

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté à

L'Université d'Echahid Mohamed Lakhdar Ammara d'El Oued

Faculté de la Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Machine Electrique

Présenté par

LABED ABDALLAH

KIATI BELAL

BOUSBAI SALAH AISSA

Thème

**Réalisation et implémentation d'un onduleur monophasé
dédié à l'alimentation des différentes charges.**

Soutenu le 16/06/2021. Devant le jury composé de :

Dr. HALEM Noura	Maitre de conférences A	Présidente
Dr. SERHOUD Hicham	Maitre de conférences A	Examineur
Dr. BESSOUS Nouredine	Maitre de conférences B	Encadreur
Dr. BORNI Abdellhalim	Maitre de conférences B	Co-encadreur

Année Universitaire 2020/2021

﴿شكرو تقدير﴾

الحمد لله الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا على أداء هذا

الواجب ووفقنا إلى انجاز هذا العمل

نتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى كل من ساعدنا من قريب أو من

بعيد على انجاز هذا العمل وفي تذليل ما واجهناه من صعوبات، ونخص

بالذكر الأستاذ المشرف الدكتور نور الدين بسوس الذي لم ييخل علينا بتوجيهاته

ونصائحه القيمة التي كانت عوناً لنا في إتمام هذا البحث . ونتوجه بشكرنا أيضاً

للأستاذ الدكتور بورني عبد الحليم على المساعدة العلمية الهادفة و البناءة

التي قدمها لنا.

كما نتقدم بخالص شكرنا للجنة الموقرة على مراجعتها و تقييمها لهذا العمل المتواضع

شاكرين بهذه المناسبة أساتذة كلية التكنولوجيا و خاصة أساتذة قسم الهندسة

الكهربائية.

﴿إهداء﴾

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل إليه لو لا فضل الله علينا أما بعد
نهدي هذا العمل المتواضع إلى أمهاتنا وآبائنا الأعزاء حفظهم الله لنا
اللذين سهرنا وتعبوا على تعليمنا في إتمام هذا العمل والشكر لكل من ساهم من
قريب أو من بعيد،
وإلى كل أفراد أسرنا ، سندنا في الدنيا ولا أنحصى لهم فضل.
وإلى كل أقاربنا وأصدقائنا وأحبابنا من دون استثناء
وإلى أساتذتنا الكرام و كل رفقاء الدراسة
و في الأخير أرجو من الله تعالى أن يجعل عملنا هذا نفعا يستفيد منه جميع
الطلبة المتربصين المقبلين على التخرج.

Résumé

Le projet de fin d'étude actuel a pour objectif principal la conception d'un onduleur monophasé. La principale caractéristique distinctive est la mise en œuvre numérique de la modulation de largeur d'impulsion (PWM).

Depuis le développement de la première carte Arduino en 2005, il y a eu plusieurs activités dans le monde de la programmation, en particulier pour les utilisateurs non spécialisés. Avec un logiciel intuitif et un grand nombre d'applications, c'est une option fortement recommandée pour la première approche de la programmation numérique pour les étudiants. Pour ces raisons, ce travail a pour objectif d'appliquer cet outil pour faciliter la mise en œuvre de PWM sur un onduleur monophasé afin de remplacer les circuits analogiques.

Pour atteindre ces objectifs, une première analyse théorique complète a été faite, y compris ses applications et ses éléments de base. Ensuite, les caractéristiques spécifiques de l'onduleur souhaité ont été bien définies dans ce travail, permettant le calcul et la sélection des composants nécessaires.

Une partie fondamentale du travail repose sur la programmation du signal PWM. La raison est d'avoir des possibilités offertes par le microcontrôleur dédié à l'onduleur. Certaines options de codes ont été développées et sélectionnées pour avoir l'optimale pour notre étude.

Après l'approche théorique, le circuit complet a été simulé avec le logiciel MATLAB/Simulink et implémenté dans un prototype afin de comparer les résultats pratique avec la simulation. Certaines mesures sont également effectuées afin de vérifier les performances du convertisseur et son efficacité.

Mots clés : onduleur monophasé, PWM, Arduino.

ملخص

يتمثل الهدف الرئيسي لمشروع نهاية الدراسة الحالي في تصميم موج أحادي الطور. السمة المميزة الرئيسة هي التنفيذ الرقمي لتعديل لـ PWM .

منذ أن تم تطوير أول لوحة Arduino في عام 2005 ، كانت هناك نقطة تحول في عالم البرمجة ، خاصة بين المستخدمين غير المتخصصين. مع وجود برنامج بديهي وكمية كبيرة من التطبيقات، فهو خيار موصى به للغاية للنهج الأول للبرمجة الرقمية للطلاب. لهذه الأسباب، يهدف هذا العمل إلى تطبيق هذه الأداة لتسهيل تنفيذ PWM على موج أحادي الطور ، يحل محل الدوائر التناظرية.

على الرغم من أنه من الممكن في الوقت الحاضر العثور على دوائر متكاملة مع محولات أحادية الطور، من أجل تعزيز النهج التعليمي إلا أنه تم تصميم الدائرة وبنائها قطعة قطعة. وبالتالي، من الأسهل فهم وتصور جميع المكونات المطلوبة ، وكذلك التحقق من أشكال الموجة التي تم الحصول عليها على العناصر الداخلية.

يعتمد جزء أساسي من العمل على برمجة إشارة PWM . لهذا السبب ، تم إجراء نظرة محصنة على الإمكانيات التي يوفرها الميكروكونترولر. حيث تم تطوير بعض خيارات الرموز كما تم تحديد الخيار الأمثل للعمل التطبيقي.

بعد النهج النظري، تمت عملية المحاكاة باستخدام برنامج ماتلاب/سيميلنك وتنفيذها في لوح أولي. كما تم عمل بعض القياسات للتحقق من أداء الجهاز وكفاءته و كذا مدى توافق الجزء النظري مع التطبيقي.

الكلمات الأساسية: عاكس أحادي الطور ، أردوينو ، PWM

Abstract

The main objective of the current end-of-study project is the design of a single-phase inverter. The main distinguishing feature is the digital implementation of pulse width modulation (PWM).

Since the development of the first Arduino board in 2005, there have been several activities in the programming world, especially for non-specialist users. With intuitive software and a large number of applications, it is a highly recommended option for the first approach to digital programming for students. For these reasons, this work aims to apply this tool to facilitate the implementation of PWM on a single-phase inverter to replace analogue circuits.

To achieve these objectives, a first comprehensive theoretical analysis has been made, including its applications and basic elements. Then, the specific characteristics of the desired inverter were well defined in this work, allowing the calculation and selection of the necessary components.

A fundamental part of the job is the programming of the PWM signal. The reason is to have possibilities offered by the microcontroller dedicated to the inverter. Some code options have been developed and selected to be optimal for our study.

After the theoretical approach, the complete circuit was simulated with MATLAB/Simulink software and implemented in a prototype in order to compare the practical results with the simulation results. Some measurements are also carried out in order to verify the performance of the converter and its efficiency.

Key words: single-phase inverter, PWM, Arduino.

Liste des Tableaux

Tableau.I.1. Caractéristique du module IGBT.....	12
Tableau II.1. Reprise des fonctionnalités et sélection.....	31
Tableau II.2. Description et valeurs sélectionnées pour les tensions d'entrée.....	38

Liste des Figures

FigureI.1. Onduleur monophasé : (a) Symbole, (b) structure de montage d'un onduleur en pont complet	6
FigureI.2. Structure d'un onduleur triphasé	7
FigureI.3. Symbole usuel de l'IGBT.....	9
FigureI.4. Air de sécurité d'un transistor.....	9
FigureI.5. Structure interne de l'IGBT.....	10
FigureI.6. Classification des composants de puissance en fonction de la fréquence de découpage et le produit U.I des composants.....	11
FigureI.7. Photo d'un module IGBT SKM 150GB 123D.....	11
FigureI.8. Courbe $I_c=f(T)$	12
FigureI.9. Coupe schématique d'un module IGBT monté sur radiateur.....	13
FigureI.10. Schéma bloc représentatif d'un onduleur.....	15
FigureI.11. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone.....	15
FigureI.12. Alimentation de secours.....	16
FigureI.13. Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes.....	17
FigureI.14. Onduleurs monophasés.....	18
FigureI.15. Onduleur avec transformateur à point milieu.....	18
FigureI.16. Montage d'un onduleur en demi-pont.....	19
FigureI.17. Montage d'un onduleur en pont.....	20

FigureII.1. Logiciel de schéma complet H-Bridge	27
FigureII.2. Forme d'onde de sortie avec modulation bipolaire (gauche) et unipolaire (droite).....	28
FigureII.3. Efficacité pour $f = 20$ kHz par rapport à la puissance	29
FigureII.4. Schéma du pont en H complet appliqué pour la comparaison entre les semi-conducteurs.....	32
FigureII.5. Forme d'onde de tension de sortie sur les commutateurs idéaux (1), MOSFET (2) et IGBT.....	33
FigureII.6. IRF60B217 avec le boîtier TO-220AB.....	34
FigureII. 7. Forme d'onde du courant d'inductance avec $L_{out} = 160 \mu H$	35
FigureII. 8. Forme d'onde du courant d'inductance avec $L_{out} = 470 \mu H$	36
FigureII.9. Reprendre le schéma du LM7805C.....	39
Figure III.1. Présentation de la plate forme.....	42
Figure III.2. Image de l'onduleur réalisée.....	42
Figure III.3. Image de la 2 ^{em} partie de l'onduleur réalisée.....	43
Figure III.4. Image de le montage réalisée en boucle ouverte.....	44
Figure III.5. séchma bloc de le ciruite réalisée (boucle ouverte).....	44
Figure III.6. Tension de avec de entée en simulation (gauche)et réel (droite).....	45
Figure III.7. Tension de sortie en simulation (gauche) et réel (droite).....	46
Figure III.8. Courant de sortie en simulation (boucle ouverte).....	46
Figure III.9. Image de le montage réalisée en boucle fermé.....	47
Figure III.10. séchma bloc de le ciruite réalisée (boucle fermé commandé).....	47

Figure III.11. Tension de avec de entée en simulation.....	48
Figure III.12. Tension de sortie en simulation.....	48
Figure III.13. Courant de sortie en simulation (boucle fermé).....	49
Figure III.14. Tension composée à la sortie de l'onduleur (commande PWM)en simulation (droite) et réel (gauche).....	49

CHAPITRE I : Etat de l'Art sur l'Onduleur Monophasé

I.1	Introduction	5
I.2	Définition de l'onduleur monophasé.....	5
I.3	Structure de l'onduleur.....	7
I.4	Principe de fonctionnement d'un onduleur monophasé.....	14
I.5	Applications des onduleurs.....	15
I.5.1	Applications.....	15
I.5.1.1	Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone.....	15
I.5.1.2	Alimentation de secours.....	16
I.5.1.3	Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes.....	16
I.6	Classification d'onduleurs.....	17
I.6.1	Onduleur monophasé.....	17
I.6.1.1	Onduleur avec transformateur à point milieu.....	18
I.6.1.2	Onduleur en demi-pont.....	19
I.6.1.3	Onduleur en pont.....	20
I.7	Conclusion.....	21

CHAPITRE II : Conception Et Simulation D'un Onduleur Monophasé Avec PWM Numérique

II	Introduction.....	23
II.1	Contexte (caractéristiques du problème)	24
II.2	Qualité de la forme d'onde.....	24
II.3	Topologie de l'onduleur.....	26
II.4	Modulation PWM. Fréquence de commutation.....	27
II.4.1	Modulation PWM.....	27
II.4.2	Fréquence de commutation.....	29
II.5	Sélection des semi-conducteurs.....	30
II.6	Sélection des éléments du circuit.....	34
II.6.1	Condensateurs.....	34
II.6.2	Inductances.....	35
II.6.3	Filtre.....	36
II.6.4	Charge de sortie.....	37
II.7	Tensions d'entrée.....	37
II.8	Conclusion.....	40

Chapitre III : Analyse Et Discussion Des Résultats

III.1	Introduction.....	42
III.2	Présentation de la plate-forme.....	42
III.3	Travail effectué	42
III.3.1	Boucle ouverte	44
III.3.2	Boucle fermée.....	47
III.4	Conclusion.....	51

Introduction Générale

Introduction Générale

Lorsque l'on veut varier la vitesse des machines électriques, on cherche à générer des tensions statoriques à amplitude et fréquence variables. L'idéal serait de générer des tensions purement sinusoïdales. Un dispositif permettant d'obtenir un tel fonctionnement (comme un amplificateur linéaire) engendrerait un rendement assez faible. Ce dernier est essentiellement dû aux pertes par effet joule dans les semi-conducteurs en fonctionnement continu. Il est donc naturel de se tourner vers un mode d'alimentation par commutation. Ceci implique des formes d'ondes de courants et de tension qui ne sont plus sinusoïdales et des pertes par commutation dans les semi-conducteurs.

Un convertisseur DC/AC (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,)

Une utilisation importante des différents types de moteurs électriques dans le domaine de l'industrie. Ce moteur se différencie entre eux pour plusieurs raisons tels que : la source d'alimentation alternative ou continue, le fonctionnement (moteurs ou générateur), etc. En plus, les onduleurs monophasés protégeant l'installation électrique contre les variations de tension et les coupures du courant. Grâce à une haute disponibilité de l'énergie, ce type de solution d'Alimentation Sans Interruption (ASI) garantit la sécurité électrique des petites infrastructures.

L'objectif principal du projet de fin d'étude est la réalisation et la simulation d'un onduleur monophasé. Pour y parvenir, la première étape est l'analyse du convertisseur en tenant pleinement compte des topologies, de la modulation et des composants nécessaires.

Les trois principaux éléments qui constituent un onduleur sont les suivants :

- Source de tension continue (par exemple : batterie) ;
- Convertisseur DC/AC ;
- Filtre LC.

Toute approche de commande d'un onduleur doit prendre en compte les deux contraintes suivantes :

- La réduction de la distorsion harmonique globale en régime transitoire et en régime permanent ;
- L'accès au réglage du fondamental de la tension de sortie à une valeur de référence.

Après la définition des critères de performance, les éléments réels doivent être bien sélectionnés. Par conséquent, certains calculs seront nécessaires pour déterminer les pièces constitutives de l'onduleur.

