

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

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTROTECHNIQUE

OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

Mémoire Présenté Pour L'obtention Du
Diplôme De Master Académique

Par : - SADIOU Fateh

- DEHMECHE Ibrahim

Intitulé

Réalisation d'un onduleur de tension triphasé
à base d'IGBT

Proposé et dirigé par :

Dr : BOUZZIDI Riad

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, merci Dieu, qui nous a guidés sur le bon chemin et en nous donnant le courage de faire ce projet de fin d'études, cela a été préparée dans le Laboratoire de génie électrique, Département de génie électrique, Université Mohamed Boudiaf de M'sila.

Nous remercions également notre encadreur Dr: BOUZZIDI Riad et Dr : CHOUDER Aïssa pour l'aides et les conseils qu'il nous a fournis, ainsi qu'à tous nos amis et collègues, en particulier ceux qui nous ont apporté un soutien moral et une précieuse amitié inoubliable.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de revoir ce travail et de leurs commentaires constructifs.

Enfin, nous tenons à remercier la famille pour son grand encouragement et son soutien inconditionnels et pour tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre 01

Modélisation et commande de l'onduleur triphasé

I. Introduction	3
II. Les variateurs de vitesse	3
III. Elément Essentiels d'un variateur de vitesse	4
III.1. L'onduleur	4
III.2. Classification des onduleurs	5
III.3. Onduleur autonome et non autonome	5
a) Onduleur autonome	5
b) Onduleur non autonome	5
III.4. Les onduleurs selon la nature de la source d'entrée	5
a) Onduleur de tension	5
b) Onduleur de courant	6
III.5. Les onduleurs monophasés en demi- pont	6
III.6. Les onduleurs monophasés en pont	6
III.7. Les onduleurs triphasés	7
III.8. Les onduleurs selon la nature des semi-conducteurs	7
III.9. Les différents types de transistors	7
a) Le Transistor bipolaire	7
b) Le Transistor à effet de champ MOSFET	7
c) Le Transistor IGBT	8
d) Comparaison entre les 3 types de transistors	9
IV. Modalisation de l'onduleur triphasées	9
V. Techniques de commandes de l'onduleur triphasées	11
V.1. Commande 180°	11
V.2. Commande 150°	13
V.3. Commande MLI	14
V.4. Principe de base de la commande MLI	14
V.5. Caractéristiques de la commande MLI	15
➤ Le coefficient de réglage	15
➤ L'indice de modulation	15
V.6. Les avantages de la commande MLI	17
VI. Conclusion	17



Sommaire

Chapitre 02

Réalisation d'un onduleur de tension triphasé à base d'IGBT

I. Introduction	19
II. Les éléments principaux pour réaliser et piloté un onduleur triphasées	19
II.1 Carte de développement des commandes STM32F407-discovery	19
II.2 Module d' IGBT	21
II.3 Optocoupleur TLP 250 et HCPL A3120.....	21
III. Etapes de réalisation d'un onduleur triphasées	22
III.1 Réalisation sur plaque d'essai	22
III.2 Réalisation du circuit d'alimentation	23
A .Transformateur	23
B. Redressement	23
C .Filtrage	23
D .Régulation et protection	23
III.3 Réalisation du circuit de commande	24
III.4 Réalisation du circuit de puissance	25
IV. Pilotage des moteurs asynchrones en utilisant l'onduleur réalisé	26
IV.1 ONDULEUR EN DEMI PONT	26
IV.1.1 Description du montage	26
IV.1.2 Résultats expérimentaux	28
IV.1.3 Interprétation	29
IV.2 Onduleur monophasé en pont	30
IV.2.1 Description du montage	30
IV.2.2 Résultats expérimentaux	31
IV.2.3 Interprétation	33
IV.3 Onduleur triphasées	33
IV.3.1 Description du montage	33
IV.3.2 Résultats expérimentaux	35
IV.3.3 Interprétation	36
V. Conclusion	36

Conclusion générale	37
Annexe	38
Bibliographie	42



Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Figure (I.1) : Les composants essentiels d'un variateur de vitesse	4
Figure (I.2) : Schéma de la conversion continue- alternative (onduleur)	5
Figure (I.3) : Structure d'un onduleur de tension monophasé en demi- pont.....	6
Figure (I.4) : Structure d'un onduleur de tension monophasé en pont.....	6
Figure (I.5) : Structure d'un onduleur de tension triphasé.....	7
Figure (I.6) : La structure interne d'un transistor IGBT.....	8
Figure (I.7) : La variation de courant en fonction de tension à partir d'un transistor IGBT	8
Figure (I.8) : Structure interne d'un bras fonctionner à base de IGBT	8
Figure (I.9) : Classification des composants de puissance en fonction de la fréquence de découpage et le produit U.I des composants	9
Figure (I.10) : le schéma de l'onduleur triphasés.....	10
Figure (I.11) : Les Signaux des commandes 180^0	11
Figure (I.12) : La forme de la tension composée V_{ab} en 180^0	12
Figure (I.13) : Les Signaux des commandes 150^0	13
Figure (I.14) : La forme de la tension composée V_{ab} en 150^0	13
Figure (I.15) : Principe de base de la commande MLI	14
Figure (I.16) : les signaux de commande si on le pilote avec la technique de MLI.....	15
Figure (I.17) : Les tensions simples V_{an} et V_{bn}	16
Figure (I.18) : la tension composée V_{ab}	16

Chapitre II

Figure (II.1) : Carte de développement STM32F407-discovery	20
Figure (II.2) : Module d'IGBT 2MBI75N120	21
Figure (II.3) : Circuit équivalent du	21



Liste des figures

Figure (II.4): L'optocoupleur TLP 250 et HCPL A3120	22
Figure (II.5) : (a) Onduleur monophasé en demi pont, (b) en pont, (c) onduleur triphasé.	22
Figure (II.6) : Schéma électrique du circuit d'alimentation	24
Figure (II.7) : Schéma électrique du circuit de commande	25
Figure (II.8) : Schéma électrique du circuit de puissance	26
Figure (II.9) : le banc d'essai de l'onduleur monophasé en demi pont	27
Figure (II.10) : Schéma de principe d'un onduleur monophasé en demi pont	27
Figure (II.11) : Signal de commande	28
Figure (II.12) : Tension de la charge	28
Figure (II.13) : Courant de la charge	29
Figure (II.14) : Schéma de principe d'un onduleur monophasé en pont	30
Figure (II.15) : le banc d'essai de l'onduleur monophasé en pont	31
Figure (II.16) : Signaux de commande	31
Figure (II.17) : Tension de la charge	32
Figure (II.18) : Courant de la charge	32
Figure (II.19) : Schéma de principe d'un onduleur triphasé	34
Figure (II.20) : le banc d'essai de l'onduleur triphasé	34
Figure (II.21) : Signaux de commande	35
Figure (II.22) : Tension de la charge	35
Figure (II.23) : Courant de la charge	36

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau (II.1) : Table de vérité de l'optocoupleur TLP 250	21
---	----



Nomenclature

Abréviations :

MLI : Modulation de largeur d'impulsion.

IGBT : Insulâtes Gâte Bipolaire Transistor.

MOSFET : Transistor à effet de champ à grille métal-oxyde

GTO : Le thyristor à extinction par la gâchette

PNP : Positive-Négative-Positive

Notations

f_p : Fréquence de la porteuse triangulaire.

r : Coefficient de réglage en tension

V_p : Porteuse triangulaire.

m : Indice de modulation.

f_m : la fréquence de la mesurée



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La politique de notre pays, l'Algérie, suivie dans l'économie nationale dépend en grande partie des importations, qu'ont eu des effets négatifs sur le trésor public, l'industrie nationale et la formation des ingénieurs industriels compétents. Là où on trouve souvent des produits industriels faciles à fabriquer et ne coûtent pas un prix, sont importés à des prix très élevés. Cela contribue également à l'augmentation du taux de chômage dans notre pays.

Avoir une industrie robuste et capable de concurrencer à l'échelle nationale et mondiale nous oblige à moderniser ce secteur. L'émergence des variateurs de vitesse pour les moteurs électriques et les alimentations sans interruption ont donné un développement remarquable à l'industrie mondiale, nous avons donc dû disposer de ces deux éléments importants pour moderniser notre industrie.

Les onduleurs monophasés ou triphasés étant la partie principale dans la fabrication de variateurs de vitesse et des alimentations sans interruption. Pour cela nous consacrerons ce travail à la réalisation d'un onduleur triphasé à base des IGBT dont la technique de commande est la modulation de largeur d'impulsion MLI.

Ce travail sera divisé en deux parties, la première est théorique, concernant la modélisation des onduleurs triphasés et l'étude de leurs techniques de contrôle comme la commande 150^0 , la commande 180^0 et la commande par la modulation de largeur d'impulsion MLI. Tandis que la deuxième partie, est pratique, explique la procédure de réalisation de l'onduleur triphasé tout en précisant les étapes nécessaires, telles que :

- ✓ La mise en œuvre sur la plaque d'essai.
- ✓ La réalisation des circuits électriques, de puissance, de contrôle et d'alimentation.
- ✓ Le test de l'onduleur pour le pilotage des moteurs asynchrones monophasés et triphasés.



Chapitre 01

Modélisation et commande de l'onduleur triphasé



I. INTRODUCTION

Les progrès récemment réalisés dans les domaines de l'électronique de puissance et de la commande numérique ont permis, depuis peu, l'essor des variateurs de vitesse.

Le variateur de vitesse se compose d'un redresseur d'un onduleur avec un circuit intermédiaire. L'ondulation triphasée est le composant le plus important des variateurs de vitesse triphasés car il assure la conversion continue alternative.

L'étude générale de l'onduleur triphasé a montré qu'il contient trois circuits électriques, un circuit d'alimentation, un circuit de commande et un circuit de puissance. L'obtention d'une tension alternative sinusoïdale à la sortie de l'onduleur, nous oblige à trouver un excellent circuit de puissance capable de convertir une puissance continue en puissance alternative. Cela se fait en étudiant leurs éléments et en choisissant l'élément convenable tel que le transistor bipolaire, le transistor MOSFET, l'IGBT ... etc.

Ainsi que, il nécessite également de trouver un circuit de contrôle robuste en étudiant diverses techniques de commandes telles que la commande 180^0 , la commande 150^0 , la commande par modulation de largeur d'impulsion MLI ...etc., Et en choisissant la meilleure technique.

Nous allons donc consacrer ce chapitre à la modélisation et à l'étude des différentes techniques de de contrôle de l'onduleur triphasé.

II. LES VARIATEURS DE VITESSE

Un variateur électronique de vitesse est un dispositif destiné à régler la vitesse et le couple d'un moteur électrique à courant alternatif en faisant varier la fréquence et la tension, respectivement le courant, délivrées à la sortie de celui-ci.

Leurs applications vont des plus petits aux plus grands moteurs, comme ceux utilisés par les perceuses. Alors qu'environ un quart de la consommation d'électricité mondiale provient des moteurs électriques utilisés par l'industrie, les variateurs de vitesse ne restent que peu répandus, alors qu'ils permettent d'importantes réductions de consommation d'énergie.

Les progrès de l'électronique de puissance ont permis de réduire le coût et la taille des variateurs de vitesse ces quatre dernières décennies. Ils ont concerné à la fois les interrupteurs semi-conducteurs utilisés, la topologie, les méthodes utilisées en contrôle commande et en simulation, ainsi que le matériel et les logiciels employés pour la commande [01].

III. ELEMENTS ESSENTIEL D'UN VARIATEUR DE VITESSE

A partir d'une source alternative, le variateur de vitesse va créer en sortie :

- ✓ Une tension alternative variable en fréquence et en amplitude pour les moteurs à courant alternatif.
- ✓ Une tension continue variable en amplitude pour les moteurs à courant continu.

Le variateur de vitesse Figure (I.1) est composé essentiellement :

- D'un redresseur qui, connecté à une alimentation triphasée (le réseau), génère une tension continue à ondulation résiduelle (le signal n'est pas parfaitement continu), le redresseur peut être de type commandé ou non commandé.
- D'un circuit intermédiaire agissant principalement sur le "lissage" de la tension de sortie du redresseur (améliore la composante continue), le circuit intermédiaire peut aussi servir de dissipateur d'énergie lorsque le moteur devient générateur,
- D'un onduleur qui engendre le signal de puissance à tension et/ou fréquence variables,
- D'une électronique de commande pilotant (transmission et réception des signaux) le redresseur, le circuit intermédiaire et l'onduleur [01].

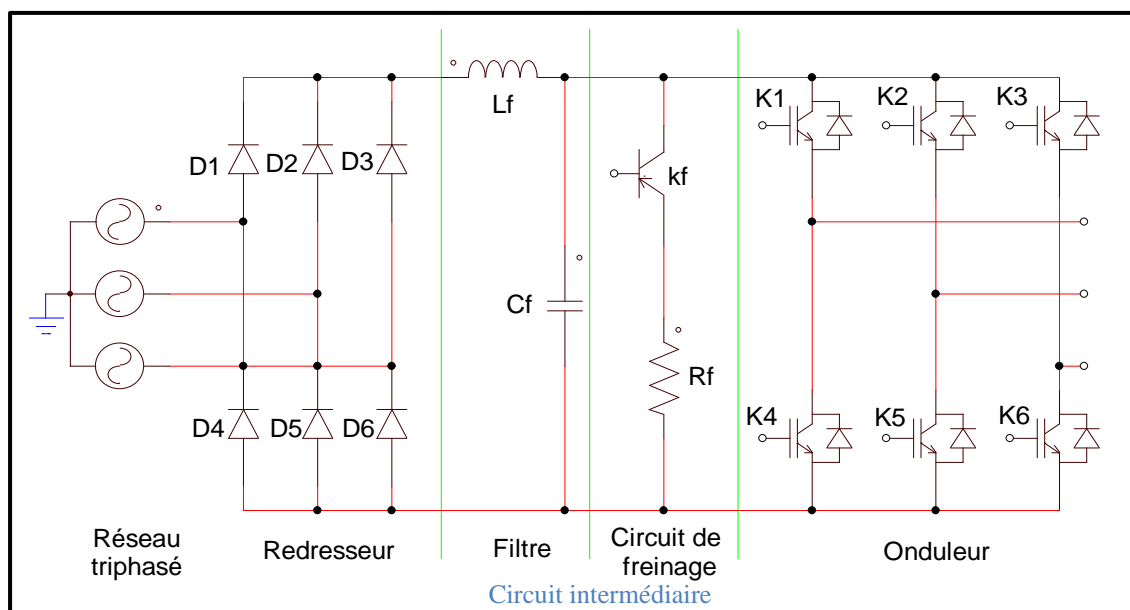


Figure (I.1) : Les composants essentiels d'un variateur de vitesse

III.1. L'ONDULEUR

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continue – alternative, alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir l'alternatif à la sortie. L'onduleur est essentiellement utilisé pour fournir une tension ou un courant

alternatif afin d'assurer l'alimentation en énergie des charges critiques (micro-ordinateur, station de télécommunication.) pendant la coupure du réseau électrique ou une alimentation permanente pour les systèmes autonomes (centrales photovoltaïques, engins aérospatiaux...) [02], la représentation symbolique d'un onduleur est donnée par la figure (I.2).

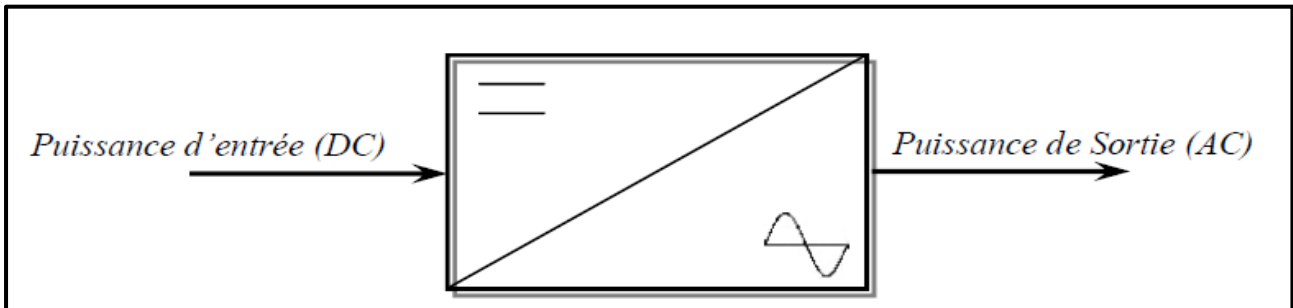


Figure (I.2) : Schéma de la conversion continue- alternative (onduleur)

III.2. CLASSIFICATION DES ONDULEURS

Les structures des onduleurs sont très nombreuses en fonction de leurs applications, et leurs commandes, nous pouvons classer les onduleurs selon les critères suivants :

- Onduleur autonome et non autonome.
- Nombre de phase.
- Nature de la source d'entrée.
- Nature des interrupteurs.
- Nombre des niveaux de tension de sortie.

III.3. ONDULEUR AUTONOME ET NON AUTONOME

Les onduleurs sont classés selon le type d'application et les performances désirées, en deux catégories : les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes (ou assistés).

- a) Onduleur autonome :** Un onduleur autonome est un système de commutation à transistors, dont les instants de commutation sont imposés par des circuits externes. La fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées à la charge, c'est-à-dire elles sont propres à l'onduleur. L'onduleur autonome peut être à fréquence fixe ou variable.
- b) Onduleur non autonome :** Un onduleur non autonome ou assisté est un système de commutation à thyristors, dont les instants de commutation sont imposés par la charge. Dans ce cas, la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées par le réseau alternatif sur lequel débite l'onduleur [3].

III.4. LES ONDULEURS SELON LA NATURE DE LA SOURCE D'ENTREE

- a) Onduleur de tension :** est alimenté par une source de tension continu, il impose par sa commande la tension de sortie alors que la charge impose la forme et l'intensité du courant.



b) **Onduleur de courant** : est alimenté par une source de courant continu, il impose par sa commande le courant de sortie, alors que la charge impose la tension de sortie.

III.5. LES ONDULEURS MONOPHASES EN DEMI- PONT

Il est souvent appelé onduleur monophasé de tension demi- pont nécessite que deux interrupteurs est de placer en parallèle de la tension d'entrée un diviseur capacitif formé de deux condensateurs C1 et C2 de même capacité, la figure (I.3) ci-dessus représente le schéma simplifié d'un onduleur en demi- pont.

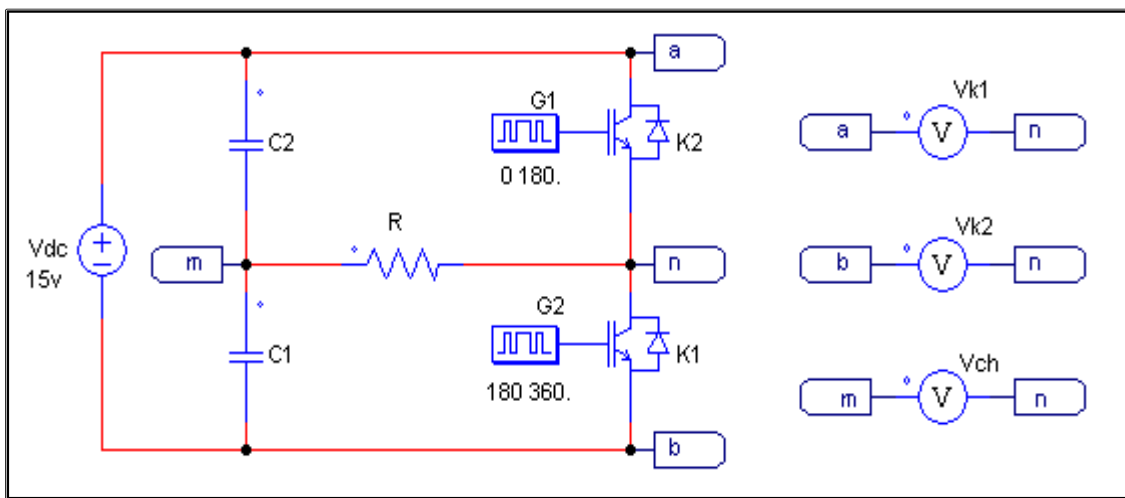


Figure (I.3) : Structure d'un onduleur de tension monophasé en demi- pont

III.6. LES ONDULEURS MONOPHASES EN PONT

Dans ce cas en plus on utilise quatre interrupteurs pour supprimer la nécessité du point milieu du diviseur capacitif.

