

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

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° : 2017/CI 01/97482



DOMAINE : ST
FILIERE : GENIE ELECTRIQUE
OPTION : CONTRÔLE INDUSTRIEL

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: Dechoucha. Souhila

Bourezg. Ouarda

Intitulé

**Conception des techniques MLI dédiées à la
commande des convertisseurs DC/DC et DC/AC
à base du microcontrôleur PIC18F4431**

Soutenu devant le jury composé de:

M. BENTOUMI

Université de M'SILA

Président

A. MEZACHE

Université de M'SILA

Rapporteur

M. FODIL

Université de M'SILA

Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

REMERCIEMENT

A l'issue de cette fin de travail nous adressons nos remerciements premièrement à ALLAH tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années d'études.

Nos remerciements s'adressent à notre promotrice Pr. A. MEZACHE pour avoir proposé et dirigé ce modeste travail et pour son continuel suivi tout le long de la réalisation et la correction de ce mémoire. Elle nous a présenté un excellent exemple de la compétence scientifique, discipline et générosité.

Nous remercions également tous les membres de jury d'avoir accepter de juger notre travail.

Nous tenons à remercier vivement toute personne qui nous a aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

DÉDICACE

Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents (Ahmed et Merieme), que ALLAH les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes sœurs Halima et Bouchra

et mes frères Soufiane et Bachire

A mon oncle Moustafa

A toute ma famille de près ou de loin

A ma binôme Ouarda

Aux chers frères, amis

A tous les amis d'études surtout ceux d'électronique

Promotion 2017

DECHOUCHA SOUHILA

DÉDICACE

Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents (Brahime et Messouda), que ALLAH les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A ma sœur Radia

A ma grande mère Fatome

A toute ma famille de près ou de loin

A ma binôme Souhila

Aux chers frères, amis

A tous les amis d'études surtout ceux d'électronique

Promotion 2017

BOUREZG OUARDA

Liste des symboles

Symboles	Notations
DC	Courant continu
AC	Courant alternatif
PWM	Pulse Width Modulation
MLI	modulation de largeur d'impulsions
V_{ref}	La Tension de la référence
V_p	La Tension de la porteuse
m	Taux de modulation
F_p	la fréquence de la porteuse
F_r	La fréquence de la référence
r	le rapport de la fréquence de la porteuse
V_m	l'amplitude de tension de référence
V_{pm}	l'amplitude de la porteuse
k	L'interrupteur
E	la source
T	La période
V_{moy}	La valeur moyenne aux bornes de la charge
α	Rapport cyclique
i	Courant de la charge

R	Résistance
L	Inductance
T	Transistor
D	Diode
O	Ouvert
F	Fermé

Liste des figures

Figure I.1. Les différents convertisseurs statiques. - - - - -	6
Figure I.2. Les différents signaux de la stratégie triangulo-sinusoïdale. - - -	7
Figure I.3. Schéma de principe d'un hacheur réversible en courant. - - -	9
Figure I.4. Schéma block d'un hacheur réversible (Simulink-Matlab). - - -	10
Figure I.5. Allures de tension et de courant d'un hacheur réversible en courant. - -	10
Figure I.6. Schéma de principe d'un hacheur en pont en H. - - - -	11
Figure I.7. Schéma de block d'un hacheur en pont en H (Simulink-Matlab). - -	12
Figure I.8. Allures de tension et de courant d'un hacheur en pont (simuler –Matlab). -	13
Figure I.9. Allures des grandeurs d'un onduleur monophasé en pont (symétrique).- -	15
Figure I.10. Allure des grandeurs d'un onduleur monophasé en pont (décalée). - -	15
Figure I.11. Forme d'onde pour un onduleur monophasé fonctionnant en MLI bipolaire. -	16
Figure I.12. Forme d'onde pour un onduleur monophasé fonctionnant en MLI. - -	16
Figure I.13. Forme d'onde pour un onduleur en créneau. - - - - -	17
Figure I.14. Schéma de principe d'un onduleur triphasé. - - - - -	18
Figure I.15. Schéma de block d'un onduleur triphasé. - - - - -	19
Figure I.16. Forme d'onde pour un onduleur triphasé Commande à pleine onde. - -	21
Figure I.17. Forme d'onde pour un onduleur triphasé fonctionnant en MLI. - -	22
Figure II.1. Photo du PIC18F4431. - - - - -	26
Figure II.2 : Brochage du PIC18F4431. - - - - -	31
Figure II.3. Schéma fonctionnel de CNA. - - - - -	35
Figure.II.4. Diagramme block du module MLI en mode complémentaire. - -	37
Figure.II.5. Diagramme du module MLI en mode indépendant. - - -	37
Figure III.1.Le circuit L298HN (H=Modèle Horizontal). - - - - -	41
Figure III.2. Structure interne du circuit L298N. - - - - -	42
Figure III.3. Schéma de brochage du circuit L298N.- - - - -	43

