

Université de Gafsa
Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de Gafsa

Département ASI



**Réalisation d'un onduleur monophasé
commandé par SPWM via une carte
Arduino**

Chibani Haythem

En vue de l'obtention de

Licence en technologie de l'informations et télécommunications

Sous la Direction de :

Dr. Rabaa Ibrahmi

Année universitaire 2022/2023

Je dédie ce modeste travail
A mes très chers parents, qui m'ont toujours poussé et
motivé dans mes études

Je trouve ici l'occasion de leur exprimer ma gratitude la
plus sincère

C'est un moment de dédiée aussi mon frères mes sœurs et tous les
membres de ma famille

A mon encadreur A l'ensemble des enseignants A tous mes collègues
et amis

A tous ceux qui me sont chers et A tous ce qui m'ont encouragé

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à Dieu tout puissant de nous avoir donné tous ce que nous possédons et de guider nos pas vers le chemin du savoir.

On tient à exprimer mon haute gratitude, mes profonds respects et mes sincères remerciements et reconnaissances d'abord à mon encadreur Madame Ibrahmi Rabaa : enseignante à l'institut supérieur des sciences appliquées et technologies de Gafsa, qui nous a guidé avec grande patience tout au long de l'élaboration de ce travail.

Nous adressons nos chaleureux remerciements aux membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Sommaire

Introduction générale.....	6
I. Généralité sur les onduleurs monophasés :	8
1. Introduction :	8
2. Les convertisseurs :	8
3. Convertisseur Continu-Alternatif (DC- AC) :	9
4. Classification des onduleurs monophasés :	9
a. Selon la réversibilité :	9
b. Selon la nature de l'alimentation :	11
5. La structure d'un onduleur monophasé :	12
6. Commande d'un onduleur monophasé :	16
a. Principe de commande d'un onduleur monophasé :	16
b. Les types de commandes d'un onduleur monophasé :	18
7. Domaines d'application des onduleurs monophasés :	22
8. Conclusion :	24
II. Conception et développement :	26
3. Développement de la commande SPWM SUR ARDUINO :	26
a. La commande SPWM ou MLI :	26
b. L'Arduino IDE	27
4. Conception d'une carte de puissance :	31
a. Choix d'interrupteur :	31
b. Le logiciel EAGLE (pour le routage) :	31
5. Conclusion :	32
III. Simulation et réalisation d'un onduleur monophasé :	34
1. Introduction :	34
9. Simulation de l'onduleur monophasé sous l'environnement Isis Proteus :	34
10. Simulation de l'onduleur monophasé :	34
b. La réalisation de l'onduleur monophasé :	38
11. Conclusion :	38
Conclusion générale	40
.....	40
VI.....	Error! Bookmark not defined.
VII.....	Error! Bookmark not defined.

INTRODUCTION

GENERALE

Les avancées technologiques récentes dans le domaine de l'électronique de puissance ont entraîné une expansion progressive des domaines d'application des convertisseurs statiques. L'utilisation généralisée du courant alternatif (AC) est observée dans les environnements résidentiels, commerciaux et industriels. Cependant, l'inconvénient majeur du courant alternatif réside dans son incapacité à être stocké en vue d'une utilisation ultérieure.

Pour résoudre ces problèmes ont besoin d'une conversion du courant alternatif AC en courant continu DC pour le stocker dans des sources de courant continu notamment les batteries les systèmes photovoltaïques les piles à combustible, les alternateurs, etc. Chaque fois que le courant alternatif est nécessaire, on doit juste utiliser un moyen de conversion dont le courant continu est à nouveau se transforme en alternatif, ce moyen donc est l'inverse de redresseur s'appelé l'onduleur.

Les onduleurs sont des équipements électroniques qui permet la conversion du courant continu en courant alternatif. Ils peuvent être classés en deux types principaux tels que les onduleurs à onde sinusoïdale et les onduleurs à onde carrée ou modifiée. Les onduleurs à onde sinusoïdale sont considérés comme la meilleure option car ils produisent une sortie de courant alternatif de qualité supérieure et sont plus efficaces pour alimenter des équipements sensibles tels que des ordinateurs ou des équipements médicaux. Les onduleurs sont également utilisés pour fournir une alimentation de secours en cas de coupure de courant. Dans ce cas, un onduleur avec une batterie intégrée peut être utilisé pour alimenter des équipements critiques tels que des systèmes de sécurité ou des équipements de survie pendant une période limitée. Ils sont également utilisés pour améliorer la qualité de l'alimentation électrique dans les centres de données les onduleurs sont utilisés dans les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire et éolienne, car ils permettent de convertir l'énergie produite en courant alternatif utilisable pour alimenter les maisons et les entreprises. Dans le domaine des télécommunications, l'onduleur permet de maintenir l'alimentation électrique pendant un certain temps pour continuer à fournir des services de communication aux clients.

La vitesse de commutation lors de l'ouverture et de la fermeture des interrupteurs est minutieusement planifiée pour se produire en une fraction de seconde, voire en quelques millisecondes ou microsecondes. Cette rapidité de transition ne peut être maîtrisée qu'avec l'utilisation de technologies modernes telles que les circuits intégrés tels que les PIC et les Arduino et ce dernier nécessite une commande plus efficace pour assurer une bonne qualité à la sortie.

Dans ce projet-là, on va prendre soin sur les onduleurs monophasés particulièrement en utilisant une carte Arduino.

Le premier chapitre est un travail de recherche bibliographique sur les phénomènes pouvant survenir dans les dispositifs onduleurs de types monophasés, ainsi que leurs techniques de mise en œuvre, leurs structures, leurs types de commandes, les équations de modèle et il est important de prendre en compte les différentes caractéristiques lors de l'évaluation des performances des composants.

Dans le deuxième chapitre nous avons étudié quelques méthodes et technique de modélisation dont nous avons ensuite présenté l'outil de simulation PROTEUS utilisé dans notre travail pour la résolution d'un onduleur monophasée sous l'environnement ISIS puis nous avons parlé de généralités sur Arduino quels sont les éléments les plus importants dans la

composition et la structure d'une carte Arduino qu'elle va commander avec la technique SPWM qui est développée par le logiciel ARDUINO IDE

Le troisième chapitre présente la méthodologie de développement de notre modèle et à la réalisation d'un onduleur monophasé dont la sortie est 220 V, 50 Hz à partir d'une source de tension continue de valeur de 12V. Nous allons expliquer toutes les étapes de la réalisation et la conception de notre onduleur et les résultats obtenus après la simulation et la validation expérimentale

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale et les perspectives éventuelles à la continuation de notre travail de recherche.

CHAPITRE 1 :

GENERALITE

SUR

LES ONDULEURS

MONOPHASES

I. Généralité sur les onduleurs monophasés :

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous tenterons de définir le contexte et établir l'état de l'art sur la mise en œuvre des onduleurs monophasés puis révéler également les principes du réseau convertisseur, ceci est fait dans le but de préciser les caractéristiques que doit avoir l'onduleur par rapport à cette application.

Une compréhension approfondie de la structure de cet onduleur monophasé et leurs types de commandes et nous terminons par une étude sur les domaines d'utilisations de ce convertisseur

2. Les convertisseurs :

Les convertisseurs sont des dispositifs électroniques ou électromécaniques utilisés pour convertir une forme d'énergie, un signal ou une grandeur physique en une autre. Ils jouent un rôle crucial dans de nombreux domaines, de l'électronique de puissance à l'instrumentation, en passant par les télécommunications et les systèmes de contrôle dont on trouve les convertisseurs analogique-numérique ou inverse, les convertisseurs de tension les convertisseurs de fréquence, de mesure et les convertisseurs d'énergie et ces derniers sont utilisés dans le domaine d'électronique de puissance et ils sont les plus intéressants dans notre projet dont ils ayants pour rôle la conversion du courant et de la tension électrique d'un certain genre en un courant d'un autre genre, comme représente la figure suivante :

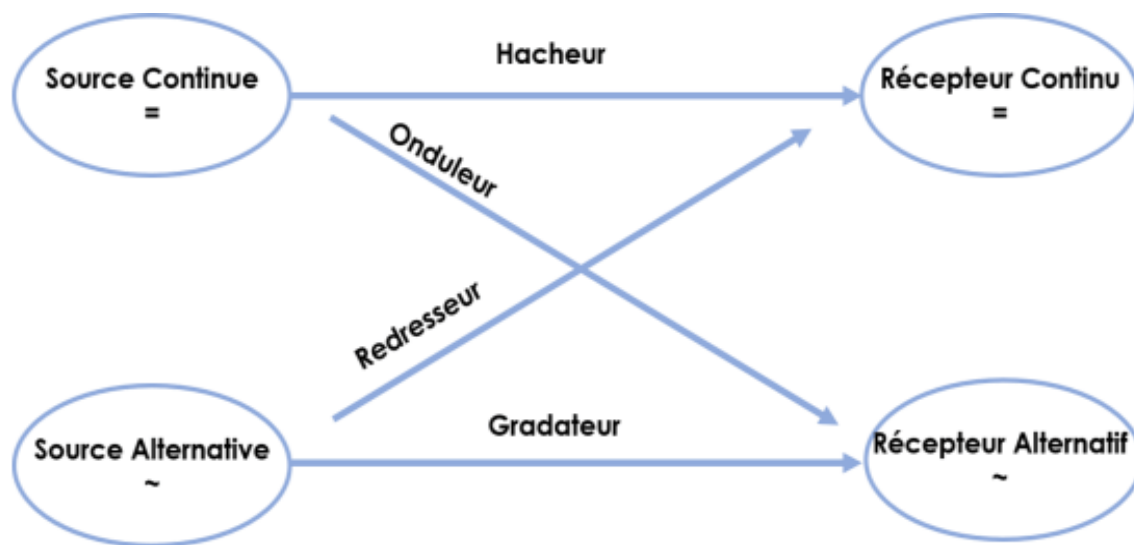


FIGURE 1 : LES DIFFERENTS CONVERTISSEURS

L'électronique de puissance, également connue sous le nom d'électronique de conversion d'énergie, a émergé il y a moins de 50 ans. Depuis lors, elle a connu un développement remarquable, permettant aujourd'hui de convertir près de 15% de l'énergie électrique dans diverses formes. Au fil des années, les convertisseurs ont considérablement réduit leur taille, leur poids et leur coût, principalement grâce aux avancées de la commutation électronique.

Ce chapitre se concentre sur le convertisseur Continu-Alternatif (DC-AC), en mettant l'accent sur le fonctionnement de l'onduleur monophasé et en explorant les diverses techniques de commande disponibles.

