

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF- M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° : CE-0



DOMAINE : SCIENCE TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTROTECHNIQUE

OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Mastère Académique

Par :DJEICHE Aicha
BENABDELKRIM Meriem

Intitulé

Réalisation, Sur Plaque D'essai, D'un Onduleur Monophasé En Demi
Pont A IGBT

Soutenu devant le jury composé de:

GHADHBANE Ismail	MCA	Président	Université Mohamed Boudiaf-M'sila
OUAGUENI Fayssal	MAA	Examineur	Université Mohamed Boudiaf-M'sila
BOUZIDI Riad	MCB	Rapporteur	Université Mohamed Boudiaf-M'sila

Année universitaire : 2019/2020



Dédicaces

A nos très chers parents, source de vie et d'amour

A nos chers frères et sœurs, source de joie et de bonheur

A toute la famille, source d'espoir

A toute nos amis, source de motivation

Remerciement

Avant d'aborder le vif du sujet, nous tenons à remercier vivement :

Le Dieu pour Tout-Puissant, qui nous a permis d'achever ce modeste travail.

Monsieur BOUZIDI Riad pour tout le soutien et l'encadrement qu'il nous a donné.

Le corps enseignant administratif de la faculté des sciences de technologie.

Nous tenons à remercier également tous ceux qui nous ont aidés de près et de loin pour l'élaboration de ce mémoire.

A tous ceux dont le soutien nous a été utile et nécessaire, nous disons : Merci beaucoup.

SOMMAIRE	I
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES SYMBOLES	V
INTRODUCTION GENERALE.....	01
CHAPITRE 1: Généralités sur les onduleurs monophasés	
1. 1. Introduction.....	03
1. 2. Les interrupteurs semi-conducteurs.....	03
1. 2. 1. La diode	03
1. 2. 2. Le thyristor	04
1. 2. 3. Le transistor.....	04
a. Transistors bipolaires BJT (Bipolaire Junction Transistor)...	05
b. Transistors MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).....	05
c. IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).....	05
1. 3. Choix des interrupteurs.....	06
1. 4. Définition de l'onduleur	07
1. 5. Classification des onduleurs.....	07
1. 5. 1. Selon la réversibilité.....	08
1. 5. 1. 1. Onduleur non autonome.....	08
1. 5. 1. 2. Onduleur autonome.....	08
1. 5. 2. Selon la nature de l'alimentation.....	08
1. 5. 2. 1. Onduleur de tension.....	08
1. 5. 2. 2. Onduleur de courant.....	08
1. 5. 3. Selon la nature de la charge	09
1. 5. 3. 1. L'onduleur monophasé en demi –Pont.....	09
a. Schéma de principe.....	09
b. Principe de fonctionnement.....	09
1. 5. 3. 2. L'onduleur monophasé en pont.....	10
a. Schéma de principe.....	10
b. Principe de fonctionnement.....	11

1. 6 Stratégies de commande	11
1. 6. 1. Commande pleine onde.....	12
1. 6. 2. Commande décalée.....	13
1. 6. 3. MLI (sinus-triangle).....	13
1. 6. 4. La MLI vectorielle.....	14
1. 7. Les applications des onduleurs.....	
1. 8. Conclusion.....	14
Chapitre 02 : Réalisation d'un onduleur monophasé en demi pont	15
2. 1. Introduction.....	16
1. 2. Description générale du montage	16
2. 2. 1. Micro-ordinateur avec logiciels de programmation.....	17
2. 2. 2 Alimentations DC.....	17
2. 2. 3. Appareils de mesure.....	17
2. 2. 4. Moteur asynchrone monophasé	17
2. 2. 5. L'onduleur monophasé réalisé.....	18
a. Circuit de commande.....	18
b. Circuit de puissance	19
2. 3. Le kit de développement STM32f407	20
2. 3. 1. Caractéristique du kit de développement	20
2. 4. Génération des signaux MLI	21
2. 5. Résultats expérimentaux.....	27
2. 5. 1. Première expérience	27
2. 5. 2. Deuxième expérience.....	29
2. 6. Conclusion.....	31
CONCLUSION GENERALE	32
REFERENCES	
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. 1 : La diode.....4

Fig. 1. 2 : Structure d'un Thyristor.....4

Fig. 1. 3: Structure d'un transistor5

Fig. 1. 4: : Le transistor IGBT6

Fig. 1. 5: choix des composants selon la puissance et la fréquence.....6

Fig. 1. 6: Onduleur monophasé: (a) Symbole, (b) structure de montage d'un onduleur en pont.
.....7

Fig. 1. 7 : Onduleur de tension.....8

Fig. 1. 8 : Onduleur de courant.....9

Fig. 1. 9 : Schéma de principe d'un onduleur en demi-point.....9

Fig. 1. 10 : L'allure de la tension à la borne de la charge10

Fig. 1. 11 : Schéma de principe d'un onduleur en pont.....10

Fig. 1.12 : L'allure de la tension à la borne de la charge.....11

Fig. 1.13 : le principe de commande d'un bras d'onduleur.....12

Fig. 1.14 : Commande pleine onde.....13

Fig. 1.15 : la commande décalée.....13

Fig. 1.16 : la commande MLI sinus-triangle.....14

Fig. 2. 1 : Montage global de la réalisation16

Fig. 2. 2 : Moteur asynchrone monophasé17

Fig. 2. 3 : Circuit de commande sur plaque d'essai18

Fig. 2. 4 : Schéma de circuit de commande19

Fig. 2. 5 : Module d'IGBT 2MBI75N120.....20

LISTE DES FIGURES

Fig. 2. 6 : Circuit équivalent du 2MBI75N120.....	20
Fig. 2. 7 : Kit de développement STM32F407.....	20
Fig. 2. 8: Schéma block du programme MLI sur Matlab	22
Fig. 2. 9: Configuration du bloc MLI	23
Fig. 2. 10: Visualisation des signaux de références	24
Fig. 2. 11: Génération du code C	24
Fig. 2. 12: Compilation et connexion avec la carte de développement	25
Fig. 2. 13: Exécution du programme	25
Fig. 2. 14: Les signaux de commande	26
Fig. 2. 15 : Signal de commande.....	27
Fig. 2.16 : Tension de charge	28
Fig. 2.17 : Courant de charge.....	28
Fig. 2.18 : Signal de commande.....	30
Fig. 2. 19 : Tension et courant de charge.....	30

LISTE DES TABLEAUX

Tab I.1. L'état des interrupteur Q1 et Q2.....	10
Tab I.2. L'état des interrupteur Q1, Q2, Q3 et Q4.....	11

SYMBOLES

MLI	: Modulation de largeur d'impulsion
P	: Anode
N	: Cathode
BJT	: Bipolaire Junction Transistor
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor
T	: Transistor de puissance
D	: Diodes de puissance
Q	: Transistor avec une diode antiparallèle
E	: Tension continue
U_c	: Tension de la charge.
I_c	: Courant de la charge
V_{CES}	: Tension collecteur-émetteur
V_{CES}	: Tension de grille-émetteur
I_c	: Courant de collecteur, continu
P_c	: Dissipation maximale de puissance
T_j	: Température de fonctionnement

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'électronique de puissance, ou plus correctement « électronique de conversion d'énergie », a moins de 50 ans. Elle a connu un tel essor qu'aujourd'hui près de 15 % de l'énergie électrique produite est convertie sous une forme ou une autre. Au cours de ces années, la taille, le poids et le coût des convertisseurs n'ont fait que diminuer, en grande partie grâce aux progrès faits dans le domaine des interrupteurs électroniques.[13]

C'est une électronique de commutation : elle tire parti du fait qu'un interrupteur parfait fermé (résistance nulle, tension aux bornes nulle) ou ouvert (résistance infinie, courant traversant nul) ne dissipe aucune énergie, donc ne présente aucune perte. Lorsqu'il est associé à des éléments de filtrage passifs et purement réactifs (c'est-à-dire sans aucune résistance interne), il permet théoriquement de modifier la tension et/ou le courant sans perte, donc de réaliser une conversion de tension ou de courant en conservant l'énergie.[14]

Ce but est atteint en découpant la tension et/ou le courant à très haute fréquence (par rapport à la fréquence d'entrée ou de sortie du convertisseur) et en lissant le résultat obtenu pour en extraire la valeur moyenne. En pratique, on doit s'attendre à des pertes de l'ordre de 2 à 10 % dues à l'imperfection des éléments physiques qui le constituent. Ces pertes raisonnables justifient l'essor de ce type d'électronique dans les systèmes à haute puissance, puisqu'elles permettent une évacuation de la chaleur générée sans recourir à des moyens extrêmes et coûteux. Progressivement, l'électronique de puissance s'est imposée dans tous les domaines où les pertes doivent rester faibles pour limiter l'échauffement, comme dans les ordinateurs, et où le rendement doit être élevé pour préserver la source d'énergie, comme dans les systèmes alimentés par batteries (GSM, GPS, ordinateurs portables...).

Rappelons qu'un convertisseur de puissance de rendement unitaire (sans pertes) ne peut être constitué que d'interrupteurs idéaux et de dipôles purement réactifs donc sans la moindre résistance parasite : condensateurs et inductances. Les dipôles réactifs sont des éléments de stockage d'énergie dont la taille (et donc le coût) est inversement proportionnelle à la fréquence de fonctionnement [14].

En plus des applications traditionnelles de l'électronique de puissance comme la traction électrique et les entraînements industriels, il est apparu de nouveaux domaines d'application :

La gestion du réseau de distribution :

- FACTS : Systèmes de Transmission Flexible en Courant Alternatif,

- Filtrage actif et amélioration du facteur de puissance,
- HVDC : Transmission en courant continu HTA.

L'électroménager :

- Variateurs de vitesses.
- Alimentations à découpage,
- Plaques de cuisson à induction.

Les appareils portables (caméscopes, ordinateurs, etc.) :

- Chargeurs d'accumulateurs intelligents,

L'automobile : très forte augmentation de l'utilisation de l'énergie électrique dans les automobiles actuelles et en perspective .

La plupart de nos applications électriques actuelles fonctionnent en courant alternatif. Le premier rôle d'un onduleur sera d'assurer cette transformation. Mais son rôle ne s'arrête pas là. Il doit permettre en plus : La variation de la fréquence de la tension de sortie (variateur de fréquence), ainsi que son amplitude.

Pour cela l'objectif de notre travail est la réalisation d'un onduleur monophasé en demi pont sur une plaque d'essai et l'utilisation de ce dernier pour alimenter un moteur asynchrone monophasé avec des tension de fréquences différentes. Le travail sera divisé en deux parties : Une partie théorique présente des généralités sur les onduleurs monophasés, leurs applications, et leurs techniques de commande. Et une partie pratique explique la méthode de réalisation de cet onduleur sur une plaque d'essai et son test pour piloter un moteur asynchrone monophasé.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES ONDULEURS MONOPHASES

1.1 INTRODUCTION

Le grand développement des semi-conducteurs a conduit à une véritable révolution dans les convertisseurs statiques de l'électronique de puissance tels que les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs ... etc. Ils sont également présent dans la plupart des appareils électriques modernes tels que les variateurs de vitesse, les alimentations sans interruption, les filtres, ... etc.

Les onduleurs sont l'un des éléments importants des convertisseurs statiques de l'électroniques de puissance, car elles convertissent la puissance continue en puissance alternative, garantissant ainsi à la charge un courant et une tension sinusoïdales.

Pour cela, nous allons consacrer ce chapitre à la présentation des généralités sur les onduleurs, leurs principes de fonctionnement, leurs types et leurs applications. Ensuite, nous parlerons des deux types de l'onduleur monophasé, en plus, les différentes techniques de contrôle tels que le contrôle symétrique, le contrôle décalé et enfin le contrôle par la modulation de largeur d'impulsion MLI.

1. 2. LES INTERRUPTEURS SEMI-CONDUCTEURS

Le principe des convertisseurs consiste à faire commuter des courants entre mailles adjacentes, ce qui nécessite l'emploi de composants permettant de réaliser la fonction interrupteur. Idéalement, l'interrupteur fermé aura une tension pratiquement nulle alors que le courant sera fixé par le reste du dispositif. En revanche, l'interrupteur ouvert aura une tension imposée par l'extérieur à ses bornes, mais ne sera traversé par aucun courant.

Les éléments semi-conducteurs de puissance peuvent être classés selon leurs possibilités de commande. Pour les éléments les plus utilisés, on peut définir trois classes de semi-conducteurs de puissance :

- Eléments non commandables (diodes)
- Elément commandables à la fermeture (thyristors)
- Eléments commandables à la fermeture et à l'ouverture (transistors bipolaires, transistors MOS, IGBT, GTO).