Figure III.4. Schéma structurel de la carte 'ISIS'. - - - - -	47
Figure III.5. Organigramme de génération du signal MLI utilisant le code CCS PICC pour deux hacheurs réversibles en courant commandés par un seul signal analogique de 0 à 5V. -	49
Figure III.6. Allures de tension et de courant obtenues (Mode#1) par simulation Proteus.-	50
Figure III.7. Organigramme de génération du signal MLI utilisant le code CCS PICC pour un hacheur en pont. - - - - -	51
Figure III.8. Allures de tension et de courant obtenues (Mode#2) par simulation Proteus.-	52
Figure.III.9. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur mono-bipolaire.-	53
Figure III.10. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#3) par simulation Proteus.-	54
Figure III.11. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur mono-unipolaire.	55
Figure III.12. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#4) par simulation Proteus Duty=90%. - - - - -	56
Figure III.13. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#4) par simulation Proteus Duty=20%. - - - - -	56
Figure III.14. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur en créneau.	58
Figure III.15. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#5) par simulation Proteus.	58
Figure III.16. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur monophasé MLI bipolaire. - - - - -	60
Figure III.17. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#6) par simulation Proteus Duty=10%. - - - - -	61
Figure III.18. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#6) par simulation Proteus Duty=85%. - - - - -	61
Figure III.19. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur monophasé MLI unipolaire. - - - - -	62
Figure III.20. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#7) par simulation Proteus Duty=10%. - - - - -	63
Figure III.21. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#7) par simulation Proteus Duty=85%. - - - - -	63

Figure III.22. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur triphasé à pleine onde.	- - - - -	65
Figure III.23. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#8) par simulation Proteus.-		66
Figure III.24. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur triphasé MLI.-		68
Figure III.25. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#9) par simulation Proteus Duty=10%.	- - - - -	68
Figure.III.26. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#9) par simulation Proteus Duty=85%.	- - - - -	68
Figure IV.1. Câblage du circuit électrique à réaliser.	- - - - -	73
Figure IV.2. Typon de la carte 'ARES'.	- - - - -	75
Figure IV.3. Carte terminée (côté composants).	- - - - -	76
Figure IV.4. Carte terminée (côté pistes).	- - - - -	76
Figure IV.5. Structure générale de la carte réalisée.	- - - - -	77
Figure IV.6. Allures de tension et de courant obtenus (mode #1) par oscilloscope réelle sens1.-		78
Figure IV.7. Allures de tension et de courant obtenus (mode #1) par oscilloscope réelle sens2.-		78
Figure IV.8. Allures de tension et de courant obtenus (mode#2) par oscilloscope réelle.	-	79
Figure IV.9. Allures de tension et de courant obtenus (mode#3) par oscilloscope réelle.-		79
Figure IV.10. Allures de tension et de courant obtenus (mode#4) par oscilloscope réelle.	-	80
Figure IV.11. Allures de tension et de courant obtenus (mode#5) par oscilloscope réelle.	-	81
Figure IV.12. Allures de tension et de courant obtenus (mode#6) par oscilloscope réelle.	-	81
Figure IV.13. Allures de tension et de courant obtenus (mode#7) par oscilloscope réelle.	-	82
Figure IV.14. Allures de tension et de courant obtenus (mode#8) par oscilloscope réelle.	-	83
Figure IV.15. Charge RL variable.	- - - - -	83
Figure IV.16. Hacheur réversible en courant 'sens1' avec 2 valeurs différentes du rapport cyclique.	- - - - -	84
Figure IV.17. Hacheur en pont avec 2 valeurs différentes du rapport cyclique.	- -	84
Figure IV.18. Onduleur monophasé bipolaire à pleine onde.	- - - -	84

Figure IV.19. Onduleur monophasé unipolaire à pleine onde.	-	-	-	-	85
Figure IV.20. Onduleur monophasé à élimination d'harmoniques.	-	-	-	-	85

