de fourrier de la tension de sortie instantanée est donnée par l'expression suivant [4] :

$$U_{ch} = \sum_{n=1,3,5...}^{\infty} \frac{2U_S}{n\pi} \sin n\omega t \quad (\text{I.2})$$

$U_{ch} = 0$  ; Pour  $n=2,4,....$

Où :  $\omega = 2\pi f_{ch}$  est la fréquence de la tension de sortie en rad/s.

Pour  $n=1$  l'équation(I.2) donne la valeur efficace du fondamental

$$U_{ch1} = \frac{2U_S}{\sqrt{2\pi}} = 0.45U_S \quad (\text{I.3})$$

Pour une charge inductive, le courant de charge ne change pas immédiatement avec la tension de sortie. Quand  $Q_1$  est amorcé à l'instant  $t = \frac{T_0}{2}$ , le courant de charge continue à passer à travers  $D_2$ , la charge et la moitié basse de la source continue jusqu'à ce que le courant s'annule.

De manière analogue quand  $Q_2$  est ouvert à l'instant  $t=T_0$ , le courant de charge circule à travers  $D_1$  la charge et la demi-partie supérieure de la source de tension continue. Quand la diode  $D_1$  et  $D_2$  conduit l'énergie est renvoyée à la source continue et ces deux diodes sont appelées diodes de roue libre ou diode de récupération. la figure I.9, montre que le courant de charge et l'intervalle de conduction des interrupteurs statiques pour une charge paiement inductive. Notant que pour ce genre de charge le transistor conduit pendant  $\frac{T_0}{2}$  ou  $90^\circ$  comme la durée de conduction dépend du facteur de puissance de la charge.

La période de conduction du transistor varie de  $90^\circ$  à  $180^\circ$ . Le transistor peut être remplacé par un GTO ou un thyristor à commutation forcée.

Pour une charge RL le courant de charge instantané est exprimé par l'expression suivant [4] :

$$i_{ch} = \sum_{n=1,3,5...}^{\infty} \frac{2U_S}{n\pi\sqrt{R^2+(n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n) \quad (\text{I.4})$$

Où :  $\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{n\omega L}{R}\right)$

Si  $I_{ch1}$  est la valeur efficace du fondamental du courant de charge, la puissance de sortie fondamentale pour  $n=1$  est définie par l'expression suivant [4] :

$$P_{ch1} = U_{ch1} I_{ch1} \cos \theta_1 = I_{ch1}^2 \cdot R \quad (\text{I.5})$$

$$P_{ch1} = \left[ \frac{2U_S}{\sqrt{2\pi}\sqrt{R^2+(L\omega)^2}} \right]^2 \cdot R \quad (\text{I.6})$$

Dans toutes les applications (exemple vitesse variable) la puissance de sortie due au courant fondamentale est généralement la puissance utilisée et la puissance due aux

composants harmoniques est dissipée par effet joule et augmente la température de la charge [4].

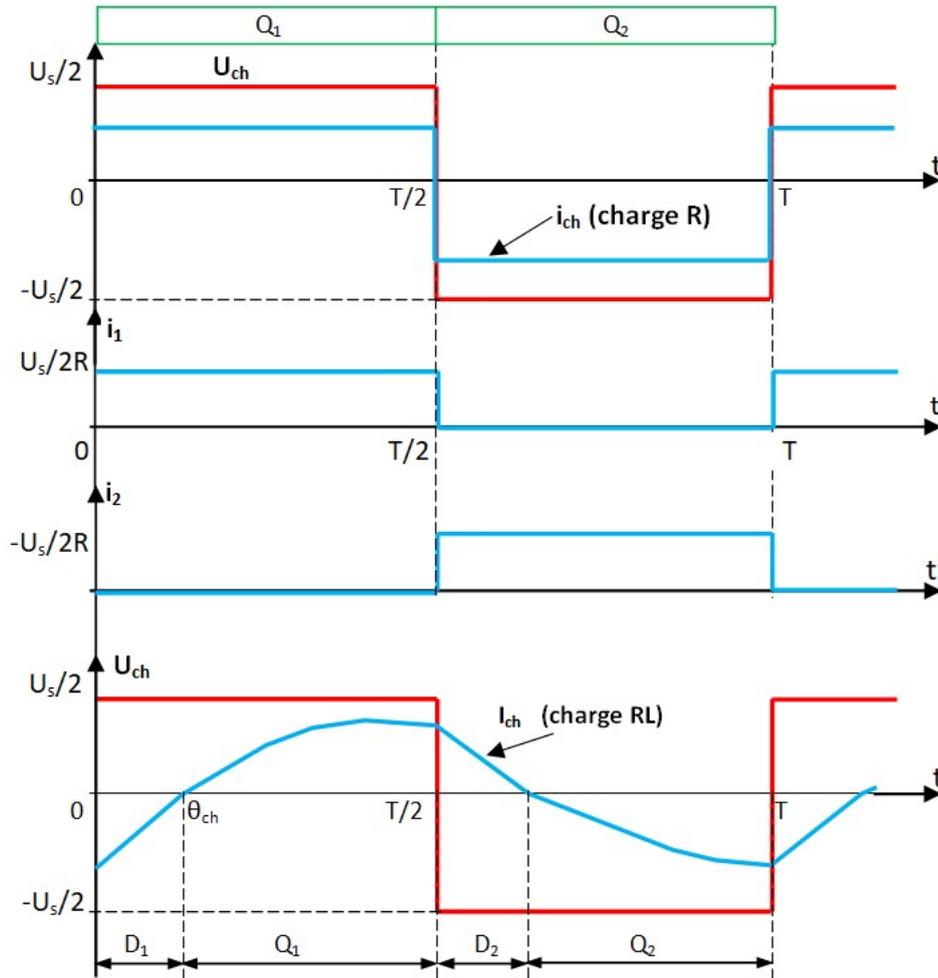


Figure I.9: Les formes d'onde d'un onduleur monophasé en demi-pont.

### I.3.2. Onduleur monophasé avec transformateur à point milieu :

Il est souvent appelé onduleur Push pull, il ne nécessite que deux interrupteurs et un transformateur à point milieu du côté source (Figure I.10) [3].

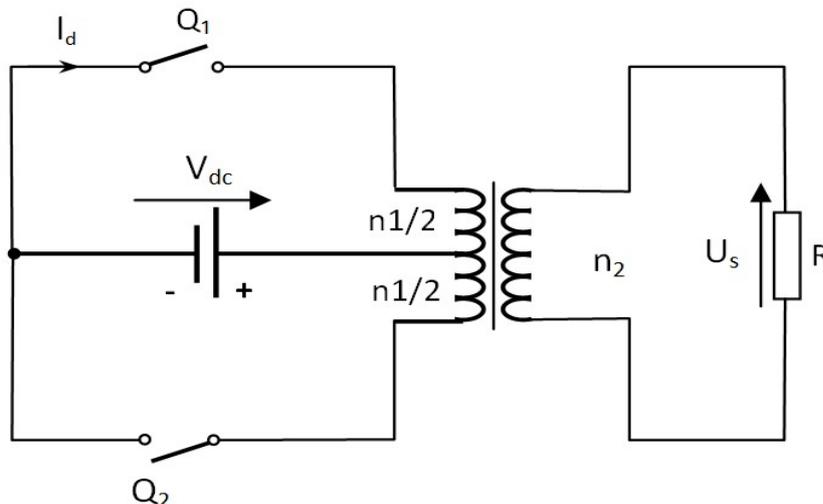


Figure I.10: Onduleur monophasé avec transformateur à point milieu.

### I.3.2. 1.Principe de fonctionnement de l'onduleur monophasé à point milieu :

Le fonctionnement du montage de la figure I.8 est similaire à celui de la figure I.9, il s'énonce comme suit:

- Quand  $Q_1$  et  $Q_2$  sont ouverts aucun courant ne circule dans la charge.
- Quand  $Q_1$  est fermé et  $Q_2$  est bloqué ; ou  $Q_2$  est fermé,  $Q_1$  est bloqué

Les deux signaux de commande pour  $Q_1$  et  $Q_2$  sont complémentaires (sont contrôlées à tour de rôle). La fréquence du signal de sortie est imposée par la fréquence des signaux de commande. La tension efficace de sortie est ajustée par le nombre des spires  $n_1$  et  $n_2$  [3].

### I.3.3. Onduleur monophasé en pont :

Un onduleur monophasé en pont est composé de quatre interrupteurs électroniques qui peuvent être des transistors ou des thyristors GTO disposés en configuration de pont. Selon une commande bien définie des interrupteurs statiques, l'onduleur peut générer une tension alternative à partir d'une source de tension continue. Ce convertisseur statique est couramment utilisé dans les systèmes d'alimentation sans interruption (ASI) pour fournir une alimentation électrique de secours en cas de coupure de courant.

Ils sont également utilisés dans les systèmes photovoltaïques, où ils convertissent la tension continue produite par les panneaux solaires en une tension alternative utilisable pour alimenter les appareils électriques. Ils sont également utilisés dans les systèmes d'énergie éolienne pour convertir la tension continue produite par les éoliennes en une tension alternative compatible avec le réseau électrique.

Pour modifier la largeur relative des créneaux qui forment les alternances de la tension de sortie, un onduleur monophasé en pont nécessite quatre interrupteurs. (Figure I.11).

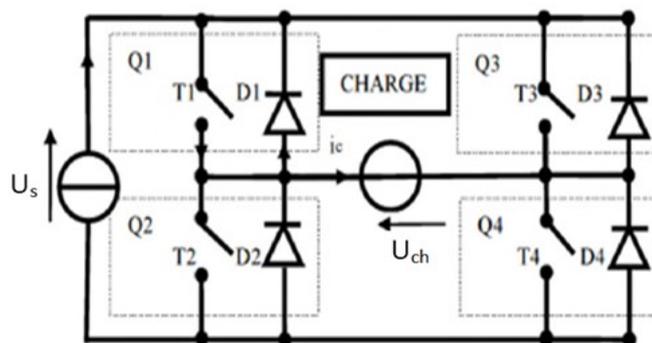


Figure .I.11 : Montage d'un onduleur monophasé en pont complet.

On notera que:

T1, T2, T3, T4 : Transistors de puissance.

D1, D2, D3, D4 : Diodes de puissance.

Q1, Q2, Q3, Q4: Transistors avec une diode antiparallèle.

$U_s$  : Tension continue.

$U_{ch}$ ,  $i_{ch}$ : La tension et le courant de la charge.

La Figure I.11 rappelle le schéma symbolique de l'onduleur et le montage d'un onduleur en pont complet. Le montage consiste deux bras chaque bras est composé de deux étages d'interrupteurs. Chaque étage comporte deux composant semi-conducteur (transistors IGBT ou MOSFET) avec une diode en antiparallèle. Les diodes antiparallèles sur les transistors assurent la réversibilité des courants dans la charge. À partir de la source principale de tension continue, l'onduleur permet d'avoir une tension plus proche de la sinusoïde à la sortie [5].

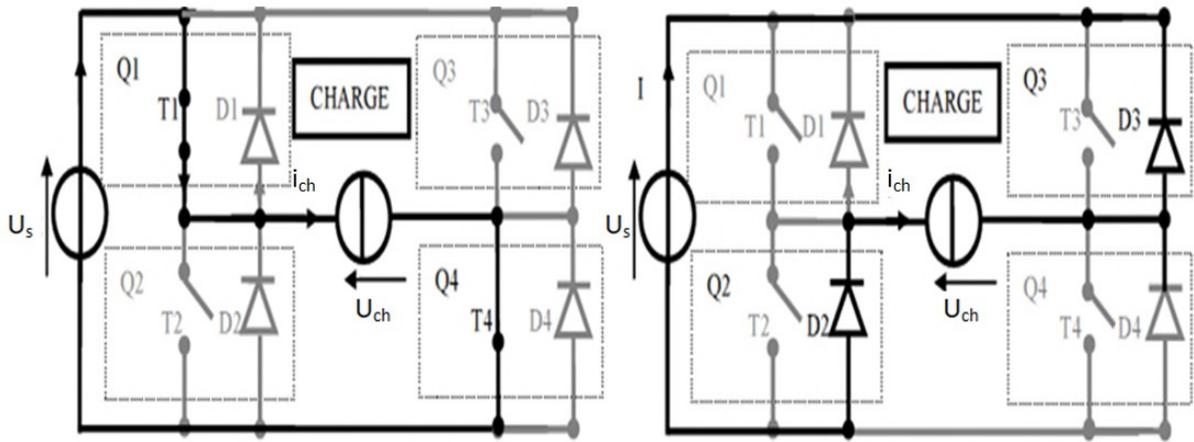
### I.3.3.1.Principe de fonctionnement de l'onduleur monophasé en pont :

L'onduleur en pont est représenté en Tableau I.1, il comporte quatre interrupteurs de puissance désignés par Q1, Q2, Q3 et Q4. L'analyse de cette structure montre à l'évidence qu'il est possible d'imposer aux bornes de la source de courant  $i$  une tension aussi bien positive que négatives. Le tableau I.1 des données permet d'en infliger ou ils ne sont considérés que les états respectifs des interrupteurs qui ne violent aucune des règles fondamentales définissant les états bloqués ou passent des interrupteurs au sein d'un bras de commutation [2].