Actuellement, les interrupteurs électroniques les plus utilisés sont les diodes, les thyristors, les thyristors GTO, les transistors bipolaires, MOSFET, et IGBT.

1. 2. 1. La diode :

La diode est un semi-conducteur non contrôlé comportant deux régions P (anode) et N (cathode) (figure (1.1)) et qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens, de l'anode vers la cathode. Elle conduit quand l'anode a une tension supérieure à celle de la cathode : elle se comporte alors comme un

interrupteur fermé. Elle bloque le courant et se comporte comme un interrupteur ouvert, si la tension d'anode devient moins positive que celle de la cathode [01].

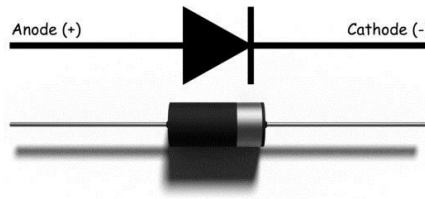


Figure (1.1): La diode.

1. 2. 2. Le thyristor :

Le thyristor est un interrupteur statique, unidirectionnel en courant (c'est-à-dire qu'il ne peut conduire un courant notable que dans un sens), bidirectionnel en tension (il peut supporter une tension de signe quelconque), commandé à la fermeture (figure (1.2)). Il peut commander la conduction (comme la diode), le thyristor possède une anode et une cathode, mais il possède une troisième électrode appelée gâchette. La gâchette permet de retarder la conduction du thyristor. Le thyristor est commandable qu'à la fermeture et l'ouverture s'effectue lors de la disparition du courant direct [02,03].

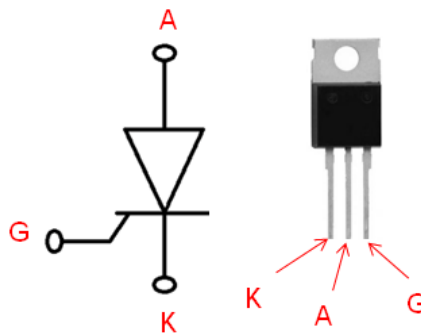


Figure (1.2): Structure d'un Thyristor.

Pour amorcer, un thyristor on doit appliquer :

- Une tension plus positive à l'anode qu'à la cathode.
- Un train d'impulsions sur la gâchette.

1. 2. 3. Le transistor :

Le transistor est un composant totalement commandé à la fermeture et à l'ouverture, il est constitué de deux jonctions, placées en série, très proches l'une de l'autre et de polarités opposées. Il est utilisé en électronique de puissance en régime de commutation, c'est-à-dire en état saturé ou en

état bloqué. Il s'agit d'un interrupteur qui conduit lorsqu'on injecte un courant de base positif et qui est bloqué lorsque le courant de base est nul [02]. On distingue le transistor NPN et le transistor PNP comme nous montre la figure (1.3) :

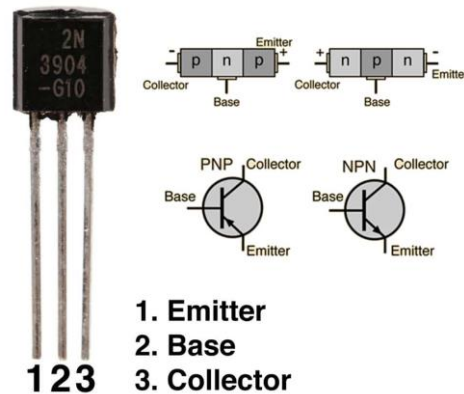


Figure (1.3) : Structure d'un transistor.

Il existe plusieurs types des transistors [04]:

a. Transistors bipolaires BJT (Bipolaire Junction Transistor) :

Il est utilisés dans les applications allant jusqu'à plusieurs centaines de kilowatts et à des fréquences allant jusqu'à 10 kHz.

b. Transistors MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor):

Ces derniers ont permis d'obtenir des fréquences de commutations très élevées voisines de 1MHz, avec une commande en tension qui nécessite une énergie pratiquement négligeable.

c. IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor):

Le transistor IGBT est l'un des composants de puissance le plus utilisé actuellement. Sa structure associe en sortie celle d'un transistor bipolaire BJT et celle d'un MOSFET en entrée. Donc l'IGBT regroupe les avantages en conduction du transistor bipolaire BJT, et les avantages en commutation et simplicité de commande du transistor MOSFET Figure (1.4).

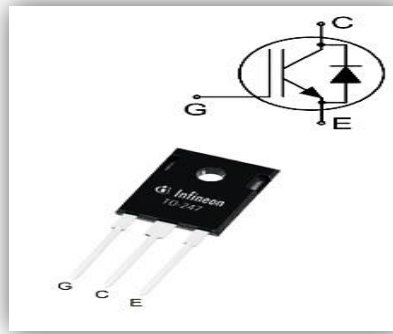


Figure (1.4) : Le transistor IGBT.

1. 3. CHOIX DES INTERRUPTEURS

Les composants de l'électronique de puissances (interrupteurs) sont déterminés par les niveaux de la puissance et la fréquence de commutation. En règle générale, plus les composants sont rapides, plus la puissance commutée est faible et inversement. À titre indicatif, les transistors MOSFET sont considérés comme des composants très rapides, mais de puissance relativement faible.

Les transistors bipolaires sont moins rapides que les transistors MOSFET mais davantage plus puissants (quelques kHz à une dizaine de kW). Les transistors IGBT sont des composants de gamme standard (jusqu'à 20 kHz à une des dizaines de kW). Les thyristors GTO commutent très lentement les grandes puissances. Ces composants sus indiqués sont du type commandables à l'ouverture et à la fermeture; ce qui n'est pas le cas pour le thyristor classique Figure (1.5).

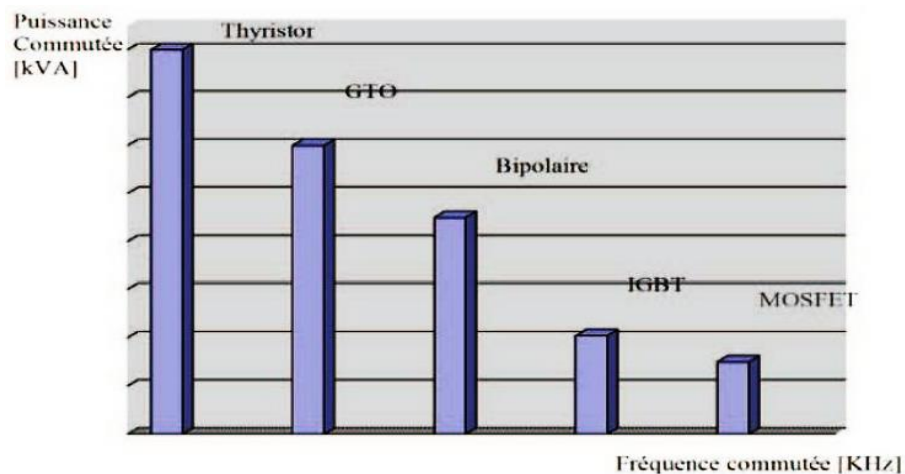


Figure (1.5) : choix des composants selon la puissance et la fréquence.

1. 4. DEFINITION DE L'ONDULEUR

L'onduleur est un convertisseur statique permettant de fabriquer un échange d'énergie entre une source de tension continue fournie par une batterie ou un redresseur, et une source de tension alternative pour alimenter des charges en courant alternatif figure(I.6 (a)). Cette fonction est schématisée sur la figure (I.6 (b)). La forte évolution de cette fonction s'est appuyée, d'une part sur le développement des composant à semi-conducteur entièrement commandables, puissants et robuste et rapides, et d'autre part, sur l'utilisation quasi-généralisée des technique dites de modulation de largeur d'impulsion, ainsi que le progrès réalisé dans le domaine de la micro-informatique [05].

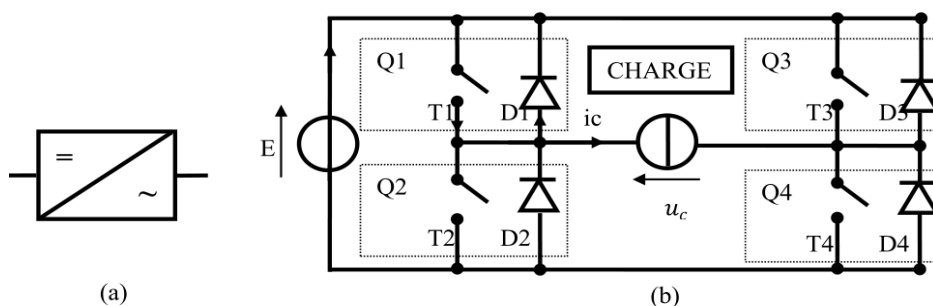


Figure (1.6) : Onduleur monophasé: (a) Symbole, (b) structure de montage d'un onduleur en pont.

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.

E : Tension continue.

u_c, i_c : La tension et le courant de la charge.

La figure (1.6) rappelle le schéma symbolique de l'onduleur et le montage d'un onduleur en pont complet. Le montage contient, 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.

1. 5. CLASSIFICATION DES ONDULEURS

Il existe plusieurs classifications des onduleurs. Nous citerons quelque une :

1. 5. 1. Selon la réversibilité :

1. 5. 1. 1. Onduleur non autonome :

Un onduleur non autonome est un montage redresseur tout thyristors (pont Grattez) qui, en commutation naturelle assisté par le réseau auquel il est raccordé, permet un fonctionnement en onduleur. Les thyristors sont commandés juste à la fermeture et la commutation est "naturelle" contrairement à l'onduleur autonome. L'application principale de ce type d'onduleur se trouve dans les variateurs pour moteurs alternatifs de très forte puissance [06].

1. 5. 1. 2. Onduleur autonome :

Un onduleur est dit autonome s'il utilise l'énergie d'un circuit auxiliaire propre a lui pour la commutation des interrupteurs dans ce cas nous commandons la fréquence, la forme d'onde de la tension de sortie. On distingue deux types[07]:

- ✚ Les onduleurs de tension alimentée par une source de tension continue.
- ✚ Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continue.

On peut aussi classer les onduleurs selon la nature du signal de sortie (monophasé, triphasé...) et la forme du montage symétrique des interrupteurs de puissance. (à pont complet et en demi pont).

1. 5. 2. Selon la nature de l'alimentation :

1. 5. 2. 1. Onduleur de tension :

On dit onduleur de tension, un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue.

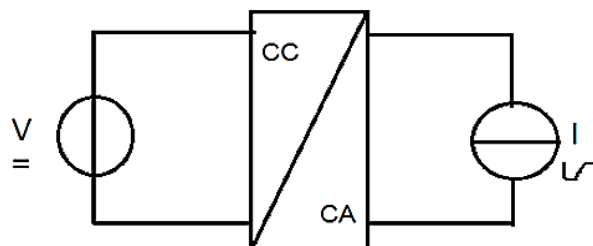


Figure (1.7) : Onduleur de tension.

La nature de la source continue impose la nature du récepteur alternatif. Puisque la plupart de nos applications électriques actuelles fonctionnent en courant alternatif, l'utilisation d'un onduleur de tension est alors nécessaire.

1. 5. 2. 2. Onduleur de courant :

C'est un onduleur qui est alimenté par une source de courant continu. Par contre dans cet onduleur le courant est imposé par la source et la tension alternative dépendre de la charge.

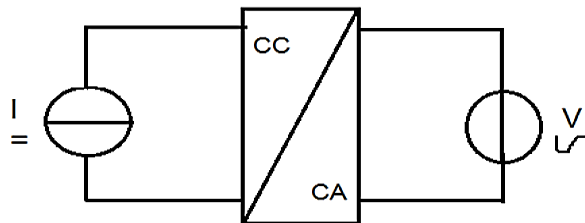


Figure (I.8) : Onduleur de courant.

1. 5. 3. Selon la nature de la charge :

On trouve généralement deux formes : onduleur monophasé et triphasé.

Il existe deux types aussi de l'onduleur monophasé : en demi pont et en pont.

1. 5. 3. 1. L'onduleur monophasé en demi pont:

a. Schéma de principe :

Il est donné par la figure suivante :

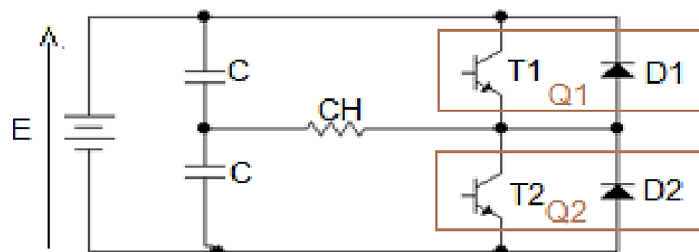


Figure (I.9) : Schéma de principe d'un onduleur en demi pont.

b. Principe de fonctionnement :

Le montage se compose de deux interrupteurs de puissance notés Q1 et Q2 à commande complémentaire (figure (1.10)).