Liste des tableaux

Tableau I.1. Possibilités de commande.	-	-	-	-	-	-	-	20
Tableau II.1. Caractéristiques du PIC18F4431.	-	-	-	-	-	-	-	29
Tableau II.2. Compositions du registre INTCON.	-	-	-	-	-	-	-	34
Tableau.II.3. Configuration de l'horloge.	-	-	-	-	-	-	-	36
Tableau III.1. Broches du circuit L298N.	-	-	-	-	-	-	-	43
Tableau VI.1. Liste des composants pour la réalisation de la commande MLI des convertisseurs DC/DC et DC/AC.	-	-	-	-	-	-	-	71

Sommaire

Introduction générale.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Chapitre I : Convertisseurs statiques DC/DC et DC/AC										
I.1. Introduction.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
I.2. Principe de la commande MLI sinusoïdale.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
I.3. Conversion continu-continu (Les hacheurs).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
I.3.1. Hacheur série réversible en courant.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
I.3.1.1. Schéma de principe-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
I.3.1.2. Allure des tensions et des courants.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
I.3.1.3. Simulation par Matlab.-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
I.3.1.4. Calcul des grandeurs caractéristiques.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
I.3.2. Hacheur en pont en H (réversible en courant et en tension).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
I.3.2.1. Schéma de principe.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
I.3.2.2. Allure des tensions et des courants.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
I.3.2.3. Simulation par Matlab.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
I.3.2.4. Calcul de la valeur moyenne de la tension de sortie U_c .	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
I.4. Conversion continu-alternatif (onduleurs de tension autonomes).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
I.4.1. Onduleurs monophasé.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
I.4.1.1. Schéma de principe.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
I.4.1.2. Simulation par Matlab.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
I.4.1.3. Fonctionnement en commande pleine onde.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
I.3.1.4. Fonctionnement en commande MLI.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
I.3.1.5. Onduleur en créneau (Elimination des harmoniques).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
I.4.2. Onduleur triphasés.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
I.4.2.1. Schéma de principe.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
I.4.2.2. Simulation par Matlab.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
I.4.2.3. Onduleur à pleine onde.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
I.4.2.4. Fonctionnement en commande MLI.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
I.5. Conclusion.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
Chapitre II : Microcontrôleurs										
II.1. Introduction.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
II.2. Définition du PIC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
II.3. Intérêt des microcontrôleurs.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24

II. 4. Classification des PIC _s de Microchip.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
II.5. Identification des PIC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
II.6. Choix d'un PIC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
II.7. PIC18F4431.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
II.8. Caractéristiques principales du PIC18F4431.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
II.9. Brochage.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
II.10. Eléments de base du PIC18F4431.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
II.10.1. Horloge.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
II.10.2. Organisation de la mémoire.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
II.10.3. Timers.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32
II.10.4. Microprocesseur (CPU : CENTRAL PROCESSING UNIT).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32
II.10.5. Interruptions.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
II.10.6. Convertisseur.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
II.10.6.1. Choix de l'horloge de conversion.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
II.10.7. Power control PWM (PCPWM).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
II.10.7.1. Applications du module PCPWM.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37
II.10.7.2. Caractéristiques du module MLI.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38
II.10.7.3. Base de temps MLI.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38
II.10.7.4. Période de signal MLI.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38
II.10.7.5. Rapport cyclique.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39
II.11. Conclusion.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39
Chapitre III : Dispositifs de réalisation des systèmes DC/DC et DC/AC										
III.1. Introduction.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41
III.2. Partie Matérielle (Présentation du circuit intégré L298N).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41
III.2.1. Généralité .	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41
III.2.2. Définition.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41
III.2.3. Brochage de L298N.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42
III.2.4. Caractéristiques Générales du circuit L298N.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43
III.2.4.1. Avantages.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43
III.2.4.2. Inconvénients.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44
III.3. Partie logicielle (Outils de développement utilisés).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44
III.3.1. Langage de Programmation MPLAB.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45
III.3.2. Langage C « Compilateur C ».	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45