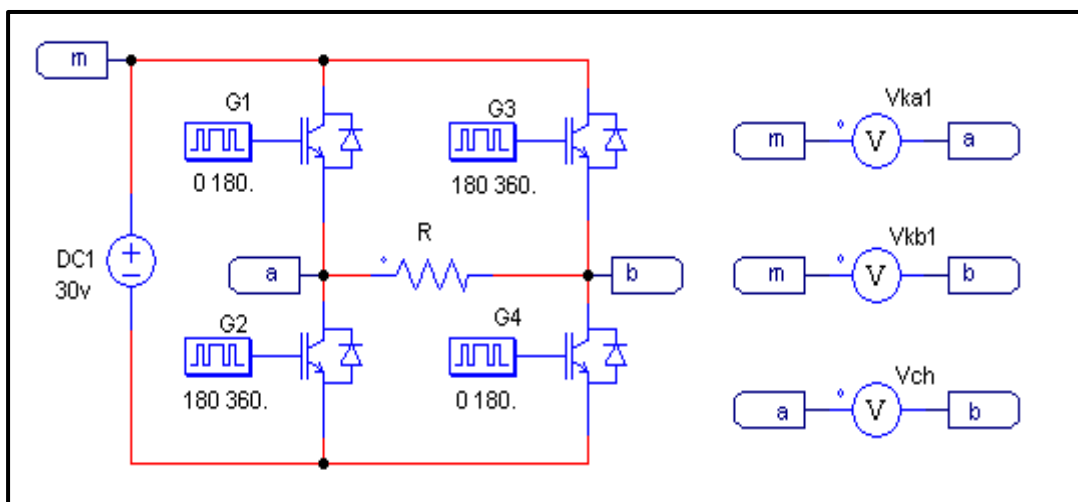


Figure (I.4) : Structure d'un onduleur de tension monophasé en pont

III.7. LES ONDULEURS TRIPHASES

Le schéma simplifié d'un onduleur triphasé à deux niveaux est montré dans la figure (I.5).

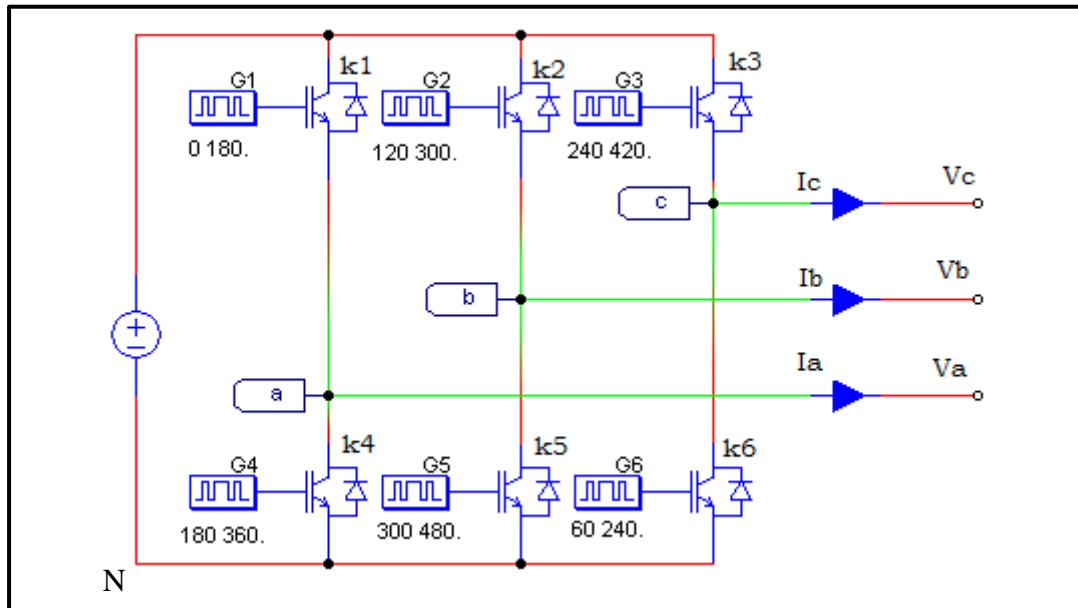


Figure (I.5) : Structure d'un onduleur de tension triphasé

III.8. LES ONDULEURS SELON LA NATURE DES SEMI-CONDUCTEURS

On peut classer généralement les onduleurs selon le type des interrupteurs de puissance, Ces derniers peuvent-être des interrupteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture comme les transistors MOSFET, IGBT, GTO.

III.9. LES DIFFERENTS TYPES DE TRANSISTORS

a) Le Transistor bipolaire

On distingue deux sortes de transistors bipolaires (PNP et NPN) et c'est le sens du courant, qu'ils laissent passer dans une direction et bloquent dans l'autre, qui les différencie. Pour obtenir des gains d'amplification importants on multiplie et enchaîne simplement les étages (circuits) d'amplification (transistors).

b) Le Transistor à effet de champ MOSFET

Un transistor à effet de champ permet de commander un "grand" courant drain - source I_{DS} à l'aide d'une tension de commande grille - source U_{GS} . Un canal dopé (P ou N) entre Drain et Source est rendu +/- conducteur par une jonction PN entre Grille et Source polarisée en inverse. C'est une commande en tension car il n'y a pratiquement aucun courant demandé par la grille. Ils sont utilisés comme un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors. Sa particularité est d'utiliser un champ électrique pour contrôler la forme et donc la conductivité d'un « canal » dans un matériau semi-conducteur. Il concurrence le transistor bipolaire dans de nombreux domaines d'application, tels que l'électronique numérique.

c) **Le Transistor IGBT**

Le transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) est un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors qui est utilisé comme interrupteur électronique, principalement dans les Montages de l'électronique de puissance [4].

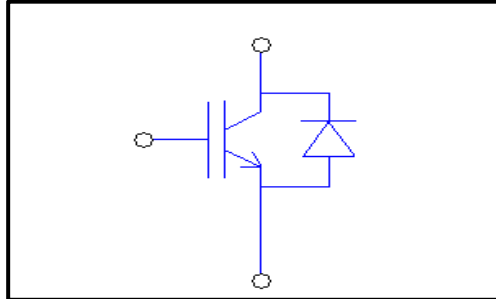


Figure (I.6) : La structure interne d'un transistor IGBT

Pour éviter d'endommager un transistor IGBT il y a plusieurs moyens :

- Sortir de l'aire de sécurité avec :
 - Courant I_c trop grand.
 - Tensions V_{ce} trop grandes.
- Trop de puissance dissipée dans le composant.
- Tensions et courants inverses.

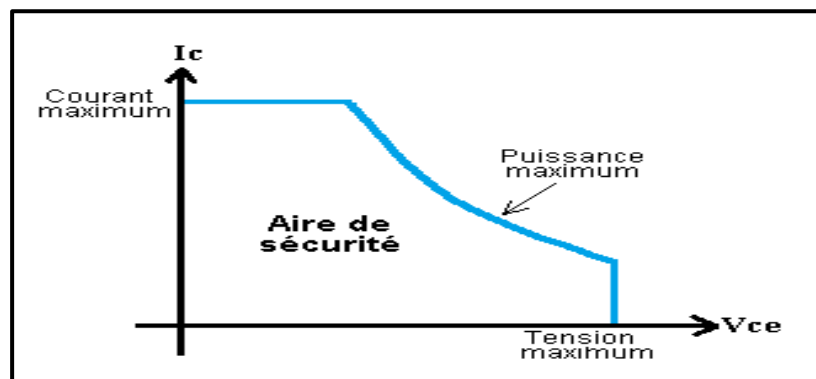


Figure (I.7) : La variation de courant en fonction de tension à partir d'un transistor IGBT

Avec : I_c le courant maximal que le transistor peut supporter.

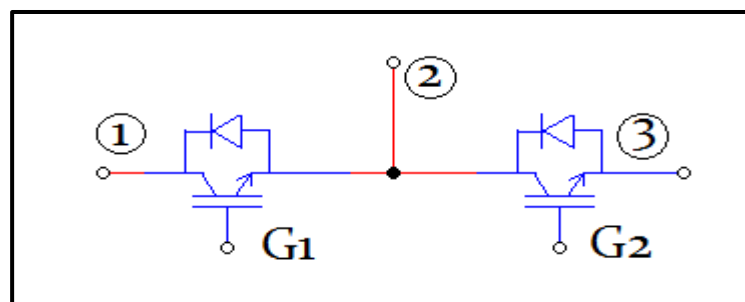


Figure (I.8) : Structure interne d'un bras fonctionner à base de IGBT

Avec ; G1, G2 : gâchette des transistors

1 : Liaison de l'IGBT avec le moteur

2 : Liaison de l'IGBT avec la borne (+) de l'alimentation

3 : Liaison de l'IGBT avec la borne (-) de l'alimentation.

d) Comparaison entre les 3 types de transistors

Le MOSFET est très bien adapté pour les convertisseurs basse-tension et à fréquence élevée (inférieure à 100V et supérieure à 50kHz) alors que l'IGBT est utilisé pour les tensions supérieures à 300V et des fréquences rarement supérieures à 20kHz. Les GTO et thyristors sont dédiés aux applications haute tension (>1kV) fort courant (>1kA).

La **figure (I.9)** résume cette classification de composants de puissance en fonction de la fréquence de commutation et du produit U.I des composants [1].

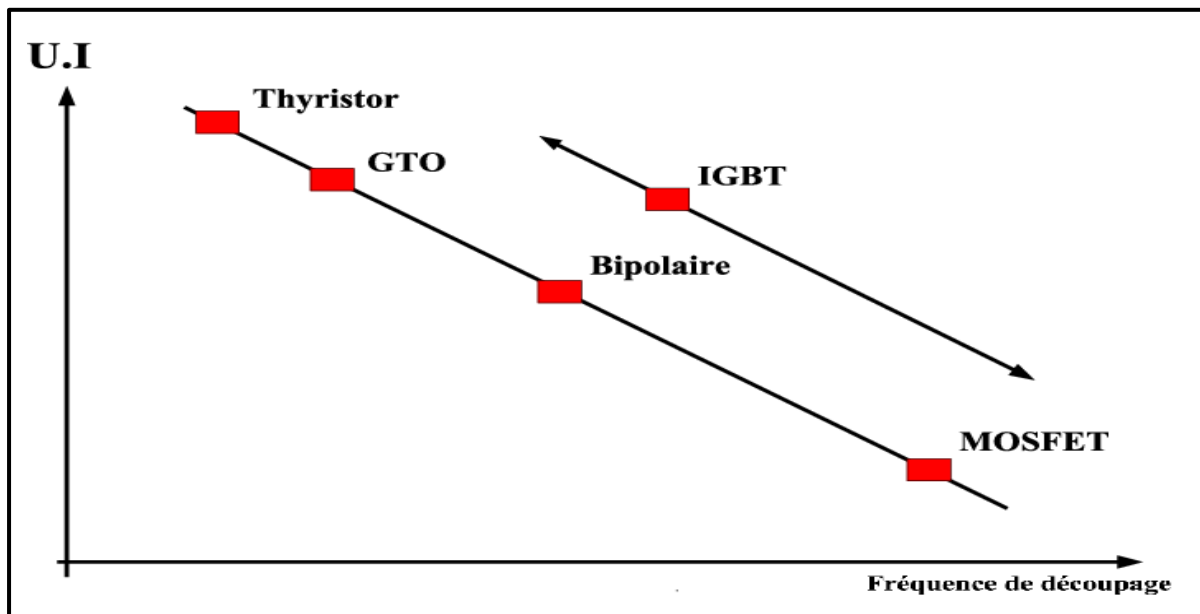


Figure (I.9) : Classification des composants de puissance en fonction de la fréquence de découpage et le produit U.I des composants

IV. MODELISATION DE L'ONDULEUR TRIPHASE

L'onduleur est un convertisseur d'électronique de puissance qui permet la conversion continue-alternative. Il fonctionne en commutation forcée et il est généralement conçu à base de transistors. Sa commande peut être réalisée par la technique classique ou par la technique de Modulation de la Largeur d'Impulsion (MLI).

L'onduleur de tension transforme un signal continu à son entrée en un signal alternatif à sa sortie, tout en contrôlant l'amplitude et la fréquence de la tension de sortie. Le réglage de la vitesse d'une machine asynchrone se réalise logiquement par action simultanée sur la fréquence et l'amplitude de tension [5].

La figure (I.10) présente le schéma de l'onduleur. Il est constitué de trois bras de commutation à transistors. Chaque bras est composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor. Tous les éléments sont considérés comme des interrupteurs idéaux.

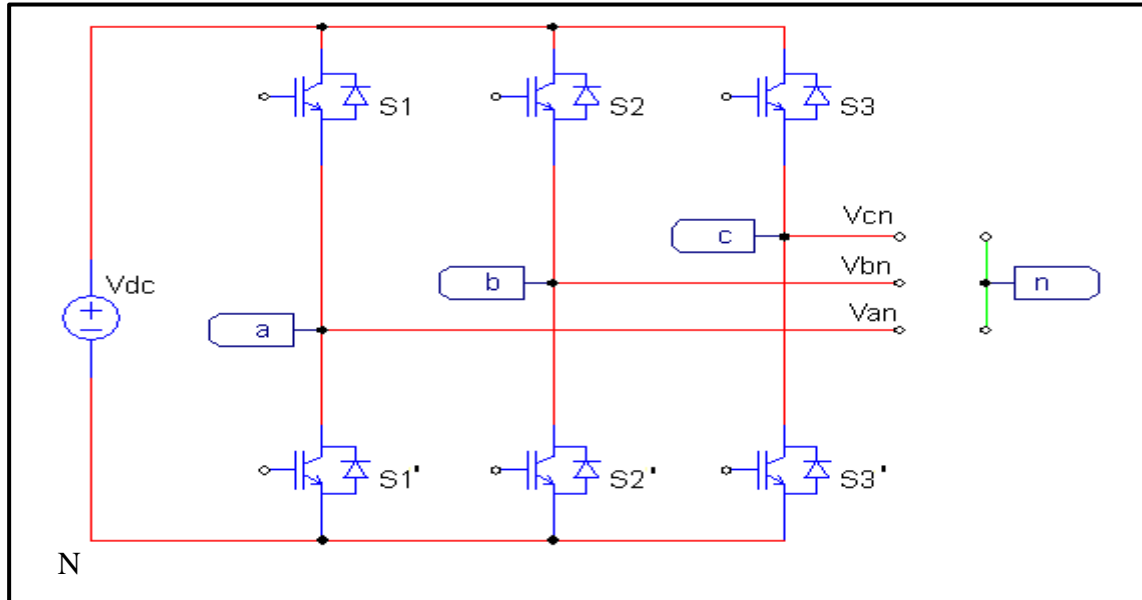


Figure (I.10) : le schéma de l'onduleur triphasés

On rappelle que les états des interrupteurs d'un même bras sont complémentaires, en utilisant ces états des interrupteurs, nous pouvons obtenir les tensions de branche de sortie de l'onduleur mesurées par rapport à la borne négative de la tension du côté continu comme suit :

On rappelle que les états des interrupteurs d'un même bras sont complémentaires [11].

En utilisant ces états des interrupteurs, nous pouvons obtenir les tensions de branche de sortie de l'onduleur mesurées par rapport à la borne négative de la tension du côté continu comme suit :

$$\begin{cases} V_{an} = S_1 \times V_{dc} \\ V_{bn} = S_2 \times V_{dc} \\ V_{cn} = S_3 \times V_{dc} \end{cases} \dots\dots\dots (I.1)$$

Où S1, S2 et S3 désignent les états des interrupteurs des phases A, B et C respectivement. Et ; N est la borne négative de la tension continue.

Les tensions composées sont :

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{an} + V_{nb} = V_{an} - V_{bn} = (S_1 - S_2) \times V_{dc} \\ V_{bc} = V_{bn} + V_{nc} = V_{bn} - V_{cn} = (S_2 - S_3) \times V_{dc} \\ V_{ca} = V_{cn} + V_{na} = V_{cn} - V_{an} = (S_3 - S_1) \times V_{dc} \end{cases} \dots\dots\dots (I.2)$$



Sous la forme matricielle, on a :

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (I.3)$$

Les tensions simples sont :

$$\begin{cases} V_{an} = \left[\frac{2}{3} \times V_{an} \right] - \left[\frac{1}{3} \times (V_{bn} + V_{cn}) \right] \\ V_{bn} = \left[\frac{2}{3} \times V_{bn} \right] - \left[\frac{1}{3} \times (V_{an} + V_{cn}) \right] \\ V_{cn} = \left[\frac{2}{3} \times V_{cn} \right] - \left[\frac{1}{3} \times (V_{an} + V_{bn}) \right] \end{cases} \dots\dots\dots (I.4)$$

Sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (I.5)$$

V. TECHNIQUES DE COMMANDE DE L'ONDULEUR TRIPHASE

Les onduleurs de tension peuvent être pilotés suivant plusieurs stratégies. A faibles fréquences, ils sont pilotés à pleine onde, le signal de commande sera à la fréquence de la tension désirée à la sortie, et la source continue doit être réglable (à l'aide d'un redresseur à thyristor ou d'un hacheur).

A fréquence élevée, ils sont pilotés en modulation de largeur d'impulsion. Cette dernière stratégie permet de régler à la fois l'amplitude et la fréquence en gardant la source continue constante (pont à diode) [6].

Afin de produire une tension de sortie proche de la sinusoïde, différentes stratégies de commande seront présentées :

- 1- Commande 180°.
- 2- Commande 150°.
- 3- Commande MLI.

V.1. COMMANDE 180°

Lorsque la séquence de commande de fermeture d'un interrupteur coïncide avec la commutation d'ouverture de l'interrupteur situé sur le même bras, on parle dans ce cas, d'un onduleur de type 180°.

Les figures suivantes illustrent bien la philosophie de ce type de commande où la tension continue à l'entrée de l'onduleur est égale à 100 volts.