3. Convertisseur Continu-Alternatif (DC- AC) :

Le convertisseur continu-alternatif (DC-AC) ou également connu sous le nom de l'onduleur, est un dispositif d'électronique de puissance qui assure la conversion de l'énergie électrique continue (DC) en une forme alternative (AC) afin d'alimenter des charges en courant alternatif. Cette conversion d'énergie repose sur l'utilisation de composants semi-conducteurs commandables, qui sont à la fois rapides et résistants, assurant ainsi un échange efficace d'énergie.

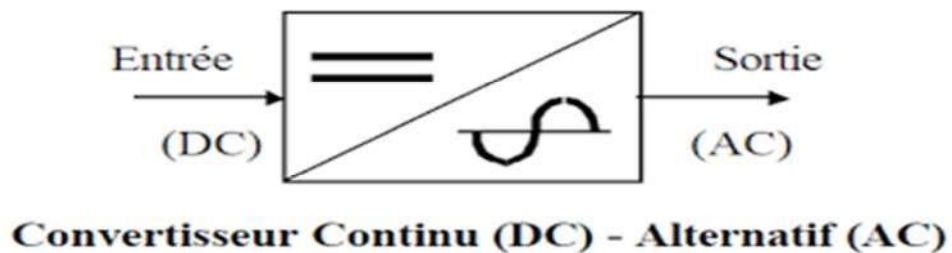


FIGURE 2 : SCHEMA SYMBOLIQUE D'UN ONDULEUR

Les onduleurs ont diverses utilisations, notamment :

- Permettre la régulation de la fréquence et de l'amplitude de la tension ou du courant alternatif. Un exemple serait la variation de vitesse des moteurs asynchrones.
- Fournir des tensions alternatives à fréquence et amplitude constantes. Cela est courant dans les alimentations de secours alimentées par des batteries

4. Classification des onduleurs monophasés :

On peut classer les onduleurs monophasés selon la réversibilité et la nature de l'alimentation

Selon la réversibilité :

i. Onduleur autonome (non raccordé au réseau électrique) :

L'onduleur autonome est un système capable de générer une tension avec une fréquence soit fixe, soit réglable par l'utilisateur. Il parvient à le faire en utilisant l'énergie d'un circuit auxiliaire pour effectuer la commutation des thyristors ou d'autres semi-conducteurs.

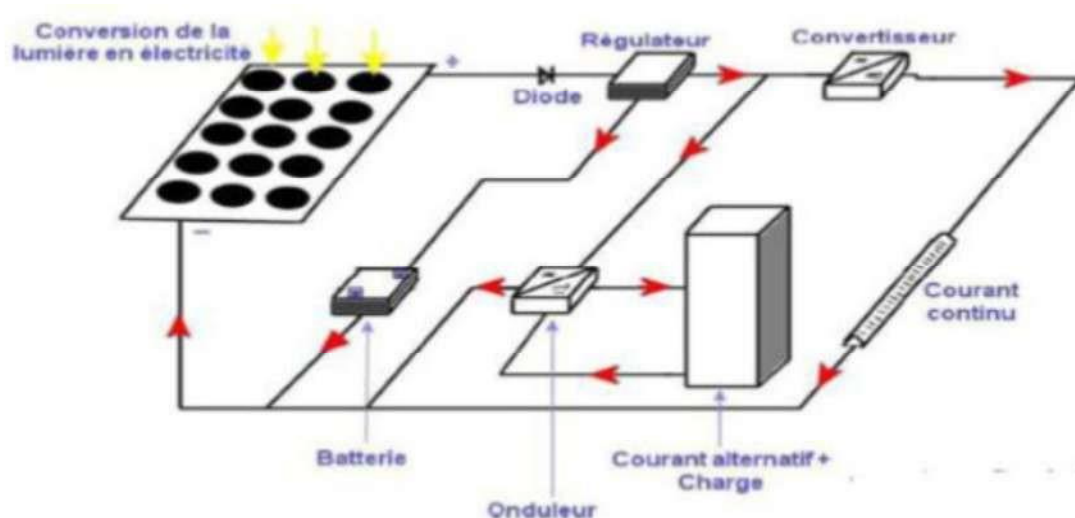


FIGURE 3 : SCHEMA D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE NON RACCORDE AU RESEAU

i. Onduleurs non autonome (raccordés aux réseaux) :

C'est un onduleur couplé au réseau qui a pour objectif de convertir une tension continue en une tension alternative qui correspond à la fréquence et à la valeur du réseau électrique. Dans ce cas, la forme d'onde doit être sinusoïdale et la tension alternative produite doit être en phase avec le réseau électrique, tout en respectant un ensemble de normes et de mesures de sécurité strictes. Ces exigences de synchronisation et de sécurité sont essentielles pour garantir un bon fonctionnement et une intégration fiable de l'onduleur au sein du réseau électrique.

D'autres, Les onduleurs connectés au réseau intègrent souvent un système de surveillance continue du courant fourni par les panneaux solaires. En cas de détection d'une fuite de courant, l'onduleur s'arrête automatiquement afin de prévenir tout risque de court-circuit entre les panneaux et le réseau électrique. Cependant, il est important de noter que chaque onduleur a besoin d'une certaine quantité d'énergie pour son fonctionnement interne, qui peut provenir soit des panneaux solaires, soit du réseau électrique. Cette consommation d'énergie interne peut avoir une incidence sur les pertes de rendement annuelles du système.

En cas d'absence de réseau électrique détectée, l'onduleur réagit rapidement en coupant la connexion au réseau. Cette fonctionnalité de coupure rapide est essentielle pour éviter que le système continue à injecter de l'électricité dans un réseau défaillant ou déconnecté, ce qui pourrait entraîner des risques de sécurité pour les travailleurs du réseau et des dommages potentiels aux équipements.

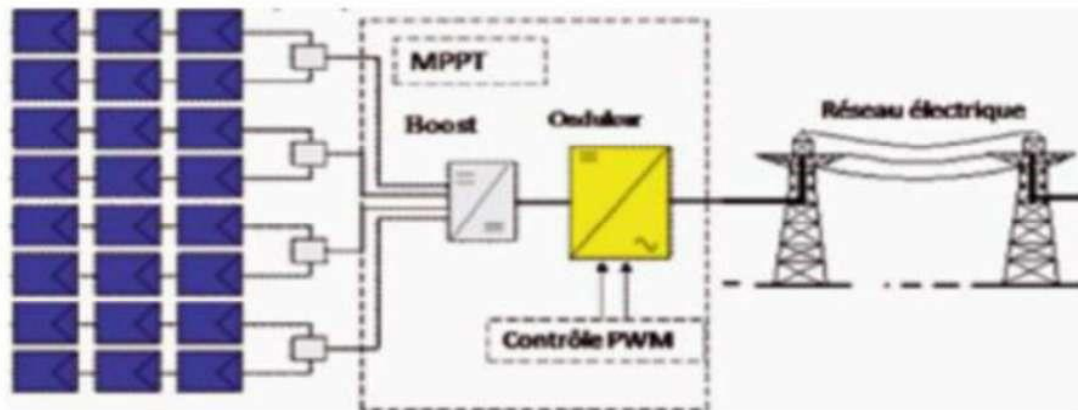


FIGURE 4: SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE CONNECTE AU RESEAU

Selon la nature de l'alimentation :

- i. **Onduleur de tension :** Un onduleur de tension fait référence à un type d'onduleur qui est alimenté par une source de tension continue, telle que des batteries ou des panneaux solaires.

Un onduleur de tension est couramment utilisé dans les systèmes d'alimentation électrique pour les applications domestiques, commerciales et industrielles.

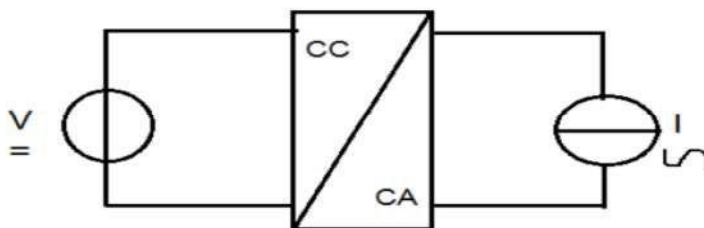


Figure 5 : Onduleur de tension

Étant donné que la plupart de nos applications électriques actuelles nécessitent du courant alternatif, il est nécessaire d'utiliser un onduleur de tension en raison de la nature de la source d'alimentation en courant continu.

- ii. **Onduleur de courant** : C'est un onduleur qui est alimenté par une source de courant continue. Mais dans cet onduleur le courant est imposé et la tension va dépendre de la charge.

Les onduleurs de courant sont généralement utilisés dans des applications spécifiques, telles que les entraînements de moteurs électriques et les systèmes de soudage, où un contrôle précis du courant est nécessaire.

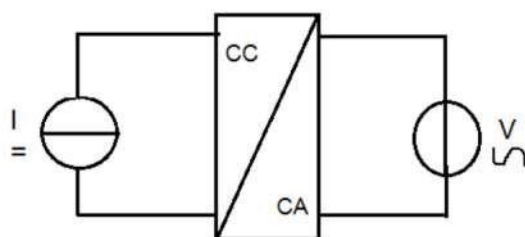


Figure 6 : : Onduleur de courant

5. La structure d'un onduleur monophasé :

C'est un onduleur qui délivre en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement utilisée aux alimentations de secours.