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

$$U_{ch} = R \cdot i(t) = +\frac{E}{2} \tag{I.1}$$

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

$$U_{ch} = R \cdot i(t) = -\frac{E}{2} \tag{I.2}$$

Q1	Q2	Q1	Interrupteur fermé
Q2	Q1	Q2	Interrupteur ouvert

Tab (1.1): L'état des interrupteur Q1 et Q2

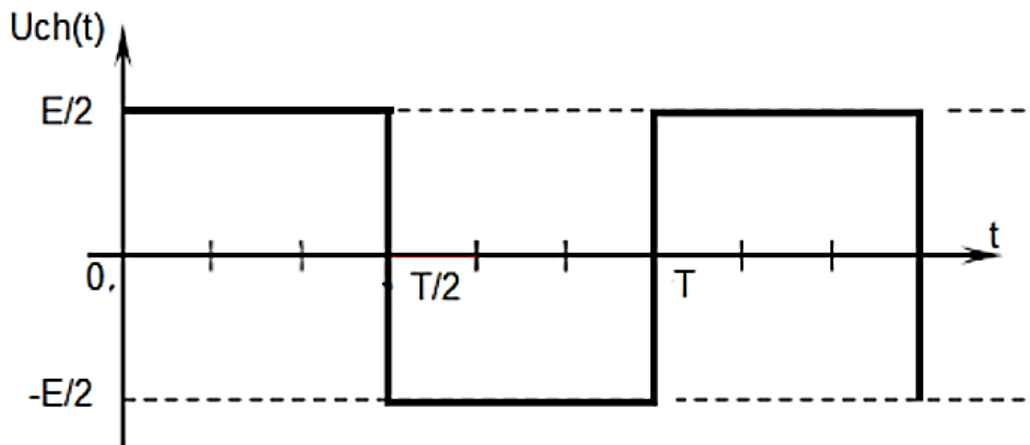


Figure (1.10) : L'allure de la tension à la borne de la charge.

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.

1. 5.3.2. L'onduleur monophasé en pont

a. Schéma de principe :

Il est donné par la figure suivante :

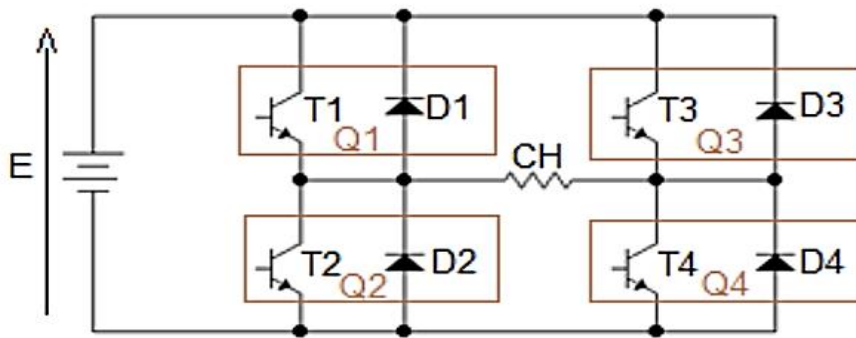


Figure (1.11) : Schéma de principe d'un onduleur en pont.

b. Principe de fonctionnement :

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

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

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

$$U_{ch} = R \cdot i(t) = +E \quad (I.3)$$

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

$$U_{ch} = R \cdot i(t) = -E \quad (I.4)$$

La figure (1.12) montre les intervalles de conductions des interrupteurs pour un onduleur en pont.

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

Tab (1.2) : L'état des interrupteur Q1, Q2, Q3 et Q4.

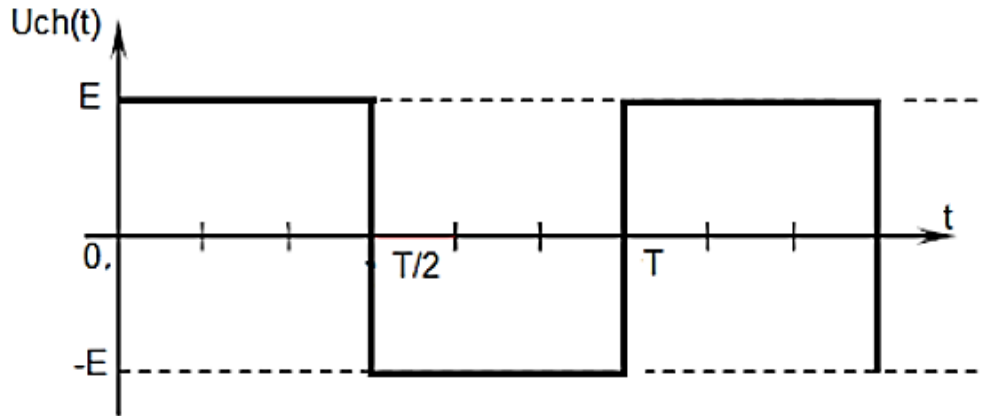


Figure (1.12) : L'allure de la tension à la borne de la charge.

1.6 STRATEGIES DE COMMANDE :

On peut, à présent, envisager les différentes commandes possibles pour un onduleur de tension monophasée. Le principe de commande d'un onduleur monophasée présenté sur la figure (1.13) valable pour un bras de commutation.

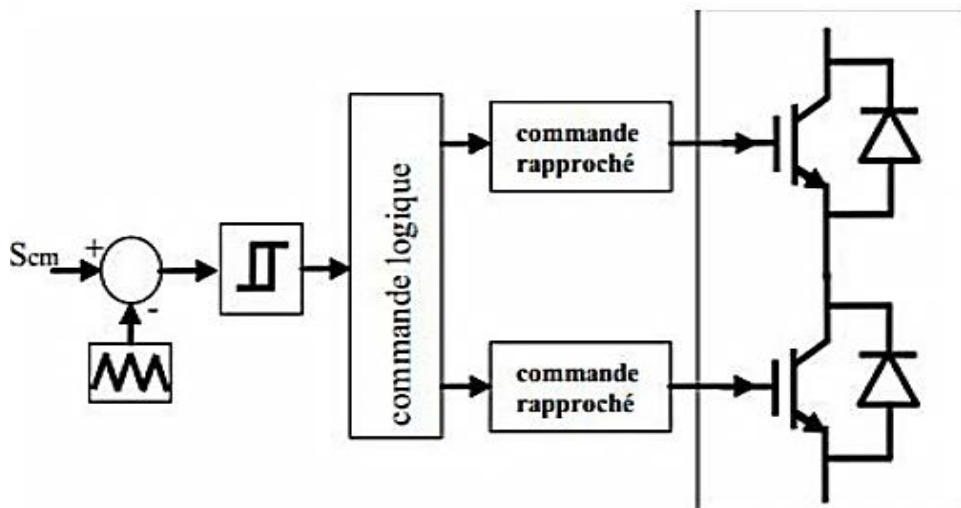


Figure (1.13) : le principe de commande d'un bras d'onduleur.

Le principe de la commande est de comparer un signal de modulation à un signal de type «triangle» ou « dent de scie » notée S_p appelée la porteuse. Le résultat de cette comparaison crée un signal de commande pour les gâchettes des interrupteurs(MOSFET) d'une façon

complémentaire. Dans ce cas, doit donc être selon toute logique de doubler la chose pour obtenir la commande de deux bras de commutation. La commande décrite ici est sous sa forme la plus complexe, dans la mesure où les deux bras de commutations du convertisseur peuvent être commandés de manière indépendante. Quand bien même la porteuse est identique pour les deux bras, deux signaux de commandes indépendants sont générés pour commander les deux bras. Pour un onduleur de tension monophasée, on distingue principalement deux types de modulation:

- ✓ Les modulations à rapport cyclique fixe (plaine onde, décalée), où le rapport cyclique de chacune des cellules de commutation est maintenu constant.
- ✓ Les modulations de largeur d'impulsion (MLI), où le rapport cyclique est variable, sinusoidalement pour un grand nombre d'applications .

1. 6. 1. Commande pleine onde

Les commandes sont déduites de la comparaison entre le signal constant S_c et de porteuse S_p Figure(1.14 (a)), Le résultat de cette comparaison donne un signal de commande S_{cm} Figure (1.14 (b)).

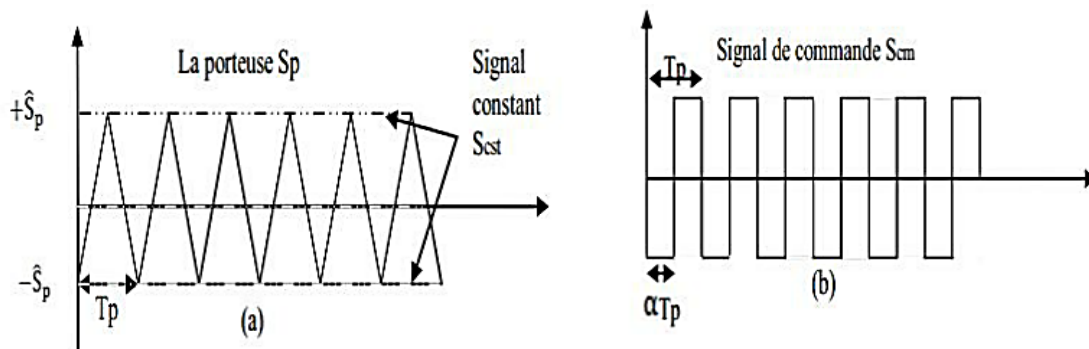


Figure (1.14) : Commande pleine onde.

Tout croisement des signaux de S_{cst} avec la porteuse S_{ps} traduit par un changement de l'état des interrupteurs du bras de commutation.

$S_{cst} \geq S_p$ l'interrupteur Q1 amorcé, Q2 bloqué. $S_{cst} \leq S_p$ l'interrupteur Q2 amorcé, Q1 bloqué.

On donne la tension de la charge u_c a pour valeur moyenne :

$$U_{cmoy} = T [E\alpha T - E (1 - \alpha) T] = (2\alpha - 1) E$$

Où : α est le rapport cyclique.

1. 6. 2. Commande décalée

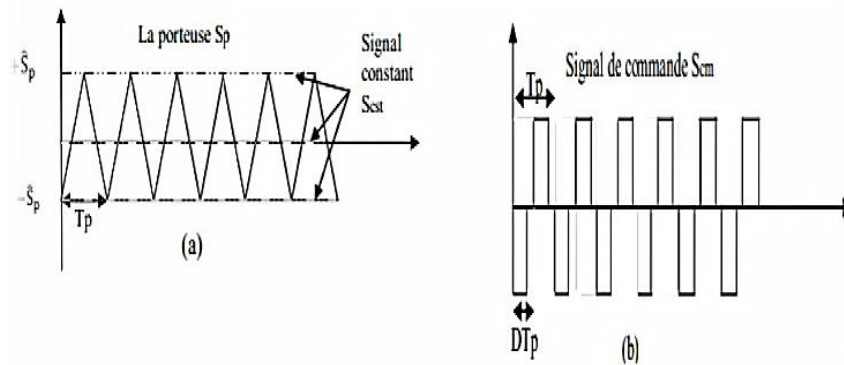


Figure (1.15) : la commande décalée.

Avec cette technique de commande, chaque interrupteur fonctionne pendant une période toute telle sorte que on obtient une tension aux bornes de la charge de trois niveaux comme dans la figure (1.15).

1. 6. 3. MLI (sinus-triangle)

Les commandes sont déduites de la comparaison entre le signal variable S_{var} (sinusoïdal d'amplitude variable et de fréquence f qui détermine la fréquence de la tension de sortie) et de porteuse S_p (triangulaire d'amplitude fixe et de fréquence très élevée).Le résultat est un chronogramme de commande S_{cm} (figure (1.16)). 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) [8, 9].Pour notre projet, on va faire cette technique de commande en la générant par la carte STM32F407, comme on expliquera dans le chapitre suivant.

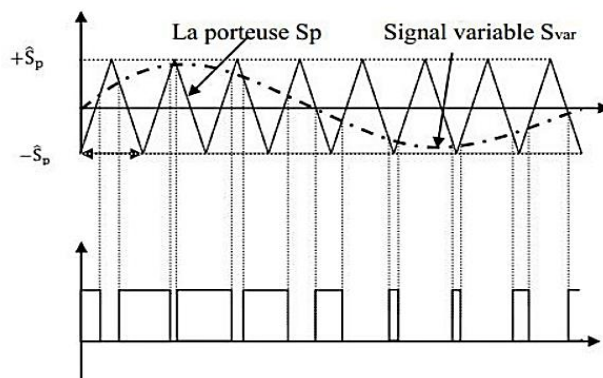


Figure (1.16) : la commande MLI sinus-triangle.