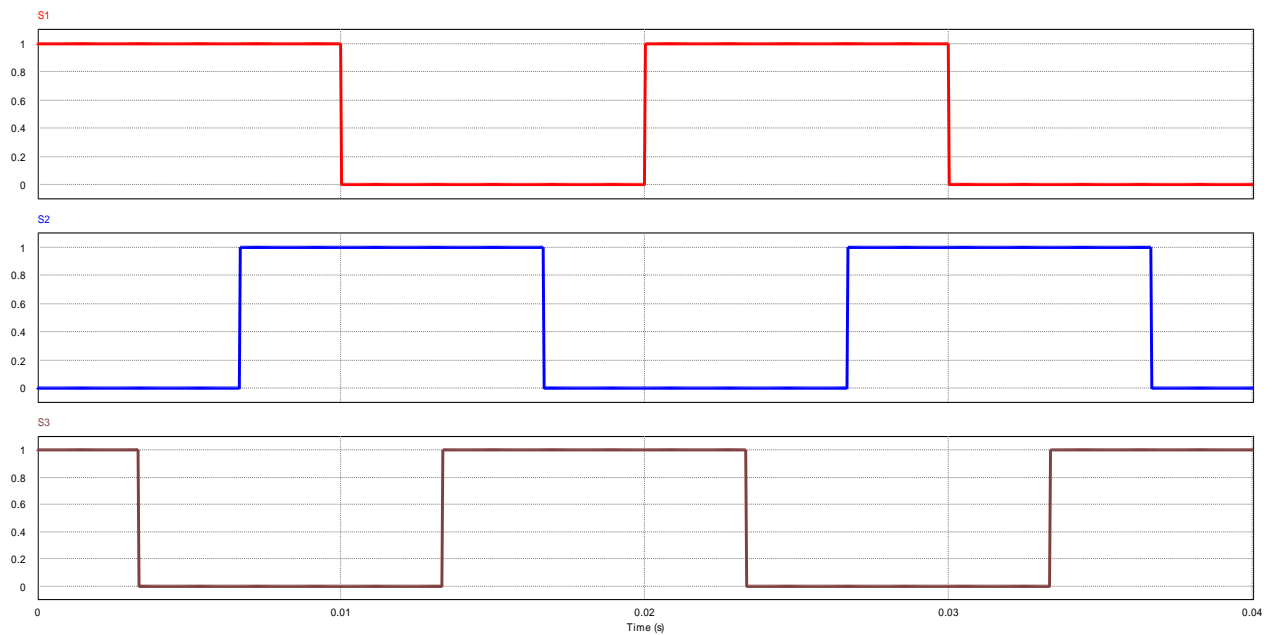


Figure (I.11) : Les Signaux des commandes en 180^0

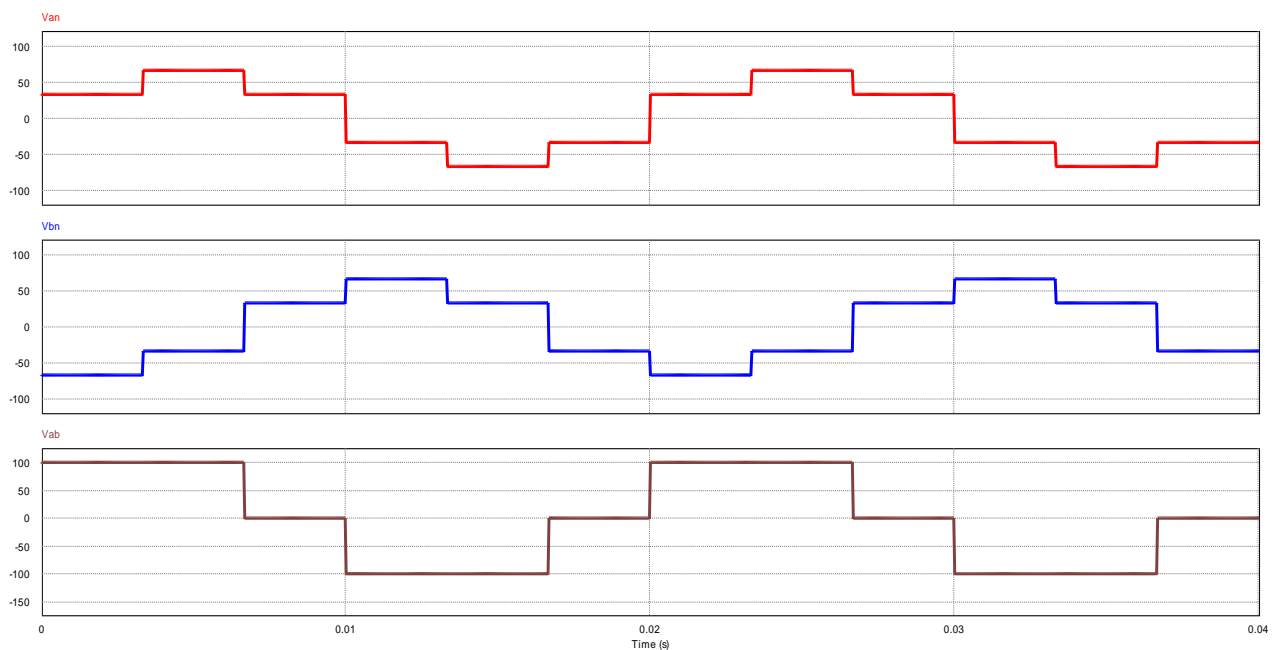


Figure (I.12) : La forme de la tension composée Vab en 180^0

La figure (I.11) montre que les interrupteurs de puissance sont commandés pendant un demi période (0.01 second), ainsi que sont décalés entre eux de $\frac{2\pi}{3}$.

La tension composée Vab figure (I.12) est alterné entre $+V_{dc}$ et $-V_{dc}$, ($+100v$ et $-100v$), tandis que la tension simple a alterné entre $\frac{2V_{dc}}{3}$, $\frac{V_{dc}}{3}$ d'une part, et $-\frac{V_{dc}}{3}$, $-\frac{V_{dc}}{3}$ de l'autre part.

Le spectre d'harmonique de la tension de sortie est très riche en harmoniques de rang faible, donc le filtrage est difficile, ce qui montre que sa forme est très éloignée à la forme sinusoïdale et ce qui



limite son utilisation dans l'industrie. C'est la stratégie de commande la plus simple et qui ne permet pas de varier sa valeur efficace.

V.2. COMMANDE 150°

Chaque interrupteur est commandé pendant 150°. Il y a un « trou » de 30° entre les commandes de deux interrupteurs d'une même branche, (commande disjointe).

Les commandes des interrupteurs d'un bras sont décalées de 120° par rapport aux interrupteurs d'un bras voisin.

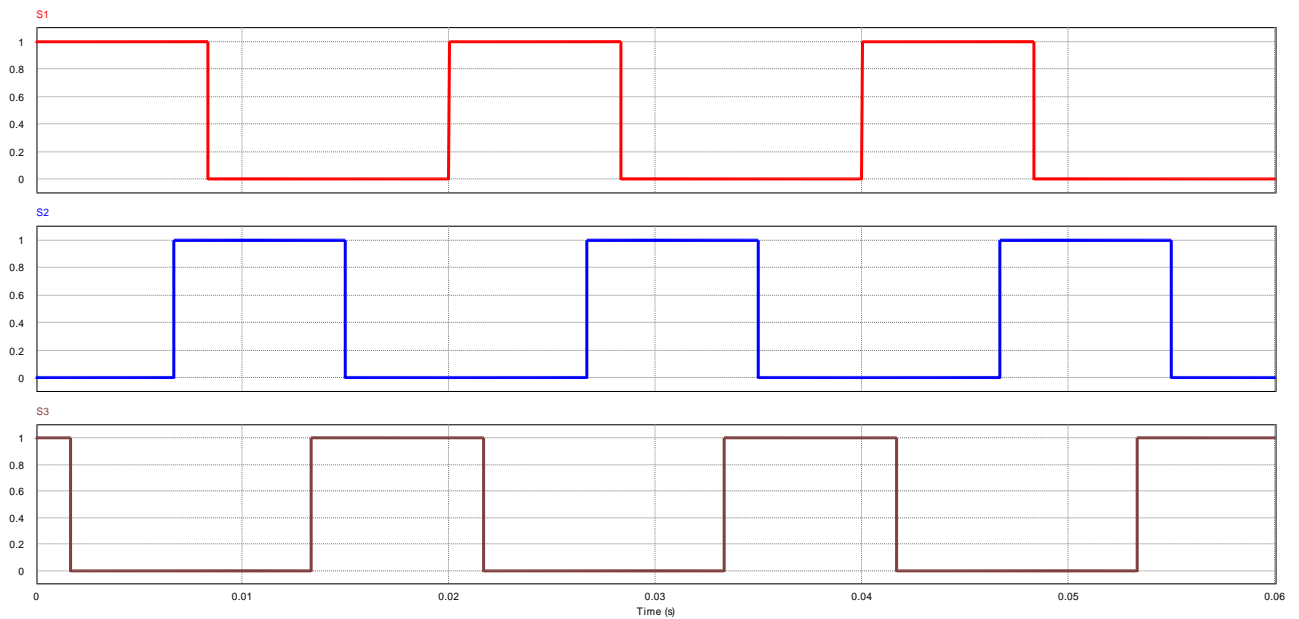


Figure (I.13) : Les Signaux des commandes en 150°

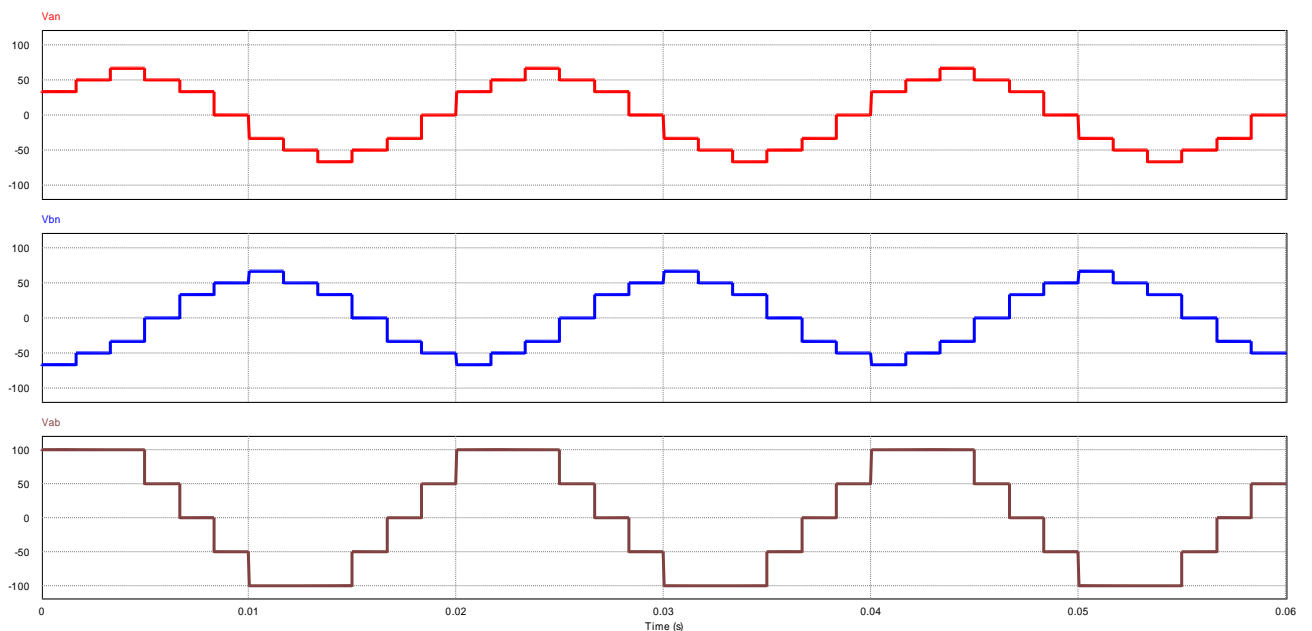


Figure (I.14) : La forme de la tension composée Vab en 150°

La commande disjointe permet d'avoir des courbes plus voisines de la sinusoïde. Le taux de composantes harmoniques de rang faible est minimal pour 150° . Ce choix simplifie le problème de filtrage mais complique la commande (enclenchement et déclenchement d'interrupteurs tous les 30°). Figures (I.14).

V.3. COMMANDE MLI

La modulation de largeur d'impulsion (en anglo-saxon pulse width modulation) consiste à adapter une fréquence de commutation supérieure à la fréquence des grandeurs de sortie et à former chaque alternance d'une tension de sortie d'une succession de créneaux de largeurs convenables. Cette technique peut être considérée comme une extension du principe de la commande par découpage ou la durée des impulsions n'est plus régulière mais choisie de façon à supprimer le maximum d'harmoniques de rangs faibles difficiles à filtrer [7].

V.4. PRINCIPE DE BASE DE LA COMMANDE MLI

Le principe de base de la modulation de largeur d'impulsion est sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire. Ainsi la tension de sortie de l'onduleur est formée par une succession de créneaux d'amplitude égale à la tension d'alimentation (continue) et de largeur variable. La technique la plus répandue pour la reproduction d'un signal MLI est de comparer un signal triangulaire appelé porteuse de haute fréquence à un signal de référence appelé modulatrice et qui constitue l'énergie du signal recueilli à la sortie de l'onduleur, figure (I.15).

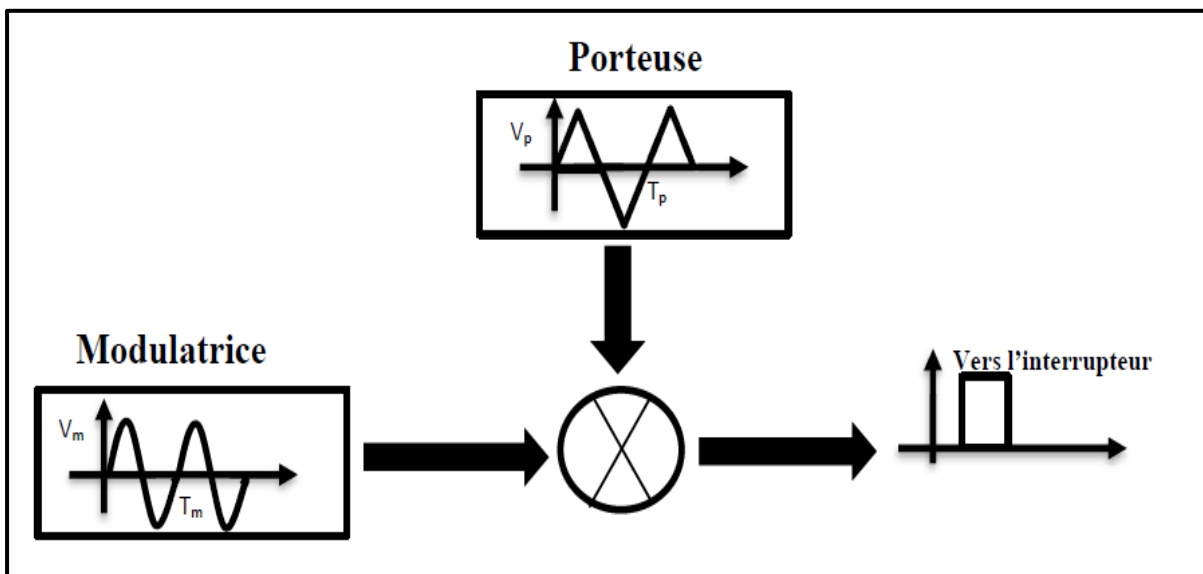


Figure (I.15) : Principe de base de la commande MLI



V.5. CARACTERISTIQUES DE LA COMMANDE MLI

La technique de la MLI se caractérise par deux grandeurs :

➤ **Le coefficient de réglage** : qui est défini comme étant le rapport de l'amplitude de l'onde modulante à celle de l'onde porteuse. Il permet de déterminer l'amplitude de la fondamentale de l'onde de modulation de largeur d'impulsion :

$$r = \frac{V_m}{V_p} \dots \dots \dots (I.6)$$

➤ **L'indice de modulation** : Il est défini comme étant le rapport de la fréquence de l'onde porteuse à celle de l'onde modulante :

$$m = \frac{f_p}{f_m} \dots \dots \dots (I.7)$$

On met une tension continue $V_{dc} = 100v$ à l'entrée de l'onduleur triphasé dont la structure est donnée par la figure (I.14).

La figure (I.16) présente les signaux de commande si on le pilote avec la technique de la modulation de largeur d'impulsion MLI.

Si $V_m > V_p$ alors $S_1 = 1$ Sinon $S_1 = 0$

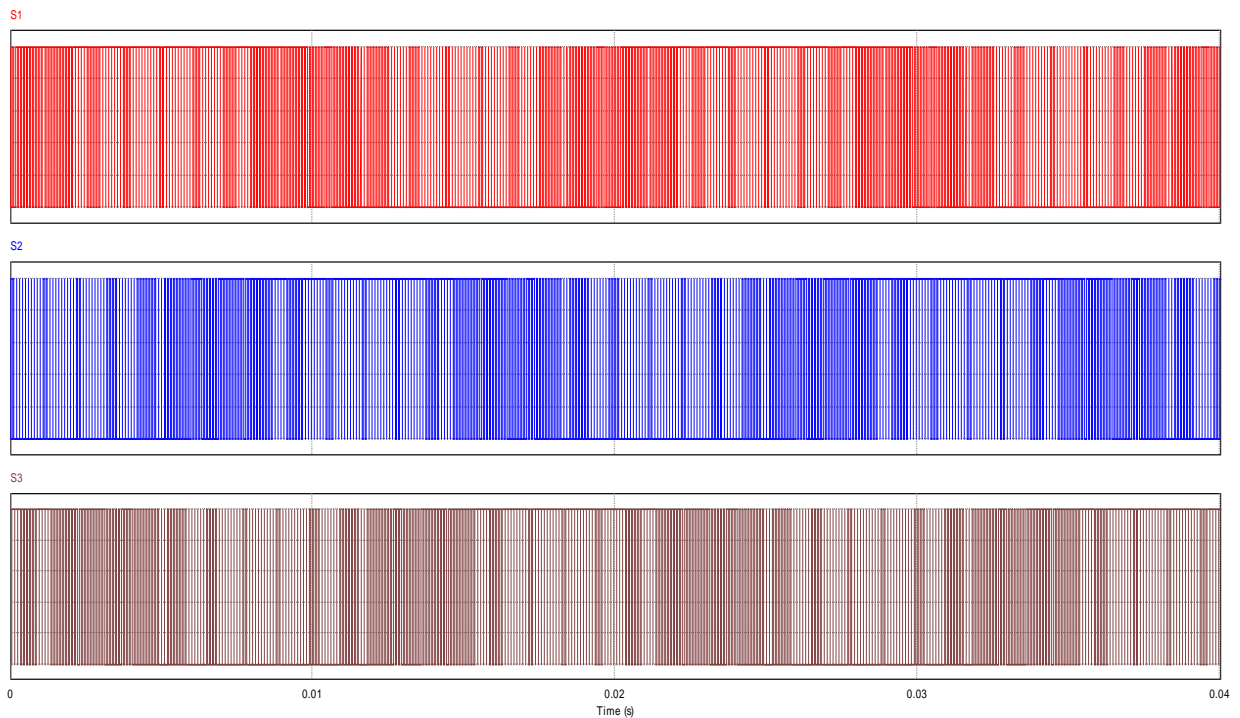


Figure (I.16) : les signaux de commande pilotée avec la technique de MLI

Les tensions simples V_{an} et V_{bn} (figure (I.17)) sont alternées entre les valeurs $\pm \frac{V_{dc}}{3}$ et $\pm \frac{2V_{dc}}{3}$ et leurs formes sont proche à un signal sinusoïdal. Tandis que la tension composée V_{ab} est alterné entre deux valeurs $+V_{dc}$ et $-V_{dc}$. C'est pourquoi on l'appelle onduleur à deux niveaux.