Un onduleur monophasé classique est composé de 4 interrupteurs de puissance avec chacun une diode en antiparallèle afin d'assurer la bidirectionnalité en courant. L'onduleur doit ensuite être piloté via une commande SPWM adaptée afin de réaliser la tension désirée. La tension désirée étant généralement fournie par une boucle de régulation externe de plus haut niveau ce qui permettra, à terme, de générer la SPWM. La boucle de régulation externe, doit être capable de fournir la fréquence du sinus désirée et son amplitude relative à la tension de bus continu nommée : indice de modulation. Des onduleurs comportant plus d'interrupteurs de puissance (IGBT ou MOSFET) existent afin d'être plus flexible sur la tension générée. Ces onduleurs se nomment alors convertisseurs multi-niveaux (Multi-level Converter en anglais, ou encore MMC dans la documentation technique).

a. Onduleur en demi- pont (deux interrupteurs) :

L'onduleur à demi-pont est une configuration basique où le courant continu d'entrée est commuté entre deux bornes de sortie à l'aide de deux interrupteurs de puissance qui sont généralement des transistors ou des IGBT

Il est donné par la figure suivante :

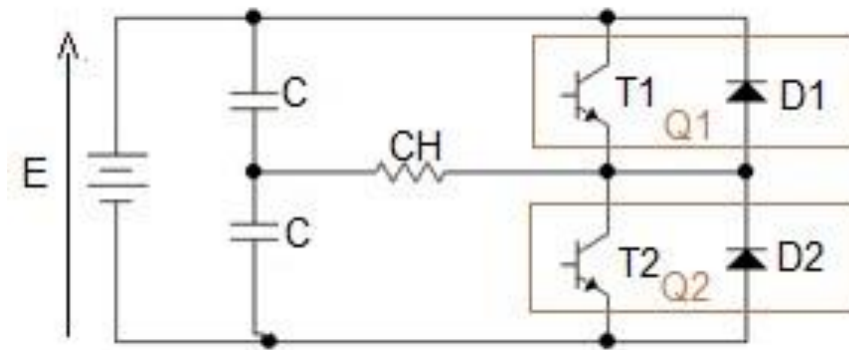


Figure 7 : : Schéma de principe d'un onduleur en demi-pont

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

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

Q1	Q2	Q1	Interrupteur fermé
Q2	Q1	Q2	Interrupteur ouvert

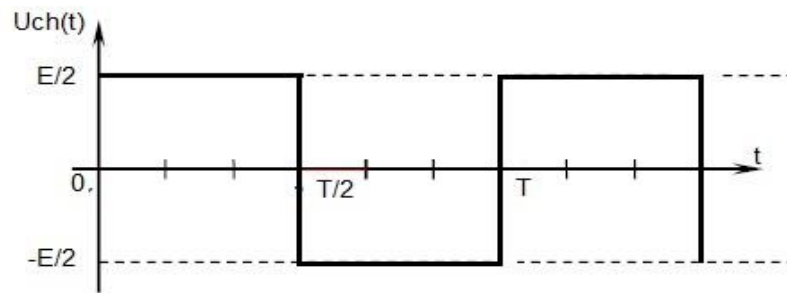


Figure 8 : L'allure de la tension aux bornes de la charge

Les interrupteurs Q1 et Q2 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 conduction d'un courant négatif en cas de déphasage de ce dernier par rapport à la tension aux bornes de la charge

b. Onduleur en pont complet (pont en H) :

L'onduleur à pont complet, également connu sous le nom d'onduleur en H, est une configuration plus avancée qui utilise quatre interrupteurs de puissance (généralement des transistors MOSFET ou des IGBT) pour commuter le courant continu d'entrée entre les bornes de sortie. Les onduleurs à pont complet offrent généralement une meilleure qualité de sortie, une meilleure capacité de régulation de tension et une efficacité plus élevée par rapport aux onduleurs à demi-pont.

Il est donné par la figure suivante :

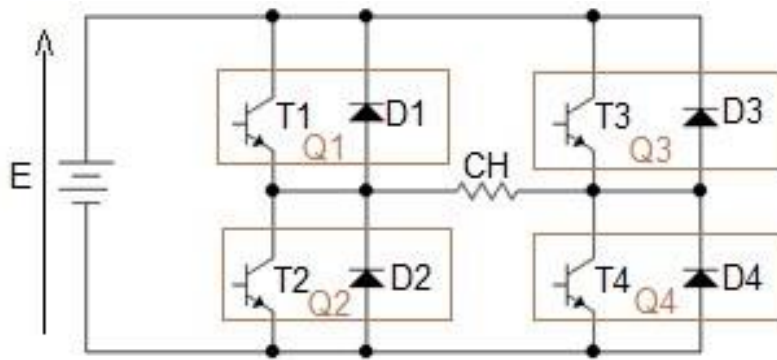


Figure 9 : Schéma de principe d'un onduleur en pont

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

Pour déterminer la valeur aux bornes de la charge voici les états possibles des interrupteurs :

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

La figure ci-dessous montre les intervalles de conductions des interrupteurs dans un onduleur à pont.

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

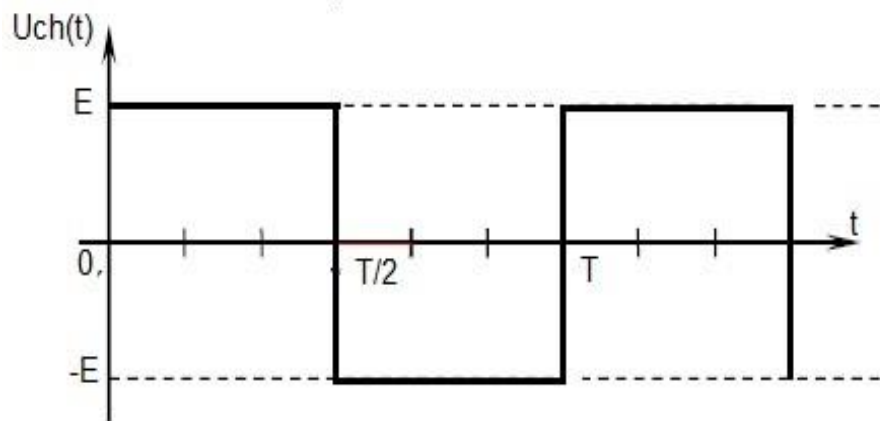


FIGURE 10 : L'ALLURE DE LA TENSION AUX BORNES DE LA CHARGE

Le schéma ci-dessous illustre un pont en H constitué de 4 transistors branché sur l'Arduino (on peut aussi faire un pont en H avec des interrupteurs ou avec des relais).

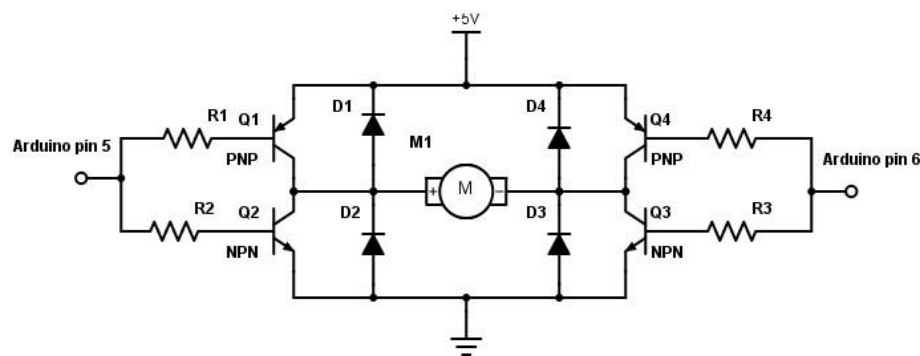


Figure (I-7) : Schéma de principe d'un pont H branché à l'ARDUINO

6. Commande d'un onduleur monophasé :

a. Principe de commande d'un onduleur monophasé :

La commande d'un onduleur monophasé consiste à comparer un signal de modulation avec un signal de porteuse pour activer et désactiver les interrupteurs de l'onduleur, permettant ainsi de générer une forme d'onde alternative sinusoïdale de sortie. La commande des onduleurs est caractérisée par une forte non linéarité, résultant de la nature des IGBT qui les composent et qui ne peuvent être pilotés que de manière binaire (soit 0 soit 1). Les signaux générés sont la modulation et la porteuse tels que la génération du signal de commande consiste à un générateur qui produit un

signal de commande appelé modulation, ce signal de commande est généralement une onde sinusoïdale de fréquence fixe, mais sa valeur instantanée varie en fonction du signal de référence. La deuxième génération consiste à un générateur qui produit un signal appelé porteuse, ce signal est généralement une onde triangulaire de fréquence beaucoup plus élevée que celle du signal de référence.

La commande est déterminée de la manière suivante : si la modulation est supérieure à la porteuse, l'interrupteur est commandé à l'état "1", sinon à l'état "0". Il convient de noter que la modulation mentionnée précédemment n'est pas la seule option disponible, et qu'il existe un nombre très important de possibilités.

La comparaison entre une modulante et une porteuse n'est pas la seule possibilité. Il existe, entre autres la SVM (ou vecteur de modulation spatial en français), qui constitue le Gold standard en industrie, par sa facilité d'implémentation, ses avantages harmoniques ainsi que de l'extension de sa zone de linéarité de 15%¹², par rapport à la MLI classique décrite ci-dessus.

Le principe de commande d'un onduleur est présenté sur la figure (I-18), qui est valable pour un bras de commutation.

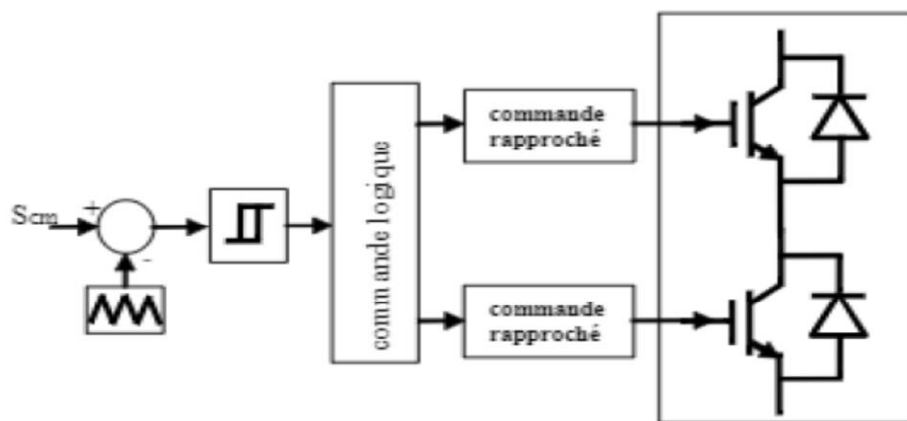


Figure (I-9) : le principe de commande du bras d'onduleur

Au fil du temps, de nombreuses techniques de commande ont été développées, chacune présentant ses propres différences, avantages et inconvénients. Ces variations peuvent être observées à travers plusieurs aspects tels que :

- Facilité d'implémentation ;
- Augmentation de la zone de linéarité ;
- Réduction des harmoniques indésirables ;
- Augmentation du rendement ;
- Diminution du bruit acoustique.

b. Les types de commandes d'un onduleur monophasé :

Il existe plusieurs types de commandes pour les onduleurs monophasés qui déterminent leur grand objectif de génération des ordres d'ouverture et de fermeture des interrupteurs de sorte que la tension créée par l'onduleur soit la plus proche de la tension de référence et on peut les classer en deux types par des commandes à un rapport cyclique fixe et autres à rapport cyclique variable. Voici quelques-uns des types de commandes les plus couramment utilisés :

i. Commande à apport cyclique fixe :

▪ *Pleine onde :*

La commande en plein onde consiste à contrôler la commutation des transistors de puissance ou des thyristors dans l'onduleur de manière à reproduire fidèlement la forme d'onde sinusoïdale de la tension secteur.