	Bras1		Bras2		Tension $U_{ch}$
	Q1	Q2	Q3	Q4	
<b>Etat 1</b>	Passant	Bloqué	Bloqué	Passant	$U_{ch}=E$
<b>Etat 2</b>	Bloqué	Passant	Passant	Passant	$U_{ch}=-E$
<b>Etat 3</b>	Bloqué	Passant	Passant	Bloqué	$U_{ch}=-E$
<b>Etat 4</b>	Passant	Bloqué	Bloqué	Passant	$U_{ch}=E$

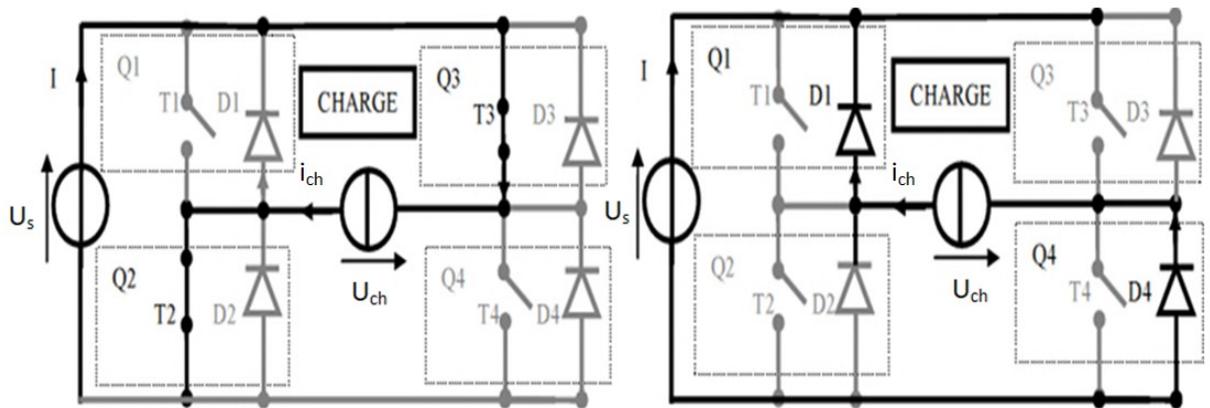
Tableau I.1: Configurations possibles de l'onduleur monophasé en pont.

Une telle structure permet d'imposer deux niveaux de tension, à savoir  $U_{ch}=U_s$  et  $U_{ch}=-U_s$ . Selon le Tableau .I.1 avec cette commande, il y a succession de quatre mailles de conduction [2] :



Etat 1: Accumulation alternance positive.

Etat 2: Restitution alternance négative.



Etat 3: Accumulation alternance négative.

Etat 4: Restitution alternance positive.

Figure .I.12 : Les Etats possibles de commutation de l'onduleur.

Pour la commande pleine onde, T1 et T4 sont commandés en même temps, saturés (passant) pendant l'alternance positive et bloqués pendant l'alternance négative. Par contre, T3 et T2 sont bloqués pendant l'alternance positive et saturés pendant l'alternance négative. Chaque alternance débute par une phase de restitution et se termine par une phase d'accumulation.

**Pour une commande complémentaire :**

- L'interrupteur Q1 et l'interrupteur Q4 sont passants et bloqués simultanément.
- L'interrupteur Q3 et l'interrupteur Q2 sont passants et bloqués simultanément.
- L'équation de maille qui régit le fonctionnement dans l'état 1 et 4:

$$L \frac{di_{ch}}{dt} + i_{ch} \cdot R = U_{ch} = +U_s \quad (I.7)$$

-L'équation de maille qui régit le fonctionnement dans l'état 2 et 3 :

$$L \frac{di_{ch}}{dt} + i_{ch} \cdot R = U_{ch} = -U_s \quad (I.8)$$

-En pratique, un temps mort est réalisé à chaque début d'alternance, permettant au transistor conduisant précédemment de se bloquer.

La figure I.13 illustre les formes d'onde de l'onduleur de tension en pont pour une charge RL.

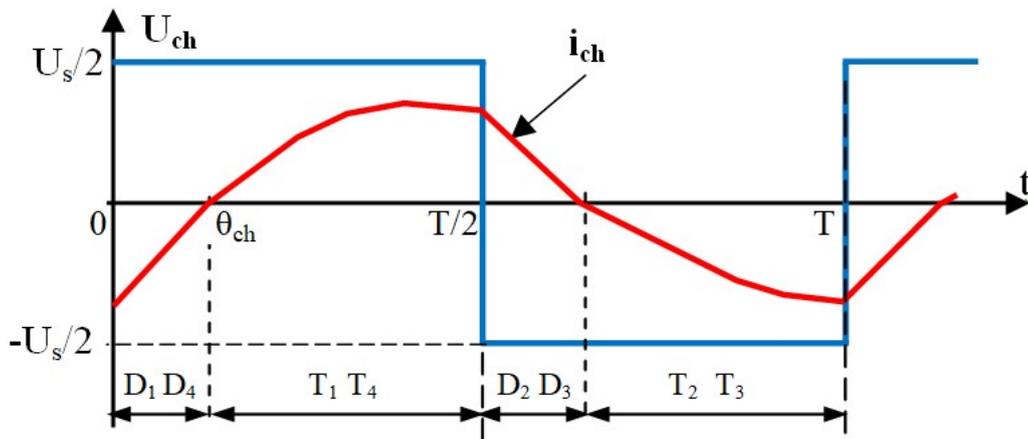


Figure I.13 : Formes d'onde de l'onduleur en pont.

### I.3.3.2. Etude de la tension de sortie :

La valeur efficace de la tension de sortie est exprimée suit:

$$U_{ch} = \left( \frac{2}{T} \int_0^T U_s^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} = U_s \quad (I.9)$$

A partir de la figure I.6 on peut exprimer la tension de sortie instantanée en série de Fourier:

$$U_{ch} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U_s}{n\pi} \sin n\omega t \quad (I.10)$$

Pour n=1 l'équation (I.10) donne la valeur efficace du fondamental :

$$U_{ch1} = \frac{4U_s}{\sqrt{2}\pi} = 0,90U_s \quad (I.11)$$

En utilisant l'équation (I.10) le courant de charge instantané  $i_{ch}$  pour une charge R.L s'écrit:

$$i_{ch} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U_s}{\sqrt{R^2+(n\omega L)^2}} \cdot \sin(n\omega t - \theta_n) \quad (\text{I.12})$$

Où :  $\theta_n = \tan^{-1} \left( \frac{n\omega L}{R} \right)$

Lorsque  $D_1$  et  $D_2$  conduisent, l'énergie est envoyée à la source continue ces diodes sont appelées diodes de récupération [4].

#### **I.4.Commande de l'onduleur monophasé:**

Le but de cette commande est de produire les impulsions pour ouvrir et fermer les interrupteurs statiques afin d'ajuster la tension générée par l'onduleur au plus près de la tension de référence. Deux approches de commande peuvent être employées :

- commande classiques (pleine onde).
- commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).

##### **I.4.1.Commandes Classiques :**

###### **I.4.1.1. Commande pleine onde :**

La première commande qui vient à l'esprit est la commande la plus simple possible qui consiste à commander de manière complémentaire les interrupteurs. Le signal obtenu en sortie est donc un simple créneau dont l'amplitude est celle du bus continu. La fréquence du signal est quand à elle déterminée par les commutations et peut donc être réglée comme on le désire (voir figure .I.6).

###### **I.4.1.2 Commande décalée :**

La commande décalée consiste à commander les deux bras par des créneaux complémentaires mais cette fois-ci décalés d'un angle choisi par l'utilisateur.

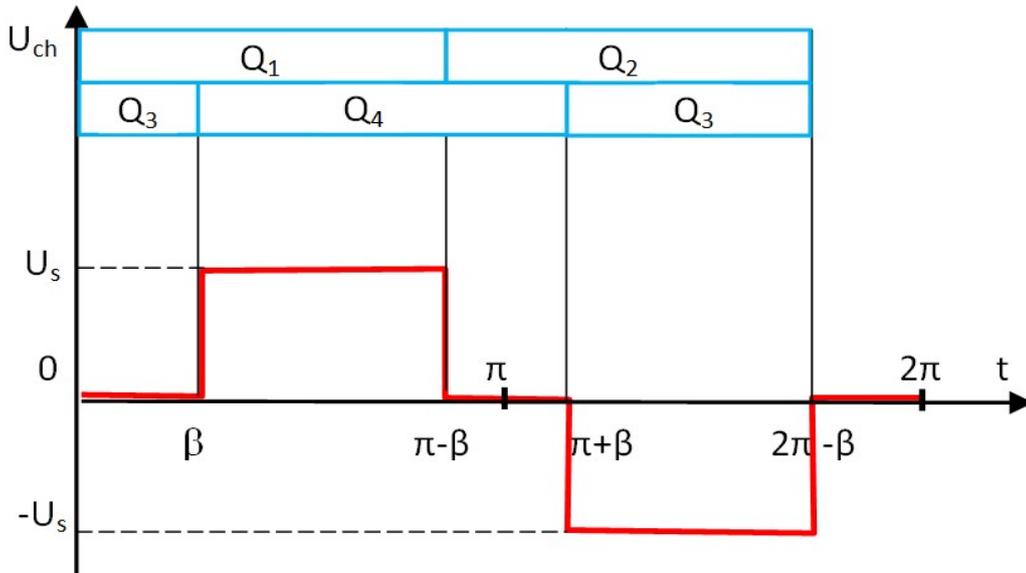


Figure .I.14 : Les formes d'onde de l'onduleur à commande décalée.

**I.4.2. Commande par modulation de largeur d'impulsion :**

Pour obtenir les signaux de commande des interrupteurs, ces techniques de commande sont basées sur la comparaison d'une onde sinusoïdale dite onde de modulation ou référence et une onde triangulaire de haute fréquence dite porteuse (voir figure I.15). La modulation de largeur d'impulsion (MLI) permet de réduire le taux de distorsion harmonique totale du courant de la charge. La tension de sortie MLI non filtrée aura un THD relativement élevé, mais les harmoniques seront à des fréquences beaucoup plus élevées, ce qui facilitera le filtrage.

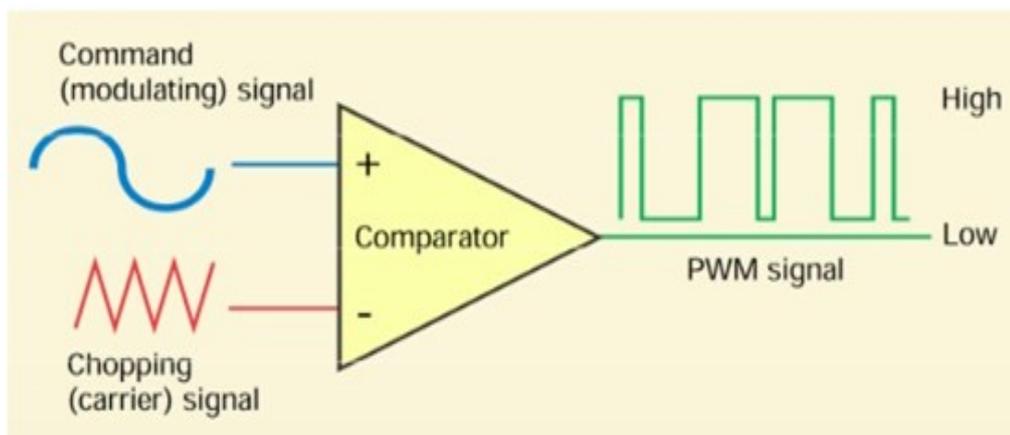


Figure I.15 : Principe de la commande MLI.