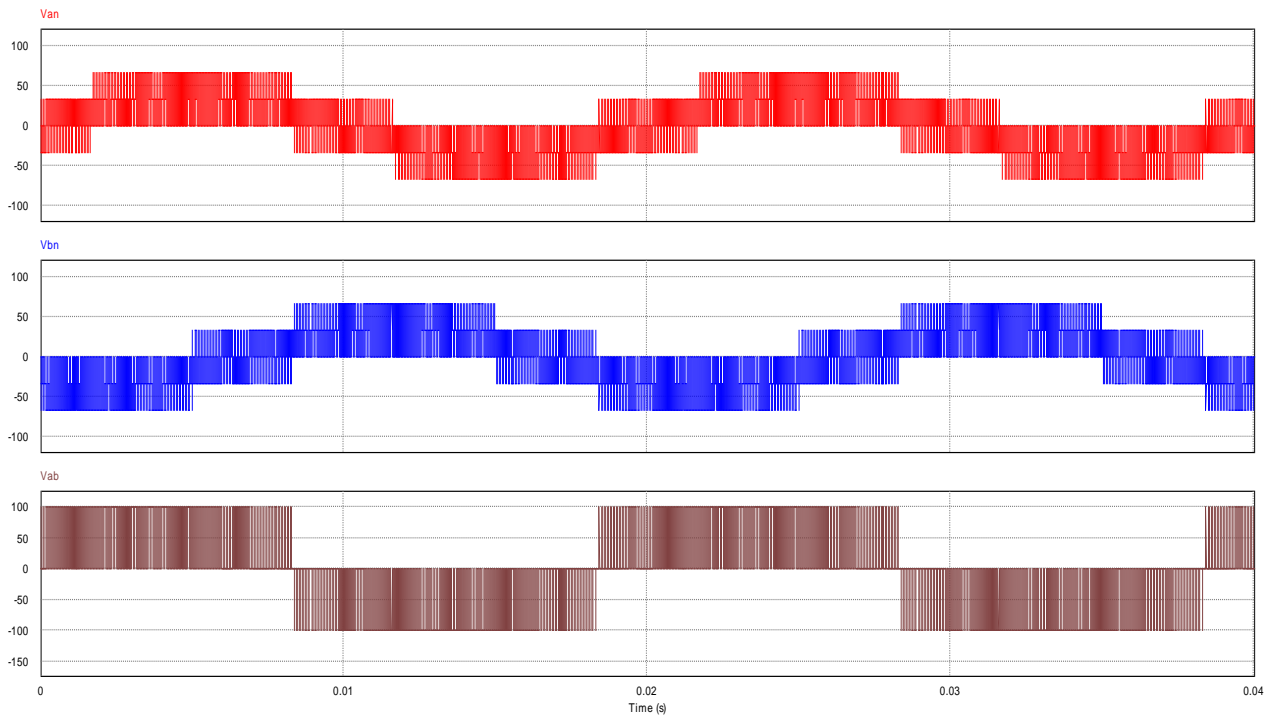


Figure (I.17) : Les tensions simples Van et Vbn

Si on observe les tensions Van, Vbn (figure (I.18)) mesurés par rapport à la partie négative de l'onduleur, on visualise les deux niveaux +Vdc et 0v. ces tensions permettent également d'obtenir la même tension composée Vab.

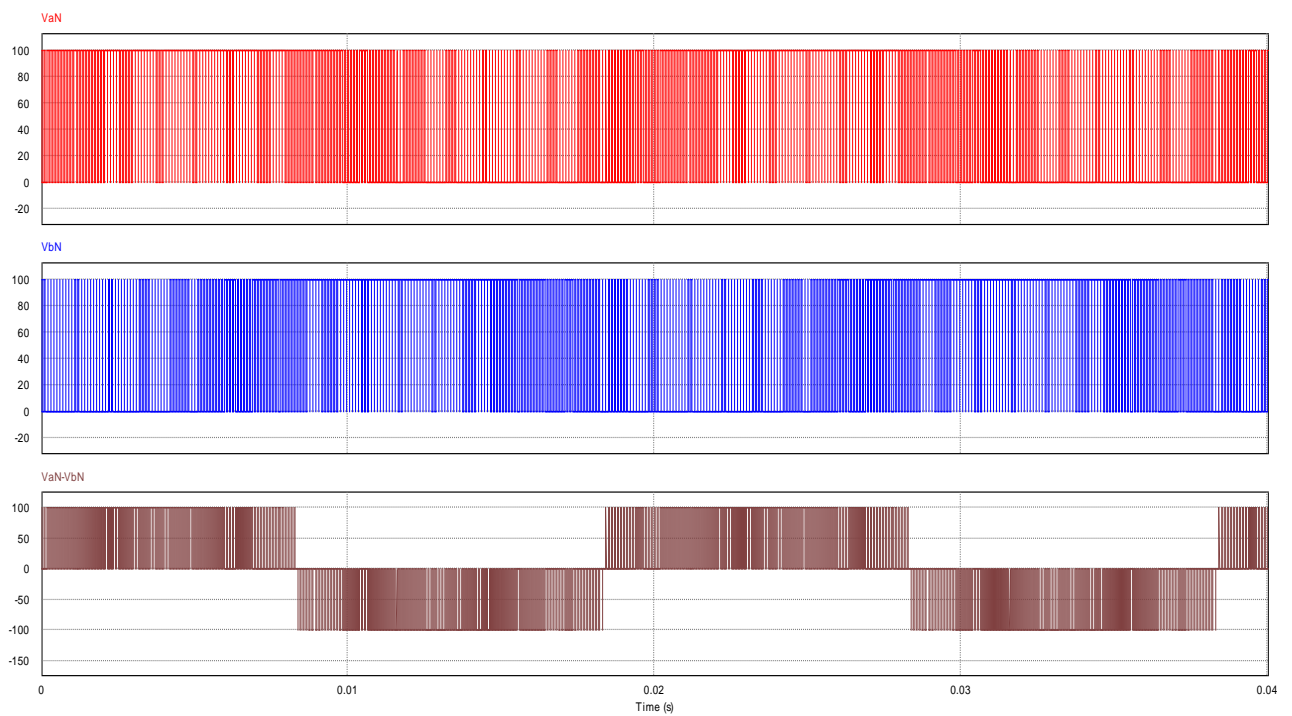


Figure (I.18) : la tension composée Vab

V.6. LES AVANTAGES DE LA COMMANDE MLI [12]

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.

VI. CONCLUSION

Le but de ce chapitre est la modélisation et la commande d'un onduleur triphasé. Grâce à cette étude, nous savions que pour obtenir un onduleur triphasé de bonne qualité et d'excellentes caractéristiques, il faut concentrer sur les deux circuits fondamentaux, le circuit de commande et le circuit de puissance.

Nous avons également vérifié que l'utilisation du composant IGBT dans le circuit de puissance est très appropriée pour les onduleurs de forte puissance qui ne nécessitent pas une fréquence de commutation très élevée. Alors que le transistor MOSFET convient très bien aux onduleurs de puissances faibles et moyennes nécessitant une excellente tension, dont la fréquence de la commutation est très grande.

Concernant les techniques de contrôle des onduleurs, nous avons présenté la commande 150° , la commande 180° et la commande par modulation de largeur d'impulsion MLI, il est apparu clairement que cette dernière possède de meilleures caractéristiques, car elle permet d'obtenir un signal quasi-sinusoïdal contenant moins des harmoniques faciles à filtrer.

Le prochain chapitre sera réservé à la réalisation d'un onduleur triphasé à base des IGBTs et piloté avec la technique de modulation de largeur d'impulsion MLI.



Chapitre 02

Réalisation d'un onduleur de tension triphasés à base d'IGBT



I. INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à la réalisation d'un onduleur triphasé à base d'IGBT et au son test de pilotage des moteurs asynchrones monophasé et triphasé.

Après avoir terminé l'explication des éléments les plus importants et nécessaires pour réaliser et contrôler cet onduleur, tels que la carte de développement STM32F407-discovery, l'IGBT, l'optocoupleur ... etc. Nous avons défini toutes les étapes nécessaires au processus de réalisation. Réalisation sur la plaque d'essai, réalisation du circuit d'alimentation, réalisation du circuit de commande, et réalisation du circuit de puissance.

Enfin, pour tester notre onduleur réalisé, nous l'avons utilisé pour alimenter un moteur asynchrone monophasé à faible puissance (25 watts) et un moteur asynchrone triphasé de puissance 550 Watt.

II. ELEMENTS PRINCIPAUX ET NECESSAIRES POUR REALISER ET PILOTER L'ONDULEUR TRIPHASE

Avant de commencer le processus de la réalisation de l'onduleur triphasé, les éléments les plus importants doivent être introduits, en mentionnant leurs caractéristiques et leur mode d'utilisation.

II.1. CARTE DE DEVELOPPEMENT DES COMMANDES STM32F407-DISCOVERY

Elle permet aux utilisateurs de développer facilement des applications avec un microcontrôleur haute performance STM32F4 muni d'un processeur ARM Cortex-M4 32bits. Elle inclut tout ce qui est nécessaire pour les débutants ou pour les utilisateurs expérimentés pour commencer rapidement à effectuer des développements.

Peu coûteuse et facile à utiliser, la carte STM32F4 Discovery (figure (II.1)) aide à découvrir les fonctionnalités haute performance du microcontrôleur STM32F4 et à développer facilement des applications [8].

La carte 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

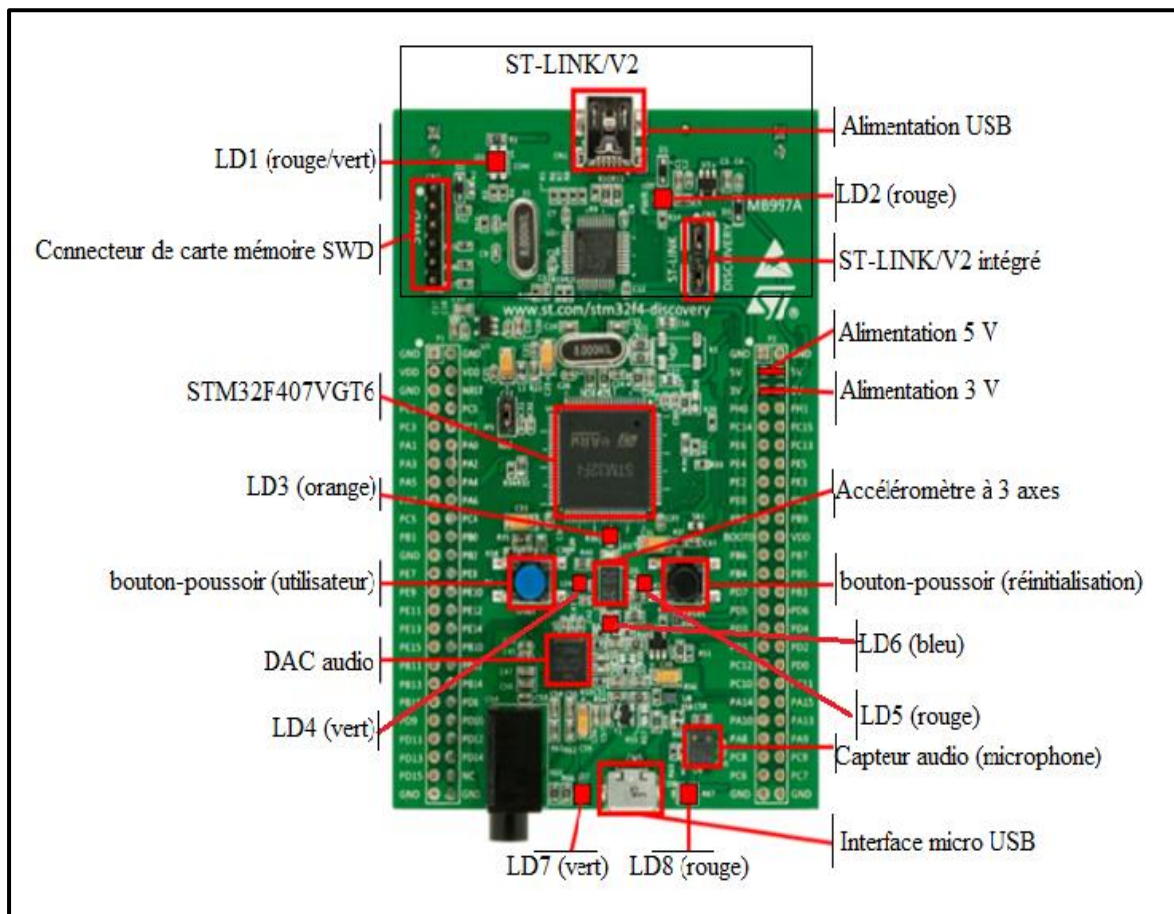


Figure (II.1) : Carte de développement STM32F407-discovery



II.2. MODULE D'IGBT

Le 2MBI75N120 (figure (II.2)) 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. 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 RBSOA carrée, une basse tension de saturation, moins de dissipation de puissance totale, une inductance de parasite interne minimisée et une fonction de limitation des surintensités [9]. Son circuit équivalent est donné par la figure (II.3).



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

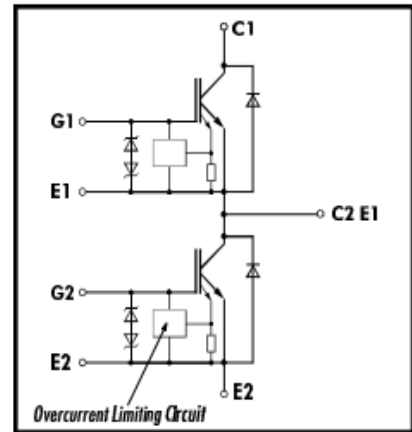


Figure (II.3) : Circuit équivalent du 2MBI75N120

II.3. OPTOCOUPLEUR TLP 250 ET HCPL A3120

L'isolation galvanique entre le circuit de puissance et le circuit de commande est assuré par l'optocoupleur TLP250 ou le HCPL A3120. Figure (II.4) Un optocoupleur est un composant électronique capable de transmettre un signal électrique à un autre sans aucun contact galvanique entre eux. Le principe de fonctionnement de TLP 250 est résumé dans la table de vérité suivante [10] :

		Tr1	Tr2
LED d'entrée	On	On	Off
	Off	Off	On

Tableau (II.1) : Table de vérité de l'optocoupleur TLP 250

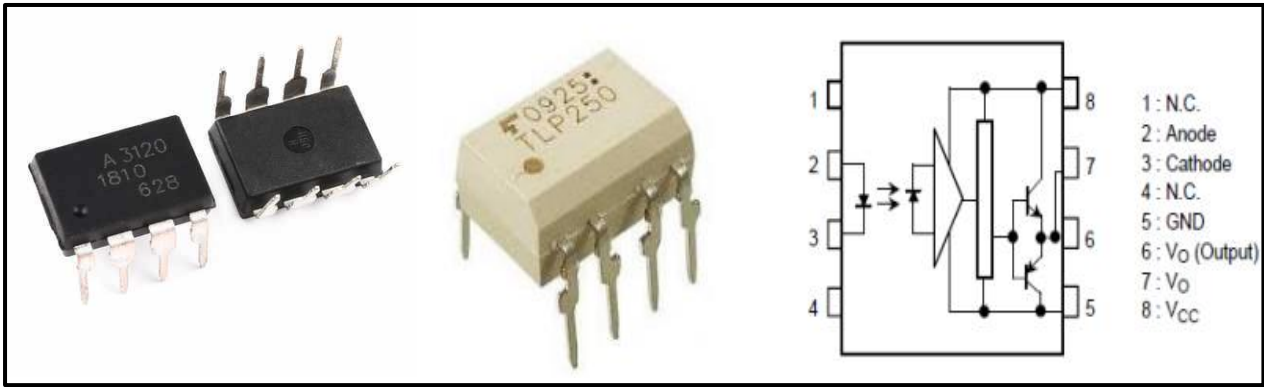
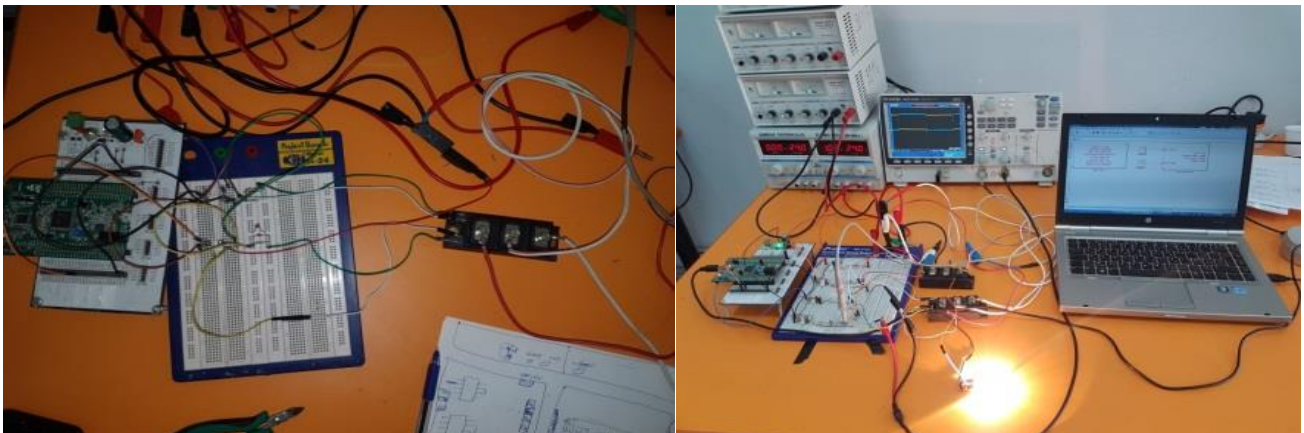


Figure (II.4) : L'optocoupleur TLP 250 et HCPL A3120

III. ETAPES DE REALISATION DE L'ONDULEUR TRIPHASE

III.1. REALISATION SUR PLAQUE D'ESSAI

Pour bien dimensionner l'onduleur triphasé, nous avons réalisé un onduleur monophasé en demi pont, un onduleur monophasé en pont et un onduleur triphasé sur la plaque d'essai. Ces tests nous a permet de déterminer les valeurs de tous composants nécessaires au notre onduleur à réaliser.



(a)

(b)



(c)

Figure (II.5) : (a) Onduleur monophasé en demi pont, (b) en pont, (c) onduleur triphasé.



III.2. REALISATION DU CIRCUIT D'ALIMENTATION

A) Transformateur :

Dans le but d'avoir une alimentation continue (+15 V) pour les optocoupleurs et (+12 V) pour les ventilateurs de refroidissement, nous avons opté pour un transformateur qui possède deux secondaires différents de 220V/12V et 220V/25V efficaces pour chacun et un courant de sortie de 3A. Cela permet au circuit d'alimentation de fonctionner dans un grand confort, surtout si nous savons la faible puissance des différents composants qui constituent notre circuit de commande. Figure (II.6)

B) Redressement :

Dans le but d'obtenir une tension continue supérieure à 300 v à l'entrée de l'onduleur, nous avons utilisé un pont de Great de 1000v/35A. Ce pont est capable de délivrer le courant nécessaire pour l'ensemble onduleur-moteur asynchrone.

Deux redresseurs PD2 sont également utilisées dans les sorties du transformateur afin de créer les deux tensions continues +12v et +15v. Figure (II.6)

C) Filtrage :

Le but du filtrage est de donner une tension sensiblement continue, le redressement étudié précédemment nous a permis de convertir une tension alternative sinusoïdale en une tension redressée. Cette tension comprend une composante alternative à laquelle est superposée une composante alternative, pour obtenir une tension continue de valeur efficace sensiblement constante il faut bloquer la composante alternative ou au moins la réduire, c'est le rôle du filtre capacitif qu'on a utilisé. Figure (II.6)

D) Régulation et protection :

La stabilisation des tensions positives +12v et +15v est réalisée respectivement par les régulateurs de tension 7812 et 7815. Ces circuits intégrés sont sensibles aux fluctuations du réseau, dans ce cas il est nécessaire de prévoir une régulation.