1. 6. 4. La MLI vectorielle

L'utilisation des techniques numériques permet le recours à des stratégies de modulation triphasée spécifiques, non déduites des techniques analogiques initialement conçues en monophasé. Parmi ces techniques numériques on trouve la modulation vectorielle (SpaceVector Modulation), qui représente la méthode de modulation ou de commande la plus adoptée au contrôle des machines à courant alternatif beaucoup plus les machines asynchrones.

En effet, contrairement à la modulation sinusoïdale, la MLI vectorielle ne s'appuie pas sur des calculs séparés des modulations pour chacun des bras de l'onduleur. Mais elle traite les signaux directement dans le plan diphasé de la transformée de Concordia. Donc le principe de base de cette modulation consiste à reconstruire le vecteur de tension de sortie de l'onduleur à partir des huit vecteurs de tension correspondant aux huit états possibles de l'onduleur de tension.

1.7. LES APPLICATIONS DES ONDULEURS

Les nombreux domaines a entraîné une utilisation accrue des onduleurs, on trouve principalement Les onduleurs à fréquence fixe à commutation forcée alimentés directement à partir du réseau à travers un redresseur avec filtrage, soit à partir d'une batterie d'accumulateur, ils constituent à ce titre [06, 07].

1. 8. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une définition générale sur les onduleurs, sa constitution physique élémentaire, son fonctionnement, et leurs applications. Nous avons présenté également l'onduleur monophasé, pour les deux types, en demi pont et en pont, son schéma de principe et son principe de fonctionnement . Ensuite plusieurs techniques de commande sont montrées tel que la commande symétrique, la commande décalée et la commande par modulation de largeur d'impulsion MLI.

Cette dernière présente les meilleurs caractéristiques, car elle repousse les harmoniques vers les hautes fréquences, ce qui facilite leur filtrage.

Dans ce contexte, nous discuterons, au prochain chapitre, la validation expérimentale de cette technique (MLI) pour un onduleur monophasé en demi pont, réalisé sur une plaque à essai.

CHAPITRE II

REALISATION D'UN

ONDULEUR MONOPHASE

EN DEMI PONT

2. 1. INTRODUCTION

L'objectif principal de ce chapitre est la réalisation d'un onduleur monophasé en demi pont. Ainsi que son utilisation pour commander un moteur asynchrone monophasé. Cette réalisation est fait sur une plaque d'essai.

Nous présenterons au début, le montage nécessaire au processus de la réalisation. Ensuite nous parlerons des principaux éléments constituent le banc d'essai tel que, l'onduleur, le moteur asynchrone monophasé, le kit de développement STM32F40 ...etc. Enfin nous essayerons d'utiliser notre onduleur pour alimenter le moteur asynchrone monophasé avec une tension alternative de fréquence 50 Hz et 100Hz.

2. 2. DESCRIPTION GENERALE DU MONTAGE

Pour alimenter le moteur asynchrone avec une tension alternative de fréquence différente, nous avons utilisé le montage illustré dans la figure (2.1), car il contient:

- ✓ Des alimentations de tension continue.
- ✓ Un ordinateur avec les logiciels de programmation de la carte de développement .
- ✓ L'onduleur monophasé réalisé sur la plaque d'essai basé sur l'IGBT.
- ✓ Le kit de développement STM32F407.
- ✓ Le moteur asynchrone monophasé dont la vitesse doit être contrôlé.

Dans ce qui suit, nous discuterons en détail tous ces éléments.

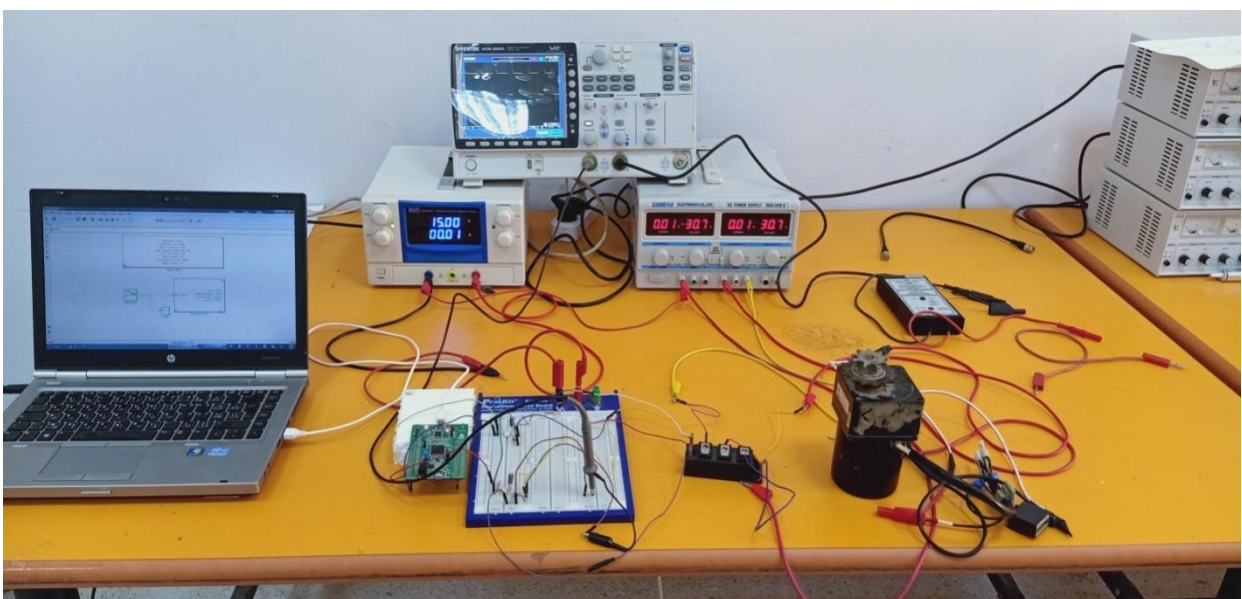


Figure (2.1): Montage global de la réalisation

2. 2. 1. Micro-ordinateur avec logiciels de programmation :

Le kit de développement STM32F407 a besoin d'une plateforme d'informatique pour sa programmation, car elle comprend plusieurs programmes, y compris Matlab et waijung (fig(2.1)). Vous devez donc assurer que ces programmes sont correctement installés sur un ordinateur avec de bonnes caractéristiques, et que l'ordinateur est également connecté à la carte de développement.

2. 2. 2. Alimentations DC :

Nous savons que tout appareil électrique doit être alimenté, c'est pourquoi nous avons attribué plusieurs sources d'alimentation en tension continue (fig(2.1)).

- ❖ Alimentation pour le kit de développement avec tension continue de 5 volts.
- ❖ Alimentation pour les optocoupleurs avec tension continue de 15V.
- ❖ Alimentations de 31.7 V DC représentent l'entrée de l'onduleur monophasé.

2. 2. 3. Appareils de mesure :

La visualisation des signaux de contrôle à haute fréquence nécessite des appareils de mesure de haute précision, nous avons donc utilisé un oscilloscope numérique (fig(2.1)) avec mémoire. Ainsi que les multimètres numériques pour la mesure du courant et de tension.

2. 2. 4. Moteur asynchrone monophasé :

Nous avons utilisé notre onduleur pour alimenter un moteur asynchrone monophasé figure (2.2) dont les caractéristique sont : La tension d'alimentation est : 100V.

- La puissance est : 25Watt. - La fréquence est : 50/60Hz



Figure (2.2) : Le moteur asynchrone monophasé.

2. 2. 5. L'onduleur monophasé réalisé :

Il contient deux circuits fondamentaux, un circuit de commande et un circuit de puissance

a. Circuit de commande :

Ce circuit permet d'assurer l'isolation et l'amplification des signaux de commande. L'isolation galvanique peut être obtenue par un intermédiaire optique : l'optocoupleurs TLP 250 par exemple. L'amorçage du transistor de sortie du composant est saturé lorsque la diode émissive envoie une énergie lumineuse suffisante. Sinon Il est bloqué. Ce montage assure l'isolation électrique de l'ensemble commande-puissance. Ce montage permet aussi l'amplification de tension permettant le blocage et l'amorçage des IGBT de puissance dans des bonnes conditions (de 3.3V vers 15V) [10]. Les Figures 2.3 et 2.4.

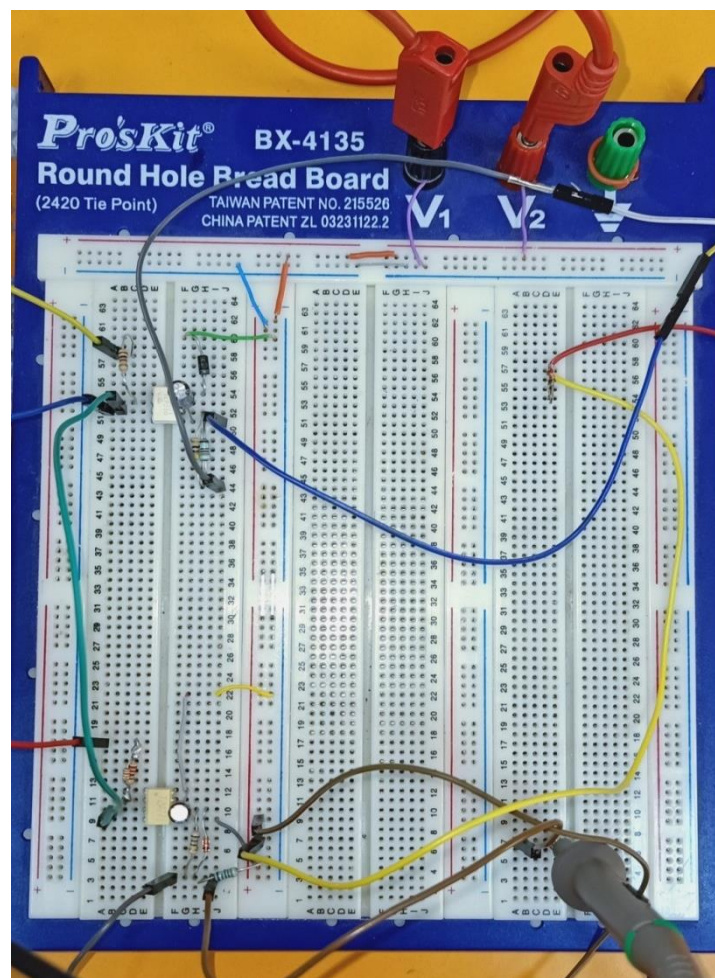


Figure (2.3): Circuit de commande sur plaque d'essai.

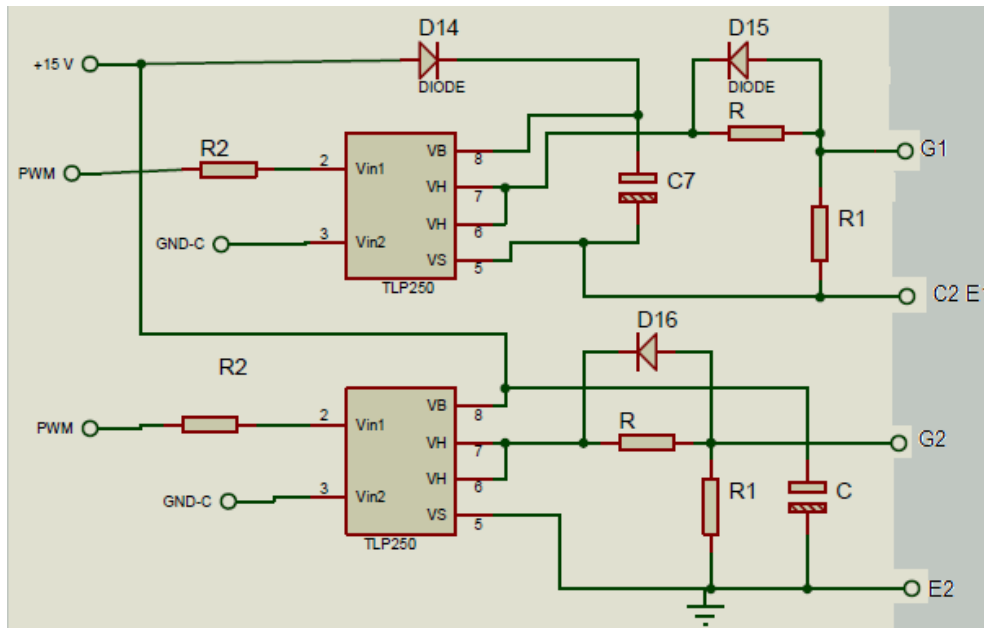


Figure (2.4): Schéma de circuit de commande.

b. Circuit de puissance :

Le 2MBI75N120 (figure (2.5)) est un module IGBT. Il convient à la commutation haute puissance, aux commandes du moteur à courant alternatif, aux commandes du moteur à courant continu et à l'alimentation sans coupure [11]. Ce module contient les paramètres suivants :

- Tension collecteur-émetteur, V_{CES} : 1200 V.
- Tension de grille-émetteur V_{GES} : ± 20 V.
- Courant de collecteur, continu, I_C : 75A; 1 ms, I_C PULSE: 150A.
- Dissipation maximale de puissance, P_C : 600 W.
- Température de fonctionnement, T_j : + 150 °C.