**I.5. Les applications des onduleurs :**

Parmi les nombreux domaines d'emploi des onduleurs, on peut citer les applications suivantes :

- Les alimentations de secours et les entraînements à vitesse variable. Ils sont également caractéristiques de deux grandes familles, respectivement celle des systèmes à fréquence fixe et celle des systèmes à fréquence variable [1].
- Les onduleurs d'alimentations sans interruption (ASI) qui permet de pallier les défaillances d'un réseau alternatif en recréant la tension correspondante à partir d'une batterie.
- Les onduleurs utilisés pour garantir la continuité de l'alimentation des machines à partir de batteries durant les coupures inopinées d'électricité
- Le transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes, tel que la liaison France-Angleterre : c'est une interconnexion en courant continu entre la France (réseau à fréquence  $f=50\text{Hz}$ ) et l'Angleterre (réseau à fréquence  $f=60\text{Hz}$ ),

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons fourni une explication détaillée de l'onduleur monophasé, en commençant par sa définition. Ensuite nous avons abordé les caractéristiques de fonctionnement des interrupteurs statiques qui le constitue, ainsi que leur interaction pour assurer le bon fonctionnement de l'onduleur. En outre, nous avons examiné le principe de fonctionnement de chaque type et les concepts liés aux méthodes de sa commande, ce qui permet de situer le domaine d'application de chaque structure. Dans le chapitre suivant on procédera à la simulation de l'onduleur monophasé sur le logiciel Proteus en vue d'une éventuelle réalisation pratique de ce convertisseur statique.

***Simulation de l'onduleur  
monophasé sur Proteus***

**Introduction :**

Depuis plusieurs années, la simulation numérique nous a permis d'aboutir à l'amélioration des performances, de la durée de vie et des coûts des produits, ainsi qu'une meilleure compréhension des phénomènes physiques. Ainsi, la simulation s'avère la première et importante étape dans la réalisation de notre projet. En effet, dans ce dernier on utilise un outil de simulation dédié à la conception et simulation des circuits électriques, à savoir le logiciel Proteus. Ce qui nous permet de tester le comportement dynamique des circuits électriques mis à l'étude avant de passer à la phase d'implémentation. Dans cette simulation, nous allons explorer la mise en œuvre d'un onduleur monophasé à l'aide d'une carte Arduino dans l'environnement Proteus. Cette étape du travail nous permettra de comprendre le fonctionnement de base d'un onduleur et d'explorer les possibilités de contrôle offertes par une plateforme de développement comme Arduino.

**II .1.Principe de l'étude :**

Un onduleur est un dispositif électrique utilisé pour convertir une tension continue en une tension alternative. En utilisant la carte Arduino, nous pouvons contrôler le fonctionnement de ce convertisseur statique en régulant la fréquence et l'amplitude de la tension de sortie.

Dans notre étude on utilise :

- L'onduleur monophasé en pont fonctionne selon le principe de conversion de courant continu en courant alternatif en utilisant des interrupteurs électroniques tels que des transistors.
- L'Arduino joue un rôle dans la simulation en contrôlant les paramètres de l'onduleur et en permettant la communication avec le logiciel de simulation.
- Logiciel Proteus présenté comme un outil de simulation qui permet de modéliser et de tester notre circuit électronique, à savoir l'onduleur de tension, en fournissant un environnement virtuel pour l'expérimentation.

**II .2.Description du logiciel Proteus :**

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels inclus dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM [6].

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages [6].

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits [6].

Notons tout de même qu'il offre des capacités de simulation puissantes permettant aux concepteurs de tester leurs conceptions avant la fabrication, ce qui peut réduire les coûts et les délais de développement.

### **II .3.Les étapes de réalisation d'un projet avec Proteus :**

Les étapes de réalisation d'un projet de conception et simulation de circuits électriques à l'aide de Proteus ISIS s'énoncent comme suit :

- Recherche de composants par mots clés ou par catégories ;
- Insertion des composants dans l'espace de travail ;
- Câblage des composants selon le schéma électrique de base ;
- Recherche et installation des moyens de mesure de simulation ou de visualisation.

### **II .4. Simulation des circuits électriques de l'Onduleur de tension sur ISIS Proteus :**

On effectuera dans ce qui vient ; la simulation sur ISIS Proteus du circuit électrique de l'onduleur de tension afin de vérifier le schéma final avant l'essai sur la plaque d'essai, et avant d'imprimer le circuit simulé sur la plaque finale.

Dans cette partie, on a utilisé le logiciel Proteus ISIS comme indiqué sur la figure II.1. Il est principalement connu comme éditeur de schémas électriques. Par ailleurs ce logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs de

conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés aussi dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

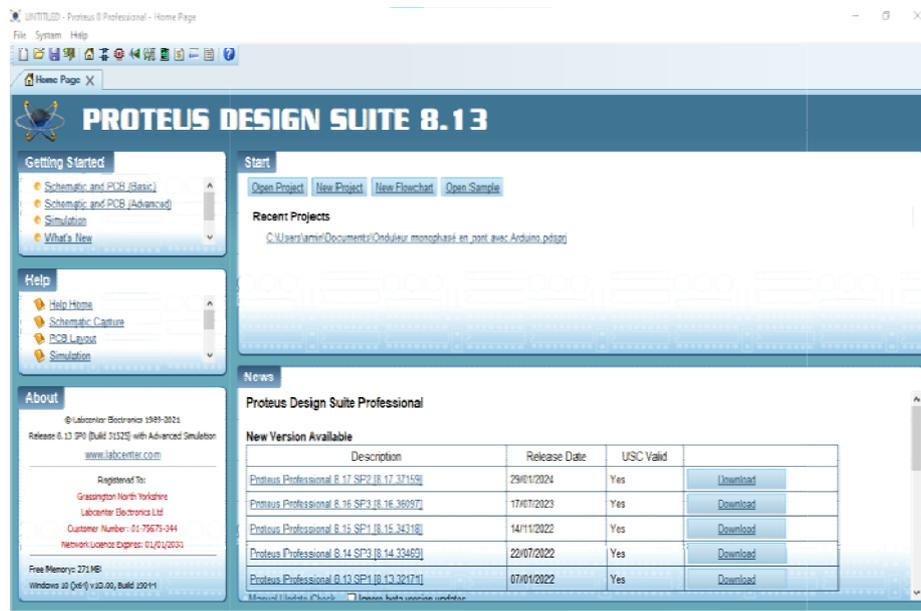


Figure. II.1: Interface principale de logiciel Proteus.

### II .4.1. Schéma fonctionnel d'un onduleur monophasé en pont :

Le schéma fonctionnel de l'onduleur sur Proteus est constitué d'une carte Arduino et ses différents éléments constitutifs tels que : les drivers IR2110, les MOSFET IRF840, les diodes 1N4007 et tous les autres composants électroniques nécessaires. Les éléments de ce schéma fonctionnel sont énumérés ci-dessous :

- **Arduino UNO** : Elle contient le programme nécessaire pour la génération des signaux de commande PWM, ces signaux sont très importants pour la génération de la forme sinusoïdale du signal de sortie.

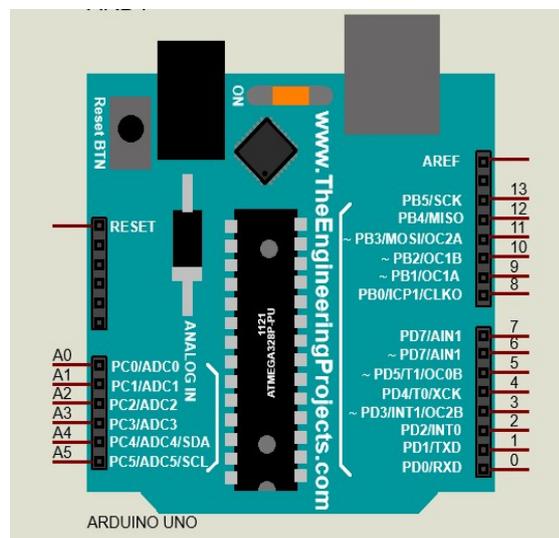


Figure II.2:Symbole dans Proteus ISIS de la carte Arduino UNO.

Afin de commander les MOSFET, nous choisissons la carte Arduino, qui est composée de deux parties principales la partie matérielle représente la carte électronique, et la partie logicielle représente l'environnement de programmation Arduino.

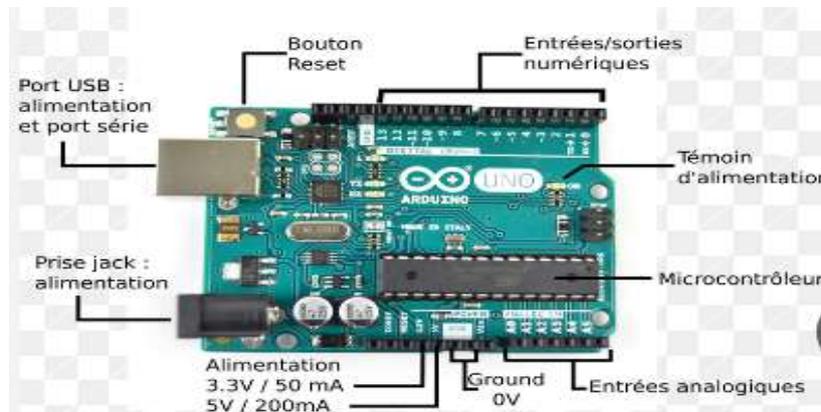


Figure. II.3:La carte Arduino UNO[1].

Dans le but d'arriver à simuler le circuit complet de l'onduleur monophasé commandé par Arduino UNO, nous avons Utilisé l'IDE Arduino pour écrire le code nécessaire pour contrôler les transistors MOSFET de l'onduleur. L'objectif est de programmer l'ARDUINO pour donner un signal de commande.

Ainsi, les signaux de commande du convertisseur statique vue par l'oscilloscope sont illustrés dans la figure ci-dessous:

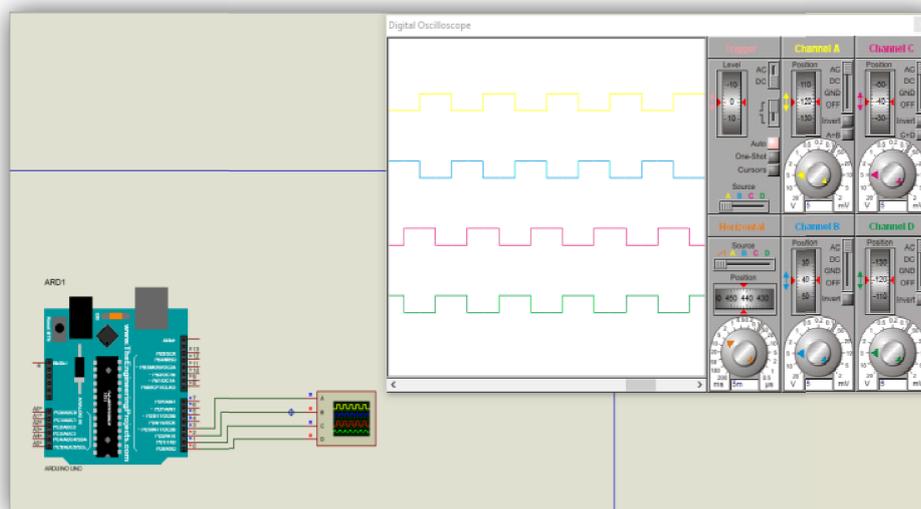


Figure. II.4:Signaux de commande des deux bras de l'onduleur via ARDUINO UNO.

Après programmation de la carte Arduino dédiée à la commande des transistors MOSFET de puissance de l'onduleur, et la simulation sur Proteus dont on a assuré sa bonne compilation, on procède au Câblage des composants selon le schéma électrique de base sur l'éditeur ISIS, en commençant par des sous-circuit, à savoir : circuit de commande

des interrupteurs statiques MOSFET, le circuit de puissance du convertisseur statique, la charge et le circuit de mesure et de visualisation de courant, tension et puissance.