Les condensateurs sont usuellement utilisés pour la protection en courant contre le court-circuit et les fortes dissipations, donc une bonne régulation permet d'éliminer toute variation éventuelle de la tension. Figure (II.6)

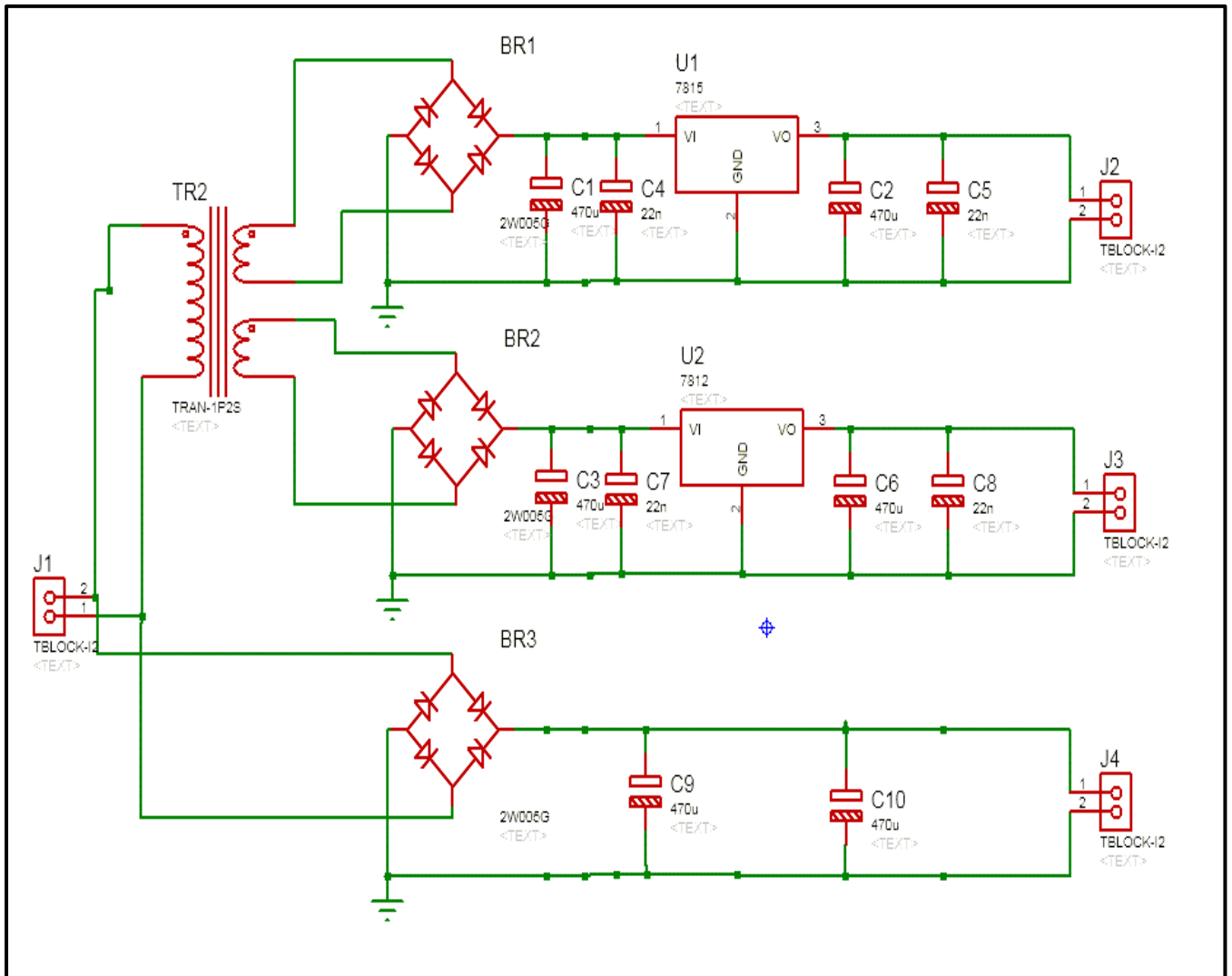


Figure (II.6) : Schéma électrique du circuit d'alimentation

III.3. REALISATION DU 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'optocoupleur 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). (Figure (II.7)).

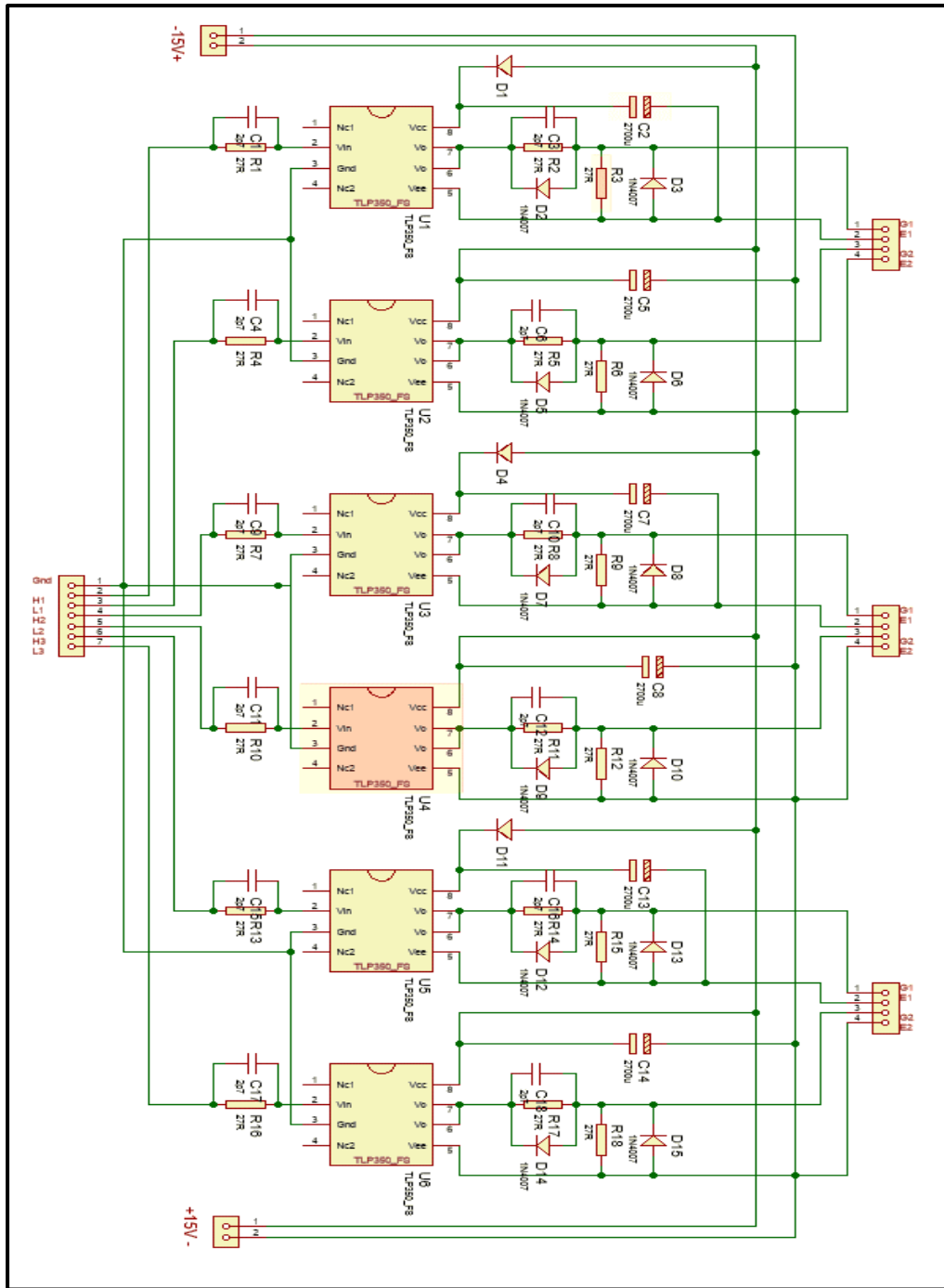


Figure (II.7) : Schéma électrique du circuit de commande

III.4. REALISATION DU CIRCUIT DE PUISSANCE

Nous avons utilisé pour notre onduleur le module IGBT -de la société japonaise Fuji Electric- qu'est capable de supporter une tension maximale de 1200 V et un courant maximum de 75 A. Un circuit de protection est ajouté pour protéger les interrupteurs de puissance contre les $\frac{du}{dt}$ et les $\frac{di}{dt}$ lors de la commutation (figure (II.8)).

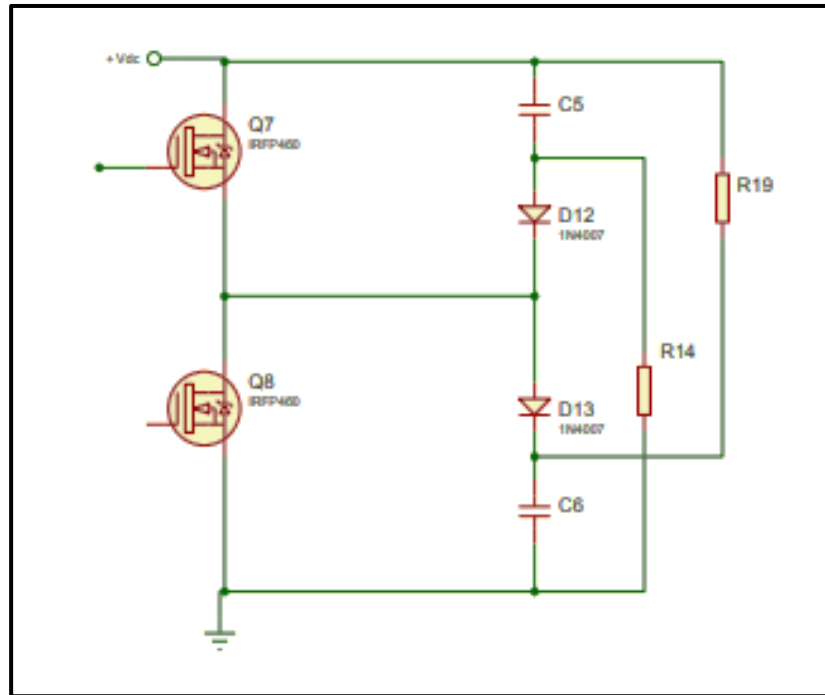


Figure (II.8) : Schéma électrique du circuit de puissance

IV. PILOTAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES EN UTILISANT L'ONDULEUR REALISE

Après avoir terminé la réalisation de l'onduleur triphasé. Nous l'avons d'abord testé : en pilotant un moteur asynchrone monophasé avec son réducteur de vitesse. Ce moteur a une faible puissance (25 watt) et une tension d'alimentation de 100 volts.

Nous avons d'abord utilisé un seul bras, c'est-à-dire un onduleur monophasé en demi pont, puis deux bras, c'est-à-dire un onduleur monophasé en pont. Enfin, notre onduleur triphasé est utilisé complètement (trois bras) pour piloter un moteur asynchrone triphasé. Ce dernier consomme une puissance de 0.55k watt.

IV.1. ONDULEUR EN DEMI PONT

IV.1.1. DESCRIPTION DU MONTAGE

Cette expérience est réalisée dans les conditions suivantes, dont le montage figure (II.9) est câblé comme montré le schéma de principe dans la figure (II.10).

- La tension continue V_{DC} est : 30.7V.
- La fréquence de tension d'alimentation V_{CH} est : 50Hz.
- La fréquence de commutation des interrupteurs de puissance est : 2.5KHz.