Il présente les caractéristiques suivantes : une basse tension de saturation, moins de dissipation de puissance totale. Son circuit équivalent est donné par la figure (2.6).



Figure (2.5): Module d'IGBT 2MBI75N120.

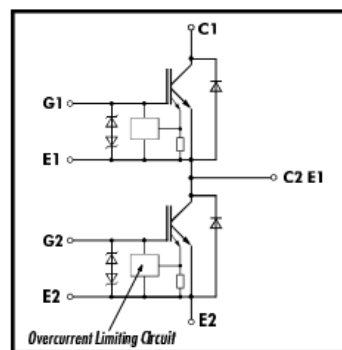


Figure (2.6) : Circuit équivalent du 2MBI75N120.

2. 3. LE KIT DE DEVELOPPEMENT STM32F407

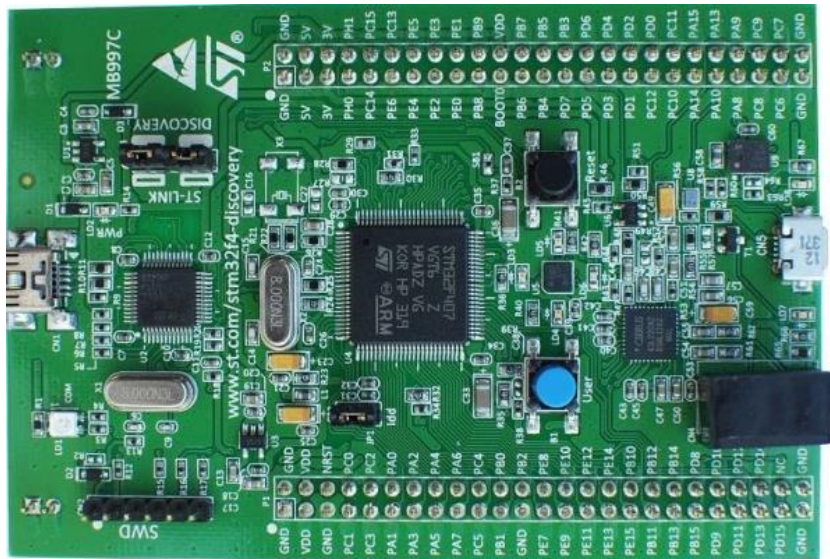


Figure (2.7): Kit de développement STM32F407.

2. 3. 1. Caractéristique du kit de développement :

Il permet aux utilisateurs de développer facilement des applications avec un microcontrôleur haute performance STM32F4 muni d'un processeur ARM Cortex-M4 32bits. Il inclut tout ce qui est nécessaire pour les débutants ou pour les utilisateurs expérimentés pour commencer rapidement à effectuer des développements. Peu coûteux et facile à utiliser, le kit STM32F4 Discovery figure (2.7) aide à découvrir les fonctionnalités haute performance du microcontrôleur STM32F4 et à développer facilement des applications [12].

Le kit STM32F4Discovery offre les caractéristiques suivantes :

- Un microcontrôleur STM32F407VGT6 avec processeur ARM Cortex-M4 32 bits doté de :
- une mémoire Flash de 1 Mo,
- une mémoire vive de 192 Ko,
- Une FPU,
- Un ST-LINK/V2 intégré.
- Alimentation de la carte :
- Par bus USB,
- Par alimentation externe : 3 V ou 5 V.
- Un accéléromètre à 3 axes ST MEMS LIS3DSH,
- Un capteur audio (microphone) digital omnidirectionnel ST MEMS MP45DT02.
- Un DAC audio avec haut-parleur de classe D intégré.

- Huit LEDs :
 - LD1 (rouge/vert) pour la communication USB,
 - LD2 (rouge) pour la mise sous tension 3.3 V,
 - Quatre LEDs Utilisateur : LD3 (orange), LD4 (vert), LD5 (rouge) et LD6 (bleu),
 - 2 LEDs USB OTG (USB On-The-Go) :
 - LD7 (vert) VBUS,
 - LD8 (rouge) surintensité.
 - Deux boutons poussoirs (utilisateur et réinitialisation).
 - Interface USB OTG avec connecteur micro-AB.
- En-têtes d'extension pour les E/S pour une connexion rapide à la carte

2. 4. GENERATION DES SIGNAUX MLI

La commande MLI est utilisée principalement pour pouvoir :

- Repousser les harmoniques de la tension de sortie vers des fréquences élevées, ce qui facilite le filtrage (réalisation plus facile, moins onéreux).
- Permettre le réglage de l'amplitude du fondamental de la tension de sortie.
- Alimenter les machines à courant alternatif par des courants quasi sinusoïdaux.

Pour cet raison , on a utilisé cette technique avec les caractéristiques suivantes :

- ✓ La fréquence de commutation est : 10 KHz La porteuse est de type centré (sans décalage).
- ✓ Le temps mort choisi est : $1\mu s$.

Le processus de génération de signaux de commande de type MLI via le kit de développement passe par plusieurs étapes organisées comme suit:

- Création du programme dans l'environnement Matlab/Simulink permettant de générer les signaux de commande dont la figure (2.8) montre son structure du programme globale.

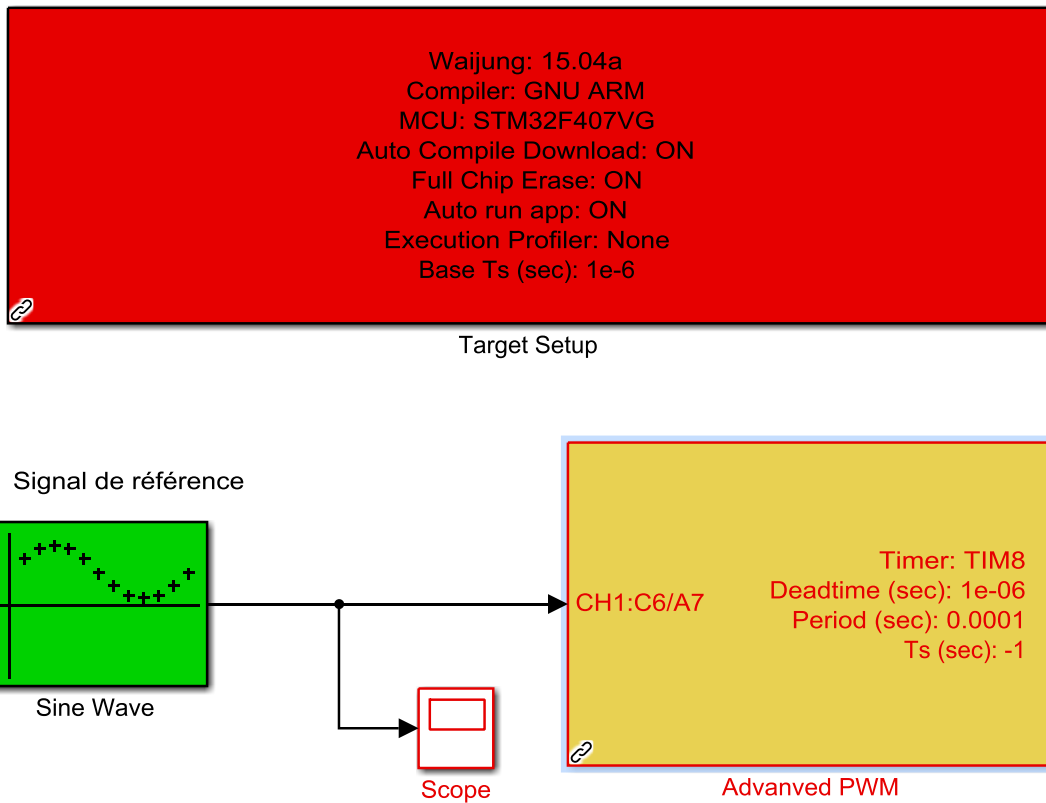


Figure (2.8): Schéma block du programme MLI sur Matlab

- Spécification des principaux paramètres des signaux de commande MLI dans le bloc **Advanced PWM**, (figure 2.9) tels que :
 - La fréquence de commutation
 - Le temps mort
 - Le type de la porteuse
 - Les pins de sorties : TIM1 ou TIM8
 - Le temps d'échantillonnage

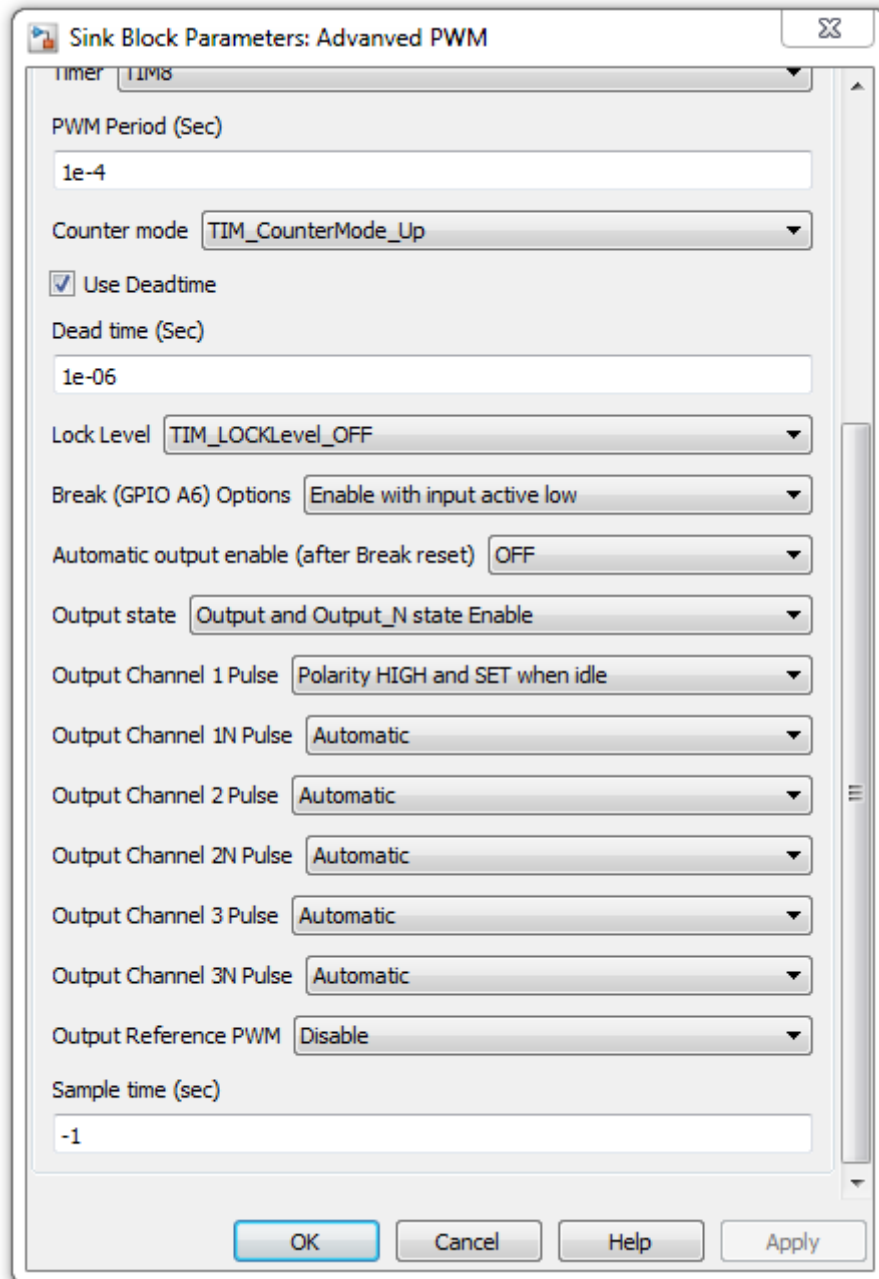


Figure (2.9) : Configuration du bloc MLI

- Visualisation du signaux de référence pour la vérification de l'amplitude et la fréquence imposés (figure 2.10) .