L'objectif est d'implémenter numériquement la modulation PWM, et pour cela, les possibilités offertes par le microcontrôleur seront analysées.

Ce travail va présenter toutes les étapes nécessaires pour la conception d'un véritable prototype d'un onduleur monophasé.

Cette étude, comportant trois chapitres, est organisée comme suit :

Tout d'abord, le premier chapitre présente un état de l'art sur les onduleurs monophasés. Une approche théorique sur les onduleurs et leurs composants sera traitée dans le deuxième chapitre afin d'avoir une première idée sur le circuit du convertisseur visé.

Enfin, après le développement théorique, le chapitre 3 présente les résultats obtenus sur le circuit réel réalisé. Sous Simulink de l'environnement Matlab, la simulation faite afin d'avoir une meilleure idée et discussion sur les résultats obtenus.

CHAPITRE I

Etat de l'Art sur l'Onduleur Monophasé

I.1. Introduction

L'énergie électrique est généralement distribuée sous forme de tensions alternatives sinusoïdales. L'électronique de puissance permet de modifier la présentation de l'énergie électrique pour l'adapter aux différents besoins.

Grâce aux progrès technologiques réalisés ces dernières années dans le domaine de l'électronique de puissance, les convertisseurs statiques comme les onduleurs voient progressivement leur champ d'applications s'élargir. Certaines de ces nouvelles applications ,tel que le filtrage actif et la dépollution de réseaux électriques.

Dans ce chapitre on présente une brève description des onduleurs ; qui rendent l'énergie plus facile et plus accessible pour l'utilisation ainsi que les contraintes vu l'apparition des harmoniques. Nous verrons également quelques domaines d'applications des onduleurs [1].

I.2 Définition de l'onduleur monophasé

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue.

Ils sont utilisés pour:

- Soit fournir une tension ou courant alternatif de fréquence et d'amplitude variable.
- Soit fournir une tension alternative de fréquence et d'amplitude fixe. On distingue des onduleurs de tension et des onduleurs de courant, et cela dépend de la source d'entrée continue [5].

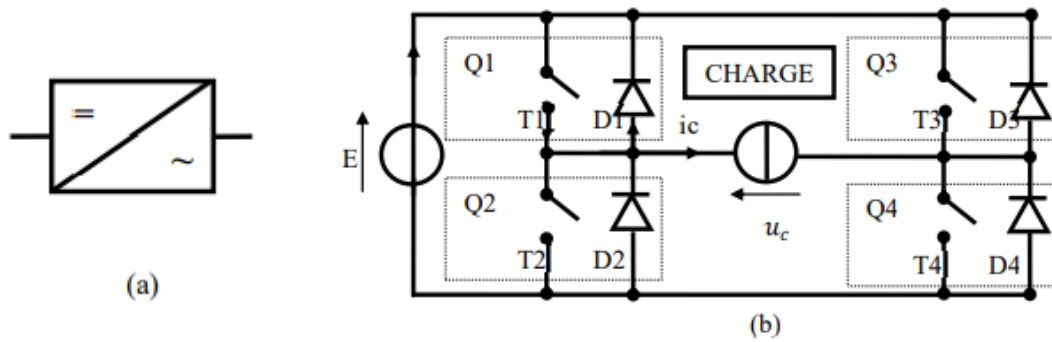


Figure I.1. Onduleur monophasé : (a) Symbole, (b) structure de montage d'un onduleur en pont complet

On notera que :

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

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

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

E : Tension continue.

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

La Figure I.1 rappelle le schéma symbolique de l'onduleur et le montage d'un onduleur en pont complet. Le montage consiste deux bras chaque bras est composé de deux étages d'interrupteurs. Chaque étage comporte deux composant semi-conducteur (transistors IGBT ou MOSFET) avec une diode en antiparallèle. Les diodes antiparallèles sur les transistors assurent la réversibilité des courants dans la charge. À partir de la source principale de tension continue, l'onduleur permet d'avoir une tension plus proche de la sinusoïde à la sortie [2].

I.3 Structure de l'onduleur

L'onduleur est composé de six transistors avec une diode antiparallèle pour chacun. Les transistors T1 et T1' comme T2 et T2' et T3 et T3' sont complémentaires en théorie c'est-à-dire que lorsque l'un des deux est ouvert l'autre est fermé et inversement. Dans la théorie seulement car les commutations réelles des interrupteurs de puissance ne sont pas instantanées. La configuration la plus dangereuse est celle où les deux transistors sont fermés, car la tension de bus (de l'ordre de plusieurs centaines de volts) est mise en court-circuit. Un courant très important se déverse alors dans les transistors entraînant leur destruction. C'est donc cette configuration que l'on va éviter. On ouvrira donc l'un des transistors avant de fermer l'autre. Le temps de sécurité entre l'ouverture de l'un et la fermeture de l'autre est appelé « temps mort ». Il doit être parfaitement calibré pour un fonctionnement optimal de l'onduleur. Le moteur étant un circuit inductif qui n'apprécie pas les discontinuités de courants, c'est pour cela que chaque transistor possède une diode en anti parallèle. Pour laisser passer le courant pendant les phases où les deux transistors sont ouverts [6].

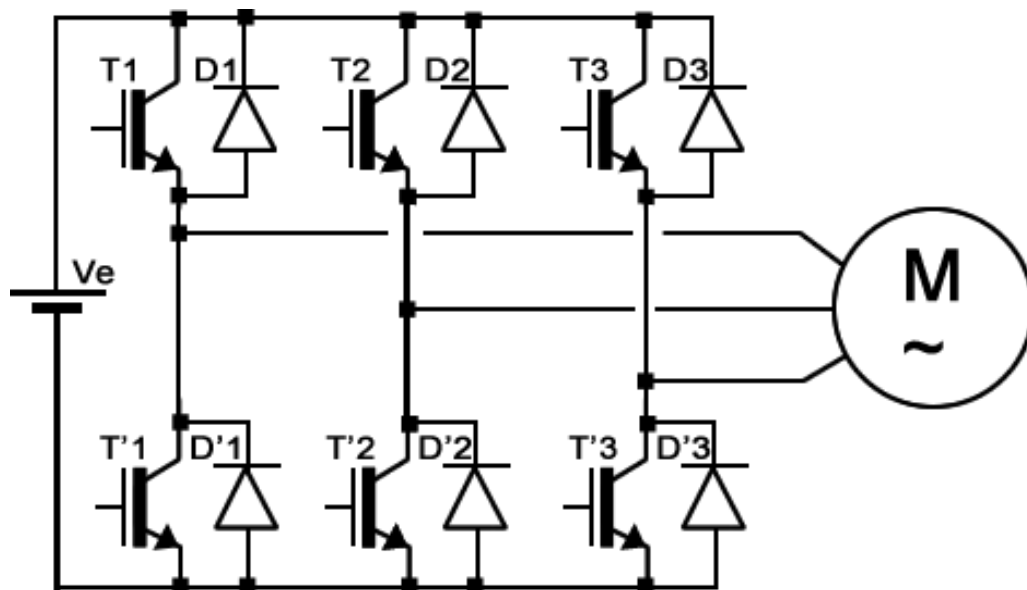


Figure I.2. Structure d'un onduleur triphasé

❖ Les transistors

L'invention du transistor en 1948 a lancé une véritable révolution technologique qui se poursuit aujourd'hui, Le transistor est fondamentalement un composant qui peut être utilisé de deux manières différentes :

- ✚ En amplification
- ✚ En commutation [13].

❖ Les différents types de transistors

○ 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) [12].

○ 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.

Le Transistor IGBT [12].

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 [11].

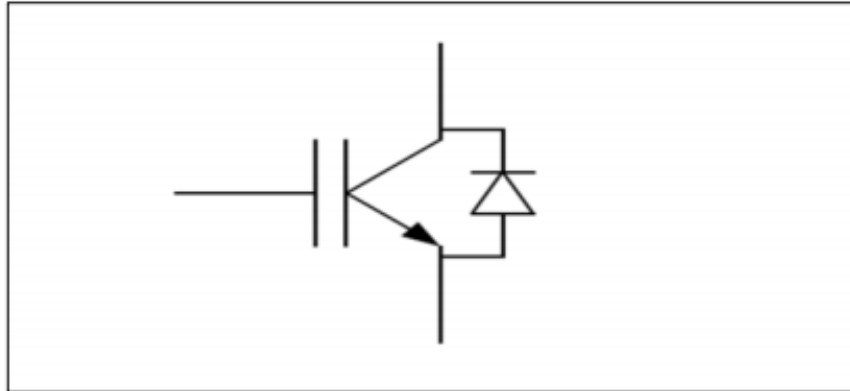


Figure I.3. Symbole usuel de l'IGBT

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

- ✓ Sortir de l'aire de sécurité (figure II.9) avec :
 - Courant I_c trop grand.
 - Tensions V_{ce} trop grandes.
- ✓ Trop de puissance dissipée dans le composant.
- ✓ Tensions et courants inverses. [11].

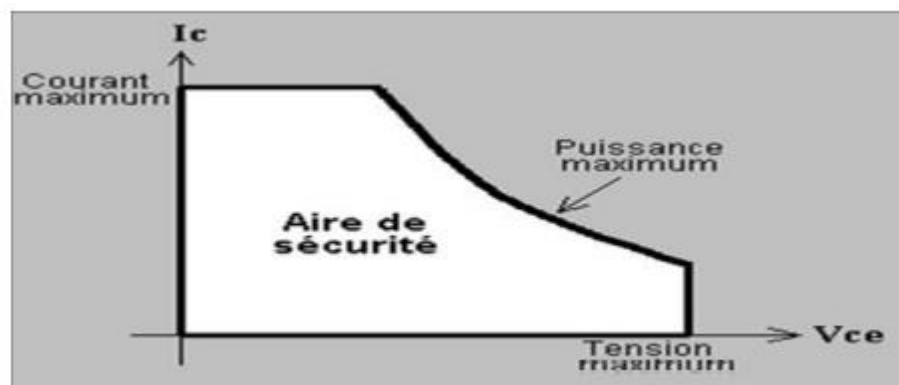


Figure I.4. Aire de sécurité d'un transistor

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

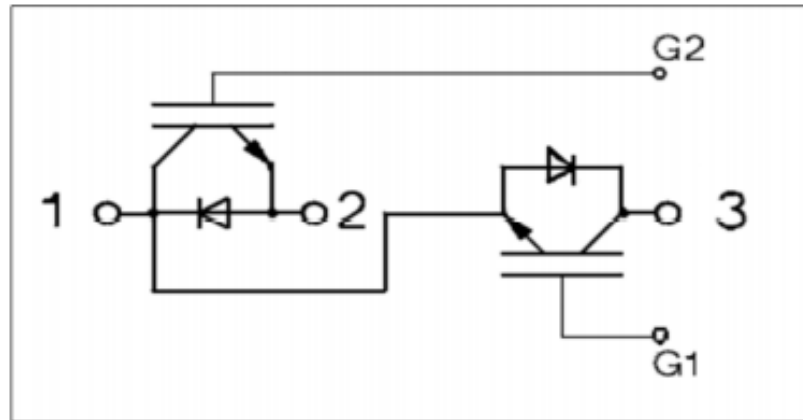


Figure I.5. Structure interne de l'IGBT

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 (+) [3].

❖ 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 II.13 résume cette classification de composants de puissance en fonction de la fréquence de commutation et du produit $U.I$ des composants [8].

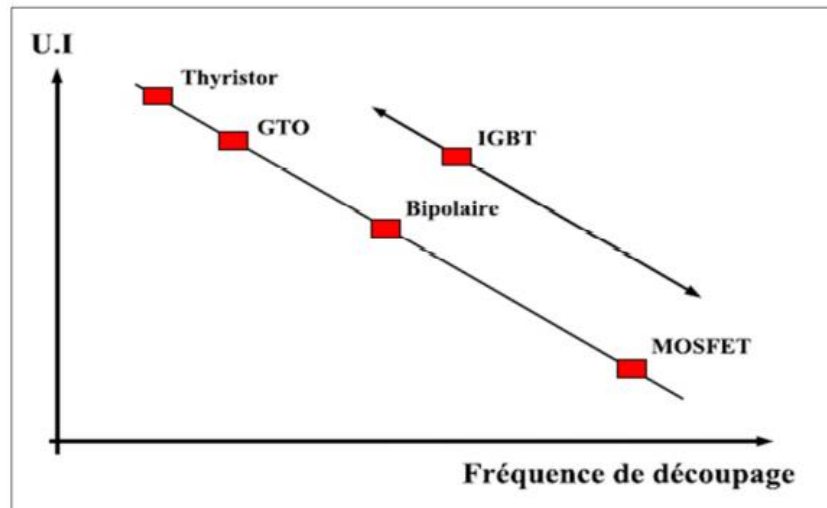


Figure I.6. Classification des composants de puissance en fonction de la fréquence de découpage et le produit $U.I$ des composants

Les modules IGBT ont un domaine d'application qui recouvre totalement celui des transistors bipolaires, partiellement celui des MOSFET et des GTO. C'est pourquoi les modules IGBT sont des composants d'avenir dans les fortes et moyennes puissances [9].