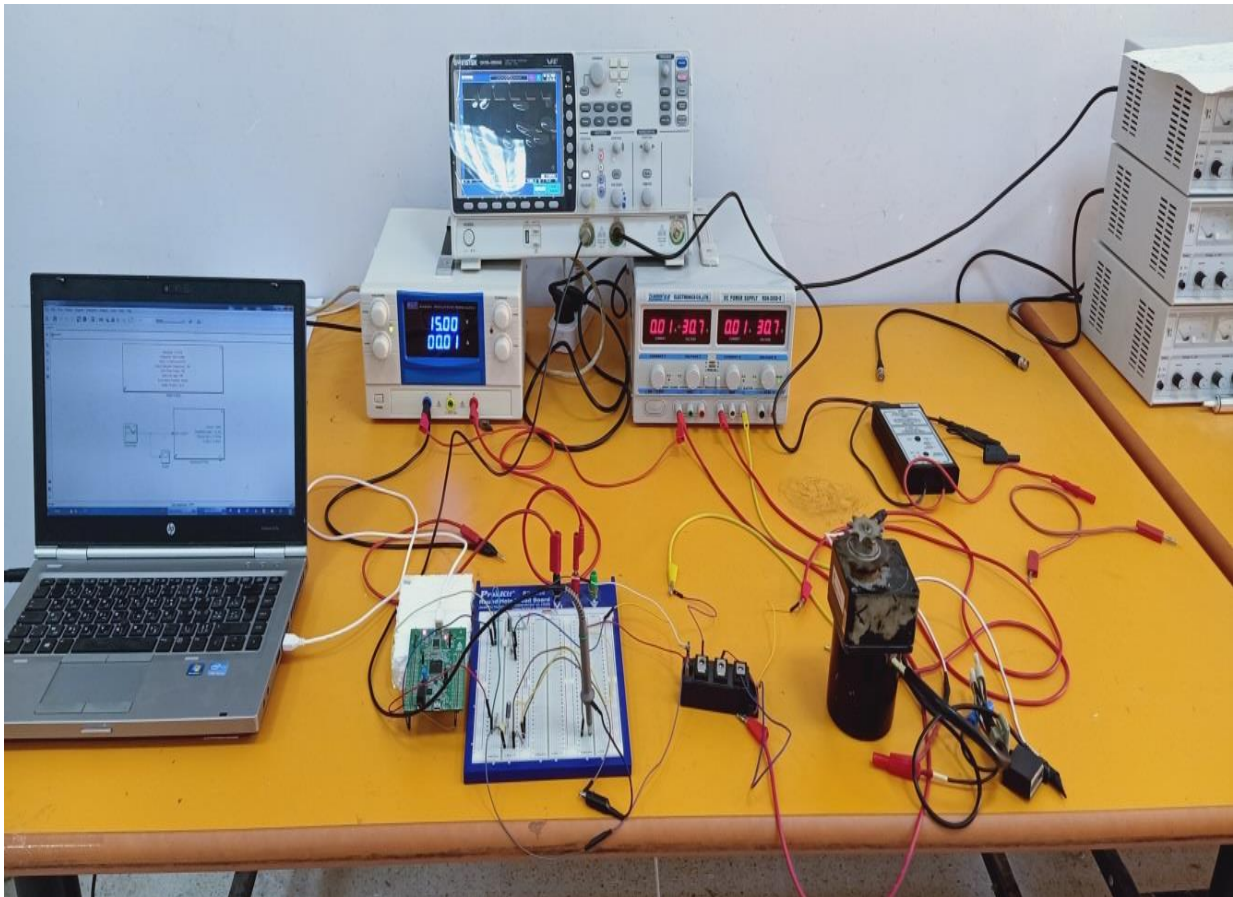


Figure (II.9) : le banc d'essai de l'onduleur monophasé en demi pont

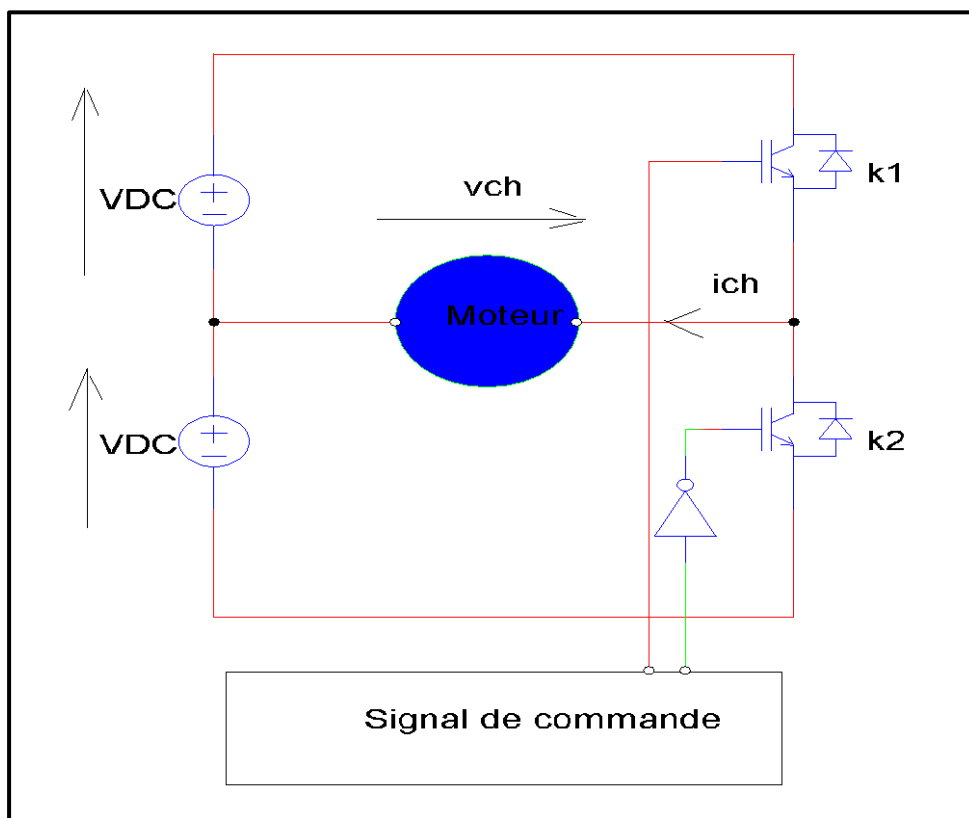


Figure (II.10) : Schéma de principe d'un onduleur monophasé en demi pont

IV.1.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

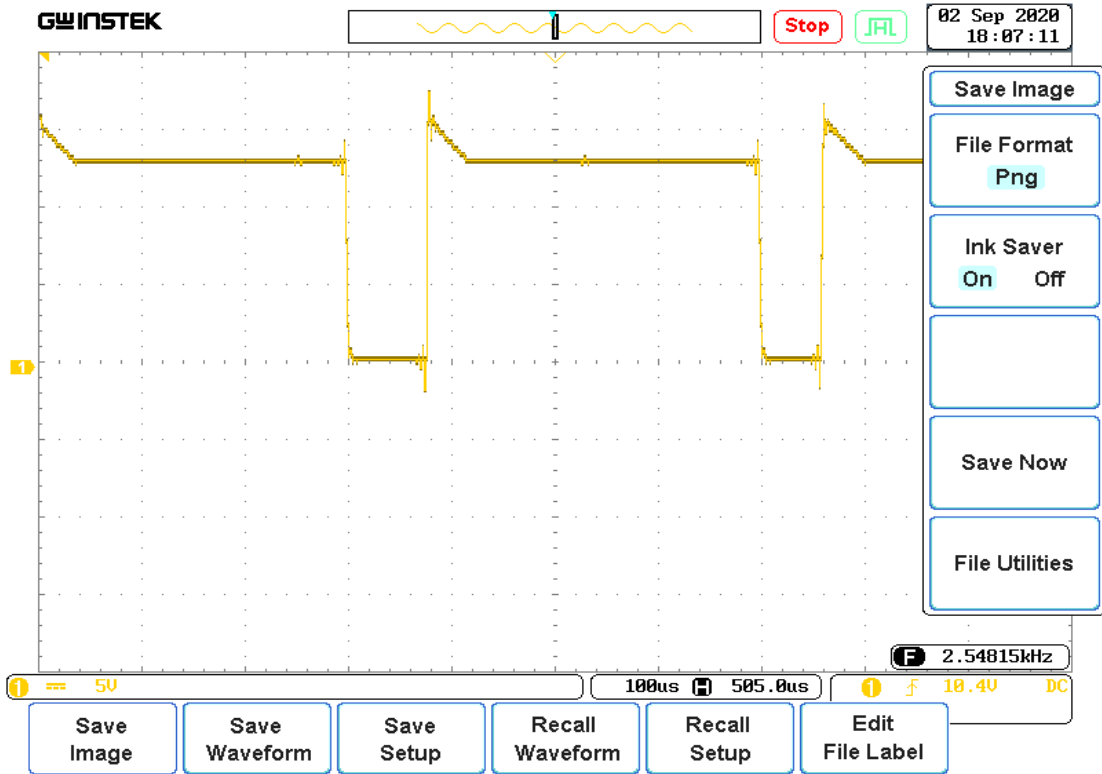


Figure (II.11) : Signal de commande

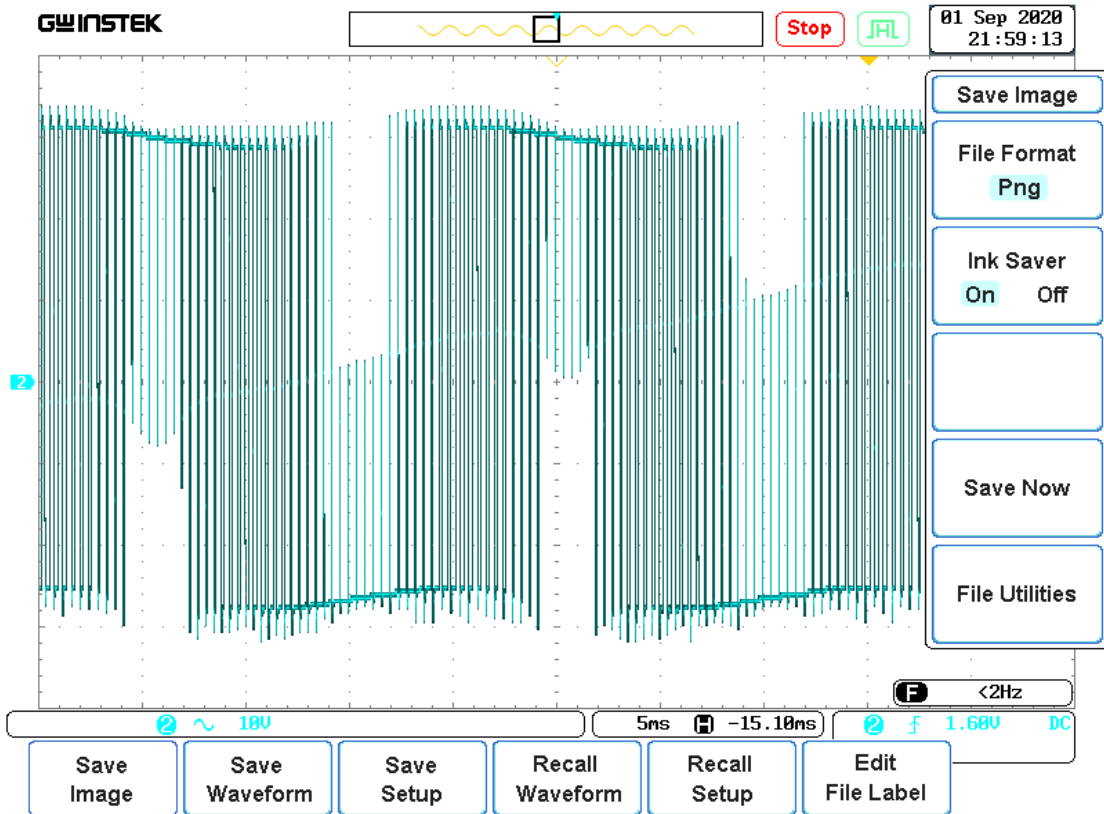


Figure (II.12) : Tension de la charge

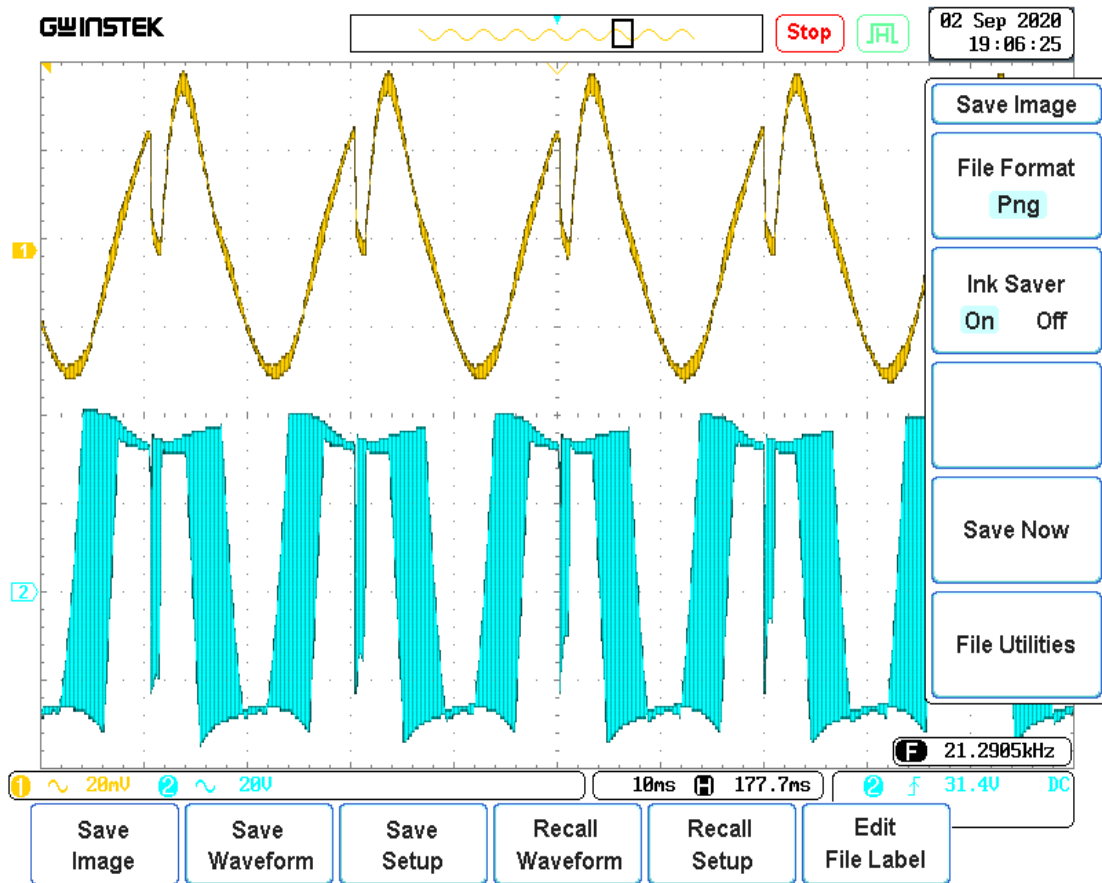


Figure (II.13) : Courant de la charge

IV.1.3. INTERPRETATION

L'objectif principal du contrôle de l'onduleur est d'obtenir un signal sinusoïdal à sa sortie. Nous avons donc utilisé la technique MLI où la porteuse est de type unipolaire avec une fréquence de commutation égale à 2.5KHz comme indiqué sur la figure (II.11).

La figure (II.12) montre une tension carrée alternative qui présente l'effet de l'utilisation de la technique MLI, qui facilite le processus de filtrage et permet d'obtenir facilement la fondamentale de ce signal. Ainsi qu'elle montre également l'amplitude du signal de tension qui compris entre $+V_{DC}$ et $-V_{DC}$ ou $+30.7V$ et $-30.7V$ placé en entrée de cet onduleur.

Notez que le moteur asynchrone a absorbé un courant sinusoïdal de fréquence 50Hz (Figure II.14). Pour mesurer ce courant, nous avons utilisé un capteur de courant avec le calibre $1A \rightarrow 200\text{ mV}$, par conséquent, l'amplitude du courant absorbé par le moteur est d'environ 0.2 A. On remarque également un pic dans le signal de tension, qui peut être due à la faible fréquence d'ouverture et de fermeture, qui l'a fait apparaître dans le signal du courant.

IV.2. ONDULEUR MONOPHASE EN PONT

IV.2.1. DESCRIPTION DU MONTAGE

Dans ce test, nous avons été obligés d'utiliser une source continue V_{DC} figure (II.14) externe comme entrée de notre onduleur car la tension de ce dernier est égale à 312 V, tandis que le moteur asynchrone monophasé nécessite 100 V comme tension d'alimentation.

Le moteur était entraîné en utilisant la technique précédente (MLI) avec l'onduleur monophasé en demi pont, où :

- La tension continue V_{DC} est égale : 100 V.
- La fréquence de commutation est égale : 2.5KHz.
- La fréquence de tension d'alimentation est égale : 50Hz avec $V_{CH}=70$ V (figure II.16)