En utilisant la commande en plein onde, l'onduleur est capable de générer une sortie en forme de sinus avec une faible distorsion harmonique, ce qui le rend approprié pour les applications sensibles aux perturbations électromagnétiques ou qui nécessitent une tension d'onde sinusoïdale de haute qualité

La commande pleine onde permet de commander les interrupteurs T1 et T4 en même temps et cette technique alors permet d'éliminer en partie ces harmoniques et améliore donc ce convertisseur.

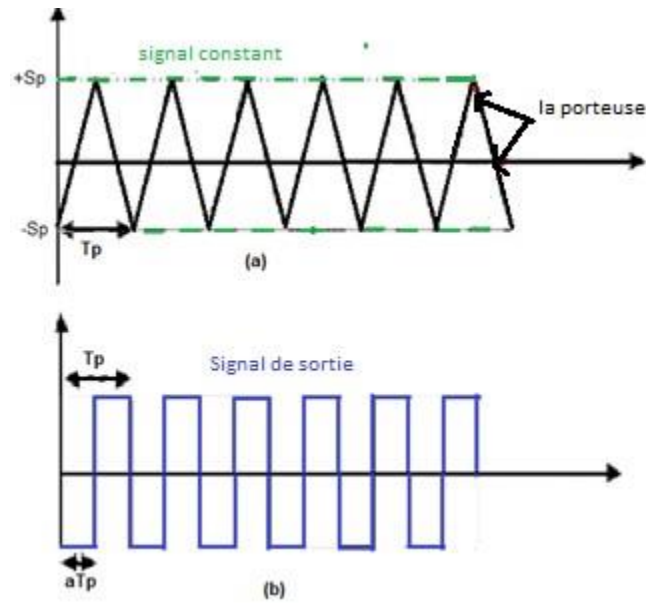


Figure (II-19) : Signal de commande [32]

Le résultat de signal de commande est obtenu en comparant le signal constant S_{cst} et le signal de porteuse S_p et on constate un changement de l'état des interrupteurs du bras de commutation comme montre le tableau ci-dessous :

Tableau (II-1) : Le changement de l'état des interrupteurs du bras de commutation [32]

	$S_{cst} \geq S_p$	$S_{cst} \leq S_p$
Q1	Amorcé	Bloqué
Q2	Bloqué	Amorcé

▪ Décalée :

La commande décalée dans un onduleur monophasé permet de contrôler le déphasage entre la tension d'entrée continue et la tension de sortie alternative. Le décalage de phase est réalisé en retardant ou en avançant le moment de commutation des dispositifs de commutation par rapport à la tension d'entrée. Cela peut être utilisé pour des applications spécifiques telles que le contrôle de vitesse des moteurs électriques ou pour obtenir un déphasage contrôlé dans des systèmes de distribution d'énergie électrique.

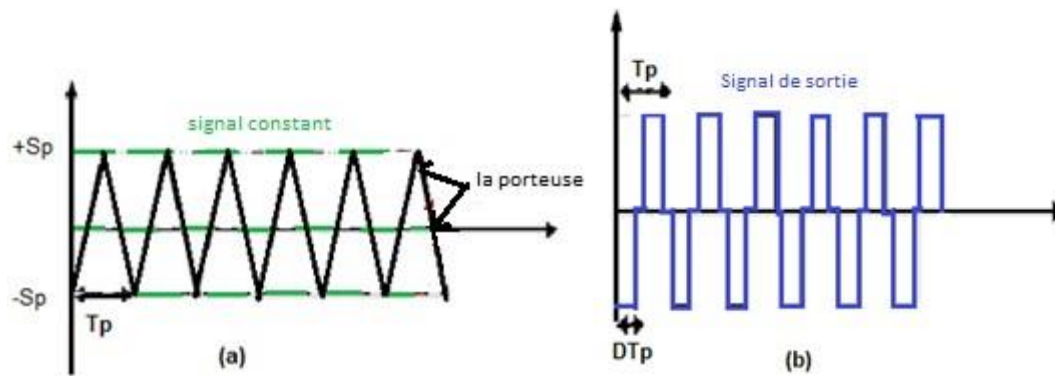


Figure (II-20): Signal de commande décalée [32]

Dans cette commande les interrupteurs T1 et T4 sont commandés par un angle de décalage

ii. Commande à rapport cyclique variables :

▪ Modulation de largeur d'impulsions ou (PWM) :

Cette technique est applicable pour l'onduleur monophasé et triphasé. Elle est déduite de la comparaison entre le signal variable (sinusoïdal d'amplitude variable et de fréquence f qui détermine la fréquence de la tension de sortie) et de porteuse (triangulaire d'amplitude fixe et de fréquence très élevée). L'utilisation de cette commande permet d'éliminer les premiers rangs d'harmoniques de courant afin d'améliorer le facteur de puissance. Il faut noter que cette technique ne résout pas totalement le problème des harmoniques de courant.

La commande SPWM (sinusoidal pulse with modulation) est basée sur la modulation en largeur d'impulsion ; elle modifie la durée d'ouverture des interrupteurs de l'onduleur en fonction d'un signal de référence sinusoïdal et permet de générer une tension de sortie sinusoïdale.

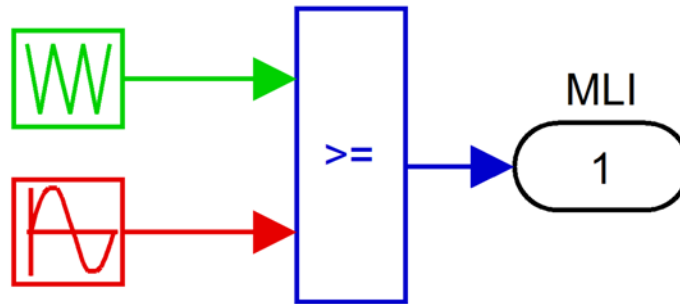


Figure III.5: Schéma synoptique du principe commande SPWM ou MLI

Le résultat est un chronogramme de commande dans la figure (I-12)

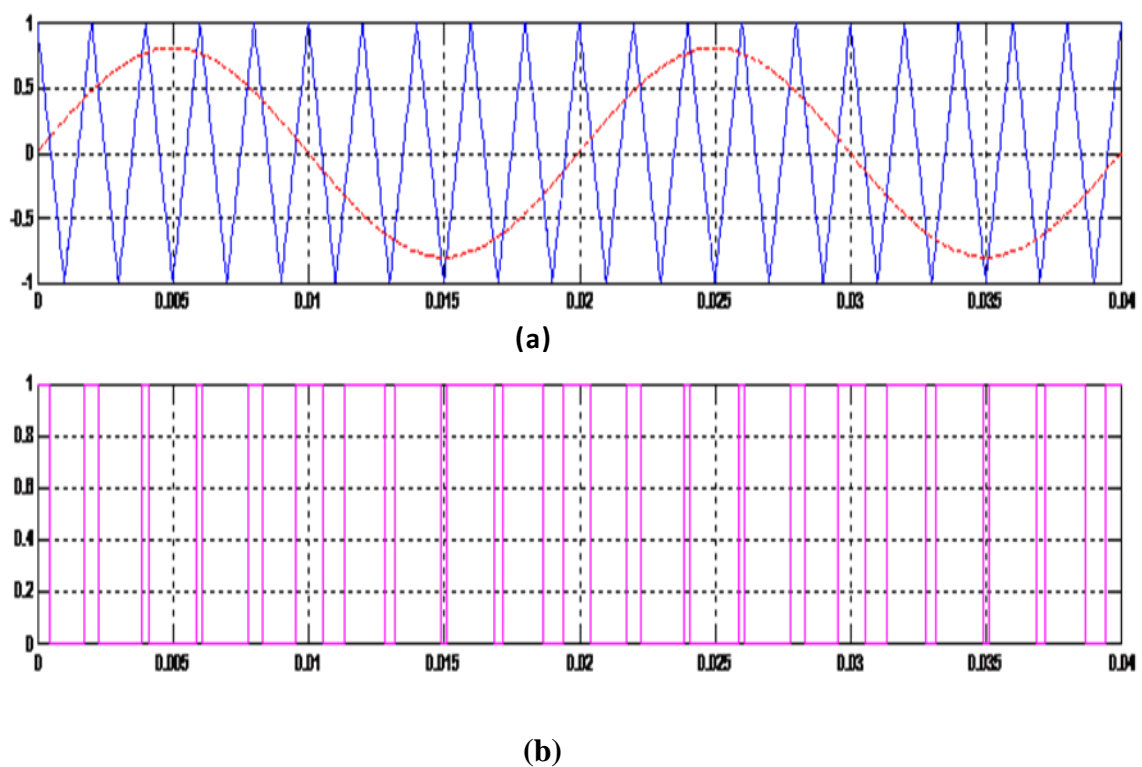


Figure : Chronogramme de la commande SPWM (MLI)

Le réglage en amplitude et en fréquence de la tension de sortie de l'onduleur est défini par le coefficient de réglage en tension (représentant le rapport de l'amplitude de la tension de référence à la valeur crête de la porteuse), et l'indice de modulation (donnant le rapport des fréquences de la porteuse et de la référence).

- **Hystérésis :**

La commande hystérésis, également appelée commande à bande passante nulle, utilise des seuils de tension préétablis pour contrôler la commutation des interrupteurs. Elle effectue une comparaison entre la tension de sortie effective de l'onduleur et des seuils supérieur et inférieur. Le rapport cyclique peut être fixe ou variable selon la configuration spécifique de la commande et les exigences de l'application.

Quand la tension atteint l'un de ces seuils les interrupteurs sont automatiquement modifiés inversement pour réguler la tension et la maintenir dans une bande prédéfinie.

La commande vise à réduire l'erreur e_i entre la valeur du courant i et la valeur de référence i_{ref} , conduisant ainsi à une convergence de i vers i_{ref} . Cela est illustré dans le schéma où l'objectif est d'amener l'erreur e_i vers zéro.

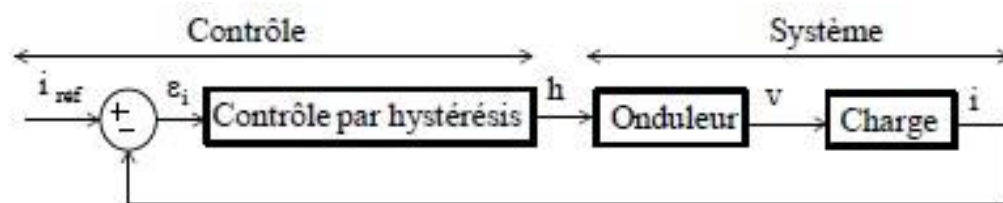


Figure (II-21) : Contrôle d'un onduleur par hystérésis [36]

Ces différents types de commandes offrent des performances et des caractéristiques différentes en termes de qualité de la tension de sortie, de rendement, de complexité de mise en œuvre et de réponse dynamique. Le choix du type de commande dépend des exigences spécifiques de l'application et des contraintes de conception.