Dans notre travail, on utilisera un IGBT type SKM 150GB 123D



Figure I.7. Photo d'un module IGBT SKM 150GB 123D

Caractéristiques

Tableau.I.1. Caractéristique du module IGBT

Symbole	Conditions	min.	type.	max.	Unité
$V_{(BR) CES}$	$V_{GE} = 0, I_C = 4 \text{ mA}$	$\geq V_{CES}$	-	-	V
$V_{GE (th)}$	$V_{GE} = V_{CE}, I_C = 4 \text{ mA}$	4,5	5,5	6,5	V
I_{CES}	$V_{GE} = 0 \quad T_j = 25 \text{ °C} - 0,2 \text{ 2 mA}$	-	0,2	2	mA
	$V_{CE} = V_{CES} \quad T_j = 125 \text{ °C}$	-	9	-	mA
I_{GES}	$V_{GE} = 20 \text{ V}, V_{CE} = 0$	-	-	1	μA
V_{CEsat}	$I_C = 100 \text{ A} \quad V_{GE} = 15 \text{ V};$	-	2,5(3,1)	3(3,7)	V
	$I_C = 150 \text{ A} \quad T_j = 25 (125) \text{ °C}$	-	3(3,8)	-	V
g_{fs}	$V_{CE} = 20 \text{ V}, I_C = 100 \text{ A}$	54	-	-	S

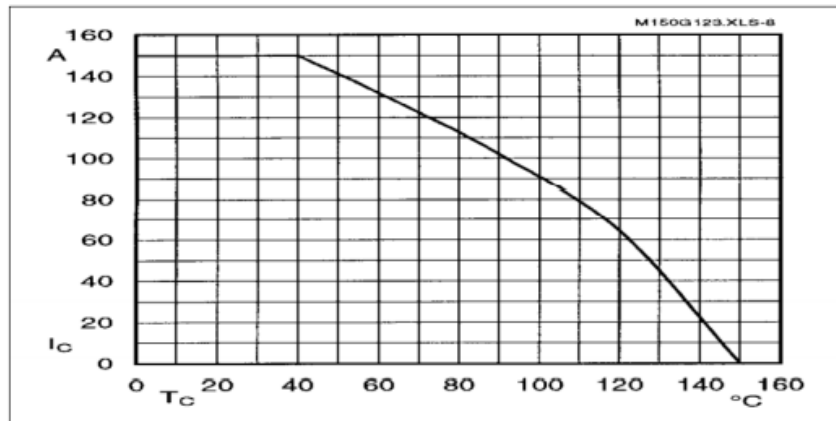


Figure I.8. Courbe $I_C = f(T)$

D'après la courbe de la Figure II.15, on remarque qu'à partir de 40°C ; le courant I_C Diminue avec l'augmentation de la température (T) de l'IGBT [3].

❖ Structure d'un boîtier de Module IGBT

La figure II.16 montre la structure d'un boîtier de module IGBT. On voit apparaître la semelle (base plate) qui garantit la rigidité mécanique de l'ensemble et le transfert thermique de l'intérieur vers l'extérieur du boîtier ; les couches d'isolants entre les puces de silicium et la semelle pour l'isolation galvanique des boîtiers ; les "bondings" et les connexions vers l'extérieur [10].

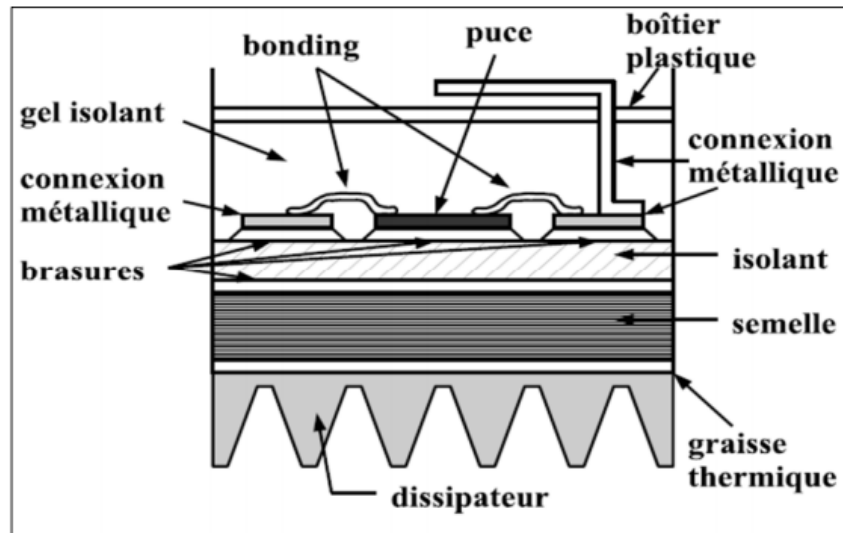


Figure I.9. Coupe schématique d'un module IGBT monté sur radiateur

La fiabilité des modules IGBT en boîtier plastique est limitée par la fatigue des soudures entre "bondings" et puces IGBT ; entre puces IGBT et isolant puis entre isolant et semelle [10].

Afin de préserver la sureté de cet élément, il est conseillé de lui installer un dispositif de refroidissement.

Dans ce cas, il existe deux types de système de refroidissement:

Le refroidissement passif

Dans le cas d'un refroidissement passif, un simple dissipateur thermique (aussi appelé dissipateur ou radiateur) est fixé sur l'élément à refroidir. Composé d'un métal à forte conductivité thermique comme le cuivre ou l'aluminium par exemple, il offre une surface de contact entre le composant et l'air ambiant bien plus importante.

La chaleur émise par le composant passe par le dissipateur thermique et est ensuite dissipée dans l'air ambiant.

Afin d'assurer un contact, un transfert thermique efficace entre le composant et le dissipateur thermique, de la pâte thermique est souvent appliquée. Elle permet d'éliminer l'air (qui est un isolant thermique) présent entre les deux surfaces [3].

Le refroidissement actif

Reprenant le dissipateur du refroidissement à air passif, en refroidissement à air actif un ventilateur est ajouté afin d'être plus performant. Le bloc formé par le dissipateur et le ventilateur est souvent appelé ventirad (ventilateur-Radiateur). Ce ventilateur permet d'accélérer le flux d'air sur le dissipateur, et donc d'améliorer le transfert thermique.

Certains ventilateurs sont thermos régulés, c'est-à-dire que leur vitesse de rotation est variable en fonction de la température du composant auquel ils sont rattachés. D'autres encore sont réglables manuellement à l'aide d'un potentiomètre [11].

I.4 Principe de fonctionnement de l'onduleur

Le principe de fonctionnement d'un onduleur est basé sur l'électronique de commutation, on génère une onde de tension alternative à partir d'une tension continue comme le montre la figure (I.1) [5].



Figure I.10. Schéma bloc représentatif d'un onduleur

I.5 Applications des onduleurs

Parmi les nombreux domaines d'emploi des onduleurs autonomes, on trouve principalement Les onduleurs à fréquence fixe a commutation forcée : Alimentés le plus souvent par une batterie d'accumulateur, ils jouent d'ordinaire le rôle d'alimentation de sécurité, ils constituent à ce titre, le principe déboucle actuel des onduleurs autonomes

Les onduleurs à fréquence variable à commutation forces : Alimentés à partir du réseau industriel par l'intermédiaire d'un montage redresseur, ils délivrent une tension de fréquence et de valeur efficace nécessaires pour faire tourner à vitesse variable un moteur à courant alternatif [16] [17.]

I.5.1. Applications

I.5.1.1. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

La vitesse d'un moteur synchrone est fixée par la pulsation des courants statiques. Pour changer de vitesse il faut donc changer la fréquence des tensions d'alimentation. Il faut donc redresser la tension du réseau puis l'onduler à la fréquence désirée [18].

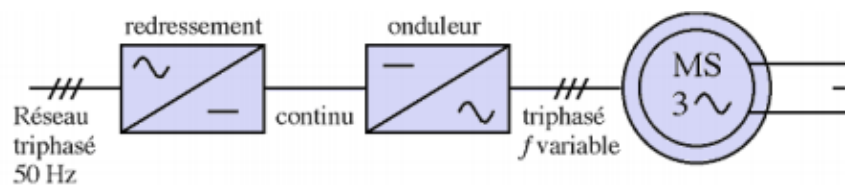


Figure I.11. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

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

I.5.1.2. Alimentation de secours

Lors d'une panne d'électricité, un onduleur assure la continuité de l'alimentation des machines à partir de batteries. En informatique professionnelle, un onduleur est indispensable pour éviter la perte d'informations en cas de panne du secteur [19].

I.5.1.3. Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

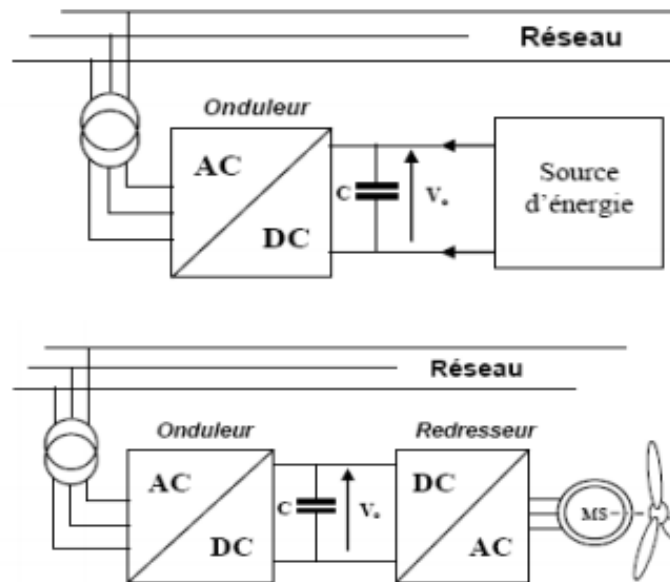


Figure I.12. Alimentation de secours

La Grande-Bretagne fournit de l'énergie électrique à la Grande-Bretagne, mais la fréquence du réseau anglais est 60 Hz. Il faut donc adapter la fréquence [20].

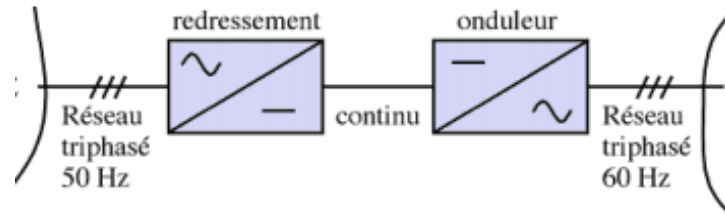


Figure I.13. Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

I.6 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 :

- Nombre de phase ;
- Nature de la source d'entrée ;
- Nature des interrupteurs ;
- Nombre des niveaux de tension de sortie.

Dans les sous-sections suivantes, nous allons détailler les critères précédents

I.6.1 Onduleur monophasé

Ce type d'onduleur qui délivre en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours. Trois classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie [14].

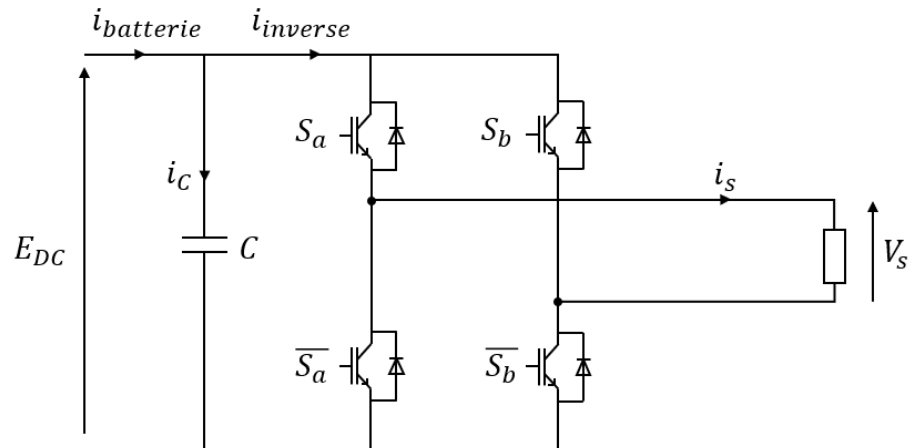


Figure I.14. Onduleurs monophasés

I.6.1.1. Onduleur avec transformateur à point milieu

Il est souvent appelé onduleur Push pull, il ne nécessite que deux interrupteurs et un transformateur à point milieu du côté source

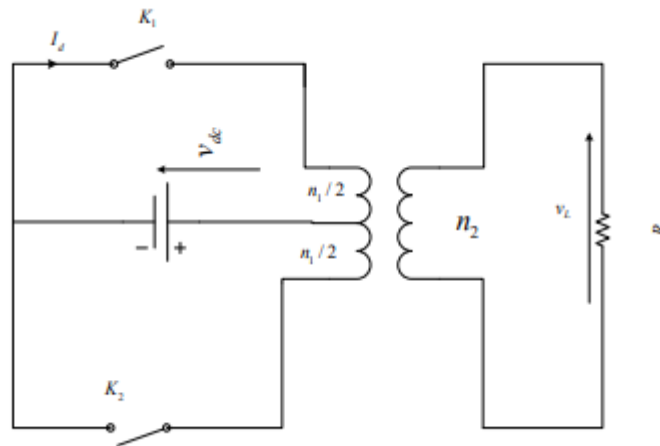


Figure I.15. Onduleur avec transformateur à point milieu

D'alimentation, figure (I.2) [4].

- Quand K1 et K2 sont ouverts aucun courant ne circule dans la charge.
- Quand K1 est fermé et K2 est bloqué ; ou K2 est fermé, K1 est bloqué.

Les deux signaux de commande pour K_1 et K_2 sont complémentaires (sont contrôlées à tour de rôle).

La fréquence du signal de sortie est imposée par la fréquence des signaux de commande. La tension efficace de sortie est ajustée par le nombre des spires 1 n et 2 n.

I.6.1.2. Onduleur en demi-pont

La figure (I.5) qui présente l'onduleur en demi-point ne comporte que deux interrupteurs T_1 et T_2 et connecte la charge au point milieu de l'alimentation réalisé à l'aide de deux condensateurs, à tout instant le courant i_{ch} se partage à égalité entre les deux capacités en supposant que la tension au borne des capacité est constant et égale à $V/2$, [15].

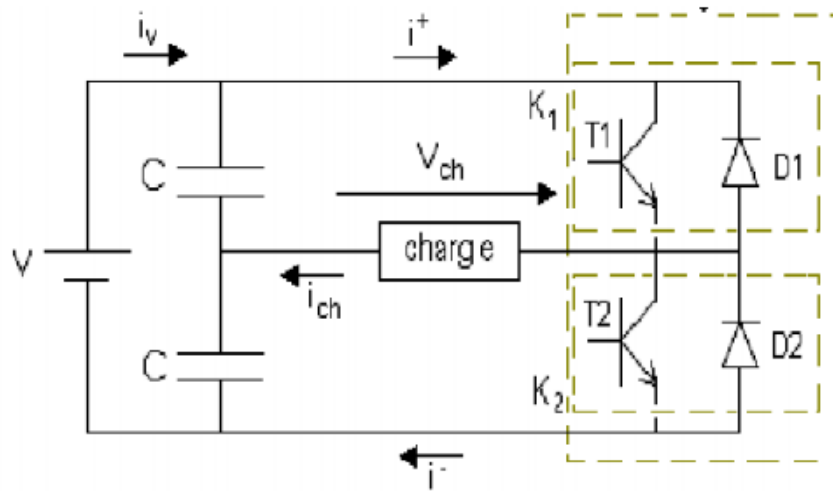


Figure I.16. Montage d'un onduleur en demi-pont

I.6.1.3. Onduleur en pont

L'onduleur en pont est représenté en figure (I.6) il comporte quatre interrupteurs de puissance désignée par T1, T2, T3 et T4 quand les interrupteurs T1 et T4, sont fermés simultanément la tension imposée aux bornes de la charge prend la valeur $+E$, et de $-E$ lors de la fermeture simultanée des deux autres interrupteurs T2 et T3.