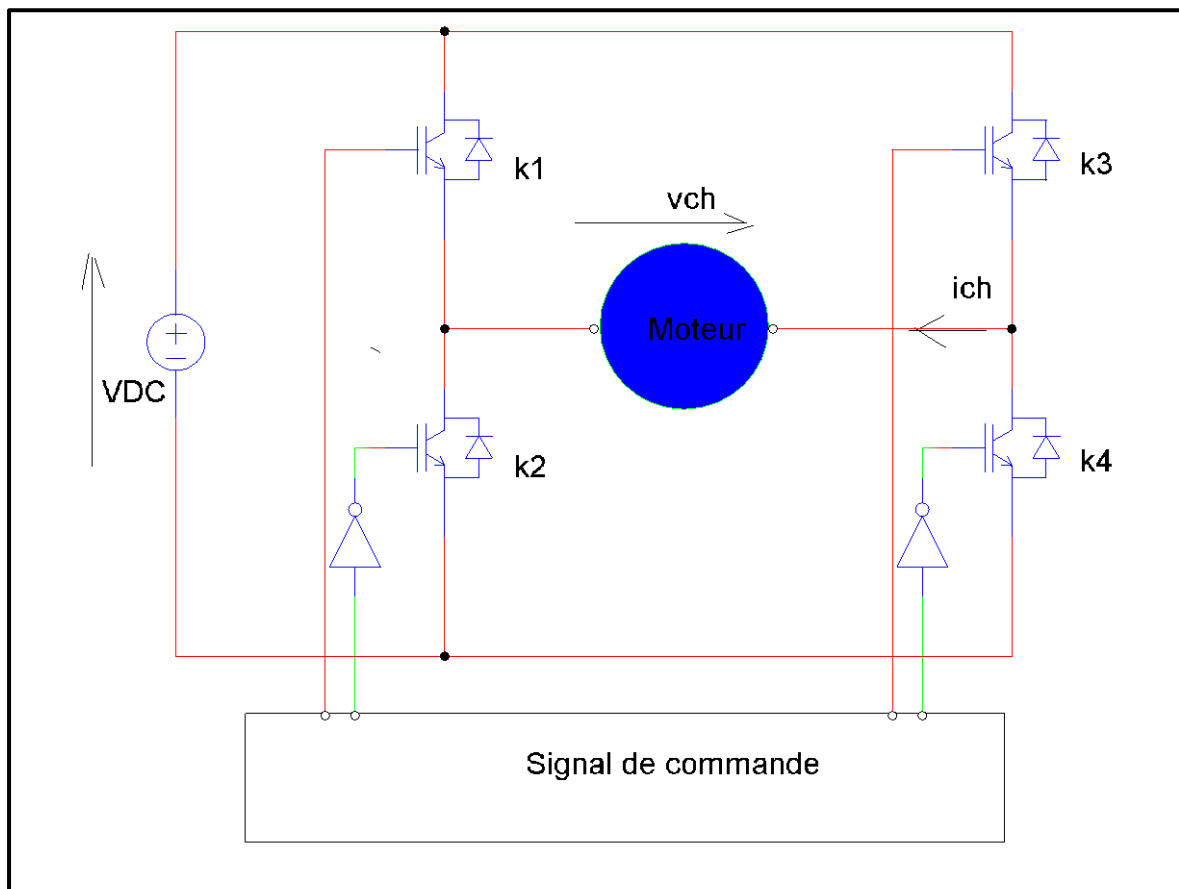


Figure (II.14) : Schéma de principe d'un onduleur monophasé en pont

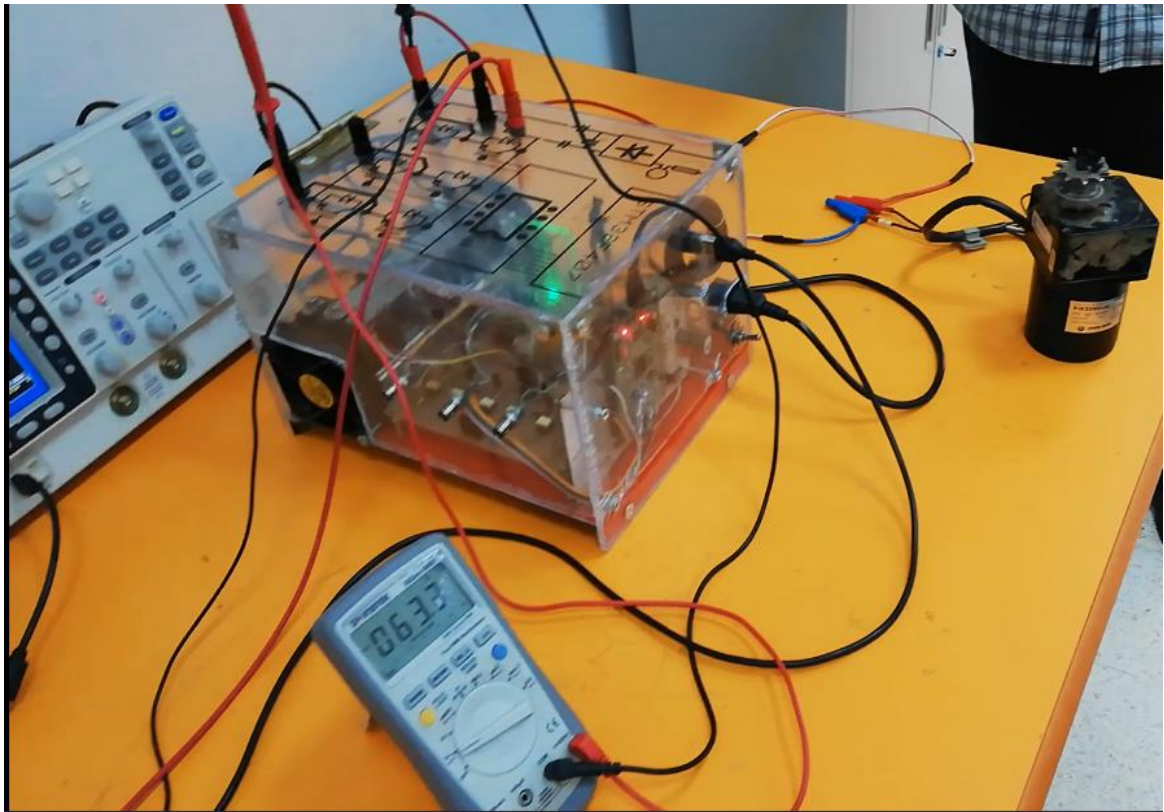


Figure (II.15) : le banc d'essai de l'onduleur monophasé en pont

IV.2.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

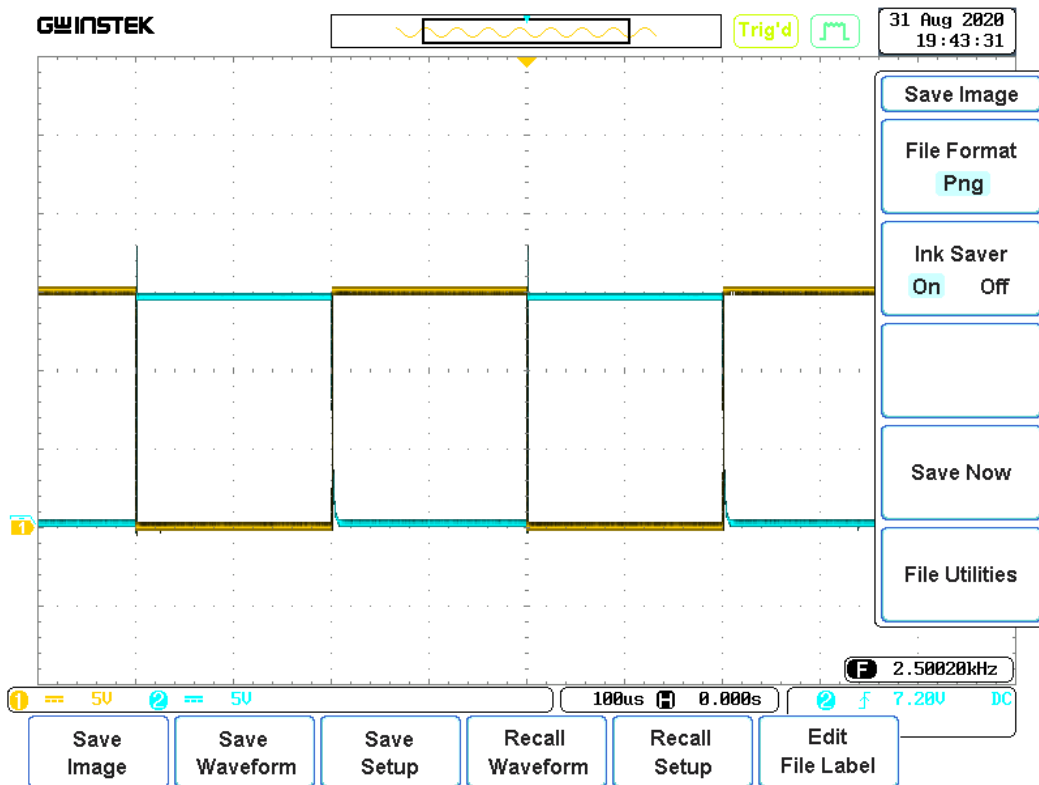


Figure (II.16) : Signaux de commande

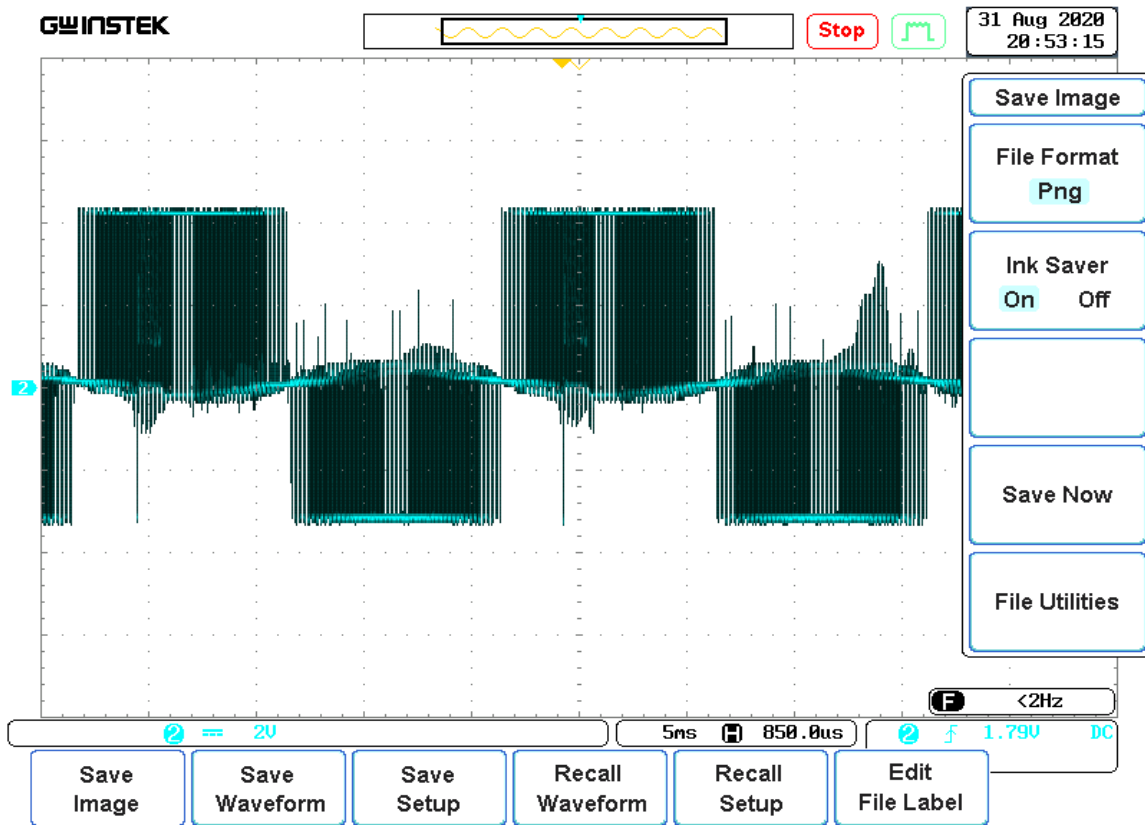


Figure (II.17) : Tension de la charge

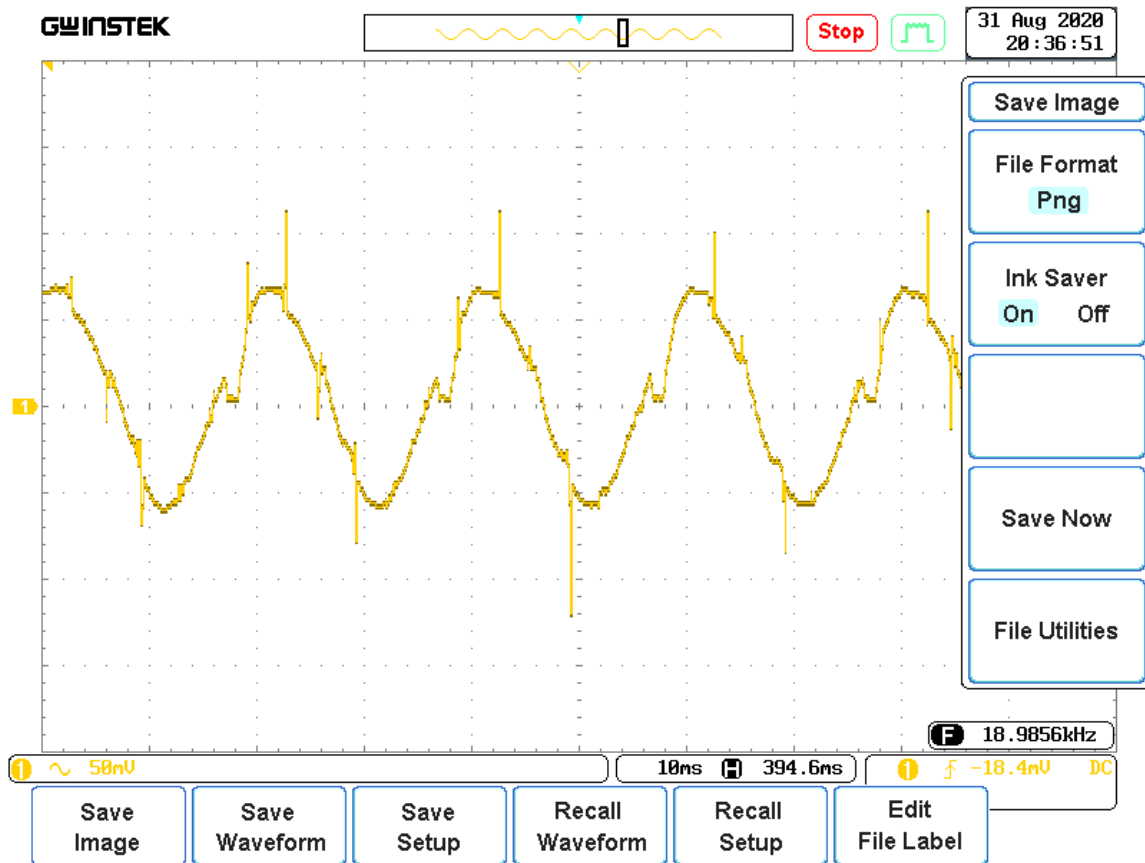


Figure (II.18) : Courant de la charge



IV.2.3. INTERPRETATION

La première figure (II.16) représente les signaux de commande des deux interrupteurs K1 et K2, bien sûr, ils sont complémentaires pour éviter de court-circuiter la source de tension constante, et ils ont une amplitude de 15 volts suffisante pour saturer les transistors.

Nous avons obtenu les signaux de commande des quatre interrupteurs K1, K2, K3 et K4 en utilisant deux signaux sinusoïdaux de tension comme référence, où la différence de phase entre eux est égale à une demi-période. Le signal triangulaire unipolaire (la porteuse) à une fréquence de 2.5KHz, ce qui est très clair sur la figure.

L'utilisation de la technique MLI bipolaire permet d'obtenir à la sortie de l'onduleur (figure (II.17)) une tension alternative hachée comprise entre $+V_{DC}$ et $-V_{DC}$. Cette tension est facilement filtrée, si on ajoute un filtre LC à la sortie de l'onduleur.

Si nous avons mis le moteur asynchrone sous la tension précédente, il absorbe un courant sinusoïdal de fréquence 50Hz et d'amplitude 0.4 A (calibre du capteur du courant $1A \rightarrow 200mV$), comme montée la figure (II.18). L'effet de commutation des interrupteurs est remarquable sur le signal du courant dont la nature inductive du moteur a joué le rôle d'un filtre.

IV.3. ONDULEUR TRIPHASE

IV.3.1. DESCRIPTION DU MONTAGE

Dans le dernier essai de ce mémoire, nous avons piloté un moteur asynchrone triphasé en utilisant notre onduleur suivant le schéma de principe de la (figure (II.19)). L'entrée de ce dernier est assurée par une alimentation DC de 120 V. Nous avons imposé à sa sortie une tension sinusoïdale de fréquence 50Hz. L'onduleur est commandé par la modulation de largeur d'impulsion MLI sinusoïdale dont les caractéristiques sont figure :

- Fréquence de commutation est égale à 2.5KHz pour obtenir un signal plus proche à la sinusoïde.
- Coefficient de réglage proche à l'unité pour profiter le maximum de l'entrée DC de l'onduleur.

Figure (II.20)).

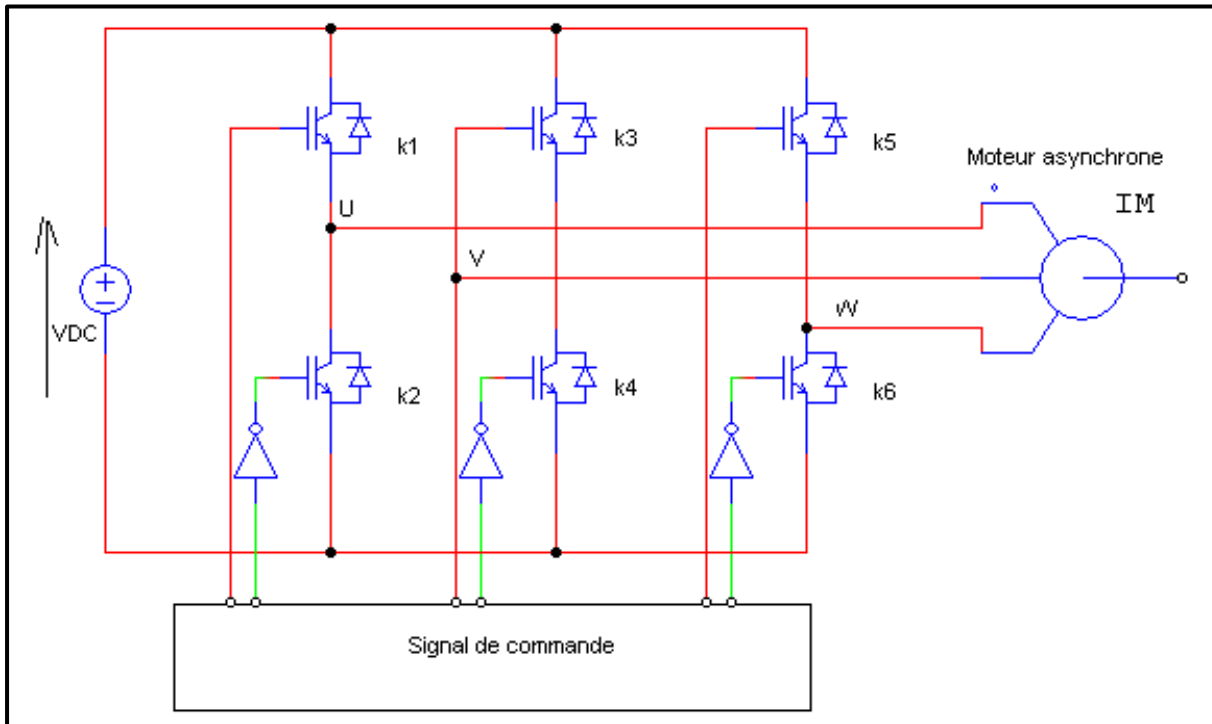


Figure (II.19) : Schéma de principe d'un onduleur triphasé.

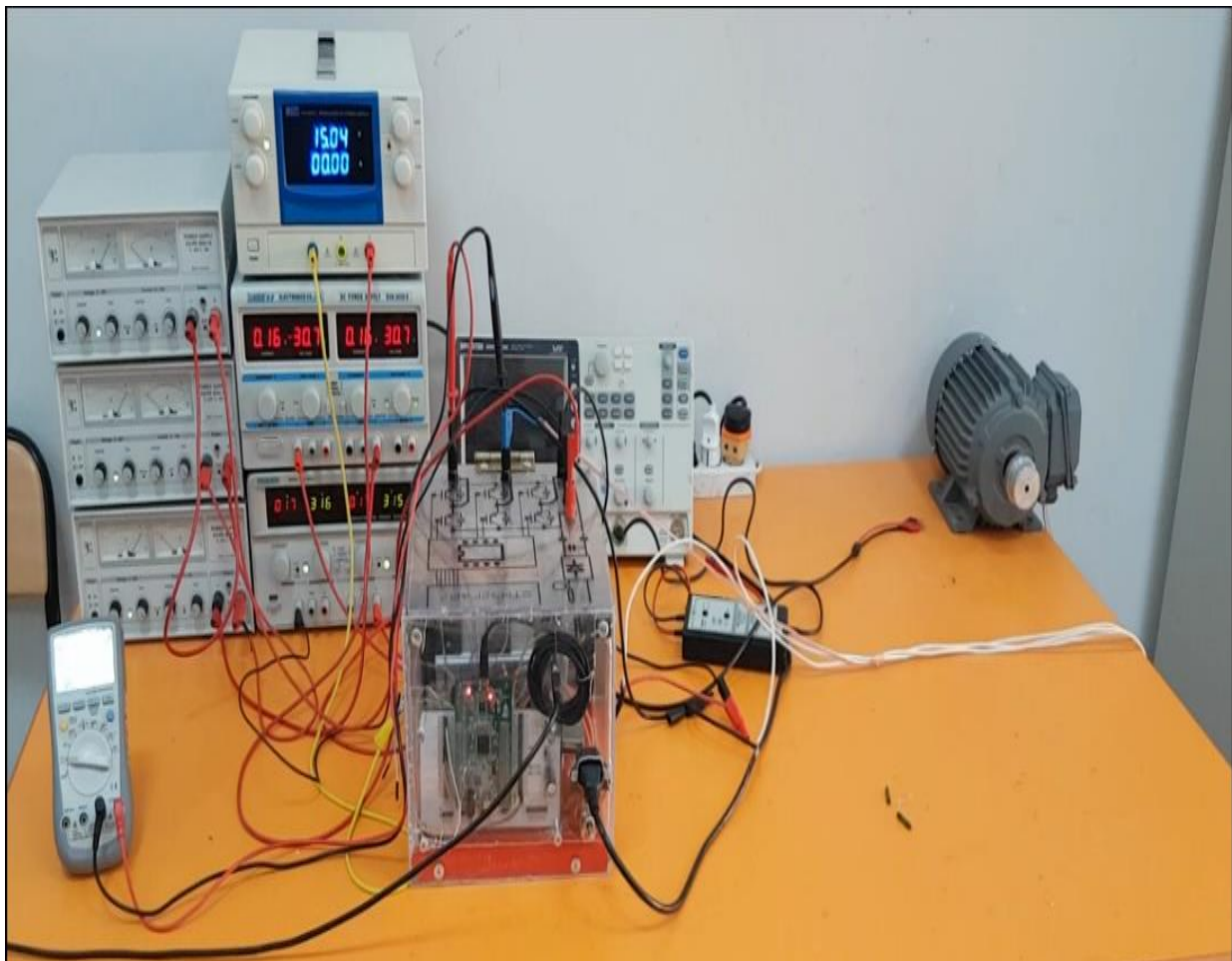


Figure (II.20) : le banc d'essai de l'onduleur triphasé.