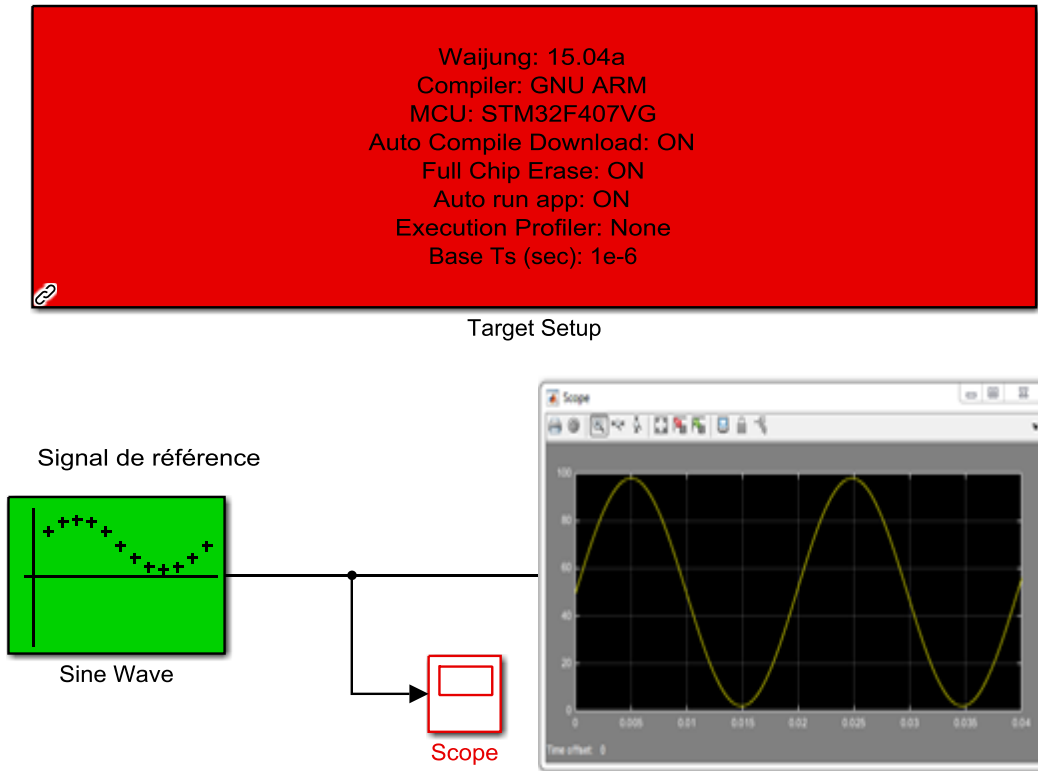


Figure (2.10) : Visualisation des signaux de références

- Génération du code du programme en langage C (figure 2.11)

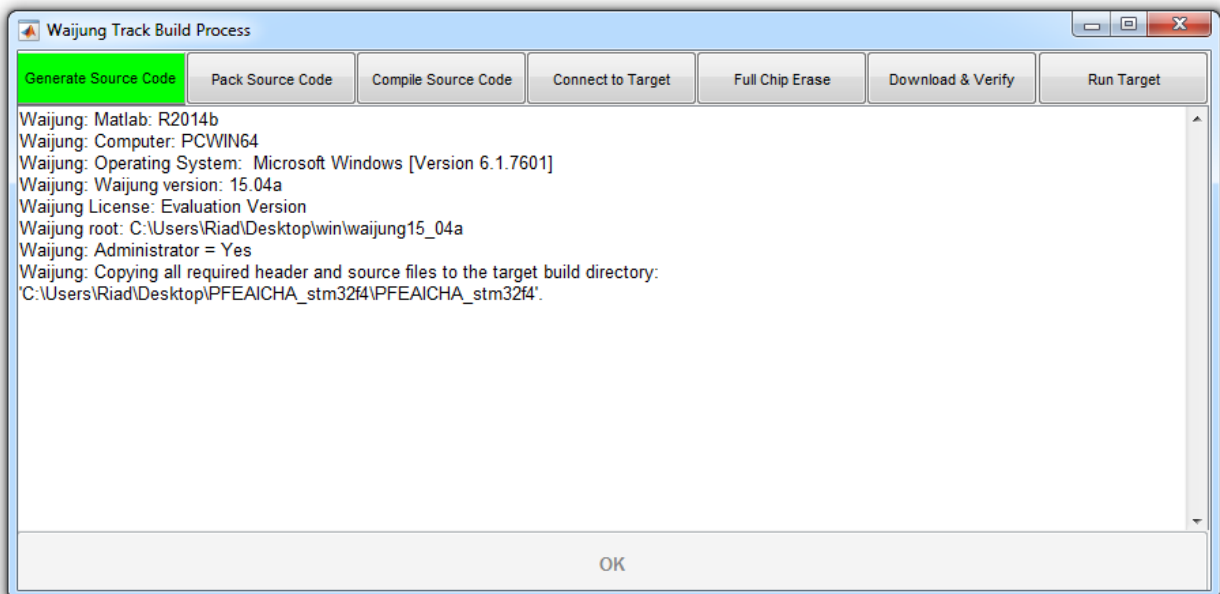


Figure (2.11) : Génération du code C

- Compilation du programme et connexion avec la carte de développement (figure 2.12)

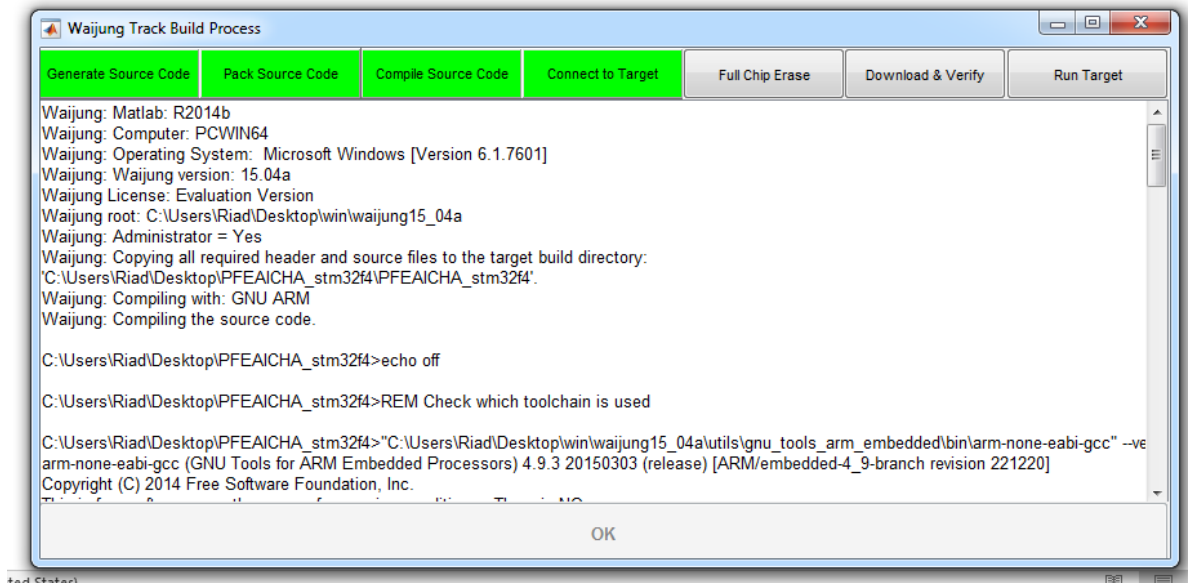


Figure (2.12) : Compilation et connexion avec la carte de développement

- Exécution du programme dans la carte de développement

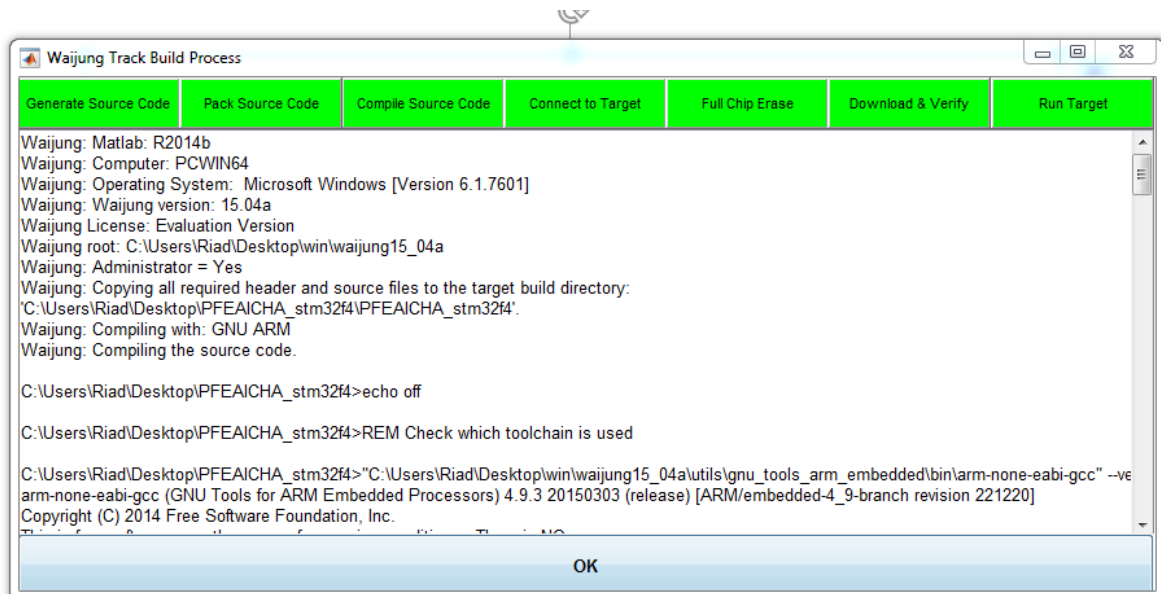


Figure (2.13) : Exécution du programme

- Visualisation des signaux de commande sur un oscilloscope numérique (figure 2.14)

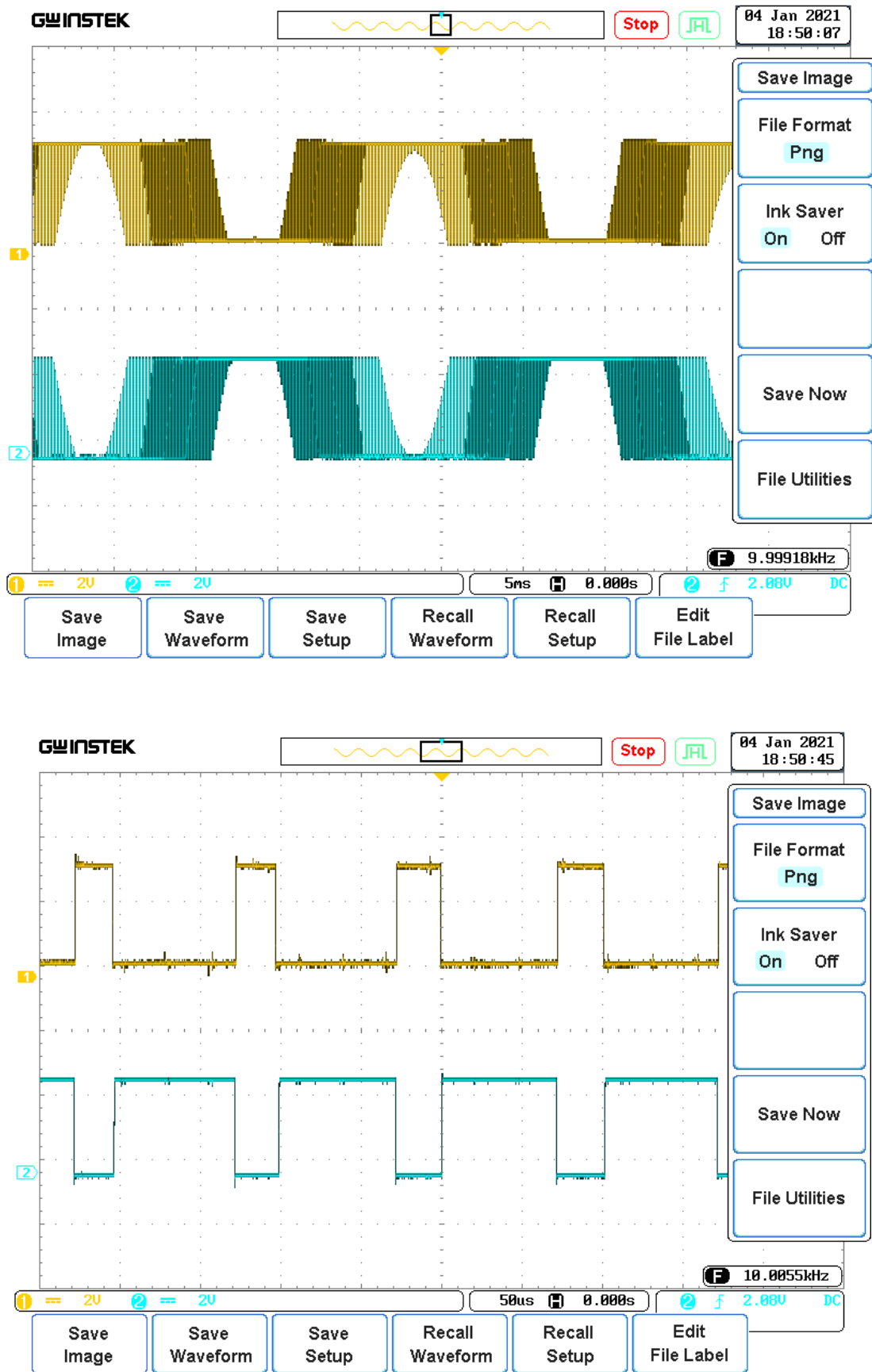


Figure (2.14) : Les signaux de commande

2. 5. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous avons effectué deux expériences, pour tester notre onduleur réalisé. Ce dernier est utilisé pour alimenter un moteur monophasé asynchrone avec des tensions de fréquences différentes.