Pour éviter le court-circuit de la source de tension continue, Deux interrupteurs du même bras ne peuvent pas conduire simultanément [14].

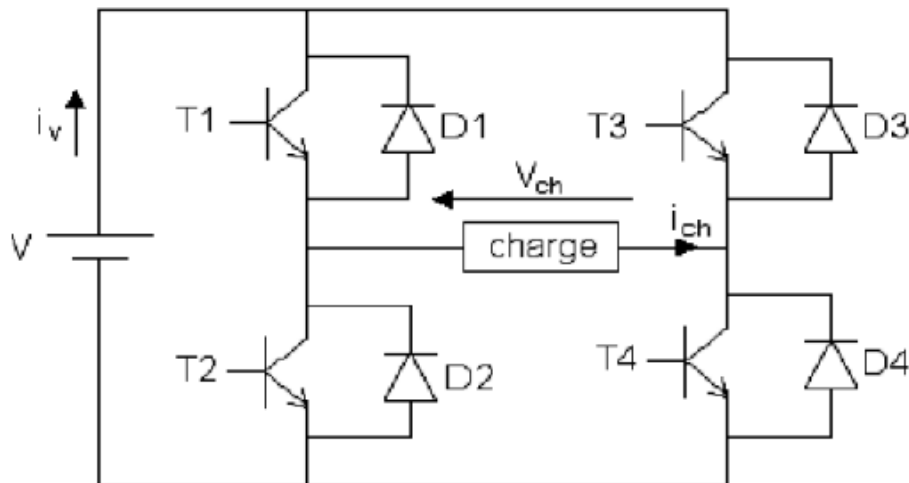


Figure I.17. Montage d'un onduleur en pont

I.7.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu sur les onduleurs monophasés. En plus, la classification de l'onduleur monophasé, son fonctionnement, leurs principales applications ont été citées dans cette partie. Comme nous avons présenté les différentes structures des onduleurs monophasés.

CHAPITRE II

Conception Et Simulation D'un Onduleur Monophasé Avec PWM Numérique

II. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de rassembler tous les aspects de conception d'un onduleur. Tout d'abord, il faut aborder les spécificités du problème. En outre, une description détaillée des critères de conception est élaborée, c'est-à-dire qu'ils sont les aspects les plus importants concernant la qualité de l'onduleur.

Dans ces pages, une discussion et une explication sur les différentes décisions prises lors de la conception sont données. Après avoir sélectionné la topologie de l'onduleur et de ses composants, il s'agit de calculer les différents éléments du circuit, comme le condensateur du bus DC, l'inductance de sortie, ou encore le filtre. Ensuite, une description des pertes dans les différents semi-conducteurs est faite et à l'aide du logiciel elles sont également estimées.

Un aspect clé de la conception est la valeur de la fréquence de commutation. Les possibilités disponibles, ainsi qu'une discussion sur la modulation PWM sont également reflétées.

Le chapitre se termine par les protections des circuits. Non seulement une description, mais également une sélection des composants nécessaires au bon fonctionnement de l'appareil est effectuée.

II. 1-Contexte (caractéristiques du problème)

Ce projet est axé sur la conception d'un onduleur de tension à des fins éducatives. Par conséquent, la puissance et la tension requises ne sont pas excessivement élevées. Une estimation approximative serait entre 30 et 50 watts comme puissance maximale et une plage de tension entre 5 et 15 volts. Dans ce contexte, il peut être établi une relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie, car la tension continue doit être $\sqrt{2}$ fois la tension alternative maximale. En considérant 15 volts comme tension d'entrée, la sortie serait de **10,6 volts** effectifs au maximum. En ce qui concerne la fréquence, le sinus de sortie souhaité serait de 50 Hz, valeur standard dans la plupart des régions du monde. De plus, il est nécessaire de définir une fréquence de commutation pour les semi-conducteurs. Étant donné que dans ce travail, un Arduino fournira le signal PWM, la fréquence peut être modifiée à volonté. Les meilleurs résultats peuvent être obtenus sur une plage de **35 à 62,5 kHz**, fait qui sera expliqué dernièrement. Par conséquent, un résumé des principales caractéristiques de l'onduleur est:

- Puissance maximale: 30 - 50 Watts.
- Tension d'entrée: **15 V (DC)**.
- Tension de sortie: **10,6 V (AC)**.
- Fréquence sinusoïdale: **50 Hz**.
- Fréquence de découpage recommandée : **35-62,5 kHz**.

II.2-Qualité de la forme d'onde

Non seulement la quantité d'énergie obtenue après la conversion est importante, mais aussi sa qualité. Sur un onduleur sinusoïdal pur, la forme d'onde doit être aussi claire et pure que possible. Plusieurs facteurs affectent cette forme d'onde, notamment les performances des composants du circuit, mais la distorsion du sinus est principalement due aux harmoniques.

Chaque signal périodique peut être décomposé en une somme de fonctions sinusoïdales, au moyen d'une expansion en série de Fourier. Par conséquent, l'expression mathématique d'une tension périodique est:

$$v(t) = V_{DC} + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} * V_n \sin(n\omega t + \Theta_n) \quad (\text{II.1})$$

En tant que composant souhaité, le composant fondamental est celui qui oscille à 50 Hz. C'est le premier terme de la série et le reste des composants est considéré comme indésirable pour plusieurs raisons.

Vdc est **DC la composante** continue de la tension. C'est la valeur moyenne du signal et normalement, ce projet inclus, on souhaite être nulle. Pour y parvenir, différentes techniques peuvent être appliquées. Dans la conception actuelle, cette partie de la tension est supprimée en raison de la modulation utilisée dans le pont en H.

Les harmoniques sont des composants dont la fréquence est un multiple de 50 Hz. Ils déforment la forme d'onde et leur valeur diminue à mesure que l'indice de série augmente. D'autres problèmes liés aux harmoniques sont le bruit, les dommages possibles dans les circuits électroniques ou la surcharge des capacités.

Tous les composants indésirables n'ont pas des fréquences multiples de 50 Hz. Les inters harmoniques sont appelées sous-harmoniques lorsqu'elles apparaissent en dessous de 50 Hz, mais peuvent également être trouvées sous forme de spectre à large bande.

Le moyen le plus courant de mesurer la qualité de la forme d'onde est la distorsion harmonique totale (THD). Il est défini comme le rapport entre la somme de la puissance de toutes les composantes harmoniques et la puissance de la fréquence fondamentale

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} v_n^2}}{v_1} \quad (\text{II.2})$$

Une bonne tension THD doit être assurée afin d'obtenir de bonnes performances. Pour les faibles niveaux de tension, le THD devrait être d'environ 8%, selon UNE-EN

50160 (norme officielle en Espagne qui définit les caractéristiques de la tension fournie aux consommateurs par les réseaux de distribution d'électricité). Cependant, il est généralement recommandé de ne pas traiter un facteur de distorsion de tension harmonique supérieur à 5%. Le plus grand harmonique unique ne doit pas dépasser 3% de la tension fondamentale [27]. Un THD élevé peut entraîner un dysfonctionnement de l'équipement.

II.3-Topologie de l'onduleur

Une fois que les principales caractéristiques du problème sont établies, la première question à considérer lors de la conception est la topologie de l'onduleur. Normalement, les onduleurs traitent des tensions élevées et une étape de suralimentation est nécessaire. DC / DC avant l'inversion ou AC / AC après cela sont des solutions habituelles ajoutées à l'étape d'inversion.

Cependant, la solution adoptée dans ce projet sera celle de la conversion DC / AC uniquement, car les niveaux de tension souhaités peuvent être atteints. Dans le cas où une tension plus élevée est requise, un boost externe peut être ajouté.

En ce qui concerne la topologie du pont, un pont en H complet sera utilisé. Cette configuration nécessite deux branches et 4 interrupteurs. Comme expliqué dans le chapitre précédent, chaque cellule de commutation élémentaire contient un transistor et une diode.

La topologie choisie (figure II.2) implique des avantages en ce qui concerne le demi-pont car des tensions plus faibles dans les semi-conducteurs et une tension d'entrée plus faible pour la même sortie. Les pertes de commutation sont plus élevées dans un demi-pont, car les semi-conducteurs traitent avec $2V_{dc}$.

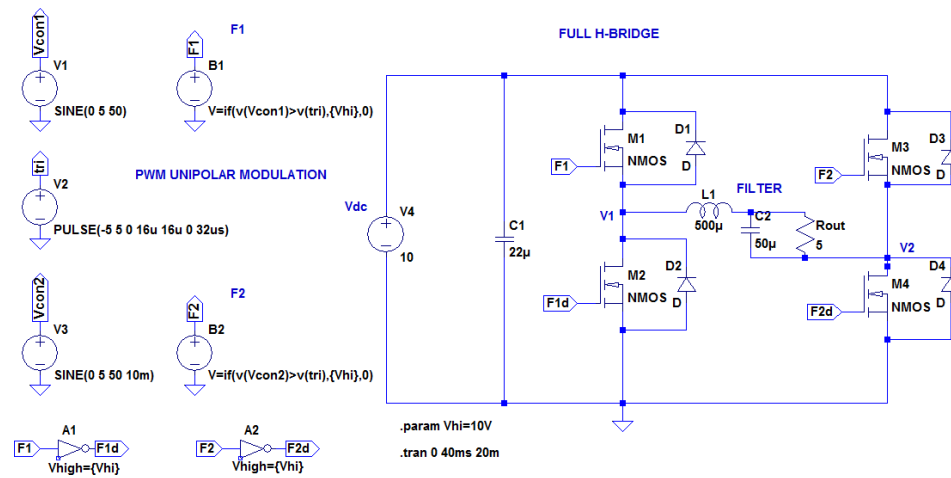


Figure II.1 Logiciel de schéma complet H-Bridge.

II.4-Modulation PWM. Fréquence de commutation

Une décision clé dans la conception d'un onduleur est la valeur de la fréquence de commutation. Dans les pages suivantes, une analyse des options sera développée. Il est également nécessaire de sélectionner la modulation à appliquer dans le pont, car la configuration et le calcul des éléments varient.

II.4-1-Modulation PWM

Comme point de départ pour la comparaison, dans les deux cas, la tension de sortie est mesurée (Figure II.3), obtenant des valeurs et des fréquences différentes. En établissant la même fréquence de commutation pour les deux modulations, en modulation bipolaire, la fréquence de sortie reste la même, tandis qu'en modulation unipolaire, elle double la valeur initiale. Cela permet de réduire la taille des composants passifs comme les inductances et les condensateurs mais conduit à des pertes plus élevées. En ce qui concerne les valeurs de sortie, en modulation bipolaire, elles oscillent entre deux valeurs, V_{in} et $-V_{in}$ (étant V_{in} la tension d'entrée CC), alors que sur unipolaire la sortie est à trois

niveaux (V_{in} , 0, $-V_{in}$). Plus le nombre de niveaux de modulation est élevé, meilleure est la forme d'onde.

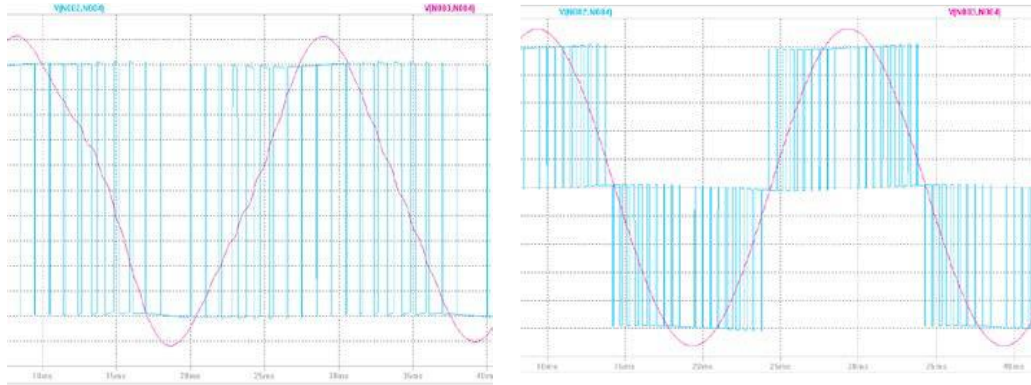


Figure II.2. Forme d'onde de sortie avec modulation bipolaire (gauche) et unipolaire (droite).

En ce qui concerne les harmoniques, certains points importants doivent être soulignés. En modulation bipolaire, les harmoniques de tension de sortie apparaissent à la fréquence de commutation et ont deux fois l'amplitude des harmoniques de tension de dérivation. Cependant, en modulation unipolaire, leur fréquence est le double de la fréquence de découpage et leur amplitude est la même que dans les harmoniques de tension de branche. Les harmoniques des familles impaires n'apparaissent pas dans la sortie, car dans chaque branche elles sont en phase. Comme les harmoniques supérieures (première famille) sont impaires et que la fréquence du reste est plus élevée qu'en bipolaire, elles sont plus faciles à filtrer. Cela a un impact direct sur l'inductance de filtrage, ce qui la rend quatre fois plus faible en unipolaire qu'en bipolaire. Une autre façon de réduire les harmoniques est d'élever

La fréquence de découpage, et donc en facilitant leur filtrage. Cependant, avec cette solution, les pertes peuvent devenir très élevées.

Compte tenu des critères décrits au début de ce chapitre, l'efficacité obtenue avec chaque modulation doit également être analysée. En réglant la même fréquence de sortie, en modulation bipolaire, la fréquence de découpage est deux fois plus élevée qu'en unipolaire. Pour cette raison, les pertes de commutation sont plus élevées. Un aperçu de la figure 2.4 permet de voir les différents rendements entre la modulation unipolaire et

bipolaire en ce qui concerne la puissance et avec une fréquence de commutation de 20 kHz. Les débits maximaux sont atteints avec un pont en H modulé unipolaire, alors que la configuration en demi-pont obtient les pires résultats.