IV.3.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

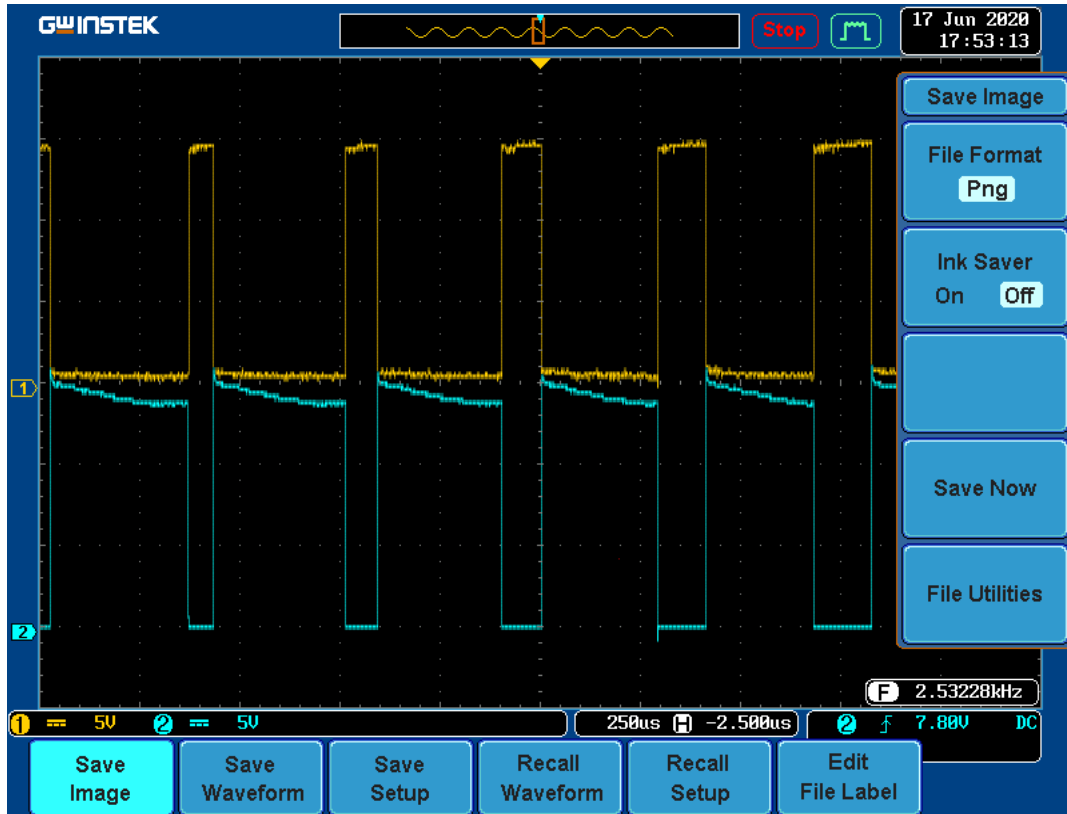


Figure (II.21) : Signaux de commande

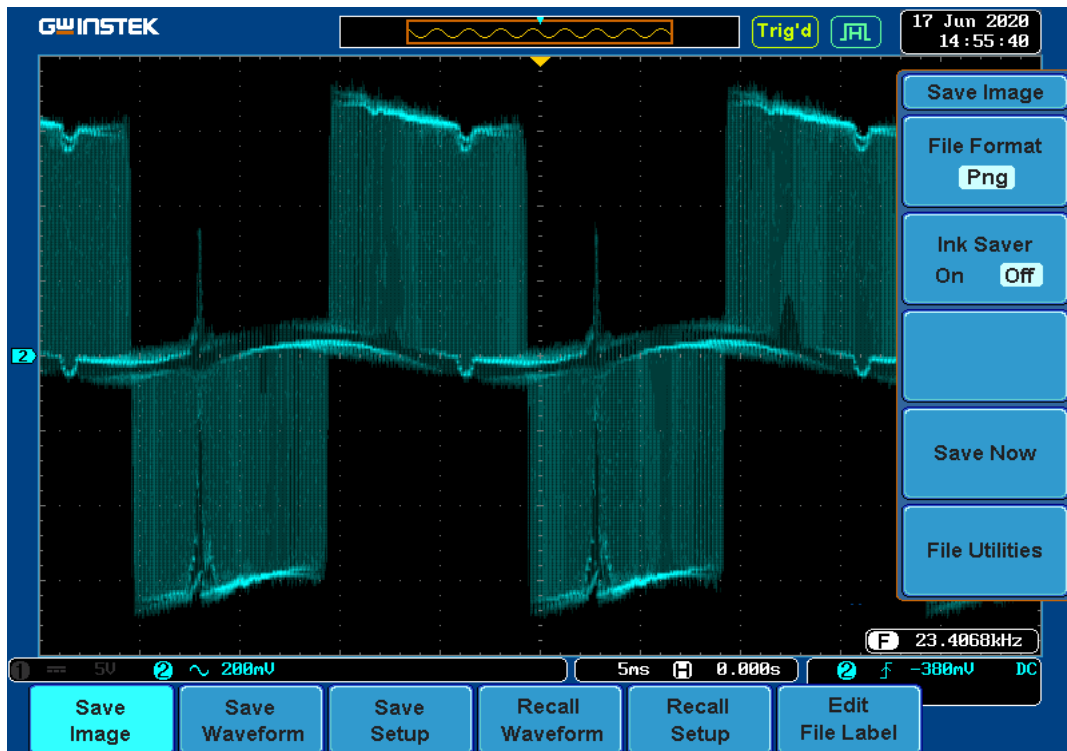


Figure (II.22) : Tension de la charge

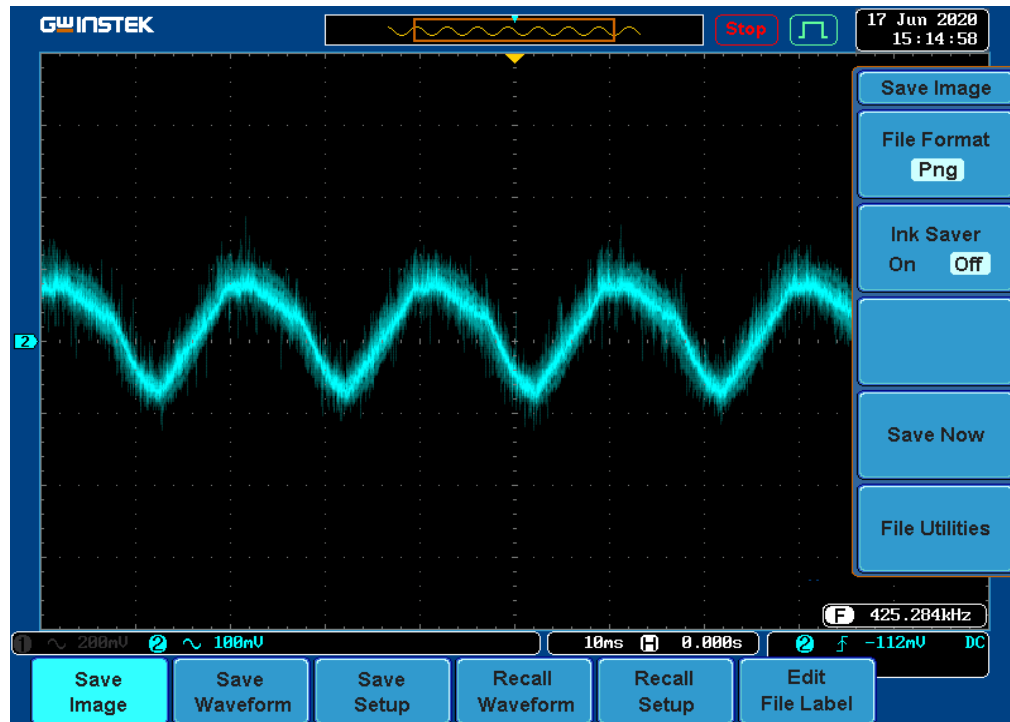


Figure (II.23) : Courant de la charge

IV.3.3. INTERPRETATION

- La figure (II.21) montre clairement les signaux de commande d'un bras de l'onduleur triphasé. Ces signaux sont complémentaires, de fréquence de 2.5KHz, et leurs amplitudes sont capables d'amorcer les IGBT.
- Nous avons utilisé une sonde de tension différentielle aux bornes du moteur dont la mesure est divisée sur 200. Pour cela, on remarque que la tension dans la figure (II.22) est alternative hachée et comprise entre $+V_{DC}$ et $-V_{DC}$ ou $+120V$ et $-120V$.
- L'effet inductif du moteur asynchrone triphasé et la tension alternative à ses bornes imposent un courant sinusoïdal d'amplitude presque 1 A. (figure (II.23))

V. CONCLUSION

Le but de ce chapitre est de tester notre onduleur triphasé réalisé à base des IGBT. Pour cela nous l'avons utilisé pour alimenter deux types de charges différentes. Un moteur monophasé asynchrone de puissance 25 Watt et un moteur asynchrone triphasé de puissance 0.55KWatt.

Deux tests ont été effectués avec le moteur asynchrone monophasé en utilisant un seul bras (onduleur monophasé en demi pont) et deux bras (onduleur monophasé en pont). Tandis que le dernier test est avec les trois bras. Les résultats expérimentaux montrent clairement la conversion continue alternative des tensions, ce qui signifie l'efficacité de notre convertisseur.



CONCUSION GENERALE

CONCUSION GENERALE

L'objectif principal de ce travail est de réaliser un onduleur triphasé, basé sur le transistor IGBT, et de l'utiliser pour piloter des moteurs asynchrones, qu'ils soient monophasés ou triphasés.

Pour valider ce travail, nous l'avons divisé en deux parties :

La première partie est une théorie que nous avons consacrée à la modélisation de l'onduleur triphasé et à son pilotage avec différentes techniques. Après avoir donné une structure pour l'onduleur, nous avons cité les lois les plus importantes qui la régissent, pour obtenir finalement un modèle équivalent, qui est une matrice carrée [3x3] relie la tension de sortie de cet onduleur d'une part et les états des interrupteurs de puissance et la tension continue d'entrée d'autre part.

Ensuite, nous avons passé en citant de nombreux types de technologies de contrôle classiques telles que le contrôle 150° , le contrôle 180° et le contrôle par la modulation de largeur d'impulsion MLI. Les résultats de ce dernier état bon et ont donné à la sortie de l'onduleur une tension semi-sinusoïdale, peu déformée, ce qui facilite le processus de filtrage.

La deuxième partie était expérimentale, donc après avoir connu les éléments les plus importants nécessaires pour réaliser cette carte ondulée, comme la carte de développement des commandes STM32F407, le module d'IGBT 2MBI75N120, le TLP 250...etc.

Nous avons réalisé - sur une plaque d'essai - un onduleur monophasé en demi pont puis en pont et triphasé. Les résultats des tests sur la plaque étaient excellents et encourageants à engager pour compléter les circuits nécessaires pour notre onduleur, le circuit d'alimentation, le circuit de commande et le circuit de puissance.

Enfin, nous avons testé notre onduleur en pilotant séparément deux moteurs asynchrones monophasé et triphasé. Les résultats étaient très bons, car les tensions de charge étaient presque sinusoïdales et les courants étaient sinusoïdaux.

ANNEXE

Caractéristiques du matériel utilisé pour réaliser ce projet

Note : la source de l'information est en anglais, nous l'avons donc laissée dans la même langue que la source car il y a des mots dont le vrai sens change et devient inexact si nous le changeons dans une autre langue

I. Optocoupler Module (TLP250)

The optocoupler TLP250 consists of a Galas light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8–lead DIP package.

TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $0.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage : $2500V_{\text{rms}}(\text{min.})$

• Option(D4)

Maximum Operating Insulation Voltage: $890V_{\text{PK}}$

Highest Permissible Over Voltage: $4000V_{\text{PK}}$

I.1. Pin Configuration

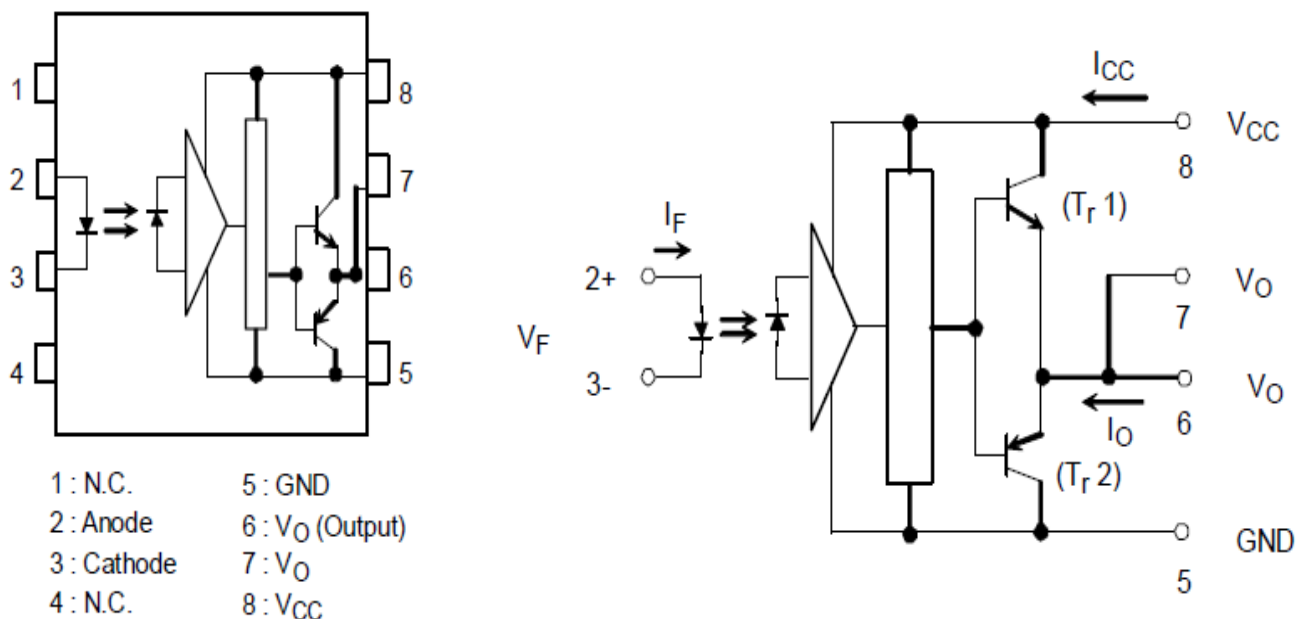


Fig.01: Configuration output and input pin

II. Optocoupler Module (HCPL-3120)

The HCPL-3120 contain an All GaAs LED. The LED is optically coupled to an integrated circuit with a power output stage. These optocouplers are ideally suited for driving power IGBTs and MOSFETs used in motor control inverter applications. The high operating voltage range of the output stage provides the drive voltages required by gate-controlled devices.

- 2.5 A maximum peak output current
- 2.0 A minimum peak output current
- 25 kV/ μ s minimum Common Mode Rejection (CMR) at $V_{CM} = 1500$ V
- 0.5 V maximum low-level output voltage (VOL) Eliminates need for negative gate drive
- $I_{CC} = 5$ mA maximum supply current
- Under Voltage Lock-Out protection (UVLO) with hysteresis
- Wide operating VCC range: 15 to 30 Volts
- 500 ns maximum switching speeds
- Industrial temperature range: 40°C to 100°C

II.1 Pin Configuration

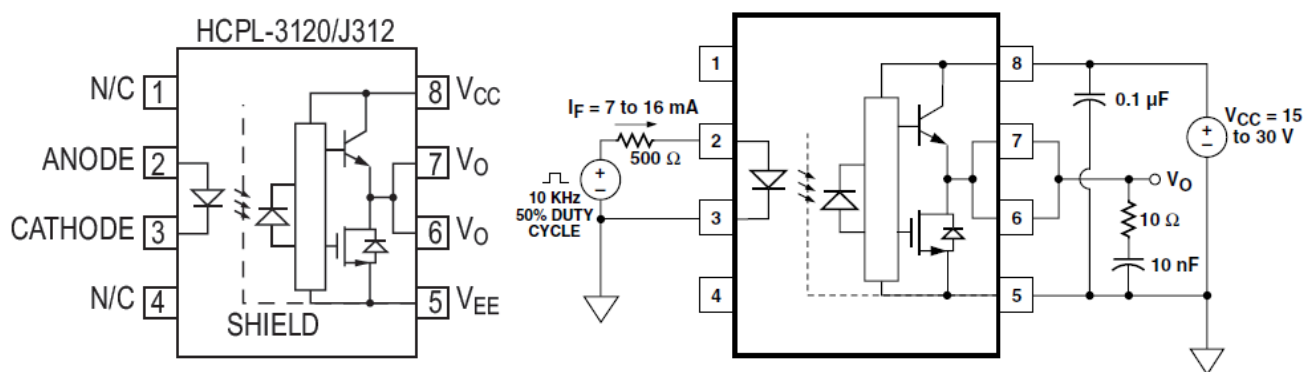


Fig.02: Configuration output and input pin

II.2 Applications

- IGBT/MOSFET gate drive
- AC/Brushless DC motor drives
- Industrial inverters
- Switch mode power supplies

ANNEXE

III. IGBT Module (2MBI75N120)

III.1. Features

- Square RBSOA
- Low Saturation Voltage
- Less Total Power Dissipation
- Improved FWD Characteristic
- Minimized Internal Stray Inductance
- Overcurrent Limiting Function (4~5 Times Rated Current)

III.2. Maximum Ratings and Caractéristiques

• Absolute Maximum Ratings ($T_c=25^\circ\text{C}$)

Items		Symbols	Ratings	Units
Collector-Emitter Voltage		V_{CES}	1200	V
Gate -Emitter Voltage		V_{GES}	± 20	V
Collector Current	Continuous	I_C	75	A
	1ms	$I_{C\ PULSE}$	150	
	Continuous	$-I_C$	75	
	1ms	$-I_{C\ PULSE}$	150	
Max. Power Dissipation		P_C	600	W
Operating Temperature		T_j	+150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature		T_{stg}	-40 ~ +125	$^\circ\text{C}$
Isolation Voltage	A.C. 1min.	V_{is}	2500	V
Screw Torque		Mounting *1	3.5	Nm
		Terminals *2	3.5	

Note: *1:Recommendable Value; 2.5 ~ 3.5 Nm (M5)

III.3. Equivalent Circuit

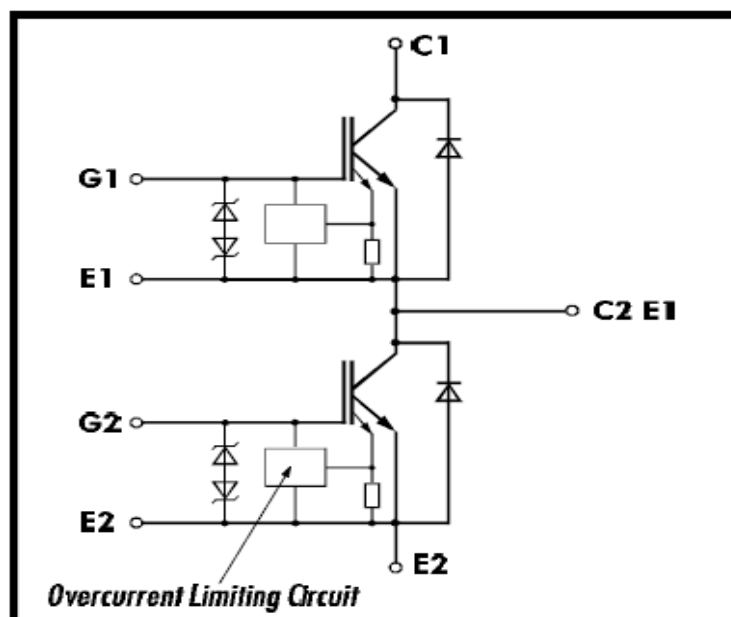


Fig.02: Configuration output and input pin



III.4. Applications

- High Power Switching
- A.C. Motor Controls
- D.C. Motor Controls
- Uninterruptible Power Supply



REFERENCES

REFERENCES

- [01] A. Danfoss « L'essentiel sur les variateurs de vitesse » livre, Edition, Drive and Control, 1991.
- [02] C. Cabal, " Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque", Thèse de Doctorat, Université Toulouse III- Paul Sabatier, Toulouse, 2008.
- [03] www.wikipedia.org « Onduleur », 12 septembre 2020.
- [04] www.wikipedia.org « Transistor bipolaire à grille isolée », 12 septembre 2020.
- [05] N. Bouhalli, "Étude et intégration de convertisseurs multicellulaires parallèles entrelacés et magnétiquement couplés," Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, 2009.
- [06] Martin AIMÉ, "Evaluation et Optimisation de la Bande Passante des Convertisseurs Statiques (Application aux Nouvelles Structures Multicellulaires) ", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2003.
- [07] A. Saad, H. Laterchi, " Réalisation d'un onduleur monophasé et l'optimisation de sa commande MLI", Mémoire d'ingénieur d'état. Université de M'sila, 2009.
- [08] STMicroelectronics « kit de développement avec MCU STM32F407VG-discovery », Manuel de l'Utilisateur, Mai 2017.
- [09] FUJI ELECTRIC « IGBT MODULE (N séries) 2MBI75N-120 », Fiche technique.
- [10] Toshiba Semiconducteur « TLP 250 », Fiche technique.
- [11] B. Riad «Contribution à l'optimisation et à la commande adaptative des entraînements électriques»
Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2019.
- [12] B. Mounir et G. Youcef «Réalisation d'un onduleur de tension commandé par la carte DSPACE 1104»
Mémoire de Master 2, Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2005.

RESUME

L'Algérie a atteint un niveau d'importation dangereux, car elle importe tout, même les choses les plus simples, comme les aiguilles à coudre, les vis et les clous, même les cure-dents. Par conséquent, nous devons réfléchir sérieusement à entrer dans le monde de la fabrication, même avec des appareils petits ou simples.

L'objectif principal de ce travail est de réaliser un onduleur triphasé à base des IGBT et de l'utiliser pour piloter des moteurs asynchrones, qu'ils soient monophasés ou triples. Pour atteindre cet objectif, nous y avons consacré deux parties :

- Une partie théorique basée sur la modélisation de l'onduleur triphasé et l'étude de ses différentes techniques de commande.
- Une partie pratique présentant les principales étapes du processus de la réalisation, ainsi que le test de l'onduleur dans l'entraînement de moteurs asynchrones.

Les résultats du test de notre onduleur triphasé ont été très réussis et stimulants à le fabriquer dans notre pays au lieu de l'importer à des prix élevés.

MOTS CLES :

Carte de développement STM32F407, moteur asynchrone, onduleur triphasé, réalisation, transistor IGBT.

ملخص:

بلغت الجزائر مستوا خطيرا في الاستيراد حيث صارت تستورد كل شيء حتى ابسط الاشياء كابر الخياطة، البراغي والمسامير، بل حتى اعواد الاسنان. لذلك وجب علينا التفكير جديا في ولوج عالم التصنيع ولو بأجهزة صغيرة او بسيطة.

إن الهدف الاساسي من هذا العمل هو انجاز مموج ثلاثي الطور اعتمادا على المقحل ذي البوابة المعزولة، واستعماله في قيادة المحركات اللاتزامنية سواء كانت احادية الطور او ثلاثية ولبلوج هذا الهدف خصصنا له جزئين:

جزء نظري يعتمد على نمذجة المموج ثلاثي الطور ودراسة مختلف تقنيات التحكم فيه. وجزء تطبيقي يوضح المراحل الاساسية في عملية الانجاز، بالإضافة الى اختبار المموج في قيادة المحركات اللاتزامنية. حيث ان نتائج اختبار مموجنا ثلاثي الطور كانت ناجحة جدا ومحفزة على تصنيعه في بلدنا بدل استرداه بأثمان مكلفة.

كلمات مفتاحية:

بطاقة التطوير STM32F407 محرك لا تزامني، مموج ثلاثي الطور، انجاز، مقحل ذو البوابة المعزولة.



RESUME

ABSTRACT :

Algeria has reached a dangerous import level, as it imports everything, even the simplest things, like sewing, screws and nails, even toothpicks. Therefore, we must seriously think about entering the world of manufacturing even with small or simple devices.

The main objective of this work is to realize a three-phase inverter based on IGBTs and to use it to control asynchronous motors, whether single-phase or three-phase. To achieve this goal, we have devoted two parts to it:

- A theoretical part based on the modeling of the three-phase inverter and the study of its different control techniques.
- A practical part presenting the main stages of the realization process, as well as the test of the inverter in the drive of asynchronous motors.

The test results of our three-phase inverter was very successful and stimulating to manufacture it in our country instead of importing it at high prices.

KEYWORDS :

Development card STM32F407, asynchronous motor, three-phase inverter, realization ,IGBT transistor .