Malheureusement, le signal PWM généré par la carte Arduino est de 5V, et comme il est cité auparavant, le signal de commande du MOSFET IRFP460 doit être compris entre 12V et 15V, du coup on a besoin de Driver pour amplifier la valeur de ce signal de commande de 5V à la valeur exigée 12V ( $V_{GS}=12V$ ).

Chaque alimentation est raccordée à un Driver de type IR2112, ce dernier est un circuit intégré qui a pour fonction d'augmenter le signal de commande PWM et l'envoie ensuite vers les deux paires de MOSFETS : Q1 Q4 et Q2 Q4 qui constituent l'onduleur de tension mis à l'étude.

- **Driver** : est un pilote de MOSFET et IGBT à haute tension et à haute vitesse, doté de canaux de sortie indépendants référencés côté haut et côté bas.

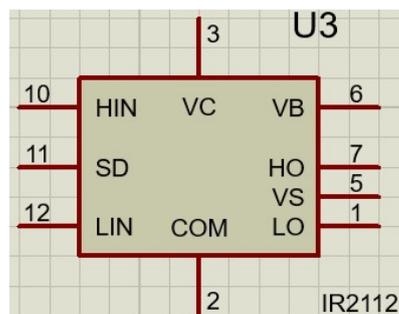


Figure. II.5:Symbole dans Proteus ISIS du circuit du driver IR2112.

Le choix du Driver IR2112 est effectué par rapport à sa bonne adaptation avec notre circuit. Dans notre cas le Driver IR2112 convient pour un MOSFET de type IRFP460, du fait qu'il augmente la tension  $V_{GS}$  entre la gâchette G et la source S de ce MOSFET de 5V à une valeur de 12 V. La figure. II.6 montre le circuit de test d'un Driver IR2112 sur Proteus ISIS.

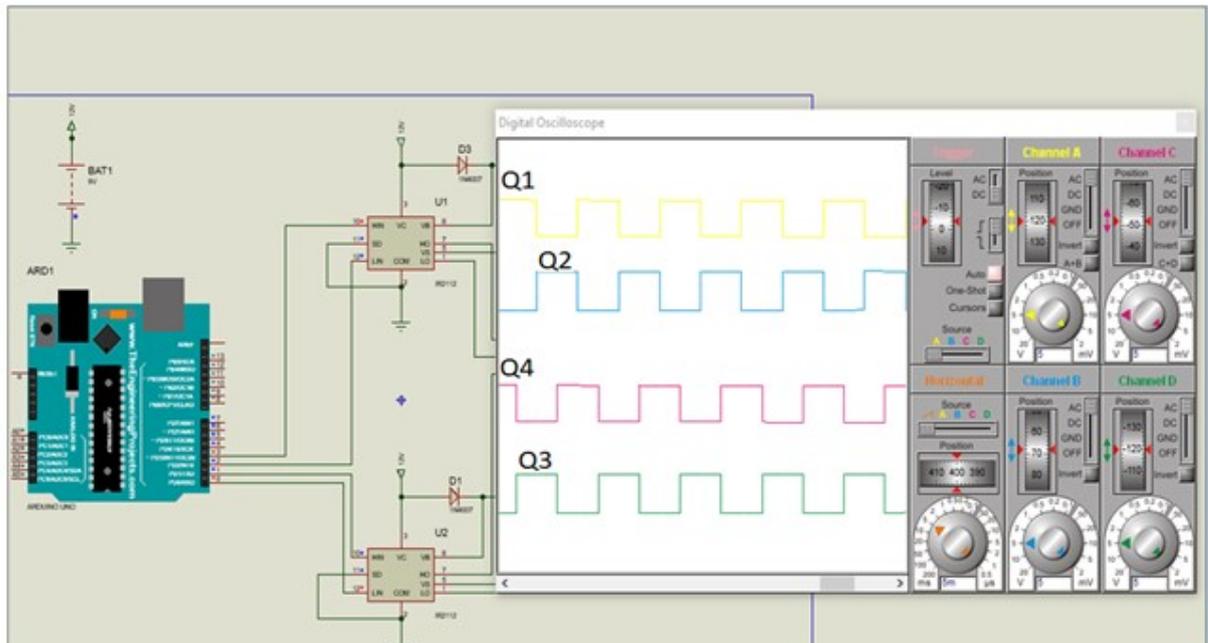


Figure. II.6: Circuit de test d'un Driver IR2112.

Les figures : II.4.et II.6 illustrent respectivement les signaux de commandes générés par l'Arduino et les signaux générés par les Drivers, il est clair que le signal du driver est une copie identique de signal de l'Arduino avec une amplitude de 12V au lieu de 5V.

Pour commander les deux paires de MOSFET Q1 Q4 et Q2 Q3, on aura besoin de deux paires de signaux PWM. La première paire de signaux sera utilisée pour générer l'alternance positive à travers la commande de Q1 Q4 du signal périodique, tandis qu'une deuxième paire de signaux PWM sera utilisée pour générer l'alternance négative par le biais de la commande de Q2 Q3 (voir figure II.6).

- **MOSFET IRFP460 :**

Le transistor de puissance MOSFET de type IRFP460 est un transistor à effet de champ à grille (Métal-Oxyde-Semi-conducteur Field Effet Transistor MOSFET) de puissance populaire fabriqué par International Rectifier. Il est largement utilisé dans diverses applications de puissance telles que les alimentations électriques, le contrôle de moteurs et les commutations à courant élevé. Le signal de commande va attaquer directement l'électrode de commande(Gâte) de ce MOSFET, avec une valeur comprise entre 12V et 15V.



Figure. II.7: Transistor de commutation MOSFET IRFP460 [1].

Voici quelques caractéristiques importantes de l'IRFP460 :

- **Tension grille-source ( $V_{GS}$ )** : Habituellement  $\pm 20$  volts.
- **Résistance à l'état passant ( $R_{DS(on)}$ )** : Elle varie en fonction des conditions de fonctionnement mais se situe généralement dans la plage de 0,27 ohms.
- **Courant de drain continu ( $I_d$ )** : Généralement autour de 20 ampères.
- **Puissance maximale dissipée ( $P_d$ )** : Dépend des caractéristiques thermiques, généralement plusieurs centaines de watts.

La figure. II.8. montre bien le symbole de MOSFET IRFP460 sur Proteus:

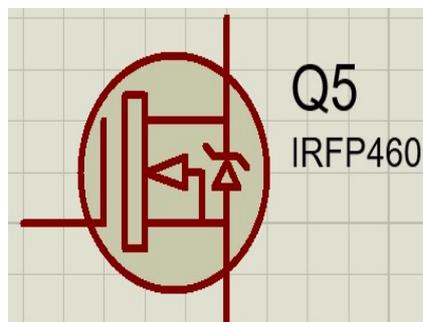


Figure. II.8: Symbole dans Proteus ISIS du MOSFET IRFP460.

La figure. II.9. montre le symbole de la Diode 1N4007 sur Proteus:

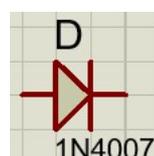


Figure. II.9: Diode 1N4007.

Moyennant le logiciel Proteus ISIS, nous dessinons le schéma de l'onduleur monophasé en pont avec charge résistive ( $R$ ) et résistive inductive ( $RL$ ) en utilisant les composants cités précédemment. Nous Assurons d'inclure les Drivers IR2112 les transistors de commutation (IRFP460), les diodes (1N4007), les condensateurs de filtrage, les résistances de limitation de courant, ainsi que la carte Arduino Uno.

Le signal de commande (5V) délivré par la carte Arduino se dirige vers les drivers (IR2112) qui augmentent le signal de commande jusqu'à (12V) et l'envoie vers les MOSFET. La figure II.10 ci-dessus montre Le schéma d'un onduleur monophasé en pont avec charge résistive en utilisant la commande depuis l'Arduino.

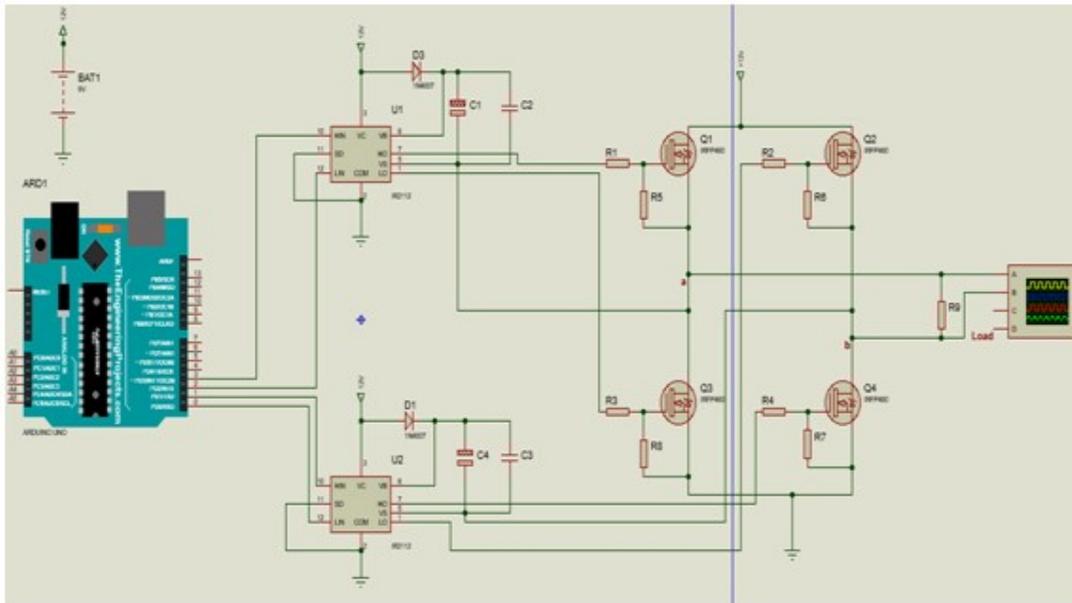


Figure II.10: Schéma d'un onduleur monophasé en pont avec charge résistive sur Proteus.

La figure II.11 représente le circuit de puissance et de commande sous Proteus ISIS de l'onduleur monophasé en pont avec charge résistive inductive RL en utilisant la commande via l'Arduino :

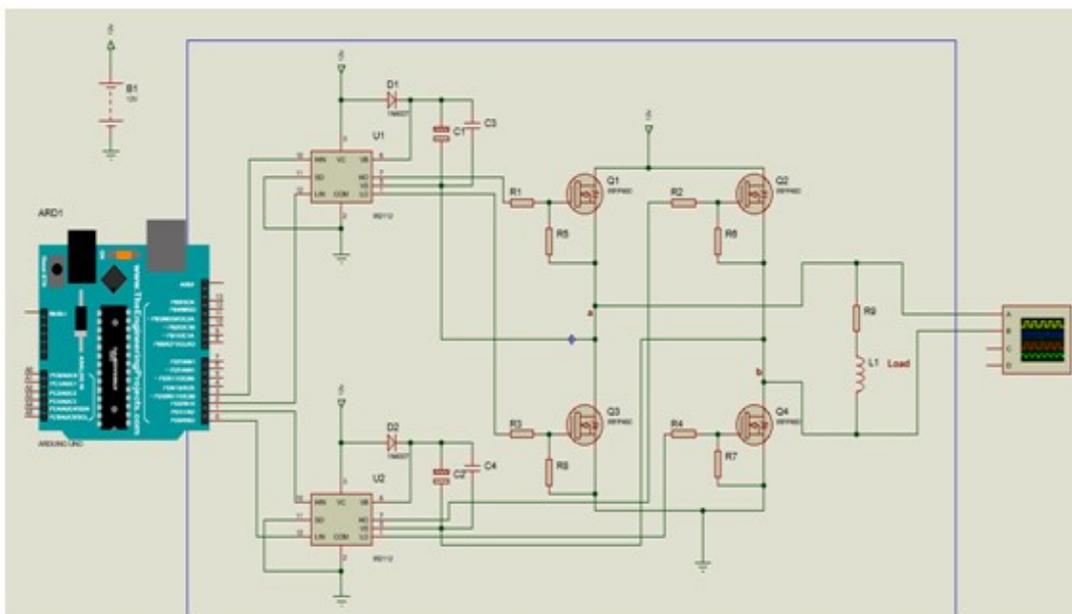


Figure II.11: Schéma d'un onduleur monophasé en pont avec charge RL.