7. Domaines d'application des onduleurs monophasés :

L'onduleurs monophasés est l'un des montages les plus répandus de l'électronique de puissance, ils sont largement utilisés dans des nombreux domaines d'applications pour convertir le courant continu en courant alternatif monophasé telles que :

Alimentation de secours : Les onduleurs monophasés sont utilisés dans les systèmes d'alimentation de secours pour fournir de l'énergie en cas de panne de courant. Ils permettent de maintenir l'alimentation des équipements critiques tels que les ordinateurs, les serveurs, les équipements médicaux, les systèmes de sécurité, etc.

Énergie solaire : Dans les installations solaires résidentielles et commerciales, les onduleurs monophasés sont utilisés pour convertir l'énergie solaire en courant alternatif pouvant être utilisé dans les bâtiments ou injecté dans le réseau électrique.

Énergie éolienne : Les éoliennes produisent généralement du courant continu, qui doit être converti en courant alternatif pour être utilisé dans les réseaux électriques. Les onduleurs monophasés sont utilisés pour cette conversion.

Électroménagers : De nombreux appareils électroménagers fonctionnent avec du courant alternatif monophasé. Les onduleurs monophasés sont utilisés pour alimenter des appareils tels que les réfrigérateurs, les climatiseurs, les machines à laver, les systèmes audio et vidéo, etc.

Éclairage : Les systèmes d'éclairage fonctionnent généralement avec du courant alternatif monophasé. Les onduleurs monophasés sont utilisés pour convertir le courant continu provenant des batteries ou des sources d'énergie renouvelable en courant alternatif pour alimenter les luminaires.

Industrie : Les onduleurs monophasés sont utilisés dans diverses applications industrielles, telles que le contrôle de moteurs monophasés, les systèmes de surveillance et de contrôle, les systèmes de climatisation, etc.

Il convient de noter que ces applications peuvent varier en termes de puissance requise, de qualité de l'énergie de sortie et de fonctionnalités spécifiques. Par conséquent, les onduleurs monophasés peuvent être conçus et adaptés en fonction des besoins spécifiques de chaque application.

8. Conclusion :

Tout au long de ce chapitre nous avons présenté les différentes classifications des convertisseurs DC-AC existants avec leur principe de fonctionnement ainsi que leurs types de commandes et leurs domaines d'application.

CHAPITRE 2 :

CONCEPTION

ET

DEVELOPEMENT

II. Conception et développement :

1. Introduction :

Dans ce chapitre on va étudier les méthodes et outil pour réaliser un onduleur monophasé commandé par SPWM via une carte Arduino

La conception d'un onduleur monophasé nécessite la sélection des composants appropriés pour la source d'alimentation, le convertisseur DC/AC, le filtre passe-bas et la charge, ainsi que la mise en œuvre de la commande de l'onduleur.

2. Réalisation d'un onduleur monophasé avec ISIS PROTEUS :

Le logiciel Proteus est un outil de conception électronique assistée par ordinateur (CAO) qui permet de réaliser des schémas électroniques et des simulations de circuits électroniques. On a déjà choisi ce logiciel c'est grâce à ses développements dans les dernières versions et grâce à son interface utilisateur conviviale et facile à utiliser, ce qui le rend accessible même aux débutants en électronique. Ainsi, PROTUES dispose d'une bibliothèque de composants électroniques étendue, ce qui facilite la sélection et l'ajout de composants à un schéma et permet de simuler et compiler des circuits électroniques avant leur mise en œuvre, ce qui permet de détecter les erreurs de conception et les problèmes de performance avant leur mise en service. On besoin de tous les composantes nécessaires pour notre travail et pour cela on a choisi la dernière version pour ce logiciel et on a installé ARDUINO LIBRERY pour l'utiliser dans notre schéma.

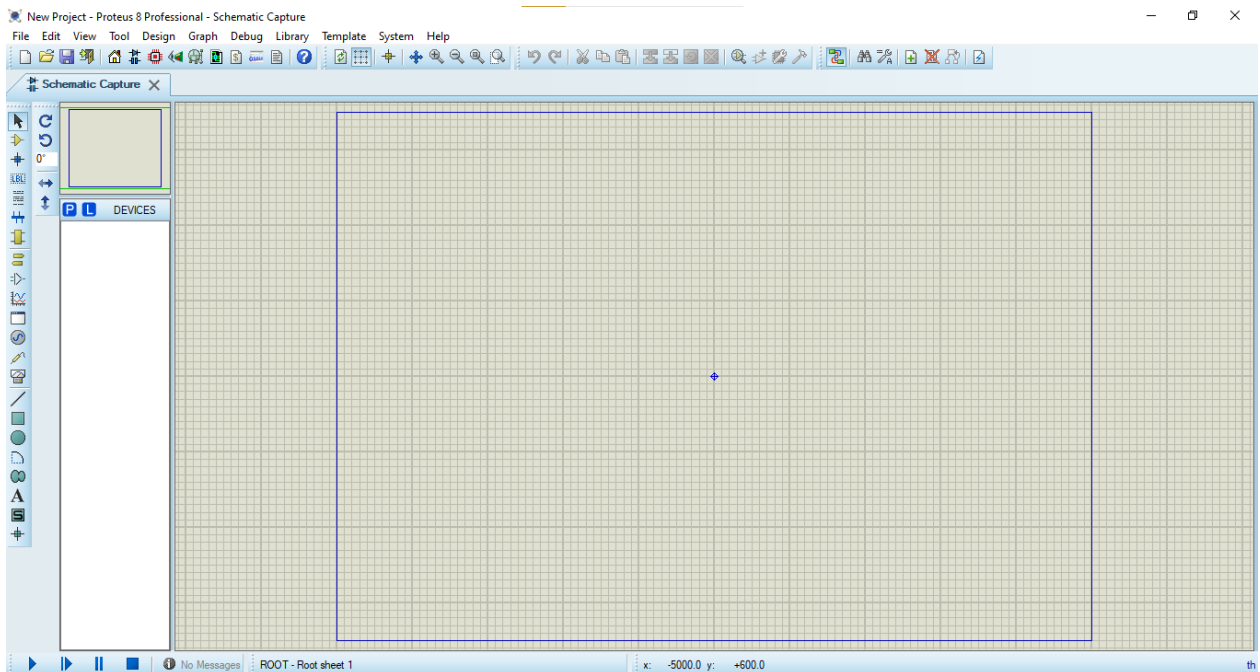


Figure : L'interface de logiciel ISIS PROTEUS (Schematic Capture)

3. Développement de la commande SPWM SUR ARDUINO :

La commande SPWM ou MLI :

La commande SPWM ou Sinusoïdal Pulse With Modulation est la plus couramment à utiliser dans les systèmes d'onduleurs pour convertir une tension continue en une tension alternative sinusoïdale.

Notre choix de cette méthode de commande est grâce aux ces avantages par rapport aux autres car la fréquence de commutation du signal PWM est généralement beaucoup plus élevée que la fréquence de sortie sinusoïdale souhaitée, ce qui permet une conversion plus efficace de la tension continue en tension alternative ou bien-dit qu'elle offre un bon compromis entre la qualité de la forme d'onde de sortie et la complexité de mise en œuvre donc on obtient une forme d'onde sinusoïdale précise et stable est importante pour de nombreuses applications telles que l'alimentation des moteurs, des systèmes de climatisation et de chauffage, et des éclairages, etc. Cette méthode de commande (SPWM) permet de minimiser les harmoniques indésirables dans la forme d'onde générée, ce qui se traduit par un taux de distorsion harmonique plus faible comme montre le spectre suivant :

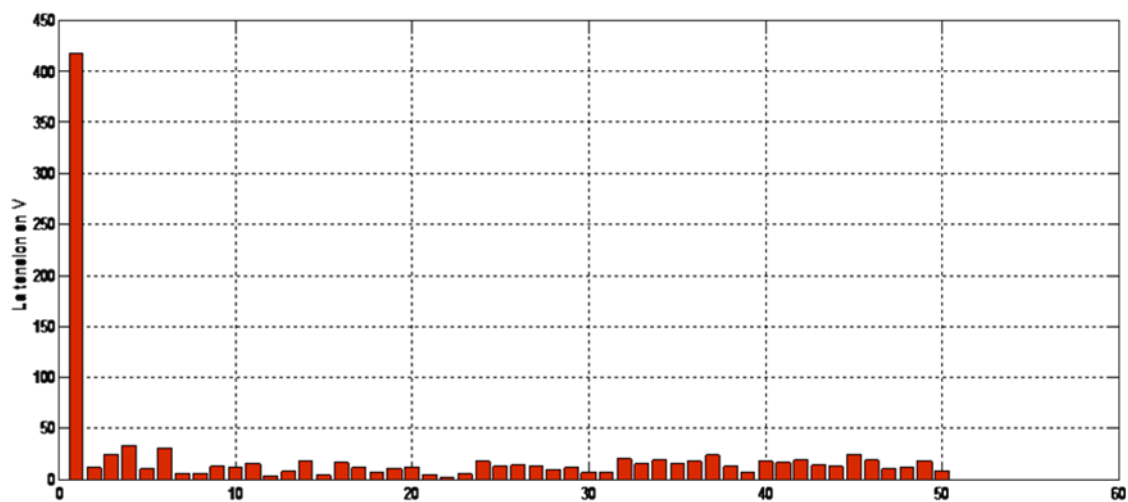


Figure III.8: Le spectre de courant commande MLI

L'Arduino IDE

Pour le développement de la commande SPWM on a besoin d'un logiciel pour programmer cette commande ; l'environnement ARDUINO IDE est le plus efficace pour cette fonction grâce à sa facilité d'utilisation, c'est un logiciel de programmation par code, il est

multiplateforme ce qui signifie qu'il est disponible pour Windows, Mac et Linux. Cela permet aux utilisateurs de travailler sur leur système d'exploitation préféré sans avoir à se soucier de la compatibilité des logiciels. L'Arduino IDE comprend une grande bibliothèque de composants intégrés qui permettent aux utilisateurs de créer rapidement des programmes pour contrôler des périphériques tels que des moteurs, des capteurs, des LED et des écrans. Il comprend également de nombreux exemples de programmes pour aider les utilisateurs à comprendre comment utiliser les différentes fonctionnalités de la carte Arduino. Ainsi, il bénéficie d'une grande communauté d'utilisateurs et de développeurs qui partagent des projets, des astuces et des tutoriels en ligne. Cela permet aux utilisateurs de trouver rapidement de l'aide et des conseils pour résoudre des problèmes ou améliorer leurs projets. Il y a aussi une abondance de ressources en ligne disponibles, telles qu'une documentation exhaustive, des forums de discussion actifs et des sites Web dédiés à l'entraide.