III.3.3. Réalisation virtuelle « PORTEUS ».	-	-	-	-	-	-	-	-	46
III.4. Alimentation du système.	-	-	-	-	-	-	-	-	48
III.5. Organigrammes et résultats de simulation par Proteus.	-	-	-	-	-	-	-	-	48
III.5.1. Hacheur réversible en courant (Mode#1).	-	-	-	-	-	-	-	-	48
III.5.2. Hacheur en pont (Mode#2).	-	-	-	-	-	-	-	-	50
III.5.3. Onduleur monophasé bipolaire (Mode#3).	-	-	-	-	-	-	-	-	52
III.5.4. Onduleur monophasé unipolaire (Mode#4).	-	-	-	-	-	-	-	-	54
III.5.5. Onduleur monophasé à élimination d'harmonique (Mode#5).	-	-	-	-	-	-	-	-	57
III.5.6. Onduleur monophasé MLI bipolaire (Mode#6).	-	-	-	-	-	-	-	-	59
III.5.7. Onduleur monophasé MLI unipolaire (Mode#7).	-	-	-	-	-	-	-	-	61
III.5.8. Onduleur triphasé à pleine onde (Mode#8).	-	-	-	-	-	-	-	-	63
III.5.9. Onduleur triphasé MLI (Mode#9).	-	-	-	-	-	-	-	-	66
III.6. Conclusion.	-	-	-	-	-	-	-	-	69
Chapitre IV : Commande pratique des convertisseurs DC/DC et DC/AC									
IV.1. Introduction.	-	-	-	-	-	-	-	-	72
IV.2. Réalisation de maquette matérielle.	-	-	-	-	-	-	-	-	72
IV.2.1. Le circuit électrique.	-	-	-	-	-	-	-	-	72
IV.2.2. Typon.	-	-	-	-	-	-	-	-	74
IV.2.3. Soudage des composants.	-	-	-	-	-	-	-	-	75
IV.2.4. Structure générale de la carte réalisée.	-	-	-	-	-	-	-	-	76
IV.3. Résultats expérimentaux.	-	-	-	-	-	-	-	-	77
IV.3.1. Charge résistive.-	-	-	-	-	-	-	-	-	77
IV.3.1.1. Hacheur réversible en courant (mode #1).	-	-	-	-	-	-	-	-	77
IV.3.1.2. Hacheur en pont (mode#2).	-	-	-	-	-	-	-	-	78
IV.3.1.3. Onduleur monophasé bipolaire (mode#3).	-	-	-	-	-	-	-	-	79
IV.3.1.4. Onduleur monophasé unipolaire (mode#4).	-	-	-	-	-	-	-	-	80
IV.3.1.5. Onduleur monophasé en créneau (mode#5).	-	-	-	-	-	-	-	-	80
IV.3.1.6. Onduleur monophasé bipolaire MLI (mode#6).	-	-	-	-	-	-	-	-	81
IV.3.1.7. Onduleur monophasé unipolaire MLI (mode#7).	-	-	-	-	-	-	-	-	82
IV.3.1.8. Onduleur triphasé pleine onde (mode#8).	-	-	-	-	-	-	-	-	82
IV.3.2. Charge inductive.	-	-	-	-	-	-	-	-	83
IV.4. Conclusion.	-	-	-	-	-	-	-	-	86
Conclusion générale.	-	-	-	-	-	-	-	-	88

Introduction Générale

Le développement des semi-conducteurs issu des progrès de la physique a permis l'avènement d'une nouvelle discipline entre l'électrotechnique et l'électronique qui est l'électronique de puissance (EP) appelé aussi électronique de courants fort [1].

L'électronique de puissance, que l'on devrait d'ailleurs nommer « électronique de conversion d'énergie » a moins de 50 ans. Elle a connu un tel essor qu'aujourd'hui près de 15 % de l'énergie électrique produite est convertie sous une forme ou une autre. Au cours de ces années, la taille, le poids et le coût des convertisseurs n'ont fait que diminuer, en grande partie grâce aux progrès faits dans le domaine des interrupteurs électroniques. Donc, de nouveaux moyens excluant les machines tournantes ont vu le jour pour un contrôle et une gestion plus souple, efficace et économique de l'énergie électrique [2].

Les systèmes chargés de manipuler l'énergie électrique sont les convertisseurs statiques qui permettent d'adapter de manière réversible ou non la forme alternative ou continue de l'énergie entre le réseau et la charge. Ces transformations apparaissent sous quatre formes pour lesquelles sont associés quatre types de convertisseurs [3, 4]:

- Redresseur pour la conversion alternatif → continu,
- Hacheur pour continu → continu,
- Onduleur pour continu → alternatif,
- Gradateur ou cyclo-convertisseur pour alternatif → alternatif.

Les convertisseurs d'électronique de puissance sont réalisés à partir d'un assemblage des dispositifs reliés entre eux. Le principe de conversion est basé sur la commutation. Les convertisseurs sont donc avant tout une fonction électrique. Cependant, les pertes engendrées tant en conduction qu'en commutation génèrent des phénomènes thermiques et par conséquent thermomécaniques qu'il est indispensable de prendre en compte [5].

Un convertisseur statique d'énergie électrique apparaît comme un modulateur de la puissance transitant par le groupement d'interrupteurs qui le constituent. Dans un système électrotechnique, il représente l'articulation de la partie puissance (axe de puissance) et de la partie commande globale (axe de commande) [3].