## II.5. Les résultats de simulation :

On effectue la simulation des figures II.10 et II.11 moyennant l'utilisation du logiciel ISIS Proteus afin de vérifier le schéma final, et avant de procéder à la réalisation pratique convertisseur statique sur la plaque d'essai.

### ➤ Onduleur :

Le principe d'un onduleur monophasé en pont est basé sur la conversion d'une tension continue à une tension alternative (sinusoïdale). Le pont étant principalement formé de deux bras contenant chacun deux MOSFET de type IRFP460. Q1Q3 pour le premier bras et Q2 Q4 pour le second bras (voir figures II.10 et II.11). Ces bras fonctionnent par un jeu de commutation, tels que :

- L'interrupteur Q1 et l'interrupteur Q4 sont passants ou bloqués simultanément selon l'état du signal de commande PWM1,
- L'interrupteur Q2 et l'interrupteur Q3 sont passants ou bloqués simultanément selon l'état du signal de commande PWM2,

Cette structure d'onduleur montre qu'il est possible d'imposer aux bornes de la charge une tension une fois positive avec Q1 et Q4 activent et une fois négative avec Q2 et Q3 activent.

La tension alternative obtenue aux bornes de la charge ne peut jamais dépasser la tension de la source continue. Elle est soit égale ou inférieure selon le besoin.

### ➤ Alimentation :

Les alimentations de 12V, sont dédiées principalement aux drivers, pour qu'ils puissent commander les MOSFET, en amplifiant la puissance de signal PWM d'amplitude originale de 5V, à une amplitude de 12V, afin de pouvoir activer les MOSFET qui nécessitent une tension :  $12V < V_{GS} < 15V$ .

### ➤ Génération du signal de commande :

La carte Arduino fournit les signaux de commande destinés à faire fonctionner les MOSFET constituant notre onduleur, tels que :

- La pin 9 génère le signal PWM1 qui a pour rôle de commander Q1 et Q4 ce qui impose la génération de l'alternance positive aux bornes de la charge.
- La pin 10 délivre le signal PWM2 destiné à commander les MOSFET Q2 et Q3, ce qui impose la génération de l'alternance négative.

Les figures : II.12 et II.13 illustrent les signaux de commande des interrupteurs statiques Q1 Q4 et Q2 Q3.

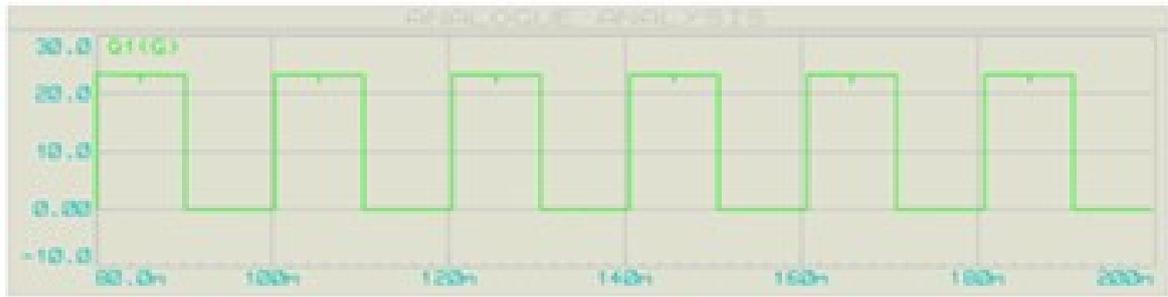


Figure II.12: Signal de commande des interrupteur Q1 et Q4

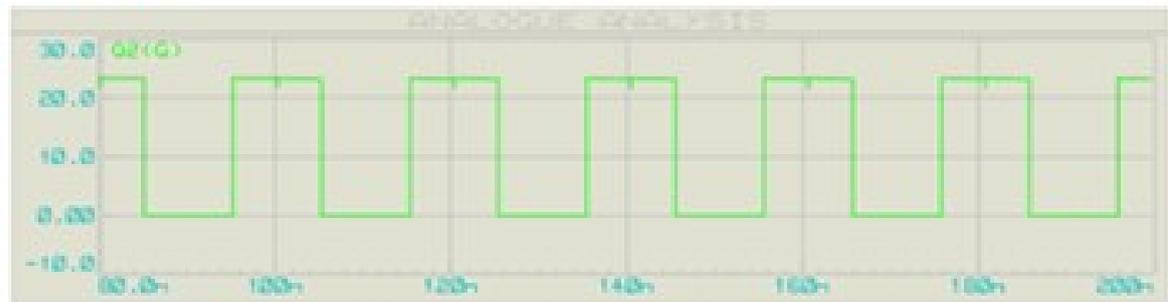


Figure II.13: Signal de commande des interrupteur Q2 et l'interrupteur Q3

Les résultats obtenus lors de la simulation de l'onduleur avec charge R sont illustrés dans la figure II.14:

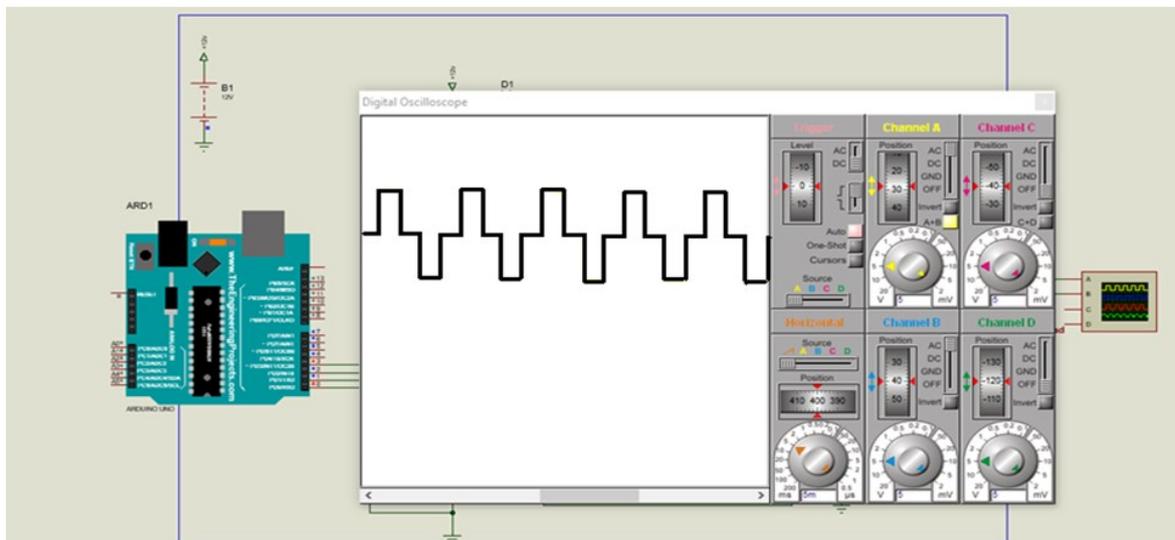


Figure II.14: Signal de la tension de sortie de l'onduleur (aux bornes de la charge R).

Les résultats obtenus lors de la simulation de l'onduleur avec charge R L sont illustrés dans la figure II.15 :

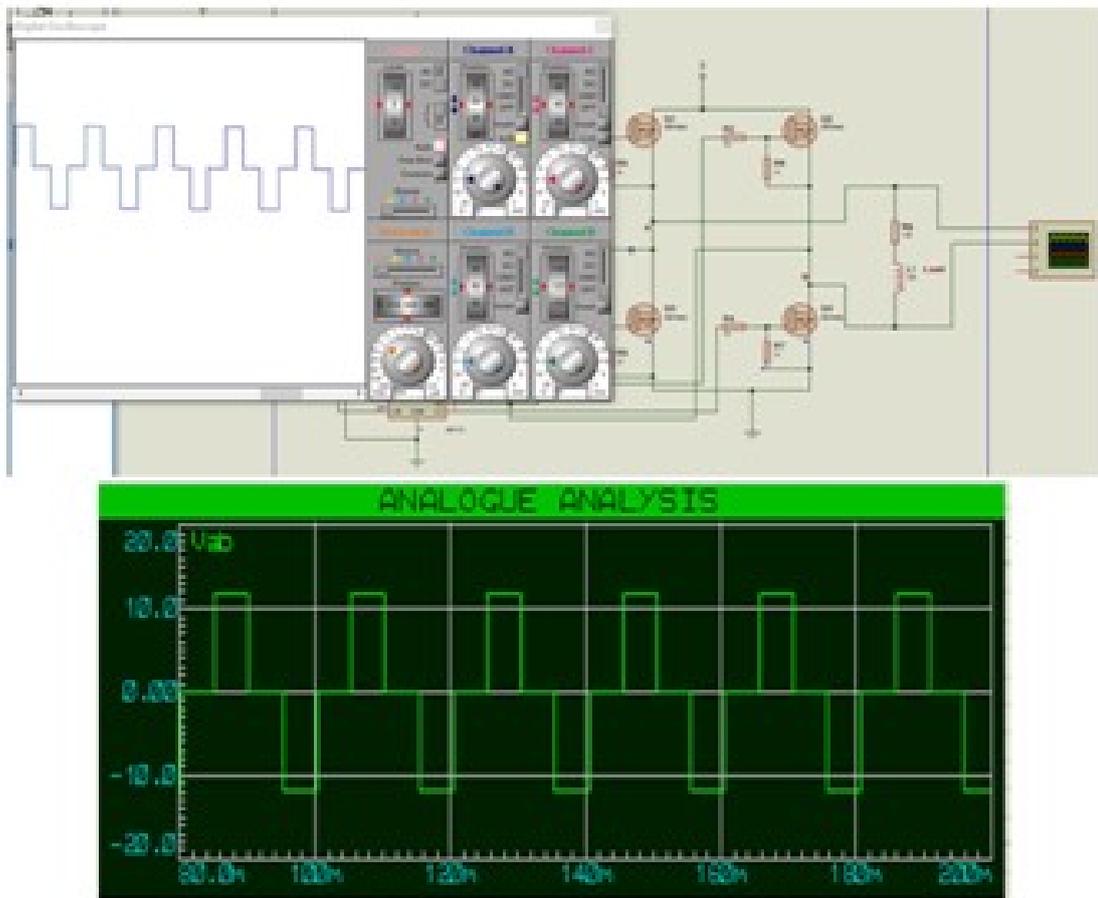


Figure II.15: Signal de la tension de sortie de l'onduleur (aux bornes de la charge RL).

Le résultat de l'oscilloscope montre bien son authenticité avec la théorie évoquée dans le chapitre précédant. Ainsi, à partir de la source continue et via les signaux de commande de PWM1 et PWM2, on a pu générer une tension alternative, et la tension de sortie pour la charge R est la même que la tension de sortie pour une charge RL.

La forme du courant de sortie aux bornes de la charge R L obtenue par cette simulation est illustrée dans la figure II.16. Il est formé de portions d'exponentielles et en concordance avec la théorie:

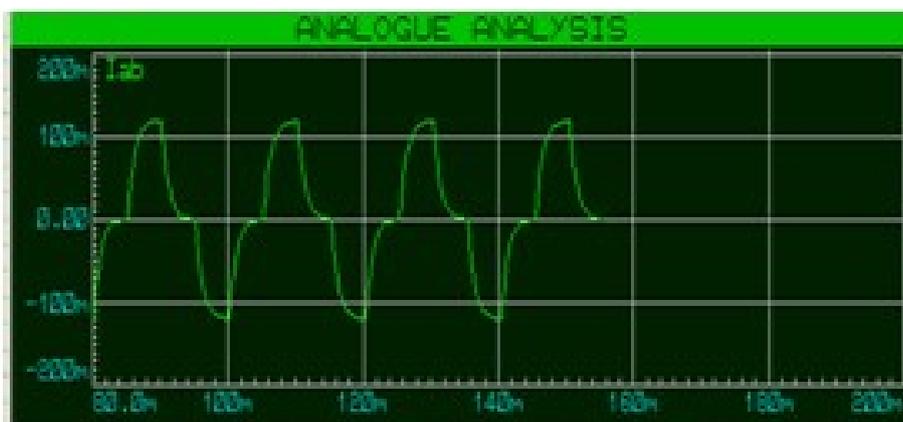


Figure II.16: Courant de sortie d'un onduleur de tension sur Proteus ISIS.