Le logiciel Arduino IDE est un environnement de développement intégré (IDE) utilisé pour programmer les cartes Arduino. Il offre une interface conviviale et des outils de développement pour créer et téléverser du code sur les cartes Arduino.

Voici quelques caractéristiques principales de l'Arduino IDE :

1. Éditeur de code : L'IDE Arduino comprend un éditeur de code qui prend en charge la coloration syntaxique et offre des fonctionnalités d'édition de base, telles que la recherche et le remplacement.
2. Compilation et téléversement : L'IDE Arduino permet de compiler le code source et de le téléverser directement sur la carte Arduino connectée à l'ordinateur. Il prend en charge différentes versions d'Arduino et propose une sélection de cartes préconfigurées.
3. Bibliothèques : L'IDE Arduino fournit un gestionnaire de bibliothèques qui permet de rechercher, installer et gérer des bibliothèques supplémentaires pour étendre les fonctionnalités de la carte Arduino.
4. Surveillance série : Il est possible de surveiller les données envoyées et reçues par la carte Arduino via le moniteur série intégré dans l'IDE. Cela facilite le débogage et la vérification du fonctionnement du code.
5. Exemples de code : L'IDE Arduino propose une collection d'exemples de code pour différents composants et fonctionnalités, ce qui permet aux débutants de démarrer rapidement et aux utilisateurs avancés de trouver des références utiles.

6. Communauté et ressources : L'IDE Arduino bénéficie d'une communauté active d'utilisateurs et de développeurs qui partagent des projets, des tutoriels et des conseils. Il existe également de nombreuses ressources en ligne, y compris une documentation complète, des forums de discussion et des sites Web d'entraide.

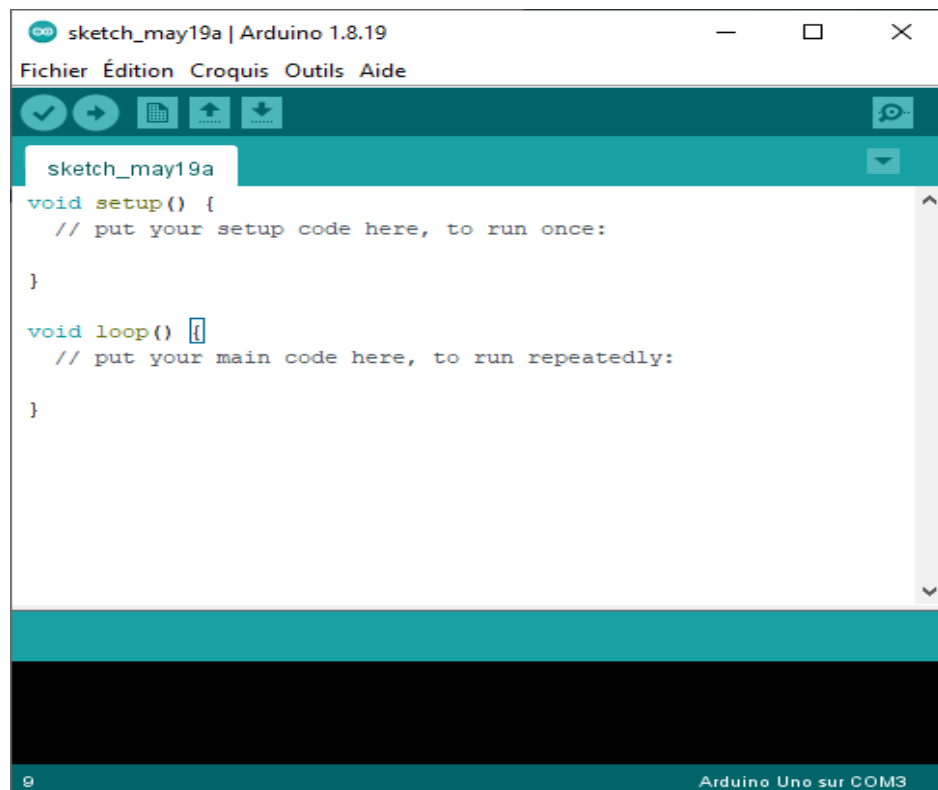


Figure II.5: l'interface de l'Arduino C (IDE)

L'interface visuelle du logiciel comporte les cinq éléments suivants :

1. une barre de menu
2. une barre d'actions
3. un ou plusieurs onglets correspondant aux sketches
4. zone d'écriture du programme
5. zone des messages d'erreur ou succès envoyés par le programme



Sketch.



Ouvrir un sketch qui figure dans votre dossier de travail



Compiler et télécharger votre sketch sur la carte Arduino



Permet de compiler votre programme et de vérifier si des erreurs s'y trouvent



Créer un nouveau sketch

Le code ARDUINO est généralement se compose de trois parties principales:

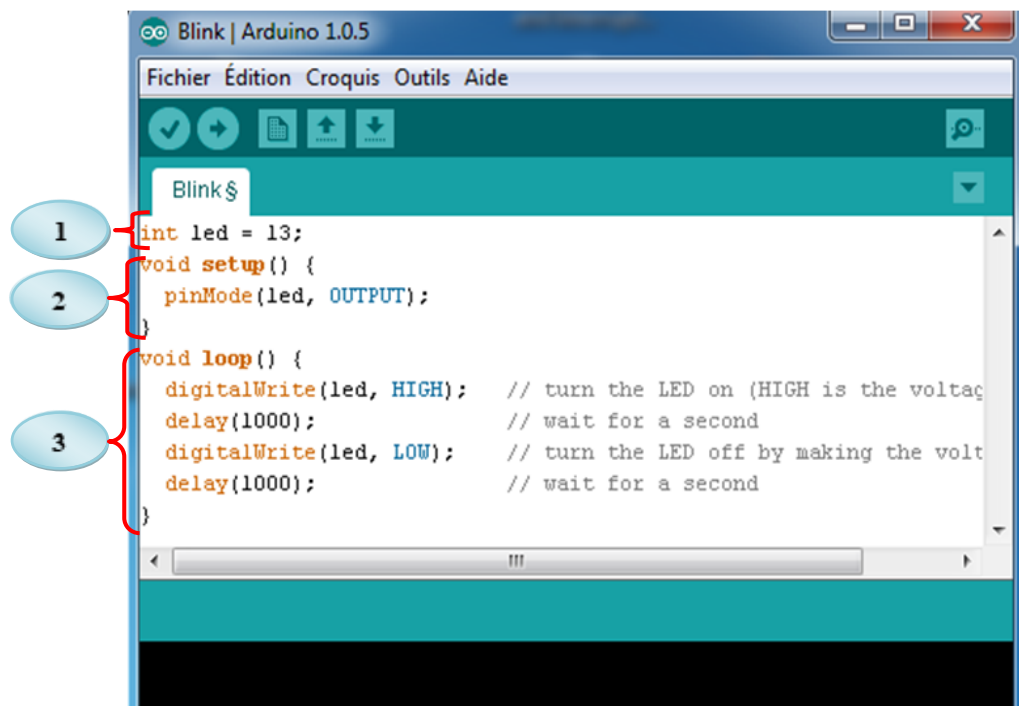



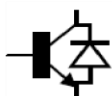
Figure II.6: Structure d'un projet Arduino C

1. La partie Définition des variables (optionnelle)
2. La fonction setup () : Cette partie est utilisée pour configurer les paramètres initiaux du programme et initialiser les broches d'entrées/sorties
3. La fonction loop () : C'est la partie principale du programme Arduino qui s'exécute en boucle continue après l'exécution de la fonction setup ()

Donc l'Arduino IDE est largement utilisé par les amateurs, les étudiants et les professionnels pour créer une grande variété de projets électroniques, des simples clignotements de LED aux systèmes plus complexes intégrant des capteurs, des actionneurs et d'autres composants électroniques et on va l'utiliser dans notre projet pour développer la commande de l'onduleur

4. Conception d'une carte de puissance : Choix d'interrupteur :

Dans le tableau suivant une comparaison entre les deux composantes essentielles du l'onduleur monophasé ; les MOSFET et les IGBT

composant	MOSFET	IGBT
caractéristiques		
Symbole		
Commutation	la vitesse de fermeture et d'ouverture très rapide	la vitesse de fermeture et d'ouverture rapide
Les pertes de commutation	faibles	moyennes
Conductivité courant	faible	Elevée
Les pertes de conduction	élevée	faible
Puissance consommée	faible	faible
Commande	Tension	Tension
Coût	moins cher	Cher

Bien que l'utilisation des IGBT soit considérée comme impérative selon le résumé de l'étude du tableau ci-dessus, mais notre choix dans ce projet est d'utiliser les MOSFET parce que ces derniers sont moins coûteux que les IGBT dont le prix d'une seule IGBT à peu près égale au prix de quatre MOSFET presque. La similitude entre eux, où ils peuvent obtenir le produit final

Le logiciel EAGLE (pour le routage) :

Pour la création d'une carte de puissance nous avons besoin d'un outil de routage ;

EAGLE est un logiciel de conception de circuits imprimés (PCB) développé par la société Autodesk. Il est largement utilisé dans l'industrie électronique et il existe une communauté active d'utilisateurs qui partagent des bibliothèques de composants et des conseils sur son utilisation. Il existe également des versions gratuites et payantes d'Eagle, offrant différentes fonctionnalités et limitations en fonction de la version choisie.

Ce logiciel permet aux ingénieurs et aux concepteurs électroniques de créer des schémas électriques, de concevoir des PCB et de générer des fichiers de fabrication pour la production de circuits imprimés. Il propose une bibliothèque de composants préexistante, mais il y a le choix également de créer les propres symboles personnalisés.

Une fois le schéma terminé, vous pouvez passer à la conception du PCB en plaçant les composants sur une carte de circuit imprimé virtuelle et en les connectant par des pistes de cuivre. Eagle permet également de définir les dimensions et les contraintes du PCB, d'ajouter des couches supplémentaires, de définir des plans de masse, etc.