Dans des applications telles que les systèmes photovoltaïques, il est nécessaire de prendre en compte les différences concernant les tensions de mode commun, mais pour la conception actuelle, elles ne seront pas un fait décisif pour la décision.

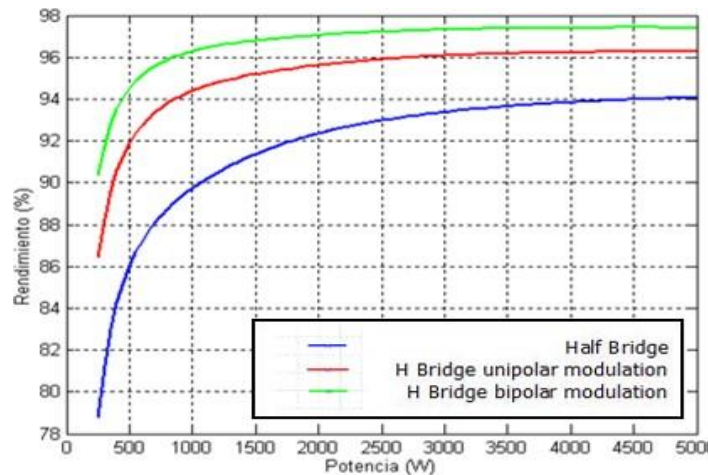


Figure II.3. Efficacité pour $f = 20$ kHz par rapport à la puissance

Après la discussion développée, il est décidé de mettre en œuvre une modulation unipolaire. L'efficacité est l'élément clé de cette décision. De plus, la facilité de filtrage des harmoniques et la possibilité d'avoir deux fois la fréquence de commutation en sortie sont des avantages qui influencent la sélection. Le circuit étant réalisé à des fins pédagogiques, on souhaite que la taille des composants soit le plus petit possible, et l'inductance de sortie peut être réduite avec cette modulation.

II.4-2-Fréquence de commutation

L'un des aspects les plus importants de la conception d'un onduleur est le choix de la fréquence de commutation, car les pertes et la qualité de la forme d'onde sont directement liées à sa valeur. Comme dans ce cas la génération du PWM est numérique, la fréquence de commutation sera réglée par le microcontrôleur.

II.5-Sélection des semi-conducteurs

Dans cette section, une comparaison supplémentaire entre certains d'entre eux sera donnée, afin d'expliquer la décision de conception.

Le premier semi-conducteur couramment utilisé dans l'électronique de puissance était le BJT. Sa structure simple et sa capacité à amplifier le courant sont deux de ses principaux points forts. Cependant, pour être allumé, un courant de base élevé est nécessaire. De plus, son arrêt est relativement lent et il est très sensible à l'emballement thermique, en raison de son coefficient de température négatif.

Lorsque les MOSFET ont été développés, ils sont devenus un bon substitut aux BJT. Comme ils sont contrôlés par la tension, le problème du courant de base élevé est résolu. De plus, leur coefficient de température est positif, empêchant l'emballement thermique. Ce sont des dispositifs de commutation rapide, et à leur mise hors tension, il y a presque n'importe quelle queue de courant. Cet effet est une conséquence des charges restantes sur la jonction PN, et affecte négativement la mise hors tension du commutateur, le retardant et en augmentant les pertes en conséquence. Structuellement, les MOSFET ont une diode de drain de corps, qui peut être utilisée comme diode de roue libre pour les charges inductives. En revanche, leurs pertes de commutation sont assez perceptibles et ils ne peuvent pas faire face à des tensions très élevées.

Les IGBT combinent les fonctionnalités des BJT et des MOSFET. Ils sont contrôlés par la tension mais les caractéristiques de commutation et de conduction de sortie sont celles des BJT. La désactivation est similaire à celle du MOSFET, mais avec une queue de courant plus grande. Ce fait augmente leur temps d'arrêt et leurs pertes. D'autres inconvénients sont le coefficient de température négatif et l'absence de diodes de drain corporel. Cependant, certaines solutions peuvent être adoptées afin d'atténuer ces inconvénients, comme l'ajout d'une diode de récupération ultrarapide co-emballée pour accélérer la coupure. En outre, la technologie de processus et la structure de l'appareil ont été améliorées, ce qui se traduit par de meilleures caractéristiques de commutation.[24]

La sélection entre MOSFET et IGBT dépend de l'application. Les solutions ne sont pas uniques et les fonctionnalités et exigences données dans chaque application déterminent le choix. Cependant, à titre indicatif, dans le tableau II.1, on peut voir un résumé de certaines caractéristiques et valeurs remarquables.

Tableau II.1. Reprise des fonctionnalités et sélection

Feature	MOSFET	IGBT
Voltage	< 250 V	>1000V
Frequency	> 100 kHz	< 20 kHz
Power	< 3 kW	> 3 kW
Efficiency	Light load	Full load
dV/dt	Limited	High

Décision de conception

Dans ce projet actuel, la tension est la caractéristique clé pour décider. Les exigences de l'application étant très faibles, la tension de saturation des IGBT est un handicap. En parcourant différents catalogues et fournisseurs, il est difficile d'obtenir un IGBT avec $V_{ce(sat)}$ inférieur à 1,4 volts. Comme normalement deux IGBT conduisent en même temps, il en résulte une perte de près de 3 volts entre l'entrée et la sortie. C'est environ un cinquième de la source de tension continue, donc cela ne peut pas être considéré comme adéquat. En considérant les MOSFET, leur comportement à la conduite peut être modélisé comme une résistance avec une valeur de l'ordre de milliohms. Par conséquent, la différence entre l'entrée et la sortie n'est pas si remarquable. Concernant la fréquence, bien que les MOSFET soient couramment sélectionnés dans les applications haute fréquence, ils peuvent également traiter des valeurs faibles.

Au moment de la simulation, il est possible de comparer la forme d'onde de sortie avec les commutateurs idéaux, MOSFET et IGBT dans le circuit suivant :

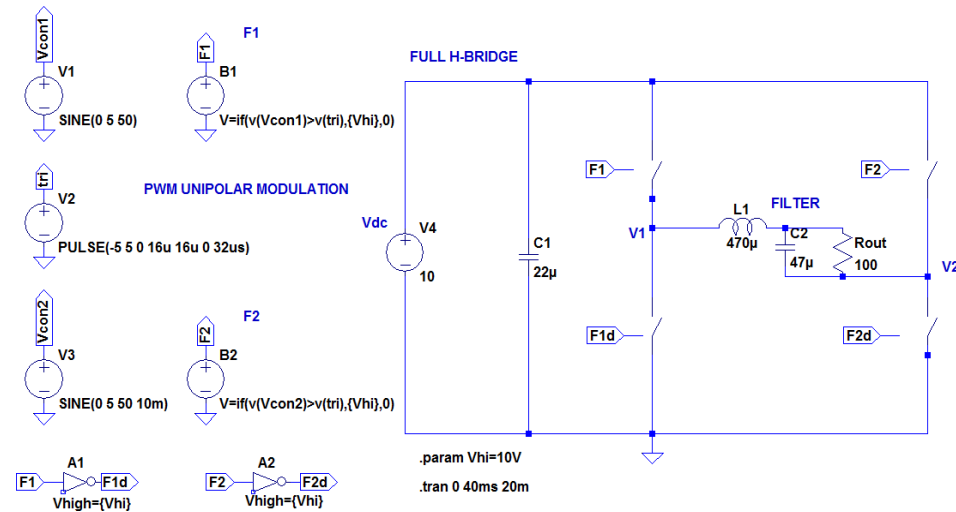


Figure II.4. Schéma du pont en H complet appliqué pour la comparaison entre les semi-conducteurs.

Dans tous les cas, la tension continue d'entrée est de 10 V et la fréquence de découpage est réglée sur 10 kHz. La figure II.4 montre les différents résultats obtenus. La division de l'axe vertical est de 2 volts. La forme d'onde bleue correspond à la tension de sortie sans filtrage, tandis que la rose est la tension dans la charge.

Comme on peut le voir, alors que le pont IGBT reste sous 6 volts, le pont MOSFET est plus proche de 10 volts. En outre, la clarté de la forme d'onde commutée est notable dans le cas des MOSFET, et la modulation unipolaire peut être bien distinguée. D'un autre côté, avec les IGBT, la forme d'onde n'est pas aussi nette et les pics sont plus irréguliers.

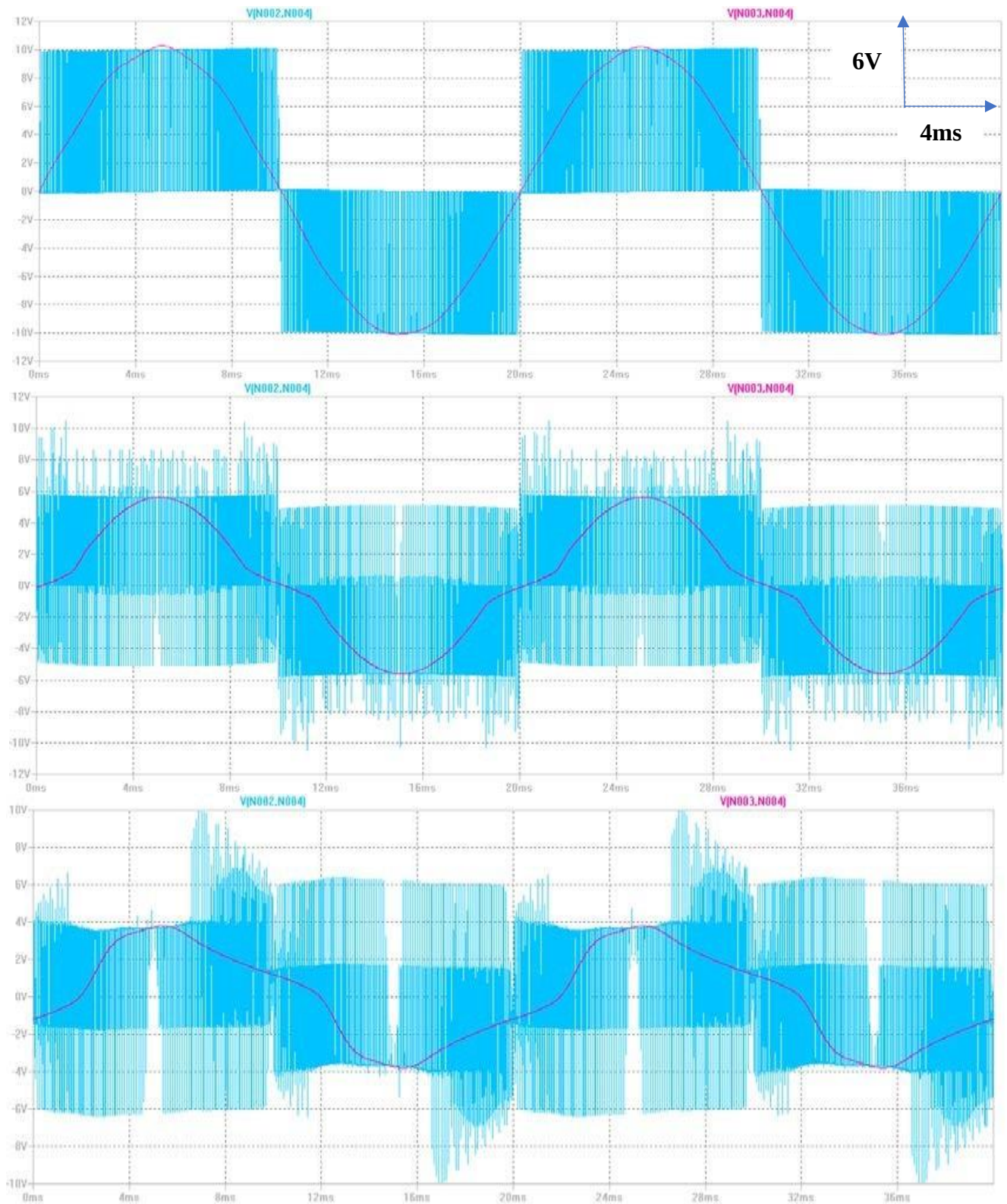


Figure II.5. Forme d'onde de tension de sortie sur les commutateurs idéaux (1), MOSFET (2) et IGBT

Après la discussion précédente, il est finalement décidé de sélectionner le MOSFET comme semi-conducteur. De cette manière, afin de réaliser un commutateur à trois segments, un MOSFET et une diode en antiparallèle seront choisis.

En ce qui concerne la configuration des MOSFET, il est possible de trouver des semi-conducteurs à canal N et à canal P. Comme expliqué précédemment, dans l'électronique de puissance, le type le plus répandu sont les MOSFET à canal N, qui ont du silicium dopé P comme substrat. Lorsqu'ils sont allumés, le canal conducteur est formé par le mouvement des électrons. L'emploi de ce type de FET a pour conséquence qu'un circuit d'amorçage est nécessaire pour piloter les portes des MOSFET côté haut du pont.



Après consultation des différentes options et fournisseurs disponibles, le MOSFET sélectionné est l'IRF60B217, d'Infineon, spécialement conçu pour les applications basse tension. Ses caractéristiques complètes sont rassemblées sur sa fiche technique [29]. Le package sélectionné est TO-220AB, afin de s'adapter facilement à la maquette et au PCB.

Figure II.6. IRF60B217 avec le boîtier TO-220AB

Concernant la diode, le semi-conducteur spécifique est 1N4001, un modèle couramment utilisé, qui peut être fourni par plusieurs fournisseurs.

II.6-Sélection des éléments du circuit

Une fois les caractéristiques établies, il est nécessaire de déterminer les valeurs des composants du circuit. Non seulement la sélection des semi-conducteurs est importante. Les inductances et les condensateurs aident à amortir les ondulations de tension et de courant et doivent donc être soigneusement choisis. Dans cette section, un résumé des éléments du circuit est présenté. Les calculs complets de leur valeur sont rassemblés à l'annexe A.

II.6-1-Condensateurs

Au moment de la sélection des condensateurs, il faut d'abord déterminer la valeur optimale en fonction de leur rôle sur le circuit. En outre, le type de condensateur doit être

soigneusement choisi en fonction de l'application, car on souhaite avoir la plus petite taille possible.