**Conclusion :**

La simulation de l'onduleur monophasé en pont avec Arduino dans Proteus nous permet d'affranchir les obstacles liés au fonctionnement théoriques de ce type de convertisseurs statiques. En effet, à travers ce chapitre, nous avons exploré les principes fondamentaux de fonctionnement de l'onduleur et son intégration avec une carte Arduino. En combinant la puissance de simulation de Proteus avec la flexibilité de programmation d'Arduino, ces simulations nous ont permis de valider la conception théorique, d'identifier les problèmes potentiels et d'optimiser les performances du système. En fin, ce chapitre offre une base solide pour la mise en œuvre pratique de l'onduleur monophasé en pont avec Arduino qui sera traitée dans le chapitre suivant.

***Réalisation Pratique d'un Onduleur  
Monophasé***

## Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter les étapes qu'on a suivies lors du chapitre précédent, puis mentionner les éléments nécessaires pour la réalisation d'un onduleur monophasé. Dans ce contexte, nous avons choisi de réaliser un onduleur autonome en demi-pont, le but étant d'avoir une tension alternative de fréquence 50Hz à partir d'une tension de 12V continu issue d'une batterie. Dans ce qui suit nous procédons d'abord à la simulation de la structure mis à l'étude de ce convertisseur statique. Ensuite, en passe à la phase de réalisation pratique de notre projet.

### III.1.Méthodologie :

Le but de notre projet est de convertir une tension continue de 12V en une tension alternative 50 Hz pour cela on utilisera un onduleur et un transformateur élévateur.

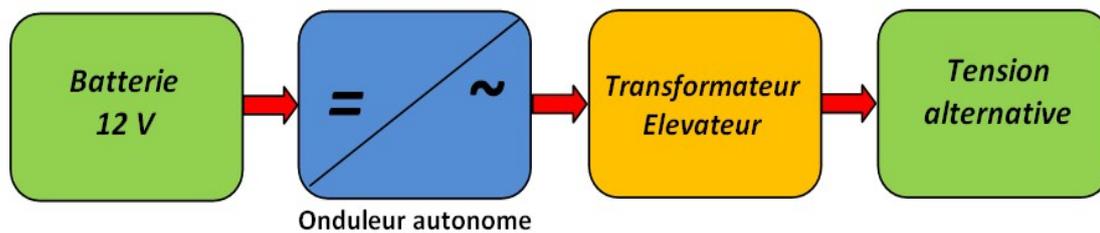


Figure.III.1:Schéma synoptique de l'ondeur.

Cette réalisation sera utile pour un public ayant à leur disposition une batterie de 12 V ou qui utilise une source d'alimentation solaire de 12 V, pour pouvoir utiliser tout appareil électrique fonctionnant en alternatif 50Hz tels que : ordinateurs, chargeur de téléphone, recharge d'appareil photo, poste radio etc.

### III.2.Onduleur en demi- pont :

La figure suivante illustre le circuit électrique de notre installation qui se constitue d'une partie de puissance, dans laquelle on emploie un convertisseur utilisant des interrupteurs électroniques fonctionnant soit à l'état passant (fermé), soit à l'état bloqué (ouvert). Le passage d'un état à l'autre s'effectue périodiquement. Les améliorations apportées à l'ondeur se situent essentiellement au niveau de la commande, avec tout d'abord, la génération d'une onde purement sinusoïdale, mais également la surveillance de la

tension d'entrée et de la tension de sortie. On a cependant besoin d'un générateur ou transmetteur de signal. Les signaux de commandes du convertisseur peuvent être obtenus à partir d'un composant analogique (amplificateur opérationnel) appelé commande analogique ou commande numérique à base de microcontrôleurs, tels que : PIC, DSP et ARDUINO. On obtient ainsi les signaux qui vont aller vers les composants de puissance. Dans notre travail on opte pour la carte arduino qui constitue (voir figure.III.2) le composant essentiel de la partie commande.

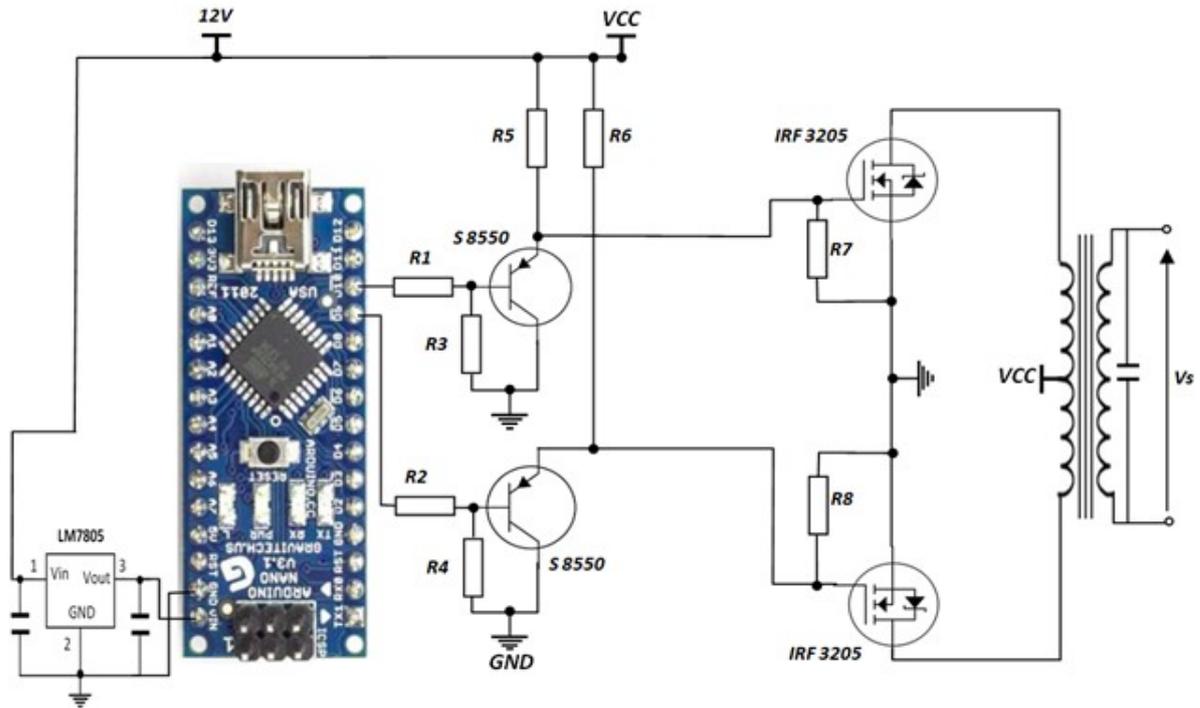


Figure III.2:Schéma de principe.

### III.2.1. Fonctionnement:

Le principe de fonctionnement est assez simple. Nous allons l'expliquer dans les étapes suivantes :

-Une source d'alimentation fournit une tension continue de 12 volts. Cette alimentation alimente en tension continue toutes les composantes assemblées. A l'entrée de l'onduleur, nous avons une tension continue de 12 volts. Dès que l'alimentation est connectée, le contrôle est pris en charge par l'Arduino.

#### -Contrôle des MOSFET par Arduino Nano :

l'Arduino Nano agit comme le cerveau de l'onduleur. Il envoie des signaux précis pour contrôler les deux MOSFET, ces signaux indiquent quand ouvrir et fermer ces composants pour permettre au courant de circuler dans la direction désirée.

**-Les MOSFET et la commutation :**

Lorsqu'un MOSFET est activé par l'Arduino, il crée un chemin conducteur pour le courant électrique. Cela permet au courant de circuler dans une direction spécifique à travers l'onduleur. Les MOSFET sont utilisés pour créer une forme d'onde alternative en modifiant rapidement la polarité de la tension.

**-Conversion de la tension continue en tension alternative :**

En alternant la commutation des MOSFET selon un schéma précis, l'Arduino parvient à transformer la tension continue d'entrée de 12 volts en une tension alternative de sortie. Cette tension alternative peut être utilisée pour alimenter divers appareils électriques.

**-Augmentation de la tension :**

Pour augmenter la tension accumulée à la sortie de l'onduleur, nous utilisons un transformateur élévateur de tension. Afin de renforcer le processus d'élévation de la tension, nous installons des condensateurs à la sortie du transformateur. L'installation des condensateurs aide à améliorer la distribution de l'énergie et à stabiliser la tension, ce qui réduit les surtensions et maintient la stabilité du système électrique. Cela peut contribuer à prévenir les pannes du système et à protéger les équipements électriques contre les dommages résultant de variations indésirables de tension électrique.

**III.3.Simulation de l'onduleur par Proteus**

La simulation c'est la première et la grande étape dans la réalisation d'une carte électronique dans ce travail on utilise des outils de simulation fonctionnelle et électronique comme on peut le voir sur le Figure III.3, où on dessine le circuit de la figure.III.2 sur le logiciel Proteus. Ainsi nous pouvons tester le comportement dynamique du circuit, effectuer des mesures et visualiser les courants et tensions.

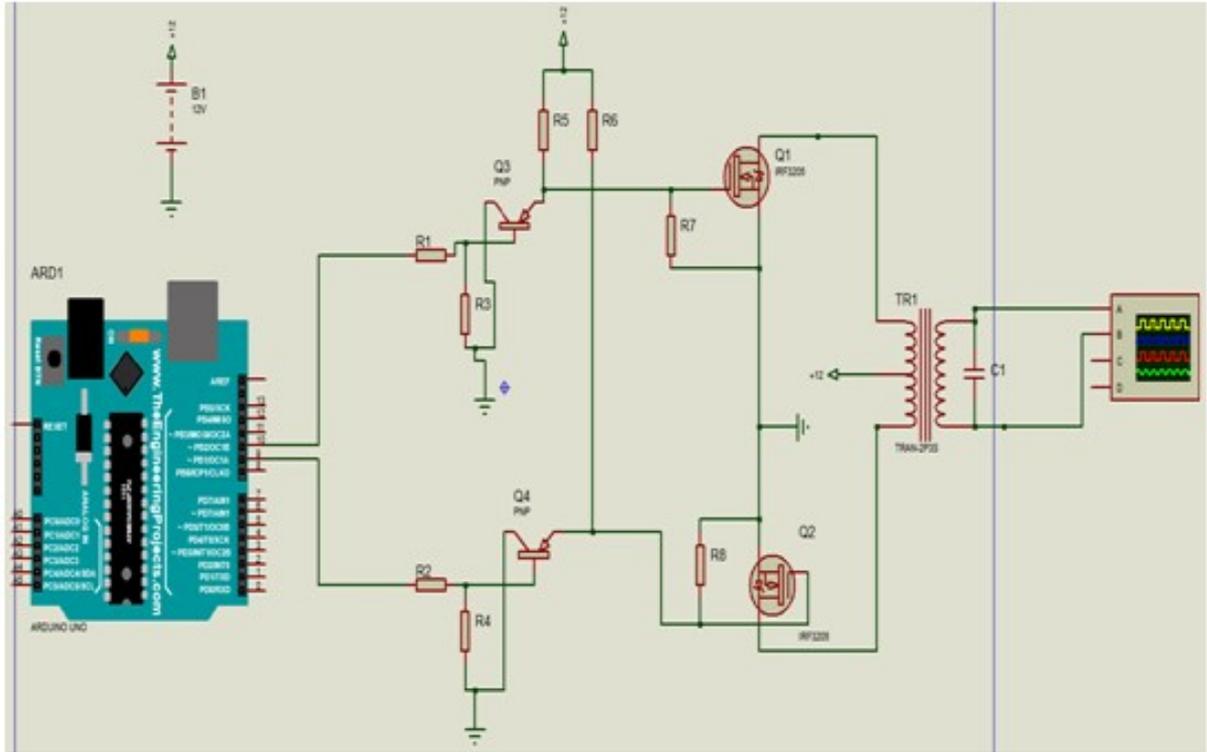


Figure III.3: Schéma de l'onduleur sur Proteus.