2. 5. 1. Première expérience :

Le moteur asynchrone monophasé est alimenté par l'onduleur où :

- La tension d'entrée est 30.7 V.
- La fréquence de commutation est 2.5 KHz.
- Le temps mort est : $1\mu s$.
- La fréquence de tension alternative est 50Hz.

Les figures (2.14), (2.15), (2.16) montrent respectivement le signal de commande, la tension et le courant de charge.

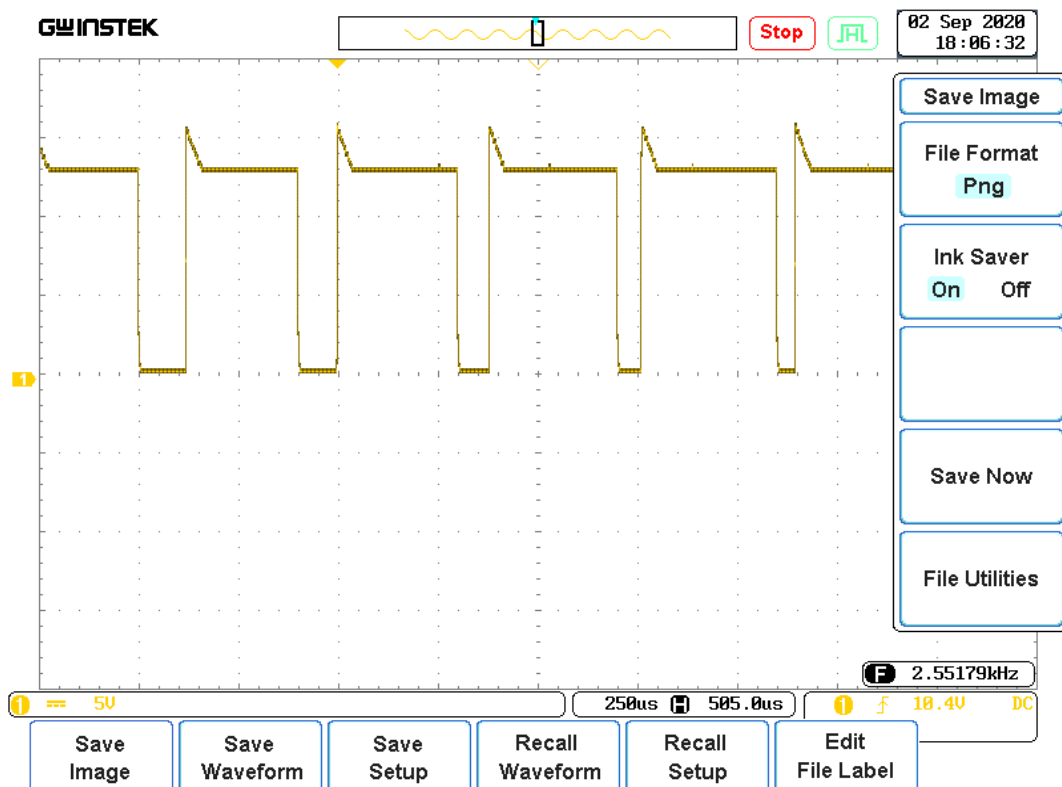


Figure (2.15) :Signal de commande.

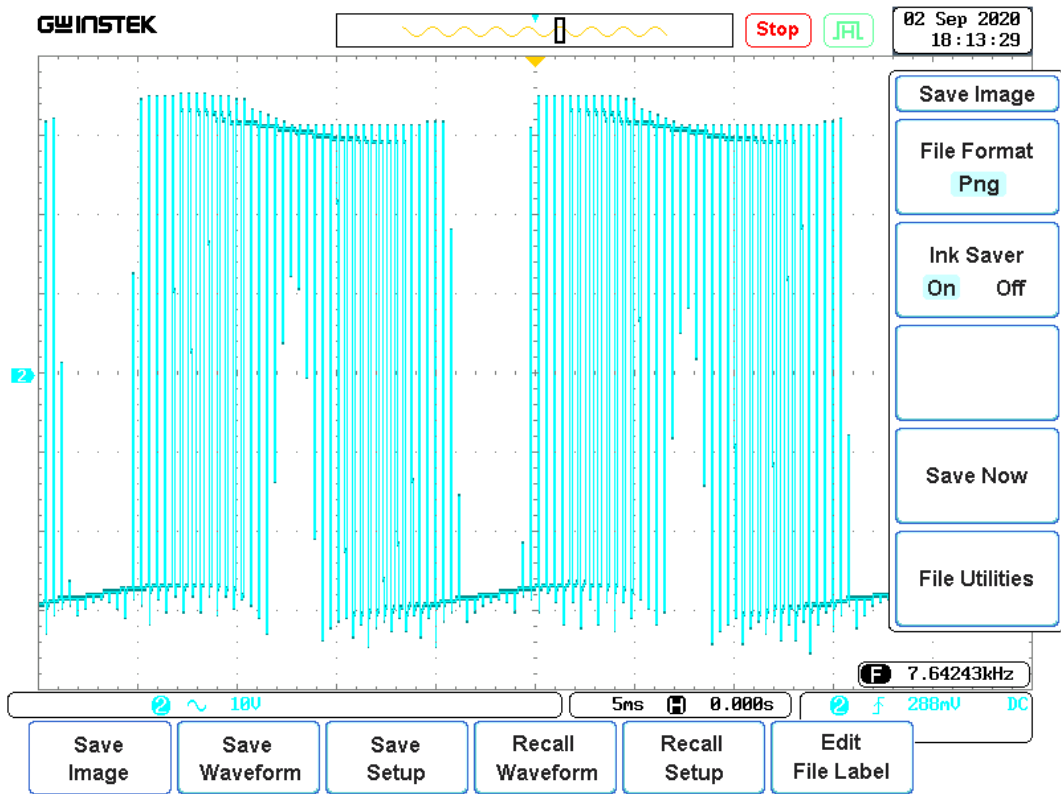


Figure (2.16): Tension de charge.

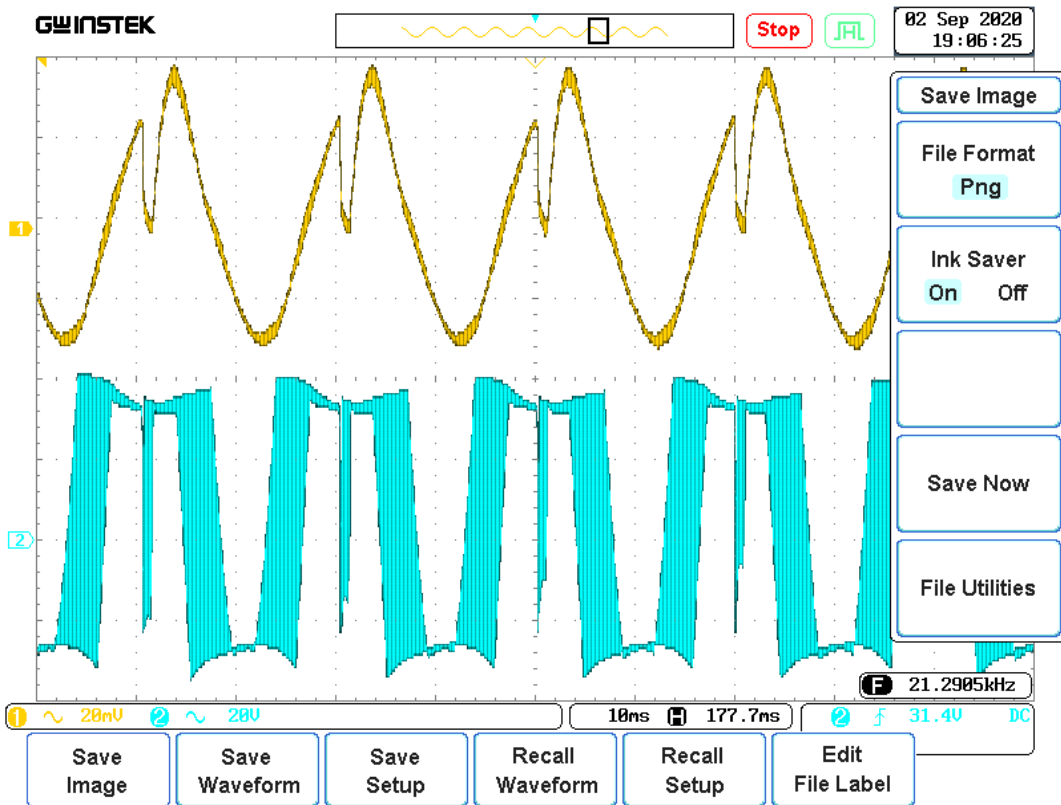


Figure (2.17) : Courant de charge.

❖ Interprétations :

On note que le signal de commande de la première figure (2.9) ont une fréquence d'environ 2.5 KHz et une amplitude d'environ 14 volts suffisante pour amorcer le transistor. On note également une légère distorsion sans effet du signal qui peut être causée par la sonde de mesure.

La deuxième figure (2.10) représente la tension du moteur. Elle est hachée, alternative comprise entre +VDC et -VDC (+30.7 V et -30.7 V). Un simple filtre LC capable de la filtrer et d'obtenir la fondamentale du signal.

Le placement des deux extrémités du moteur monophasé sous la tension précédente, en plus de son caractère inductif, lui a fait absorber un courant sinusoïdal figure (2.11) avec une légère distorsion résultant de la tension qui était imposée.

2. 5. 2. Deuxième expérience :

Le moteur monophasé est alimenté aussi par notre onduleur réalisé dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Tension d'entrée : 30.7 V
- Fréquence de commutation : 10 KHz
- Temps mort : $1\mu s$.
- Fréquence de la tension d'alimentation : 100HZ

Les figures (2.17), (2.18), montrent respectivement le signal de commande, la tension et le courant de charge.

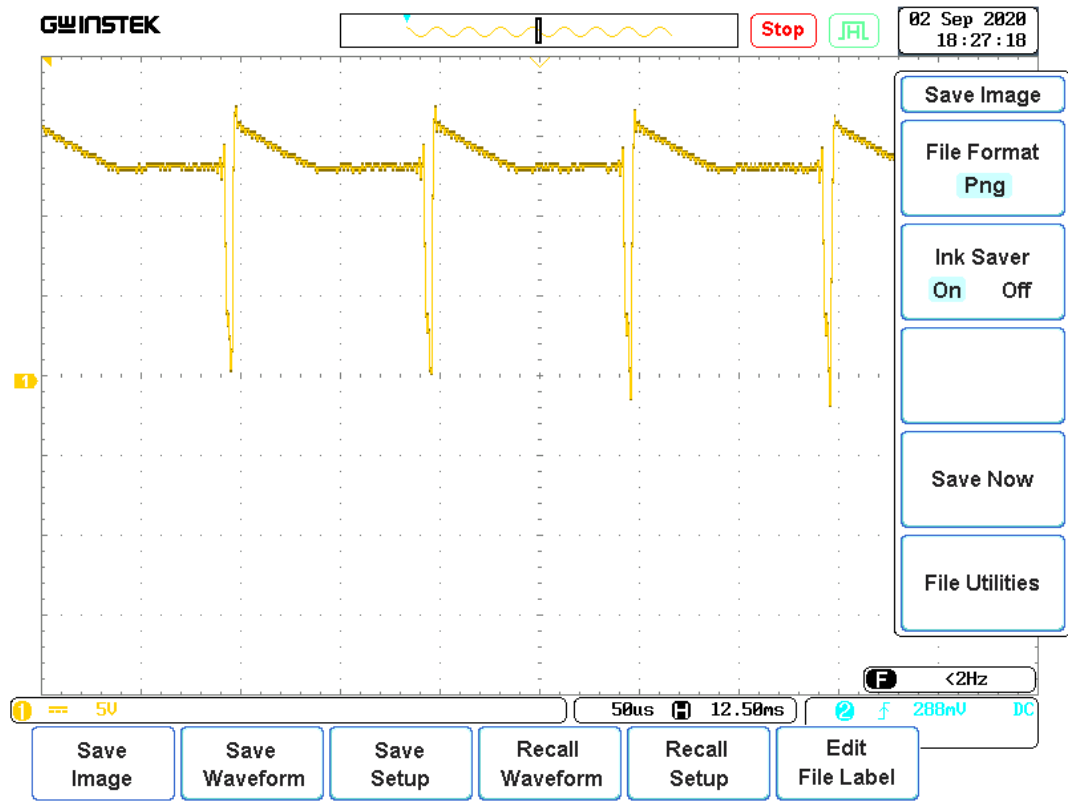


Figure (2.18): Signal de commande.