Outre les condensateurs de découplage et les composants bootstrap, qui seront expliqués plus en détail, il est important de prendre en compte le condensateur du bus DC. La tension d'entrée de l'onduleur provient d'une source CC. Cependant, même la source la plus précise produit du bruit qui déforme la forme d'onde d'origine. Aussi, il faut considérer que du côté DC d'un onduleur, il apparaît un courant pulsé dont la fréquence est le double de la fréquence de sortie [22]. Cela se traduit par une tension ondulatoire.

Pour ces raisons, il est normal d'inclure un condensateur sur le bus DC de l'onduleur, afin de stabiliser la tension. Dans cette conception, l'élément choisi est un condensateur électrolytique de 22 μF . L'estimation de cette valeur est recueillie à l'annexe A.

II.6-2-Inductances

Sur un onduleur, lorsque la tension de sortie est commutée, le courant n'est pas constant et oscille en fonction du signe de la tension. Afin de diminuer le courant d'ondulation et d'atténuer les harmoniques, une inductance doit être placée dans la sortie.

Comme décrit dans l'annexe A, la valeur de l'inductance de sortie dépend de la modulation PWM sélectionnée. Dans ce cas, pour une modulation unipolaire et un réglage de 5% du courant d'ondulation dans la sortie, la valeur minimale de l'inductance est de 360 μH .

Une fois calculé théoriquement, l'étape suivante consiste à vérifier en simulant le courant d'ondulation. Sur le pont en H du MOSFET, la forme d'onde du courant de sortie sur l'inductance (en régime permanent et avec $L_{\text{OUT}} = 160 \mu\text{H}$) est reflétée sur la figure II.7.

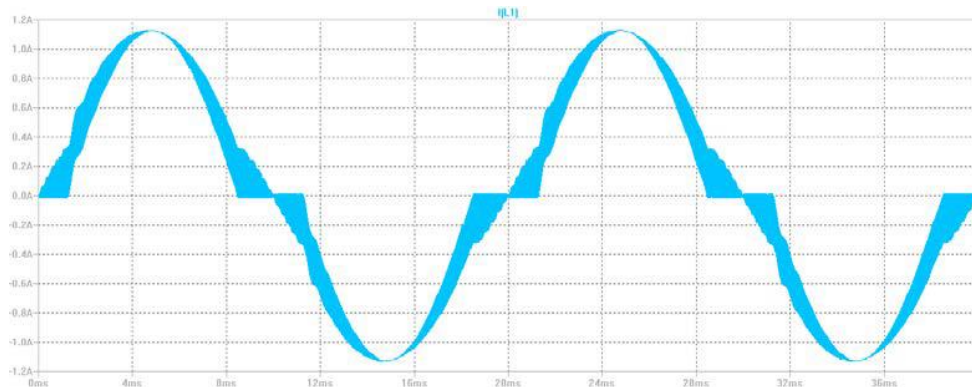


Figure II. 7. Forme d'onde du courant d'inductance avec $L_{out} = 160 \mu H$

On peut voir sur la figure, que le courant ondule principalement sur les valeurs intermédiaires du sinus. Elle correspond aux espérances théoriques, car la valeur d'ondulation maximale est acquise à un rapport cyclique de 50% ($m = 12$), et si elle est mesurée, elle correspond à des valeurs autour de 250 mA.

En fonction de la charge, la valeur du courant de sortie peut être très faible, et il est donc souhaitable d'avoir une oscillation aussi faible que possible. A cet effet, des inductances plus élevées peuvent être placées.

Par exemple, sur la figure II.8, une inductance de $470 \mu H$ est utilisée. En conséquence, l'oscillation du courant n'est que de 80 mA. L'inductance se comporte idéalement comme une source de courant et aide à filtrer les oscillations. Cette valeur sera finalement sélectionnée.

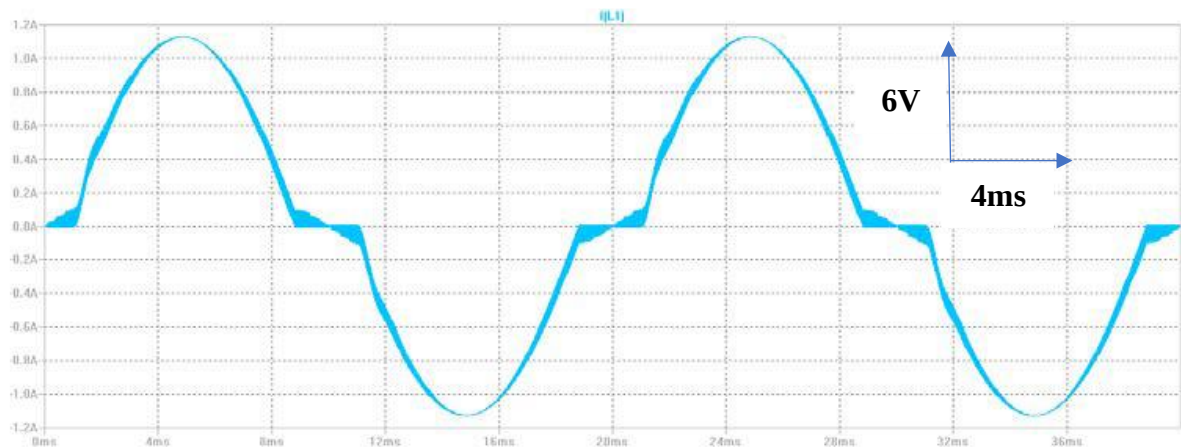


Figure II. 8. Forme d'onde du courant d'inductance avec $L_{out} = 470$

II.6-3- Filtre

La tension de sortie entre deux branches (V12) est une forme d'onde carrée. Cette tension ne peut pas être appliquée directement à une charge car elle pourrait l'endommager. Par conséquent, un filtre est nécessaire entre le pont et la charge. Non seulement à cause de la forme d'onde, mais aussi pour les harmoniques, il est nécessaire de concevoir et de placer un filtre passe-bas.

il existe deux principaux types de filtres passe-bas : LC et RC. Au moment de la sélection, il faut tenir compte du fait que sur un onduleur, une inductance est nécessaire pour filtrer le courant d'ondulation. Cette inductance peut également être utilisée pour le filtre. Par conséquent, la meilleure option est un filtre passe-bas LC. De plus, par ce choix, aucune perte supplémentaire n'est ajoutée, car aucune résistance n'est incluse.

Après avoir déterminé les conditions requises pour la fréquence de coupe, afin de ne pas perturber les performances normales de l'appareil, certains calculs sont effectués et rassemblés dans l'annexe A. En conclusion, un filtre LC passe-bas avec une inductance série de $470\mu\text{H}$ et une capacité parallèle de $47\mu\text{F}$ est sélectionné.

II.6-4-Charge de sortie

Comme expliqué précédemment dans ce chapitre, en fonction du type de charge (résistive, inductive ou capacitive), le facteur de puissance varie.

Afin de mesurer la sortie pour la simulation, une résistance de 180Ω est placée en parallèle avec la capacité du filtre. Plus cette résistance est basse, plus la décharge du condensateur est rapide. D'un autre côté, une valeur de résistance plus élevée se traduirait par une meilleure forme d'onde. Compte tenu des pertes, la valeur choisie pour la résistance permet d'avoir un bon rendement. Au chapitre 5, vous trouverez une explication supplémentaire des changements de la tension de sortie en fonction de la valeur de charge. Un résumé des composants du circuit est rassemblé à l'annexe C.

II.7-Tensions d'entrée

Le pilote IR2110 nécessite deux niveaux de tension d'alimentation différents. D'une part, V_{DD} est lié à la partie logique d'entrée, et doit être adapté à son niveau. D'autre part, V_{CC} s'occupe de la tension de sortie, et doit donc être choisi en fonction des niveaux souhaités.

SD est une entrée d'arrêt qui permet de désactiver le pilote. Dans ce cas, il sera mis à zéro, mais un autre exemple de connexion est de le connecter par un condensateur au V_{DD} (figure 30 de la note d'application AN 978 [31]). De son côté, V_B est une entrée flottante référencée V_s et correspond au déclenchement des MOSFET côté haut.

Conformément aux recommandations du fournisseur, les valeurs définies pour les tensions d'entrée sont rassemblées dans le Tableau II.2. La seule valeur qui ne peut pas être définie est V_s , car elle se réfère au point médian de la branche du pont.

Tableau II.2. Description et valeurs sélectionnées pour les tensions

Symbol	Value (V)	Description
V_{DD}	5	Logic supply
HIN	[0-5]	Logic input for high-side gate driver output HO
SD	0	Logic input for shutdown
LIN	[0-5]	Logic input for low-side gate driver output LO
V_{ss}	0	Logic circuit ground
V_B	15	High side floating supply voltage
V_s	-	High side floating supply offset voltage. Undefined value.
V_{cc}	15	Low side fixed supply voltage
COM	0	Low side ground

En alimentant le pilote avec 15 Volts, les niveaux de sortie sont assurés d'être suffisamment élevés pour alimenter le MOSFET de manière appropriée. Les tensions de retour d'entrée seront mises à zéro, car il est nécessaire de s'assurer que leurs valeurs sont inférieures à la tension de seuil des MOSFET afin de les désactiver. Concernant l'entrée logique, il est recommandé de l'adapter à la valeur supérieure de HIN et LIN. Par conséquent, il sera alimenté avec 5 Volts.

Pour ce faire, il est décidé de placer un régulateur de tension. Ainsi, il suffit d'alimenter en externe le circuit logique avec 15V, car le régulateur adapte cette valeur au 5V également requis par le conducteur. Le modèle sélectionné est un LM7805C [33], régulateur de tension linéaire répandu disponible en boîtier TO220, et à faible consommation d'énergie. En ajoutant simplement deux condensateurs externes, il est possible d'obtenir 5V de tension de sortie.

Selon sa fiche technique, le courant nominal de l'alimentation logique du driver est d'environ 350 μA pour l'entrée Vcc et 20 μA pour l'entrée VDD, valeurs suffisamment basses pour éviter un échauffement excessif. Le schéma complet est rassemblé dans la Figure II.9.

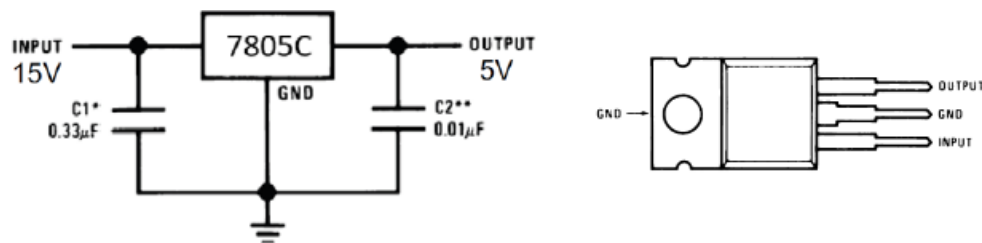


Figure II.9. Reprendre le schéma du LM7805C

II.8-Conclusion :

Ce chapitre a été une grande partie de comprendre toutes les étapes qui sont nécessaires pour conception d'un véritable convertisseur (onduleur).

Tout à fait, afin d'avoir une idée préliminaire du circuit en se basant sur une approche théorique dédiée à la partie expérimentale.

Chapitre III

Analyse Et Discussion Des Résultats

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous entamerons la partie pratique de l'étude, consistant à réaliser un onduleur de tension mono à base d'mofette commandé par la carte Arduino et appliquer des techniques de commande à s'avoir courant alternatif.

III.2. Présentation de la plate-forme

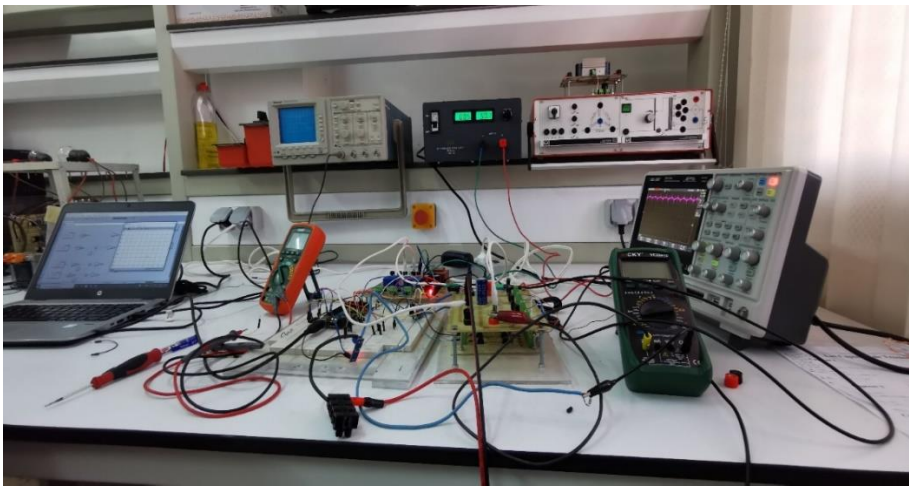


Figure III.1. Présentation de la plateforme

III.3 Travail effectué

La figure ci-dessus représente l'onduleur réalisé :

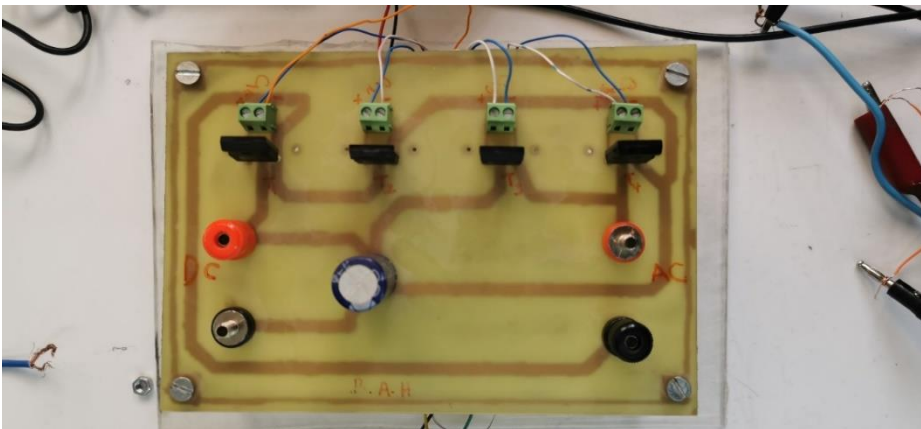


Figure III.2. Image de l'onduleur réalisée

1/ Le mosfet l'irf60b217

2/ Capacité

3/ Alimentation

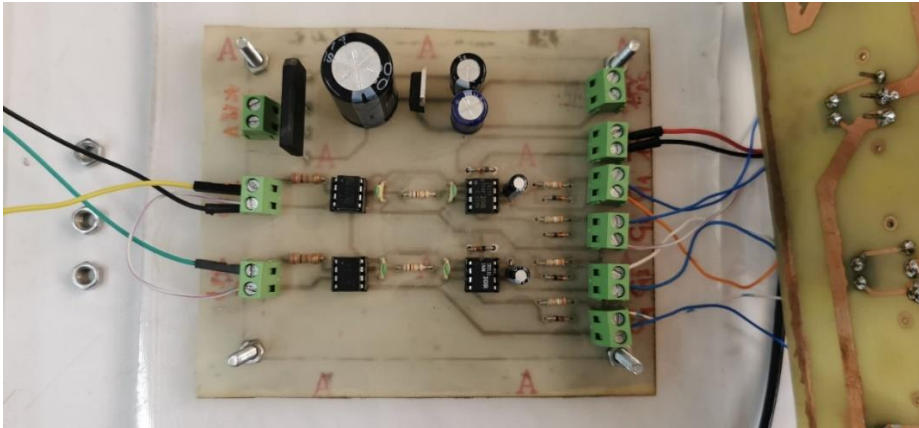


Figure III.3. Image de la 2^{ème} partie de l'onduleur réalisée

1/ Half-bridge driver IR2111

2/ capacités

3/ Alimentation

3.3 le circuit effectué :

Dans ce projet, nous avons réalisé le circuit pour deux systèmes, d'abord système boucle ouverte puis boucle fermé (avec commande) .