Après la simulation du montage précédent on obtient les résultats suivants :



Figure III.4: Allure de l'impulsion de commande du transistor MOSFET Q1.



Figure III.5: Allure de l'impulsion de commande du transistor MOSFET Q2.

De part ces résultats de simulation, il paraît clair que le cœur de l'onduleur est la carte Arduino Uno, qui contrôle simultanément les transistors à effet de champ Q1 et Q2. Ces derniers fonctionnent en mode de commutation ou le passage d'un état à l'autre s'effectue périodiquement. Il faut respecter la condition qu'un seul transistor peut être ouvert. Du fait qu'un court-circuit se produira et les transistors seront endommagés s'ils s'ouvrent simultanément. Ainsi en pratique pour éviter cela nous insérons en sortie un fusible.



Figure III.6: Allure de la tension  $V_s$  à la sortie du transformateur élévateur.

La figure III.6 montre que notre onduleur fournit une tension alternative d'amplitude maximale qui avoisine la valeur de 20V de fréquence 50 Hz.

Après l'étape de la simulation nous passons à la réalisation du circuit réel de notre convertisseur statique.

### III.4.Réalisation de l'onduleur :

Après simulation de l'onduleur sur Proteus, il est primordial de passer à la phase de réalisation pratique du circuit de la figure.III.3. Nous procédons à l'étape de description et choix des composants utilisés.

#### III.4.1.Description et choix des composants :

Pour réaliser ce projet, nous avons utilisé un certain nombre de composants. Nous décrivons les éléments essentiels, à savoir : l'alimentation continu, la carte Arduino Nano, le câble USB et la liste des matériels dont nous aurons besoin pour la réalisation de notre onduleur.

##### III.4.1.1.Alimentation :

La source de tension continue variable destinée à alimenter le circuit en 12v courant continu est illustré sur la figure.III.7.



Figure.III.7: Source de tension continue variable.

##### III.4.1.2.Description de la partie de commande :

###### III.4.1.2.1.Ordinateur :

Nous avons installé le logiciel Arduino version 1.8.10 sur notre ordinateur. Une fois l'application installée, nous avons connecté notre carte Arduino à l'ordinateur à l'aide d'un câble USB. Ce câble servira de pont pour la transmission de données entre notre ordinateur et la carte Arduino. Ensuite, nous avons ouvert le logiciel Arduino, puis commencer à écrire et télé-verser notre code vers la carte Arduino.

###### III.4.1.2.2.Câble USB Pour Arduino NANO Type-A vers Mini-B :

Le câble USB sert à alimenter un projet Arduino, à programmer la carte via l'IDE Arduino, et à utiliser le moniteur Série.



Figure.III.8:Câble USB Type-A vers Mini-B.

#### III.4.1.2.3.Arduino Nano :

L'Arduino Nano est une carte de développement basée sur le microcontrôleur ATmega328P.

L'ATmega328P est largement utilisé dans de nombreux projets électroniques en raison de sa fiabilité prouvée et de sa polyvalence. Il est capable de gérer diverses tâches de contrôle et de communication.

Avec 32 KB de mémoire flash, dont 2 KB sont utilisés par le boot loader, l'ATmega328P offre amplement d'espace pour le code de contrôle de l'onduleur ainsi que pour d'autres fonctions supplémentaires. Les composants de cette carte Arduino Nano sont:

1. **Microcontrôleur:** ATmega328P.
2. **Tension de fonctionnement :** 5 volts.
3. **Tension d'entrée (recommandée) :** 7-12 volts.
5. **Broches digitales :** 22 (dont 6 fournissent une sortie PWM).
6. **Broches analogiques :** 8.
7. **Courant continu par broche I/O :** 20 mA.
8. **Mémoire flash :** 32 KB (dont 2 KB sont utilisés par le bootloader).
9. **Fréquence d'horloge:** 16 MHz [6].

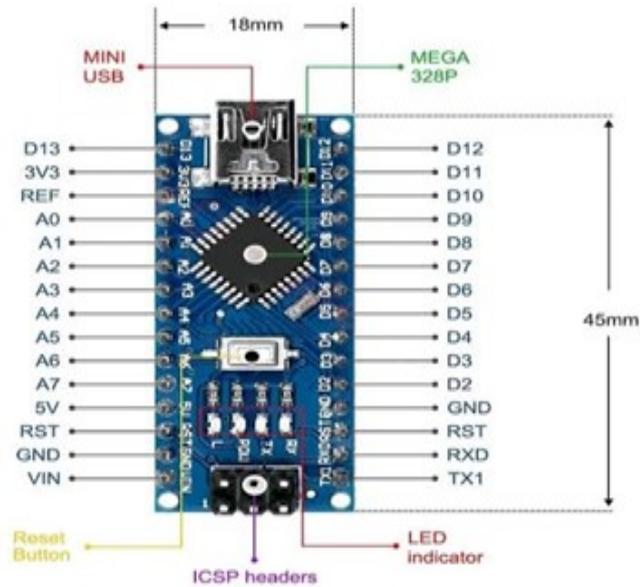


Figure.III.9: Constitution de la carte Arduino NANO.

III.4.1.3. Les Composants utilisés :

Nom du composant	Image du composant	valeur	Mode d'action
-Résistances		10k $\Omega$	Pour limiter le passage du courant électrique et en même temps réduire les niveaux de tension électrique au sein du circuit électrique.
		100 $\Omega$	
		1k $\Omega$	

<p>-Les Câbles</p>			<p>Transmission d'énergie électrique afin de transférer de l'énergie d'un point à un autre.</p>
<p>-Transistor MOSFET IRF 3205</p>		<p><math>V_{DSS}=55V</math>  <math>I_D=110A</math>  <math>R_{DS(on)}=0.8m\Omega</math></p>	<p>Applications de puissance telles que le contrôle de vitesse des moteurs et la conversion de puissance.</p>
<p>-Transistor S8550</p>		<p><math>V_{CE}=25V</math>  <math>I_C=0.5A \div 1.5A</math>  <math>P_D=0.625w</math></p>	<p>il est souvent utilisé dans les amplificateurs, les commutateurs et les circuits de commande.</p>

Tableau.III.1: Composants utilisés.

**III.4.1.4.Description de la partie Puissance:**

**III.4.1.4.1.Transformateur élévateur:**

Pour l'augmentation de tension nous avons utilisé un transformateur élévateur de modèle AMIR 12-0-12 V de courant 600mA au secondaire.

Notons que ce transformateur permet de modifier la tension et l'intensité du courant délivré par une source d'énergie alternative, en un système de tension et de courant différent sans modifier la fréquence. Nous utilisons le type de transformateur à point milieu 12 V-0-12 V.



Figure.III.10: Transformateur 12-0-12V.

**III.4.1.4.2.Radiateur :**

La cause principale de l'endommagement des composants dans la majorité des cas, c'est l'augmentation de température pour cela on fait monter au dos de chaque transistor

IRF3205 un radiateur dissipateur en aluminium. On opte pour l'utilisation de ce métal parce que l'aluminium est un bon conducteur de chaleur.

#### III.4.1.4.3. Condensateur :

On a utilisé un condensateur à courant alternatif de modèle F&T MKP, d'une capacité de  $C=2\mu\text{F}$  et une tension alternative  $U=450\text{ V}$  :



Figure.III.11:Image du condensateur.

#### III.4.2. Instruments de mesure :

Les instruments de mesure et de visualisation employés dans ce projet sont énumérés ci-dessous :

- **Multimètre :**

Pour mesurer le courant et la tension, On a utilisé un multimètre électronique de modèle INSTEK GDM-356.



Figure.III.12:Multimètre numérique.

- **Oscilloscope :**

L'oscilloscope utilisé pour visualiser la forme de signal de tension et de courant est de modèle OWON Smart DS-7072 :



Figure.III.13:Image de l'Oscilloscope.

### III.4.3. Étapes d'assemblage des éléments constitutifs de l'onduleur :

On a assemblé les éléments constitutifs du l'onduleur pour obtenir sa structure finale, qui a la capacité de convertir un signale continu en alternatif pour l'utiliser dans diverses applications .En effet, Nous avons d'abord disposé les composants à profil bas tels que les circuits intégrés, les petites résistances, ainsi que les transistors. Ensuite, nous avons procédé au placement des composants plus volumineux (le transformateur puis le condensateur), avant de les souder à l'aide d'un fer à souder. La figure III.14 représente le poste à souder :



Figure.III.14:Poste à souder.

Après avoir terminé la soudure, une étape cruciale est la vérification et nettoyage du circuit en le comparant au plan d'implantation pour s'assurer que toutes les pistes sont intactes et qu'il n'y a pas de court-circuit . Il est également essentiel de garantir la propreté des soudures. La figure III.15 montre la photo de la carte électronique de commande Arduino nano:

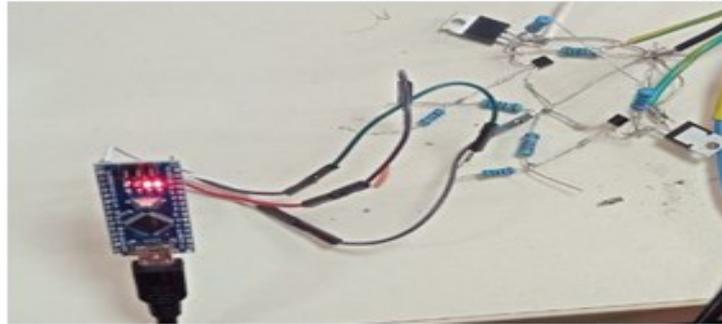


Figure.III.15:Photo de la carte électronique de commande.

Nous avons utilisé L'IDE Arduino NANO pour écrire le code nécessaire au contrôle des transistors MOSFET de l'Onduleur. Elle consiste à programmer l'Arduino NANO pour qu'il émette un signal de commande.

Après avoir programmé l'arduino NANO les LED « L » et « PWR » s'allument. Voici l'état final de l'arduino NANO après compilation et televersement du programme.



Figure.III.16: Programmeur Arduino Nano.

Notre schéma d'Onduleur est présenté dans la figure III.17, montrant non seulement la carte fabriquée, mais aussi le circuit Arduino chargé de produire les signaux de commande PWM1 et PWM2.

#### III.4.4. Circuit final :

Après avoir effectué le soudage et le branchement des composants électroniques ensemble, la forme finale de circuit commence à apparaître. Le prototype final réalisé est présenté sur la figure. III.17, qui illustre le convertisseur statique proposé.

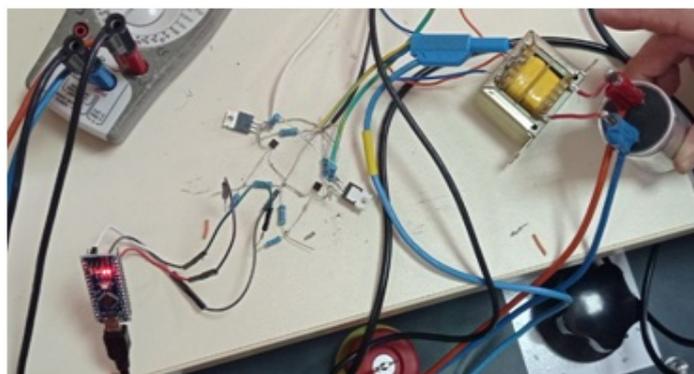


Figure.III.17:Projet final réalisé.

Dans la figure III.18 Une source d'alimentation continue est connectée pour fournir la tension 12V à l'installation. Un programme de contrôle pour l'arduino NANO est installé sur l'ordinateur central, permettant d'interagir avec l'appareil et de contrôler ses opérations. De même, un oscilloscope et un multimètre sont connectés pour surveiller la forme des ondes électriques à la sortie de l'onduleur, facilitant la mesure, l'inspection et l'analyse précise des performances du système.



Figure.III.18: Banc d'essai expérimental.

### III.5. Interprétation des résultats :

#### III.5.1.Signal d'entrée :

Le signal d'entrée est continu 12v il est visualisé à l'aide de l'oscilloscope et illustré sur la figure.III.19.