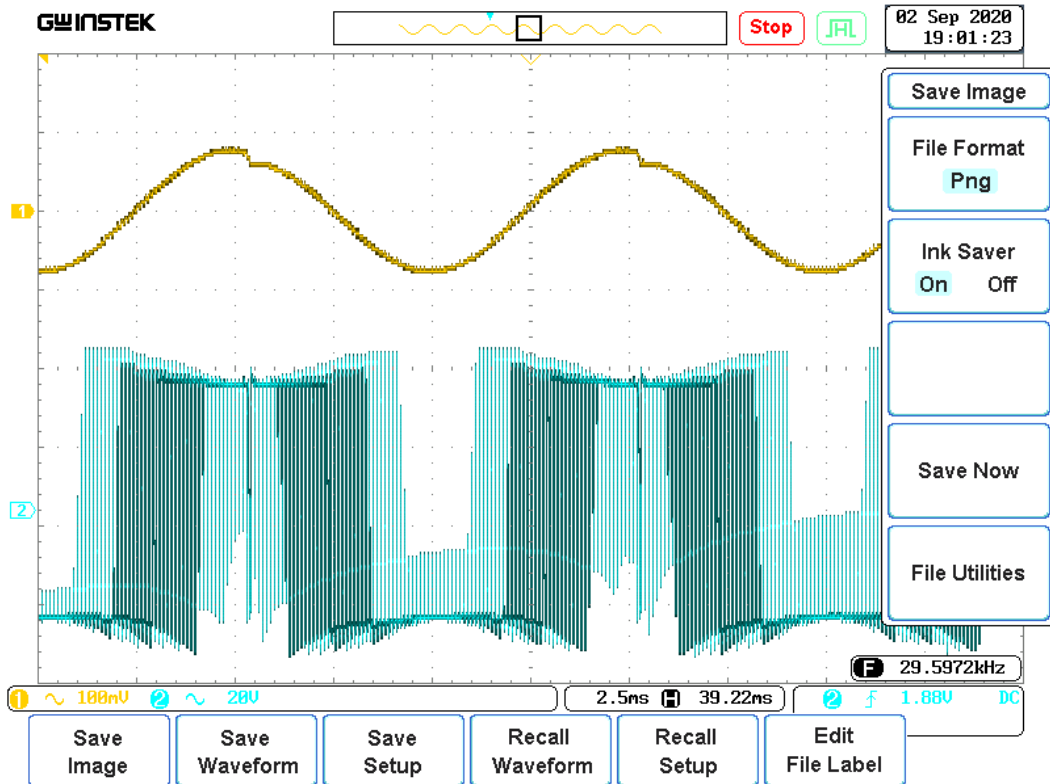


Figure (2.19): Tension et courant de charge.

❖ Interprétations :

Nous avons utilisé un signal de commande de période de commutation 10^{-4} seconde ($f_c = 10\text{KHz}$) figure (2.12) et d'amplitude presque 14 V suffisante pour amorcer l'IGBT.

Notre onduleur monophasé délivre une tension quasi sinusoïdale Figure (2.13) comprise entre +VDC et -VDC, simple à filtrer et de fréquence 100 Hz. Par conséquent le moteur asynchrone absorbe un courant sinusoïdal de même fréquence (100Hz).

2. 6. CONCLUSION

Ce chapitre est réservé à la réalisation d'un onduleur monophasé en demi pont. Nous avons montré au début une description générale pour le banc d'essai, où on a présenté tous les éléments qui le comportent. Ensuite, une étude détaillée a été donnée définir les principaux éléments du banc d'essai tel que l'onduleur réalisé et le kit de développement STM32F407.

Enfin, nous avons fait deux expériences concernant notre onduleur où, on a alimenté un moteur asynchrone monophasé l'onduleur lui-même. La fréquence des tensions d'alimentation est égale à 50 Hz et 100 Hz, les résultats expérimentaux pour les deux cas d'expériences montrent que les tensions d'alimentations sont quasi sinusoïdales, simples à filtrés, et les courants sont sinusoïdaux, ce qui prouve le bon fonctionnement de notre onduleur.

**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce mémoire est la réalisation d'un onduleur monophasé en demi pont et son pilotage par la technique de modulation de largeur d'impulsion MLI, où cette dernière est générée par le kit de développement STM2F407.

Le mémoire est organisé en deux chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons donné une idée générale sur les onduleurs et leur principe de fonctionnement, ensuite nous avons présenté leurs techniques de commandes comme la commande symétrique, la commande décalée, et la commande par la modulation de largeur d'impulsion MLI. La commande MLI est la meilleure technique pour les onduleurs, car elle donne une tension quasi sinusoïdale, simple à filtrer.

La réalisation de l'onduleur monophasé sur une plaque d'essai et son pilotage par la technique précédente générée par le kit de développement STM32F407 sont présentés dans le deuxième chapitre. Les résultats expérimentaux montrent bien la forme de tension et du courant obtenus lors des essais d'alimentation du moteur asynchrone monophasé. Les tensions sont alternatives quasi sinusoïdales simples à filtrer et les courants sont sinusoïdaux au vu des tensions imposées aux bornes du moteur et à l'effet de sa nature inductive.

REFERENCES

- [01] Schneider Electric " Guide des solutions d'automatisme ", livre, 2008.
- [02] M. Pinard, "Convertisseurs et électronique de puissance-Commande, description, mise en œuvre - Applications avec Labview ", Collection : Technique et Ingénierie, Dunod, Parution , avril 2007.
- [03] Y. Bendaha, "Polycopié de travaux pratiques électronique de puissance avec Power Sim", Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf, Oran, Février 2016.
- [04] S. Rezgui, " Commande des machines électriques en environnement MATLAB/ SIMULINK et Temps Réel", Mémoire Magistère, Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [05] K. Shahram " Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage 'FPGA in the loop' application au filtre actif parallèle "Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, Janvier 2009.
- [06] T. Talbi "Conception Et Réalisation D'un Onduleur De Tension Triphasé Commande Par Une Carte Arduino.
- [07] Muhammad H. Rachid. "Power Electronics, circuits, devices, and applications", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1993.
- [08] M. Zhifeng DOU, " Sûreté de fonctionnement des convertisseurs Nouvelles structures de redondances pour onduleurs sécurisés à tolérance de pannes ", Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2011.
- [09] Ken Shirriff "Secrets of Arduino PWM", Cours en ligne.
- [10] Toshiba Semiconductor « TLP 250 », Fiche technique.
- [11] FUJI ELECTRIC « IGBT MODULE (N séries) 2MBI75N-120 », Fiche technique.
- [12] STMicroelectronics « kit de développement avec MCU STM32F407VG-discovery », Manuel de l'Utilisateur, Mai 2017.
- [13] Site internet « <https://www.techno-science.net> »
- [14] Site internet « <https://fr.wikipedia.org> »

ANNEXE

L'OPTOCOUPLEUR TLP 250

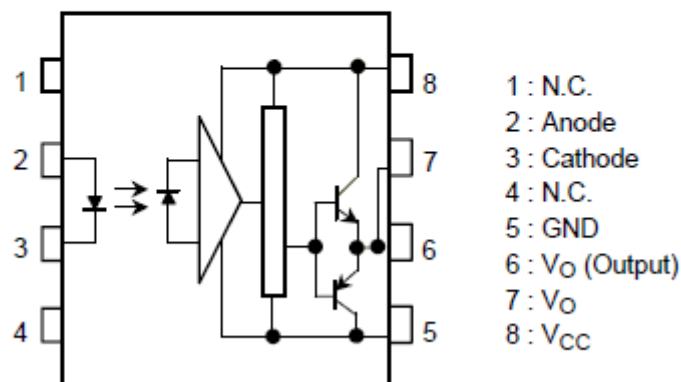
Description :

Le TOSHIBA TLP250 se compose d'une diode électroluminescente et d'un photo détecteur intégré. Cette unité est un paquet DIP à 8 dérivations. Ce composant convient au circuit de commande des gâchettes d'IGBT ou de MOSFET de puissance.

Brochage :

TLP250

Pin Configuration (top view)



Caractéristiques :

1. Courant de seuil d'entrée: $I_F = 5\text{mA}$ (max.)
2. Courant d'alimentation (I_{CC}): 11mA (max.).
3. Tension d'alimentation (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$.
4. Courant de sortie (I_O): $\pm 1,5\text{A}$ (max.).
5. Temps de commutation (t_{pLH} / t_{pHL}): $1,5 \mu\text{s}$ (max.).
6. Tension d'isolement: 2500V_{rms} (min.).

ملخص :

لقد ادى ادماج مغيرات السرعة في اغلب الاجهزة الكهرو منزلية كالثلاجة ، المكيف الهوائي، آلة الغسيل... الخ، الى تغيير نوعي في طريقة عملها، فأصبحت ذكية ، تقدم الخدمة لمستعملها بأدق التفاصيل ولا تستهلك الطاقة الكهربائية. يعتبر موج التوتر العنصر الهام في مغيرات السرعة فهو اضافة الى المرشح يقوم بتحويل التوتر المستمر الى توتر جيبى متغير في السعة و التواتر. لذلك خصصنا هذا العمل لإنجاز موج توتر احادي الطور بنصف جسر على لوح التجارب. قسمنا هذا العمل الى جزئين اثنين:

جزء نظري يوضح الموجات ، انواعها، مبدا عملها وتقنيات التحكم فيها. وجزء عملي يعرض مراحل انجاز موج توتر احادي الطور و طريقة اختباره في تغذية محرك لا تزامني احادي الطور بتوترات مختلفة التواتر.

الكلمات المفتاحية :

موج التوتر، انجاز، لوح التجارب، بطاقة التطوير STM32F407 ، محرك لا تزامني احادي الطور.

Résumé :

L'intégration des variateurs de vitesse dans la plupart des appareils électroménagers, tels que le réfrigérateur, le climatiseur, la machine à laver,...etc. a conduit à un changement qualitatif dans son fonctionnement, devenant intelligent, fournissant le service à son utilisateur avec les détails les plus fins et ne consomme pas d'énergie électrique. L'onduleur de tension est un élément important dans les variateurs de vitesse, car en plus du filtre, il convertit la tension continue en une tension sinusoïdale variable en amplitude et en fréquence.

Pour cela, nous avons consacré ce travail à la réalisation d'un onduleur de tension monophasée en demi pont sur une plaque d'essai. Nous avons divisé ce travail en deux parties:

Une partie théorique expliquant les onduleurs, leurs types, leurs principes de fonctionnement et leurs techniques de contrôle. Et une partie pratique montrant les étapes de réalisation de l'onduleur de tension monophasé et la méthode pour le tester en alimentant un moteur asynchrone monophasé avec des tensions à fréquences différentes.

Mots clés :

Onduleur de tension, réalisation, plaque d'essai, kit de développement STM32F407 , moteur asynchrone monophasé.

Abstract :

The integration of variable speed drives in most household appliances, such as refrigerators, air conditioners, washing machines, etc. has led to a qualitative change in its operation, becoming intelligent, providing the service to its user with the finest details and does not consume electrical energy. The voltage inverter is an important part in variable speed drives, because in addition to the filter, it converts direct voltage into a sinusoidal voltage varying in amplitude and frequency.

For this, we have devoted this work to the realization of a single-phase half-bridge voltage inverter on a test plate. We have divided this work into two parts:

A theoretical part explaining the inverters, their types, their operating principles and their control techniques. And a practical part showing the stages of realization of the single-phase voltage inverter and the method to test it by powering a single-phase asynchronous motor with voltages at different frequencies.

Keywords:

A voltage inverter, realization, a single-phase asynchronous motor, a test plate, a development kit STM32F407.