III.3.1 Boucle ouverte

Circuit en boucle ouverte : le

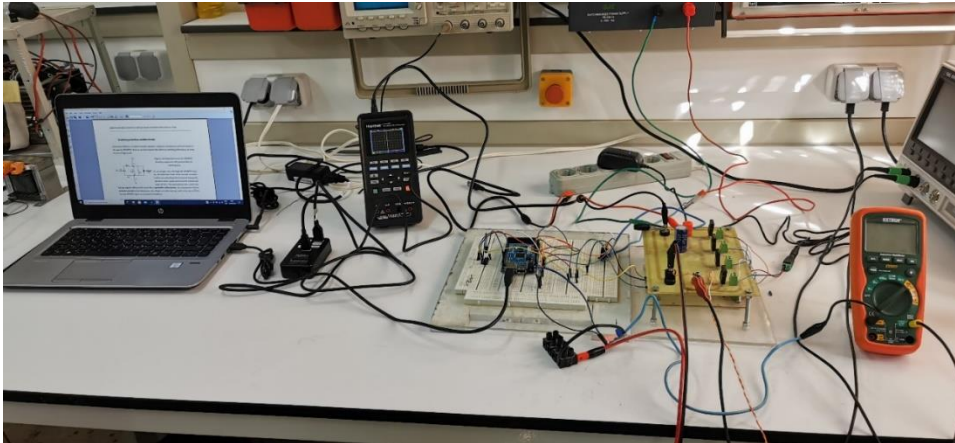


Figure III.4. Image de le montage réalisée en boucle ouverte

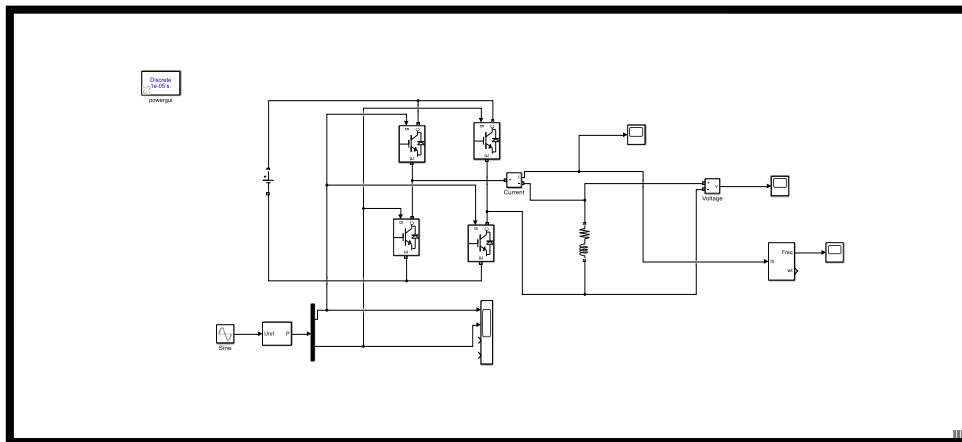


Figure III.5. Schéma bloc de le circuite réalisée (boucle ouverte)

o Résultats simulation et pratiques de l'implémentation de voltage (v):

1/ tension de entrée V_1 :

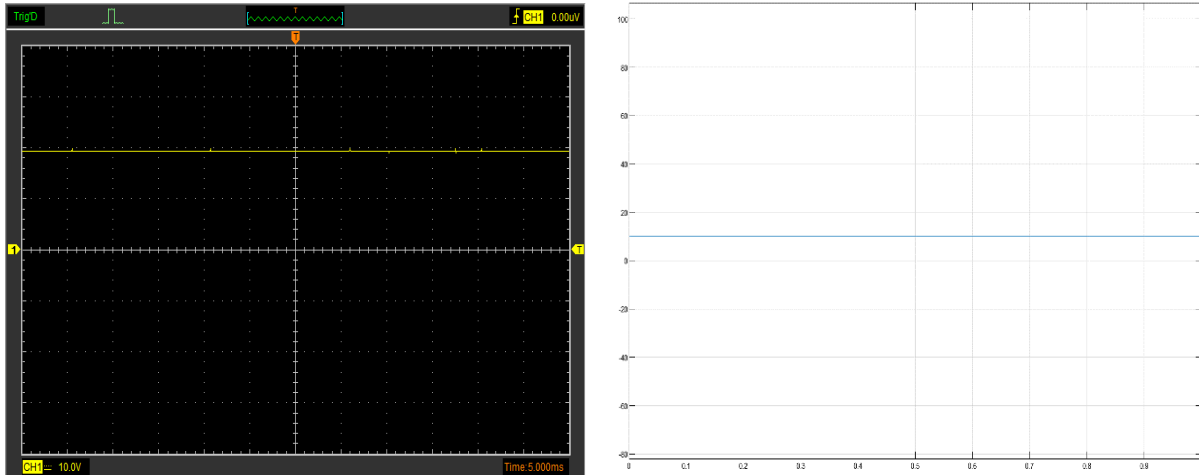


Figure III.6. Tension d'avec d'entrée en simulation (gauche) et réel (droite)

2/ tension de sortie V_2 :

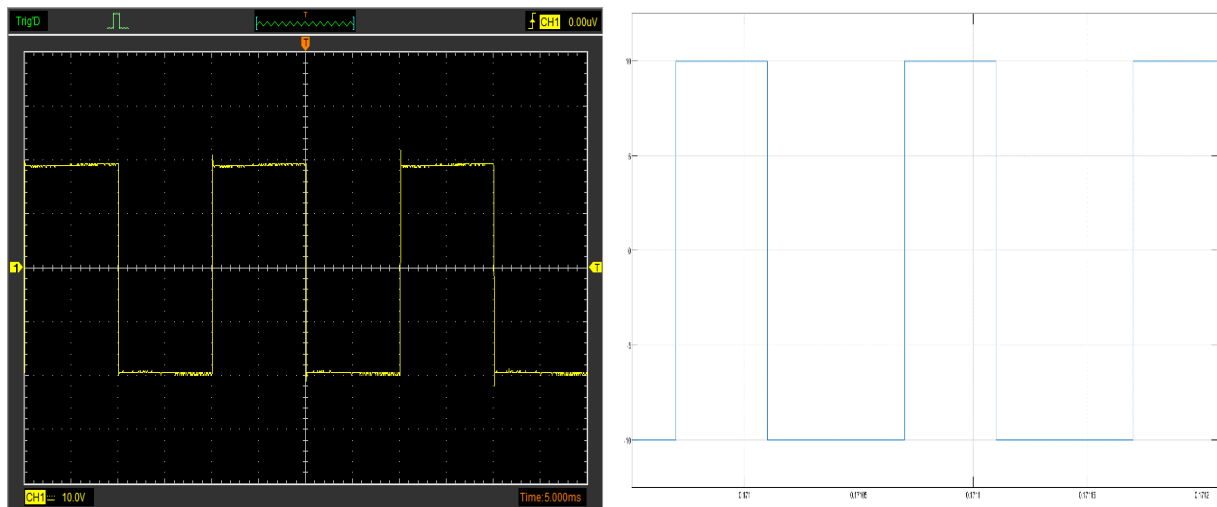


Figure III.7. Tension de sortie en simulation (gauche) et réel (droite)

o Discussion des résultats de l'implémentation de les tentions:

Les résultats de l'implémentation des tensions que confirmer les résultats de la simulation et par conséquent la validation du modèle de notre commande. En effet les allures des tensions captées pendant l'implémentation sont similaires à celles captées durant la simulation.

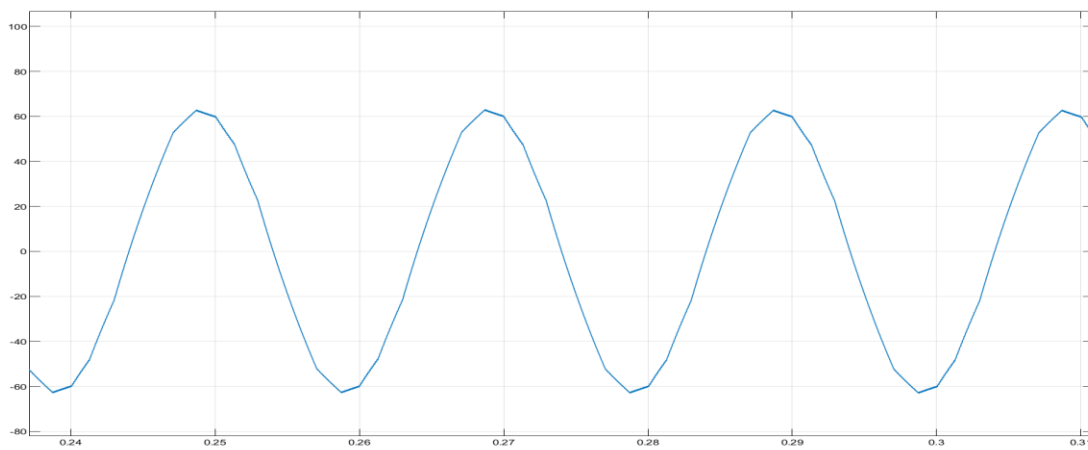
o Résultats simulation et pratiques de l'implémentation de courant (A):

Figure III.8. Courant de sortie en simulation (boucle ouverte)

Remarque :

Le problème dans la partie pratique est que l'Oscilloscope ne donne pas (ne produit pas) le courant, nous ne pouvons pas atteindre la direction du courant à cause (en raison) du manque d'appareils

III.3.2 Boucle fermée

Le circuit en boucle fermé :

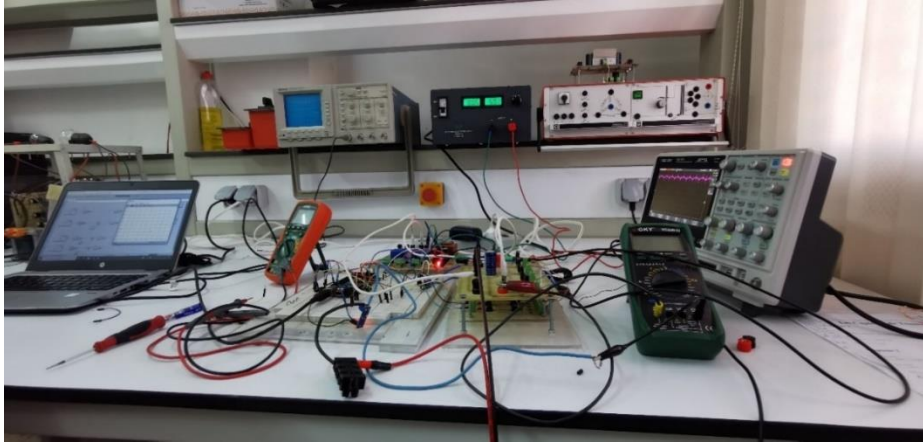


Figure III.9. Image de le montage réalisée en boucle fermé

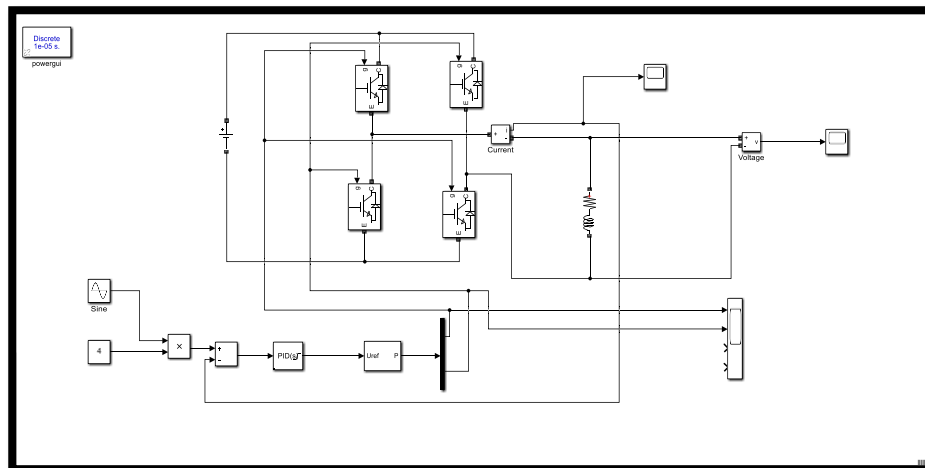


Figure III.10. Schéma bloc de le circuited réalisée (boucle fermé commandé)

o Résultats simulation et pratiques de l'implémentation de voltage (v):

1/tension de entrée V_1 :