Après avoir terminé la conception du schéma, nous passons directement au routage des pistes ; Eagle propose des outils avancés pour le placement automatique des composants et le routage des pistes. Nous pouvons également effectuer le routage manuellement pour un contrôle plus précis. Voir annexe

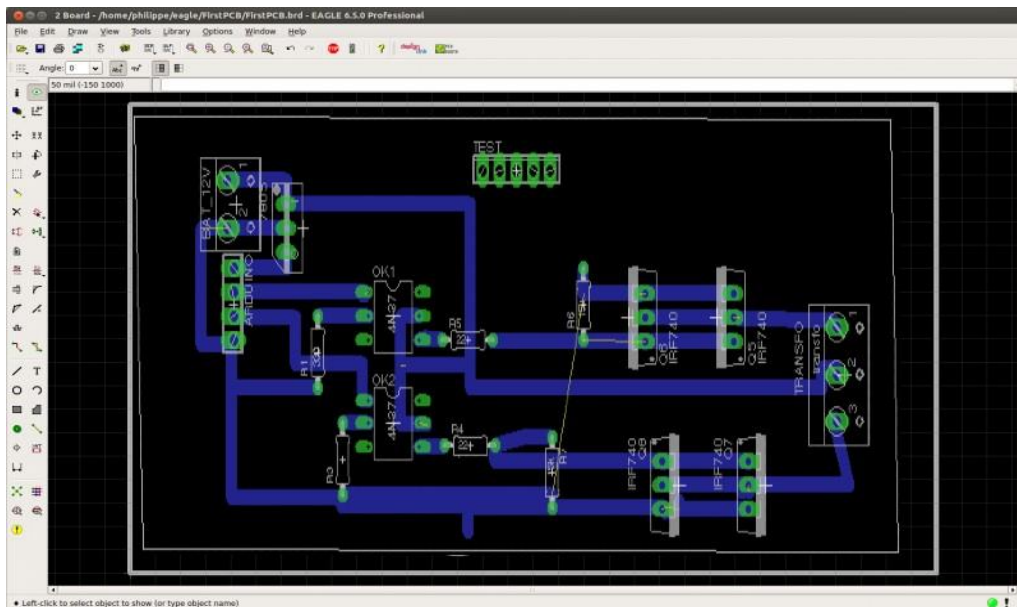


Figure : L'interface du logiciel EAGLE

5. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les outils et les logiciels utilisés pour notre travail de l'onduleur et en utilisant le logiciel ISIS Proteus pour la conception puis l'Arduino IDE pour le développement de la commande SPWM et nous avons terminé par le logiciel Eagle pour la conception et le routage du circuit de puissance.

CHAPITRE 3 :

SIMULATION ET

REALISATION D'UN

ONDULEUR

MONOPHASE

III. Simulation et réalisation d'un onduleur monophasé :

3.

Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de générer une sortie de 230 V à une fréquence de 50 Hz à partir d'une source de tension continue de 12 V et nous allons illustrer et expliquer toutes les étapes de la réalisation et tous les résultats de simulations de notre onduleur monophasé commandé par SPWM via une carte Arduino.

4. Simulation de l'onduleur monophasé sous l'environnement Isis Proteus :

Avant de réaliser le test de notre onduleur, nous considérons la simulation comme une étape cruciale pour évaluer le fonctionnement du circuit que nous avons conçu. Pour ce faire, nous avons employé un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) nommé Proteus, qui intègre ISIS.

5. Simulation de l'onduleur monophasé :

Pour les circuits d'onduleur nous avons utilisé la composante MOSFET et nous avons opté pour une autre configuration se présentant comme suit, 100 watts utilisant circuit intégré MOSFET IRF540.

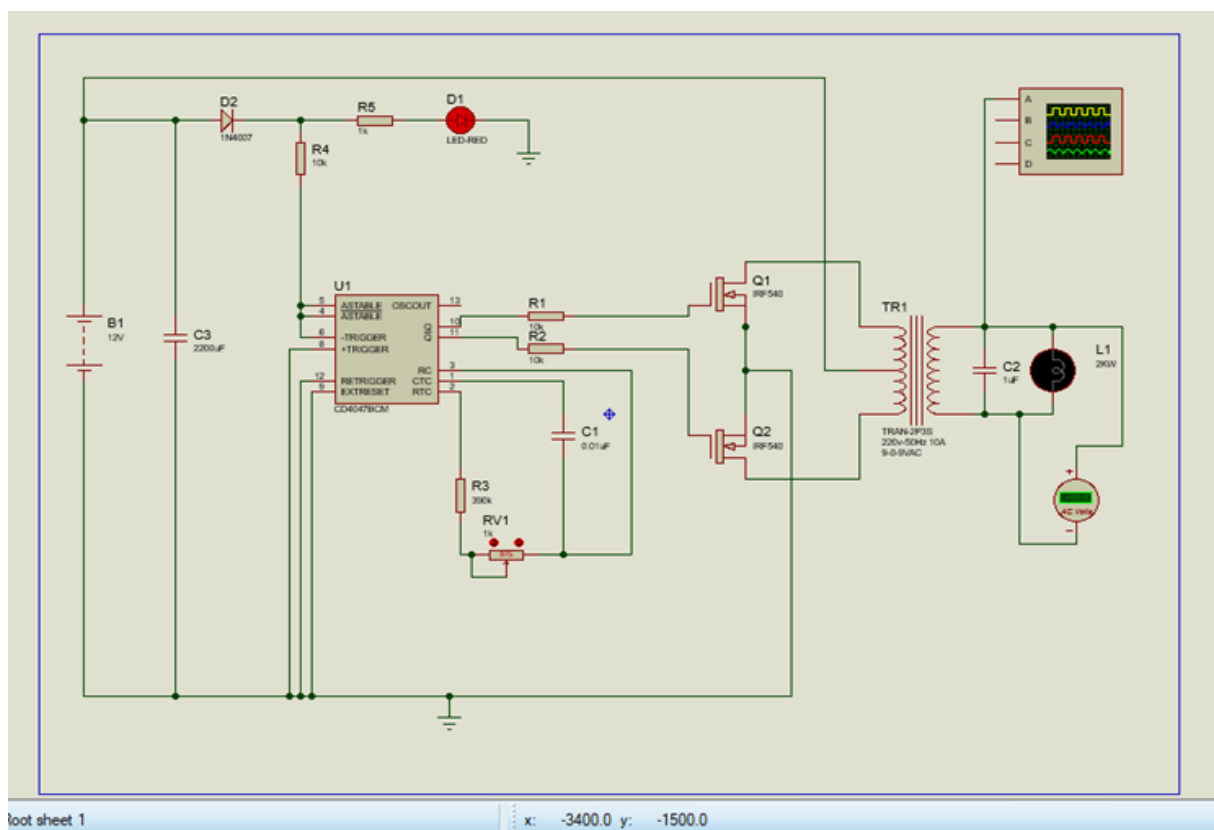


Figure : simulation d'un onduleur monophasé

Pour ce circuit simple nous avons choisis un Transformateur à point milieu de type 9V-0-9V / 220V 10 ampères pour sortie 100 watts La batterie peut être 12V en source continu (DC voltage)

Les transistors MOSFET sont connectés en tant que multivibrateur instable pour générer deux trains d'impulsions de 0,01 s aux broches circuit intégré, déphasés de 180 degrés. Les résistances R3 et R4 empêchent le MOSFET de charger le CI. Lorsque l'une des branches est haute, Q1 est activé et le courant circule dans la moitié supérieure du primaire du transformateur, qui est la moitié positive de la tension alternative de sortie. Lorsque l'autre jambe est haute, Q2 s'allume et le courant circule dans la direction opposée à travers la moitié inférieure du primaire du transformateur, représentant la moitié négative de la tension alternative de sortie.

Après la simulation on a obtenu le signal de la commande des transistors dans la figure ci-dessous :

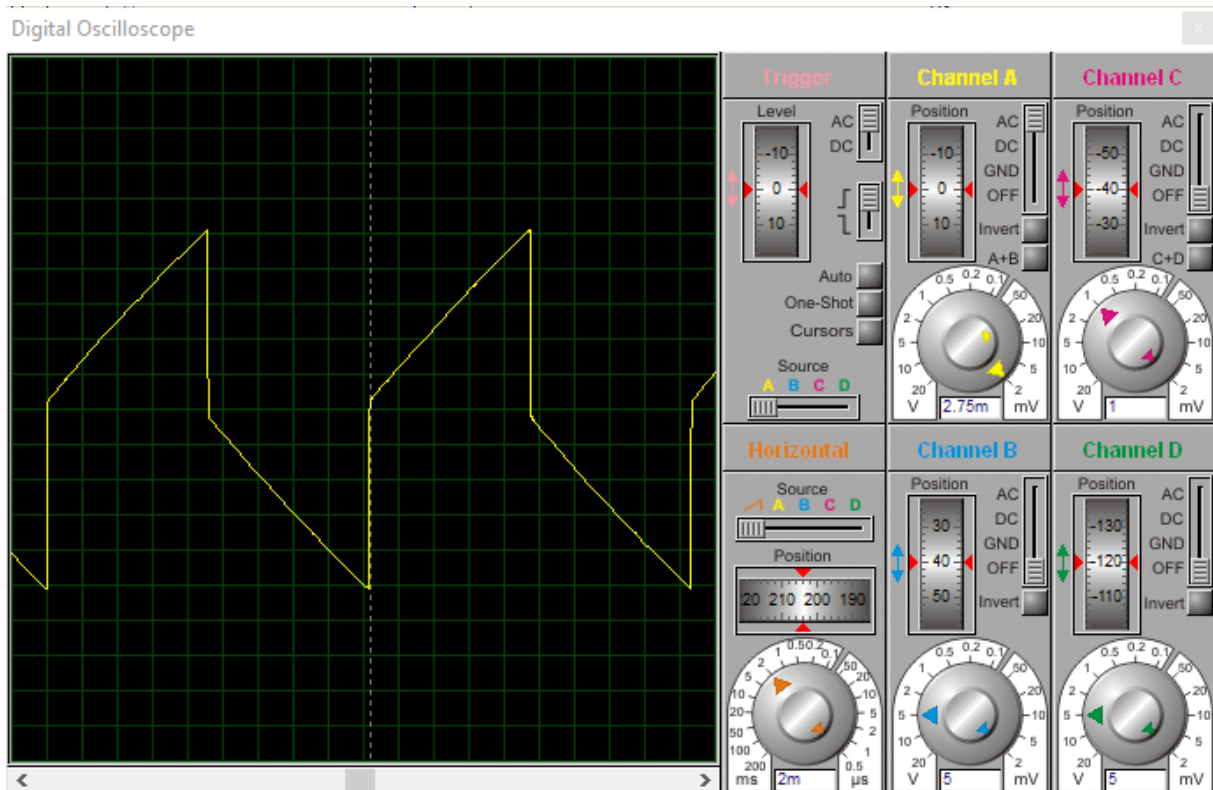


Figure : Résultat du signal de commande

Les résultats montrent que lors de l'utilisation d'un onduleur, l'ondulation est plus proche du signal sinusoïdal souhaité à la sortie et surtout lorsque la source d'alimentation est photovoltaïque ou batterie connectée au réseau.