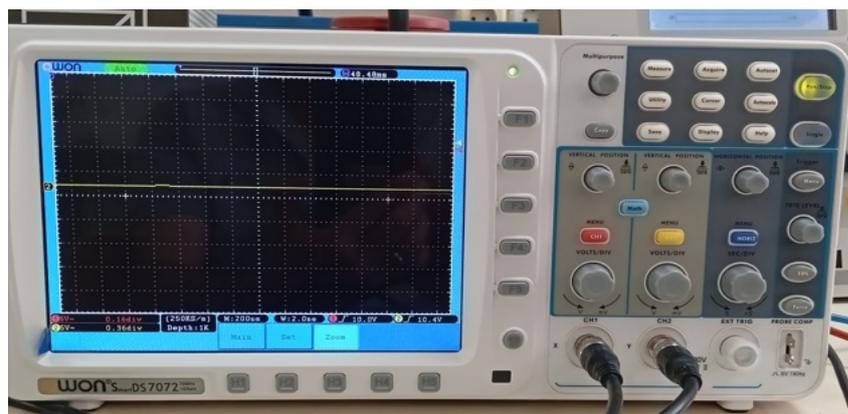


Figure.III.19: Signal continu d'entrée.

#### III.5.2.Signal de commande :

Nous connectons les sorties des ports 9 et 10 d'Arduino à un oscilloscope pour surveiller les signaux numériques. Les signaux carrés positifs indiquent que du courant est envoyé aux transistors, tandis qu'un signal égal à zéro signifie que le signal est désactivé et

aucun courant n'est transmis. Les deux Figures suivantes présentent les signaux de commande envoyés par l'arduino NANO aux MOSFET pour réguler le courant de commutation de l'onduleur. Il est clair que leur commande est complémentaire :

- **Signal de commande de la porte 10 :**

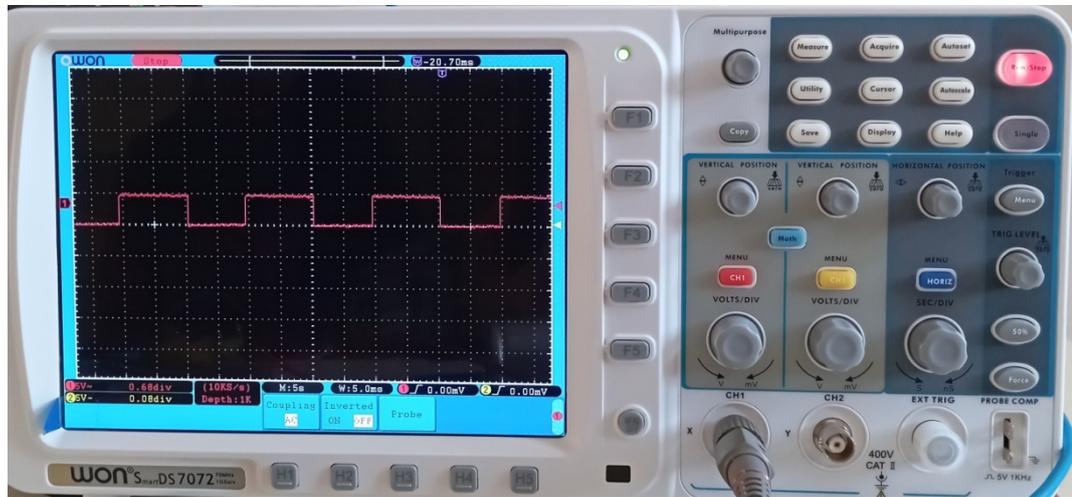


Figure.III.20:Signal de commande de la porte 10.

- **Signal de commande de la porte 9 :**

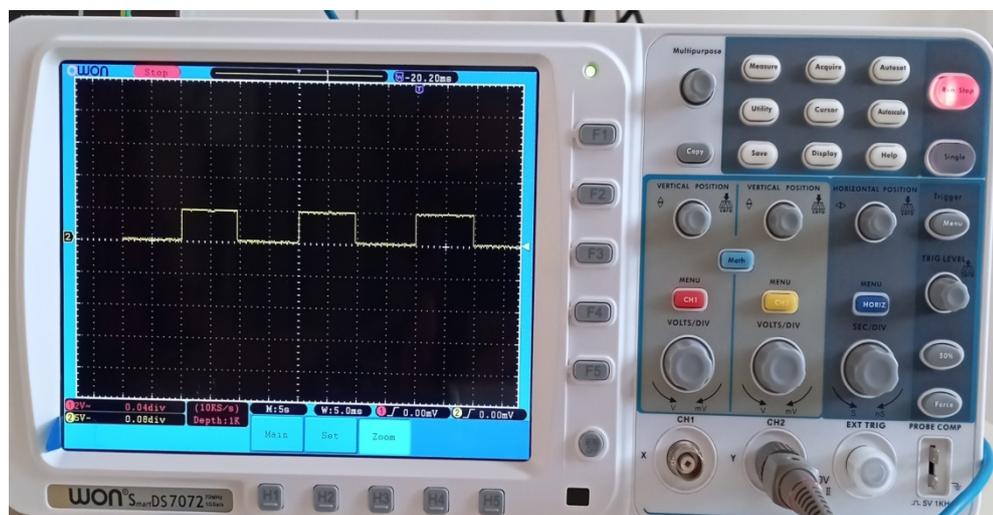


Figure.III.21:Signal de commande de la porte 9.

Lorsque la tension de la porte 9 atteint 5 V, la tension de la porte 10 passe à zéro, et vice versa. Ce basculement entre l'activation du transistor Q1 et Q2 crée une alternance. Ainsi, une tension alternative est générée en sortie de l'onduleur.

### III.5.3. Tension de sortie :

La figure III.22 illustre la tension efficace de sortie  $V_s$  délivrée par notre onduleur entre les bornes du secondaire du transformateur et qui vaut 31V efficace;



Figure.III.22: La valeur de la tension mesurée à la sortie l'onduleur.

La figure III.23 représente le signal sinusoïdal de fréquence 50HZ et d'amplitude maximale qui vaut 50V affiché sur l'oscilloscope:

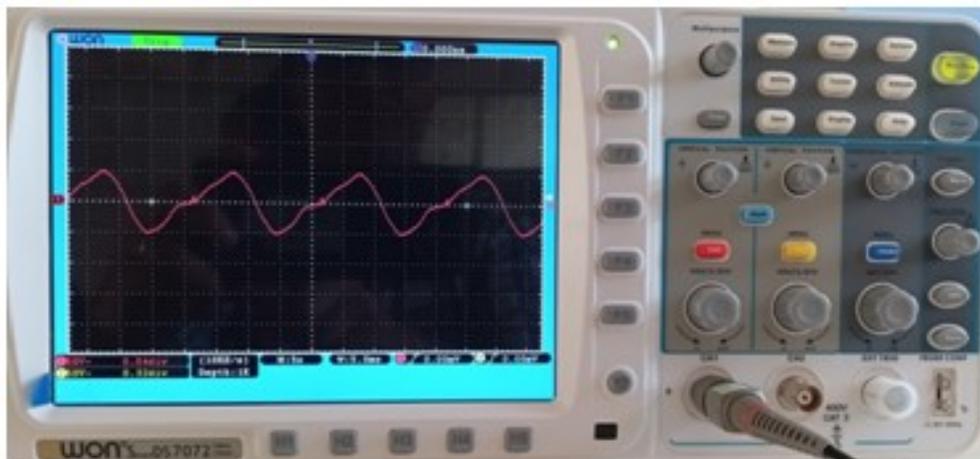


Figure.III.23 : Tension alternative à la sortie du circuit vue sur l'oscilloscope.

Cette figure illustre la sortie aux bornes du transformateur, avec une tension maximale 50V et une fréquence 50HZ. Il est clairement observé, que le signal est alternatif et a une forme périodique presque sinusoïdale.

Les résultats confirment la similitude des impulsions de commande et de la tension de sortie obtenues par simulation (figures III.4, III.5 et III.6) avec ceux enregistrées sur l'oscilloscope (figures III.20, III.2, III.23), validant ainsi le modèle et la structure réalisée.

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté les composants utilisés pour mettre en œuvre notre projet, tels que : les résistances, les transistors MOSFET, Transformateur, condensateur, les fils, les câbles USB et La carte Arduino NANO. Nous avons réussi à atteindre l'objectif principal de ce projet, qui était la simulation sur Proteus et la réalisation d'un onduleur monophasé qui peut utiliser une source d'alimentation solaire de 12V pour pouvoir utiliser tout appareil électrique fonctionnant en alternatif, tels que :ordinateur, chargeur de téléphone, recharge d'appareil photo, poste radio ....

# *Conclusion générale*

## **Conclusion générale :**

Ce projet de fin d'étude a été effectué au sein de l'Innovation center à EL BOUNI dans la ville d'Annaba. L'objectif principal de ce travail est de simuler et réaliser un onduleur monophasé.

Ce travail est organisé en trois parties. Dans la Première partie nous avons abordé différents aspects des onduleurs monophasés. Tout d'abord, nous avons exploré les fondements théoriques des onduleurs monophasés, en mettant particulièrement l'accent sur l'étude des interrupteurs électroniques, tels que les transistors, qui jouent un rôle crucial dans leur fonctionnement. Ensuite, nous avons examiné le principe de fonctionnement de différents types d'onduleurs monophasés disponibles sur le marché ainsi que les méthodes de commande utilisées pour contrôler efficacement ces dispositifs.

Ensuite, dans la deuxième partie nous avons axé notre travail sur la conception et la simulation d'un onduleur de tension à l'aide du logiciel Proteus. Une attention particulière était accordée à la simulation des circuits électriques de l'onduleur de tension monophasé en pont sur ISIS Proteus. Ces simulations nous ont permis de valider la conception théorique, d'identifier les problèmes potentiels et d'optimiser les performances du système avant la mise en œuvre pratique de l'onduleur monophasé en pont avec Arduino.

En outre dans troisième partie nous avons procédé à la simulation et la mise en œuvre pratique de l'onduleur monophasé en demi-pont à l'aide du logiciel Proteus et d'une carte Arduino. La simulation de cet onduleur sur Proteus est abordée, mettant en lumière les étapes nécessaires pour une représentation précise du système. Nous avons effectué la réalisation pratique de ce convertisseur statique, en décrivant minutieusement le choix et la description des composants, les instruments de mesure utilisés, ainsi que les étapes d'assemblage et de montage des éléments constitutifs. Les résultats expérimentaux obtenus, des signaux d'entrée et de commande et de la tension de sortie de l'onduleur, avaient une grande authenticité avec la théorie. En fin, nous avons réussi à atteindre l'objectif principal de ce projet, qui était la simulation sur Proteus et la réalisation d'un onduleur monophasé qui peut utiliser une source d'alimentation solaire de 12 V pour pouvoir utiliser tout appareil électrique fonctionnant en alternatif.

***Bibliographie***

- [1] Aidoun.S , Haddouche.D, «Etude et conception d'un onduleur monophasé », Mémoire de master, Université Saad Dahleb Blida 1, 2022.
- [2] S. Mecheri, « Réalisation d'un onduleur de tension monophasé centrale par carte Arduino » , Université de Constantine I, 2013/2014.
- [3] Labed.A, Kiati. B, Bousbai. S, «Réalisation et implémentation d'un onduleur monophasé dédié a l'alimentation des différentes charges», Université d'Echahid Mohamed Lakhder Ammara , d'EL Oued , 16/06/2021.
- [4] Kedjadja.W, Bekhakhecha.H, «Modélisation et simulation d'un onduleur de tension utilisant différents stratégies de modulation de largeur d'impulsion(MLI) » , Mémoire de Master , Université 8 mai 1945,Guelma, 2012.
- [5] Moussouni.N, Ouadfel.S , «Etude et réalisation d'un onduleur de tension monophasé» , Mémoire de Master, Université Abderahmmane Mira-Bejaia.
- [6] <https://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>.
- [7] <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>.
- [8] S. Guy, B. Robert, Labrique Francis, Les convertisseurs de l'électronique de puissance la conversion alternaif (volume 4). Edition tec&doc, 1995.
- [9] Guy Séguier, Electronique de puissance « Les formation de base et leurs principales application » 7<sup>eme</sup> édition, Dunod, paris, 1999.
- [10] Onduleurs et harmoniques, Cahiers techniques Merlin Gerin N°159.
- [11] Onduleur de tension: mise en œuvre et Structures-principes-applications. Techniques d'ingénieur, Traité de génie électrique D.3176-3177.