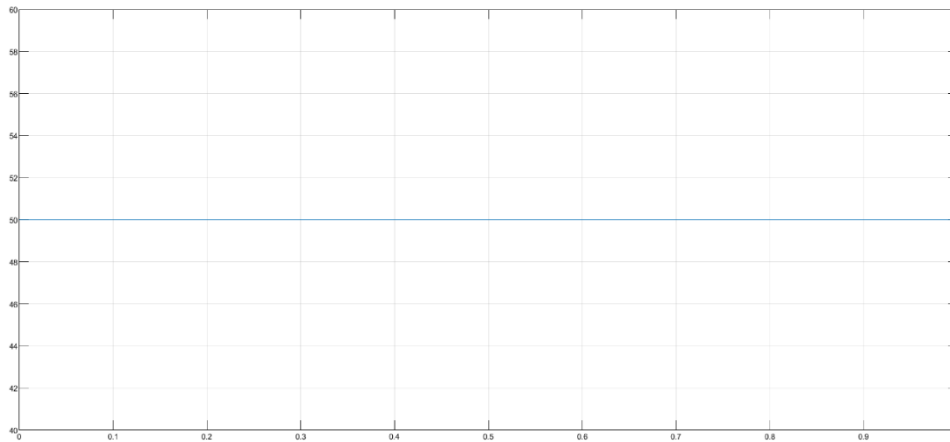


Figure III.11. Tension d'avec d'entrée en simulation

2/ tension de sortie V_2 :

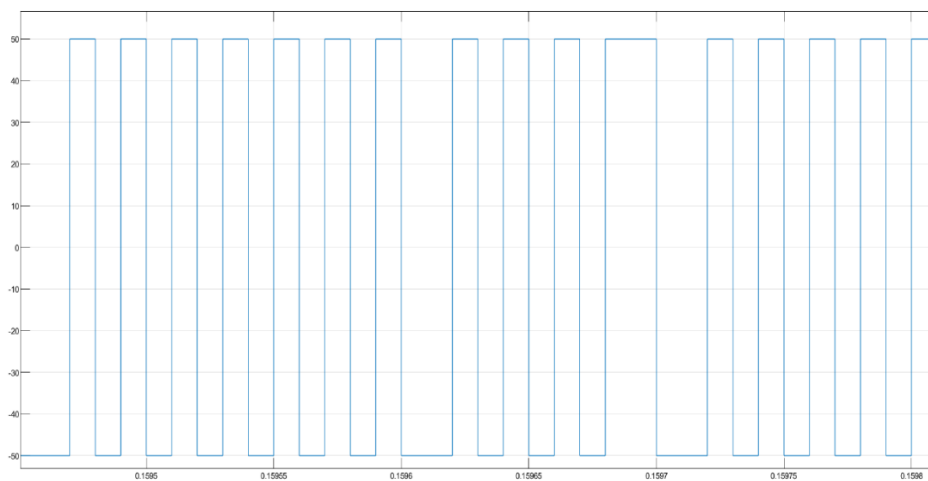
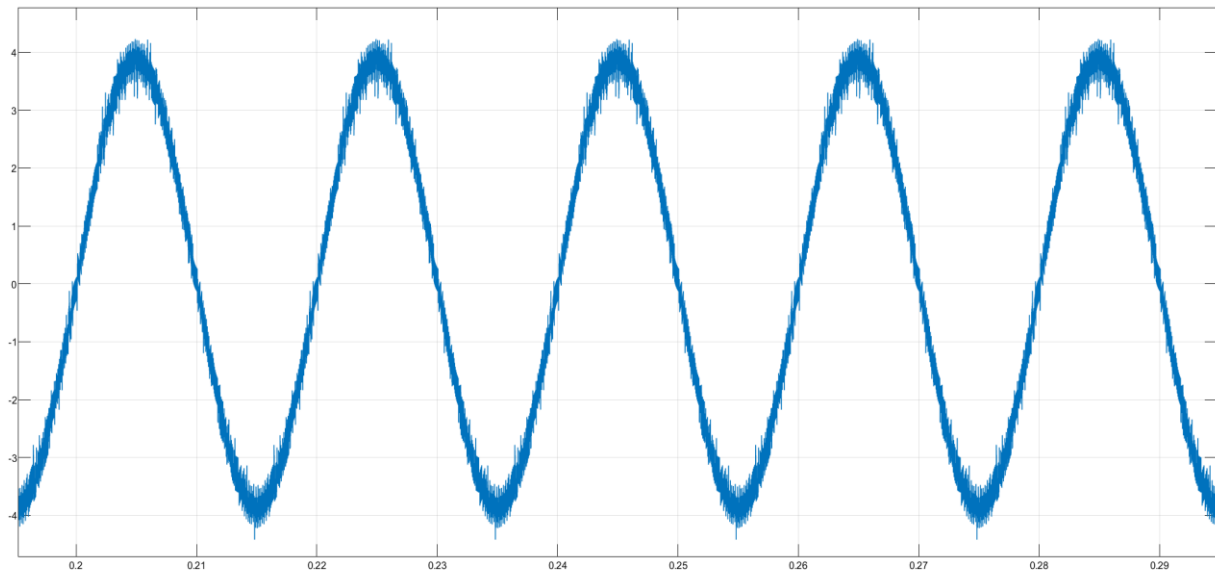


Figure III.12. Tension de sortie en simulation

o Résultats simulation et pratiques de l'implémentation decourant (A):**Figure III.13.** Courant de sortie en simulation (boucle fermé)**Remarque très importante :**

Pour cette partie pratique, nous avons trouvé un problème dans l'Ard, parce qu'il ne peut pas comparer le signal triangle Avec le signal sinusoïdal Comme dans la simulation. C'est ce que nous avons découvert (trouvé) après plusieurs essais dans (cette) l'expérience

o Résultats pratiques de l'implémentation de PWM :

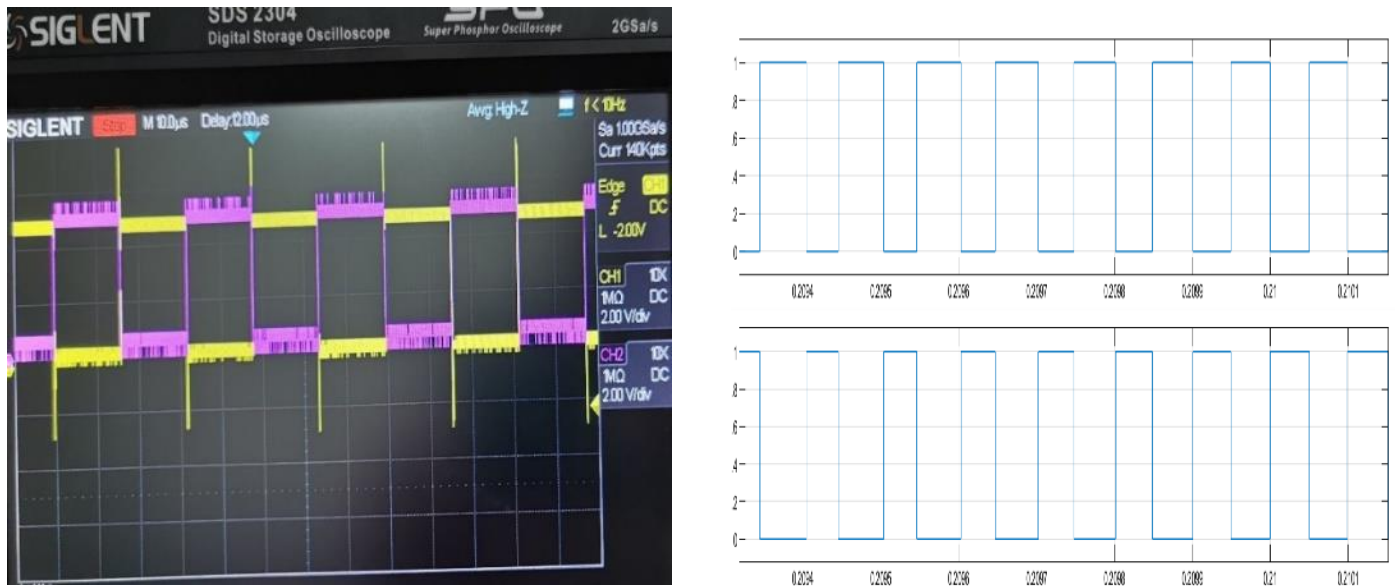


Figure III.14. Tension composée à la sortie de l'onduleur (commande PWM) en simulation (droite) et réel (gauche)

o Discussion des résultats de l'implémentation de la commande PWM:

La similitude des résultats de l'implémentation et de la simulation de la commande PWM nous a permis de valider le modèle de notre commande qui pourra être utilisé ultérieurement pour diverses applications. En plus nous avons remarqué que la commande PWM nous permet d'avoir une allure de courant beaucoup plus proche de la sinusoïde.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents organes qui constituent notre banc d'essai réalisé. Nous avons essayé d'expliquer au mieux les étapes suivies pour la réalisation de l'onduleur. Pour chaque passage, nous avons utilisé nos connaissances théoriques afin de surmonter les obstacles au quels la réalisation pratique. Grace à cette réalisation, nous avons amélioré et renforcé nos connaissances théoriques. Une fois le banc d'essai est réalisé, nous l'avons mis à l'épreuve en utilisant la commande PWM qui est comparée avec la partie de simulation. Ce chapitre nous a permet aussi de mettre en évidence l'importance et la performance de la commande PWM (technique la plus utilisée pour les variateurs de vitesse) par rapport au d'autre commandes.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce mémoire vise à réaliser un convertisseur monophasé DC-AC. Cette étude a présenté un seul type de convertisseur qui un onduleur monophasé. Comme nous avons essayé de mener des expériences sur l'onduleur et d'essayer de l'étudier et de mieux connaître ce convertisseur.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé d'une manière générale sur l'onduleur monophasé et de leurs nombreux types. Ensuite, nous nous sommes spécialisés dans le type important de l'onduleur lorsque nous avons pris connaissance de ses composants et de son principe de fonctionnement. Nous avons également cité ses utilisations, avantages et inconvénients.

Le deuxième chapitre a été consacré aux connaissances des composants du de l'onduleur monophasé. Nous avons donc abordé, dans cette partie, comment définir ces composants et comment calculer chaque élément avec précision. De plus, cette partie a le but de vérifier le choix des composants avec une extrême précision en fonction des conditions requises. Nous avons également défini soigneusement les composants de notre prototype.

Dans le troisième chapitre, nous avons rassemblé tout ce que nous avons étudié précédemment lorsque nous avons exploité les théories que nous avons discutées dans le premier et le deuxième chapitre. De plus, l'étude théorique dédiée à l'expérimentation et les parties de simulation ont été bien exploitées.

L'onduleur monophasé a été simulé à l'aide de l'outil MATLAB/Simulink. Puis nous nous sommes rendus au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) à Ghardaïa en Algérie pour réaliser le même cet onduleur attentivement.

Après cela, nous avons enregistré les résultats réels comme nous avons les comparés avec les résultats de la simulation. Cette étude a conclu que les études étaient très précises sur ce prototype (Onduleur Monophasé). De plus, les résultats étaient presque complètement identiques aux résultats de la simulation.

Enfin, on peut dire que l'onduleur est un convertisseur très important dans le secteur industriel, puisqu'il est présent presque dans tous les domaines de la vie. Nous espérons qu'il y aura l'occasion des études sur son développement dans l'avenir.

Bibliographies

Bibliographies

1. LAKEHAL Bilel, "Modélisation et commande d'un onduleur triphasé à structure multi-niveaux", Université de Constantine, 2018.
2. MECHERI SALAH-EDDINE, "Realisation d'un onduleur de tension monophasé contrôlé par une carte arduino", LOUZ LAMRI Promotion ,2014
3. BENAOUICHA Mounir , "Réalisation d'un onduleur de tension commandé par la carte Dspace S ", Tamalouzt Année universitaire, 2015
4. BENTOUMLI M, " Commande et implémentation d'un Onduleur De tension triphasé soutenu", Université de M'sila Examineur Année universitaire , 2019
5. Pinard, " convertisseurs et électronique de puissance et puissance de commande, description ", mise en œuvre Dunod, Paris, ISBN 978-10-049674-7, p116.
6. Henri FOCH, " Onduleurs de tension - Structures. Principes. Applications ", technique de l'ingénieur d3176 (article), 1998.
7. Florian Jean , " les transistors ", 4ème C
8. Pierre LEFRANC, " Étude, conception et réalisation de circuits de commande d'IGBT de forte puissance".
9. B. JAYANTBALIGA, "Trends in power semiconductor devices", IEEE Transactions On Electronics Devices, tome 43, no10, p. 1717–1731, octobre 1996
10. PIERREALOÏSI, "Tout savoir ou presque sur les IGBT", Polycopié 03354/01. Gif-sur-Yvette, Supélec, 1998
11. Transistor bipolaire à grille isolée — Wikipédia (wikipedia.org)
12. LES TRANSISTORS
13. ELECH301_CH07
14. Mémoire finale
15. ANDRI ABANJIMANALINA, "CONVERTISSEUR MULTINIVEAUX" Mémoire d'ingénieur université d'Antananarivo école supérieure polytechnique, 2004.
16. T. Wildi, "Electrotechnique", éditions de Boeck université ,1999.
17. B. Robert, " Les convertisseurs de l'électronique de puissance la conversion alternatif (volume 4)". Edition, 1995.
18. "Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche BondGraph soutenu", 2009.

19. "Onduleurs et harmoniques", Cahiers techniques Merlin Gerin N°159.
20. cours_onduleur_autonome.
21. Onduleur monophasé connecté au réseau pour les modules photovoltaïques
22. MARROYO, "Convertidores Electrónicos de Potencia", Universidad Pública de Navarra, 2015.
23. SEMIKRON, "Application Manual Power Semiconductors", 2015
24. Power electronics, Wikipedia.
25. IGBT vs. MOSFET, Which Device to Select Renesas Electronics.
26. IRF60B217 Datasheet.
27. IR2110 Datasheet
28. HV Floating MOS-Gate Driver ICs.
29. Snubber design for noise reduction in switching circuits
30. "LM7805C voltage regulator Datasheet", Texas Instruments.
31. AN-6076 Design and Application Guide of Bootstrap Circuit for High Voltage Gate Drive IC.
32. Thermal design
33. gate resistors for power drives .