Donc notre circuit suivant que nous essayons à réaliser est nécessite une commande SPWM pour commander la carte Arduino et donner le résultat le plus efficace.

Mais maintenant, nous allons changer le transformateur à point milieu de type

12V-0-12V/220V, Nous allons utiliser :

- 4 transistors MOSFET de type IRFZ44N.
- Deux optocoupleurs (4N37)
- Des résistances et une lampe
- Une batterie 12V de type DC voltage
- Une carte ARDUINO UNO à la version 2

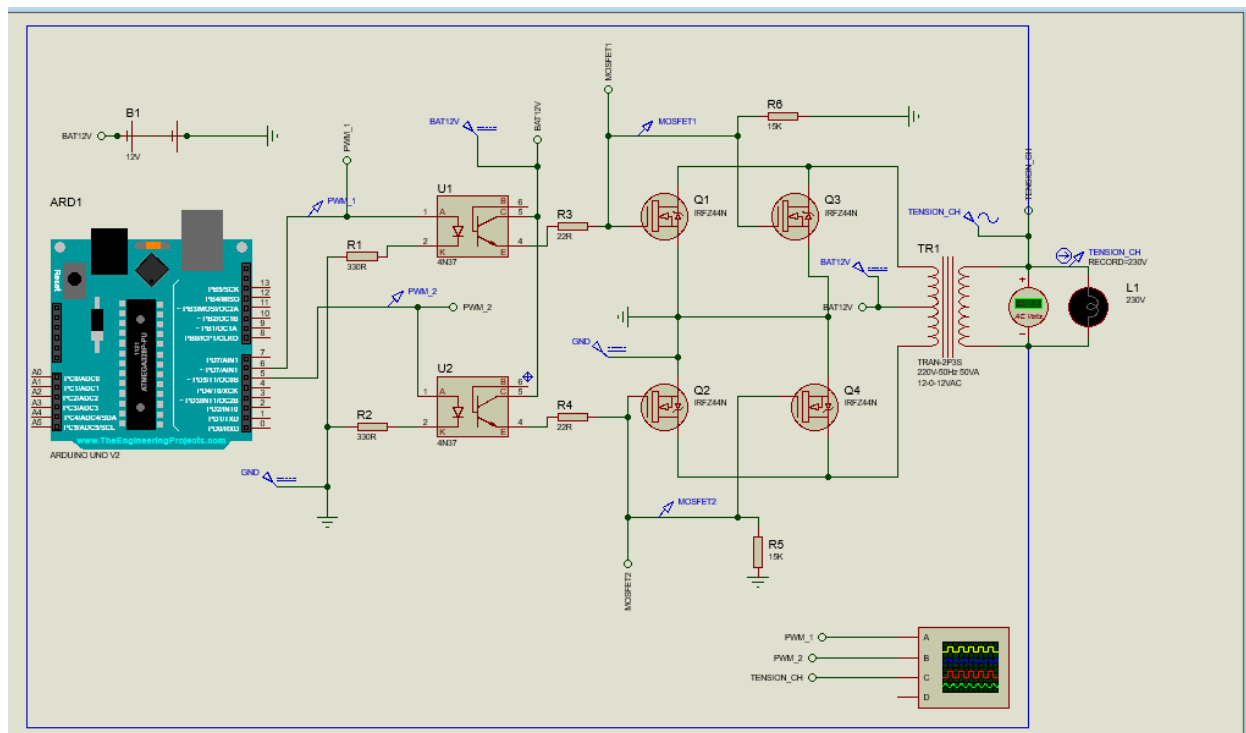


Figure : Simulation d'un onduleur monophasé avec ARDUINO commandé par SPWM

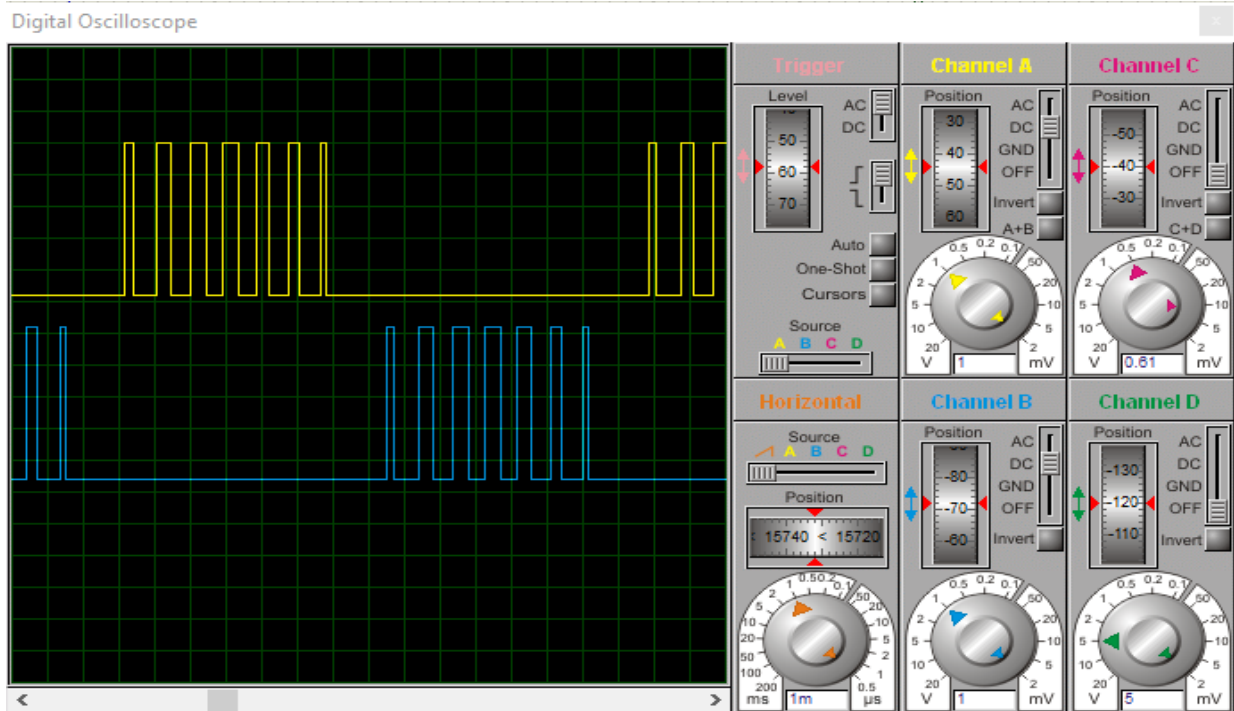


Figure : Résultat des signaux de commande

b. La réalisation de l'onduleur monophasé :

Cette méthode utilise notre logiciel EAGLE, qui représente un outil d'édition et de routage supplémentaire. Lorsque des schémas électriques sont réalisés sur ISIS, nous pouvons directement les importer sur EAGLE pour réaliser le PCB (Printed Circuit Board) de la carte électronique. Bien que l'édition du PCB soit plus efficace une fois que sa réalisation est manuelle. Le logiciel peut placer des composants et les router manière automatique et facile

i. La réalisation d'un circuit de puissance :

Cette étape est dédiée à la réalisation de circuits électroniques dans le logiciel Eagle, nécessitant une bonne sélection des composants.

Le résultat final de cette réalisation est donné dans la figure ci-dessous :

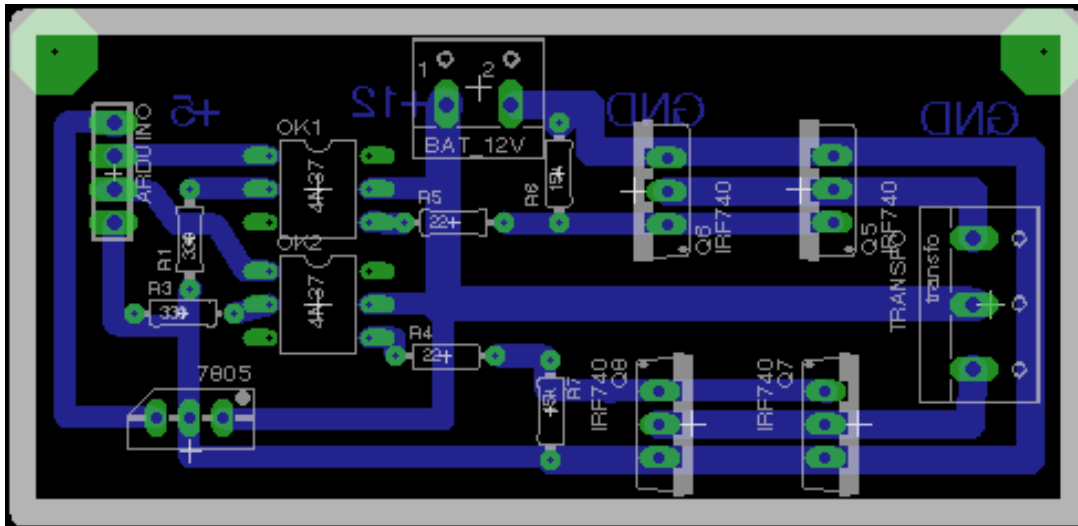


Figure : Circuit de commande sous Eagle

6. Conclusion :

Nous avons présenté à travers ce chapitre, la simulation d'un onduleur monophasé 2KW qui capable de transformer le courant continu de 12V en une tension alternative de 220V/50Hz. Les résultats de la simulation correspondent aux résultats obtenus lors de la mise en pratique de notre onduleur monophasé, Cette concordance nous permet de confirmer que notre onduleur fonctionne correctement.

CONCLUSION

GENERALE

IV. CONCLUSION GENERALE

V.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une conception d'un onduleur monophasé 2KW commandé par une commande pour générer une tension alternative à la sortie de 220V à partir d'une source de 12V

Dans un premier lieu, une étude bibliographique a permis de rappeler les théories sur le principe de fonctionnement des onduleurs monophasés et leurs applications et surtout leurs commandes. En second lieu, nous avons consacré notre travail au développement de la commande SPWM sur ARDUINO en donnant les détails des logiciels utilisés pour ce projet jusqu'à la réalisation. Au dernier lieu, nous avons passé à la modélisation et la simulation des caractéristiques onduleur/batterie, avec ISIS/PROTEUS puis le même travail mais sous l'action de la commande SPWM en donnant les résultats de circuit de puissance sous Eagle pour terminer par un test et valider notre onduleur en bonne fonctionnement

L'élaboration de ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances au niveau de la modélisation et de la simulation des systèmes de conversion d'énergie dans le domaine d'électronique de puissance et d'améliorer le fonctionnement des onduleurs monophasés avec commande PWM à l'aide de cartes ARDUINO.