La régulation précise de la vitesse des moteurs à courant continu et des moteurs à courant alternatif commandés par des variateurs de vitesse à tension variable et/ou à fréquence variable

est fortement utilisée dans plusieurs applications industrielles et qui nécessite le plus souvent l'application des signaux à modulation de largeur d'impulsion (MLI). Cette dernière doit être adaptée selon le mode de fonction choisi du convertisseur électrique. Dans le cas des hacheurs, en gardant la fréquence des signaux MLI et en jouant sur le rapport cyclique pour chaque bras du convertisseur. Dans le cas des onduleurs, on utilise le signal MLI pour générer des signaux de sortie (tension et courant) avec des fréquences et de valeurs efficaces variables. Aujourd'hui, les nouvelles convertisseurs redresseurs et gradateurs sont aussi commandés par des signaux MLI afin de remédier le problème de la pollution harmonique ainsi que l'augmentations de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée. Les signaux MLI peuvent être créés par des circuits électroniques analogiques utilisant des amplificateurs opérationnels et les transistors ou par des circuits électroniques numériques utilisant des cartes DSP, FPGA, Microcontrôleurs, etc. La réalisation des circuits de commande MLI à base de microcontrôleurs est moins coûteuse par rapport aux circuits DSP et FPGA.

Pour bien comprendre et maîtriser les différentes astuces de la commande MLI appliquée aux circuits hacheurs et onduleurs (mono et triphasés), le travail de recherche de ce mémoire s'intéresse sur la conception et la réalisation matérielle de l'ensemble des circuits de commande et de puissance à base du microcontrôleur PIC18F443. Ce dernier est avantageux car il comporte quatre modules MLI et peut être configuré d'une manière d'obtenir des signaux MLI complémentaires ou non avec un temps mort variable. Encore, ce travail a pour objectif de comparer et de confirmer les connaissances théoriques étudiées dans le cours de l'électronique de puissance à celles obtenues en expérimentation. De ce fait, le travail de ce mémoire englobe les étapes de réalisation suivantes:

- Réalisation du circuit de commande et du circuit de puissance par le logiciel Proteus.
- Conception du code CCS PICC pour les différents modes de fonctionnement des circuits hacheurs et des circuits onduleurs (Hacheur réversible en courant, hacheur en pont, onduleur monophasé bipolaire, onduleur monophasé unipolaire, etc.).
- Obtention des résultats de simulations où des comparaisons avec les signaux de simulations trouvés par le logiciel Matlab " Simulink" sont aussi considérées.
- Réalisation du circuit imprimé du projet utilisant plusieurs tâches dans le laboratoire de l'électronique (utilisation de l'ultraviolet et les produits, perçage, soudure, vérification des couts circuits).
- Implantation des composants électronique et la mise en marche du circuit réalisé.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit:

Après une introduction générale, le premier chapitre est consacré à la présentation générale des convertisseurs statiques DC/DC et DC/AC et leurs principes de fonctionnements. Des simulations obtenues par le Simulink du Matlab (schéma block et les allures des tensions et des courants) sont illustrées afin de simplifier leurs utilisations.

Le deuxième chapitre décrit une étude détaillée sur l'architecture et les caractéristiques du microcontrôleur PIC18F4431 qui représente le cœur de notre réalisation.

Le troisième chapitre présente la conception logicielle de la commande MLI pour les systèmes DC/DC et DC/AC avec illustration les organigrammes interprétant les stratégies de configurations du microcontrôleur PIC18F4431. Ce chapitre offre aussi après chaque mode de fonctionnement les résultats de simulation par le logiciel Proteus.

Le quatrième chapitre s'intéresse à la réalisation des maquettes logicielles et matérielles tout en présentant les résultats expérimentaux obtenus par deux oscilloscopes.

Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus dans ce travail.

I.1. Introduction

L'énergie électrique est disponible soit sous forme alternative (réseau de distribution électrique, alternateur) soit sous forme continue (batterie d'accumulateurs, génératrice à courant continu, alimentation par caténaire, etc.). Alors, la charge peut nécessiter une alimentation en alternatif ou en continu [6].

On définit donc quatre classes de convertisseurs transformant directement l'énergie électrique. Ce sont les fonctions de base des convertisseurs statiques.

Ces convertisseurs sont : alternatif/continu 'redresseurs', continu/continu 'hacheurs', continu/alternatif 'onduleurs', alternatif/alternatif 'gradateurs ou parfois cycloconvertisseur' [3].

La Figure I.1. Représente les différents convertisseurs statiques.

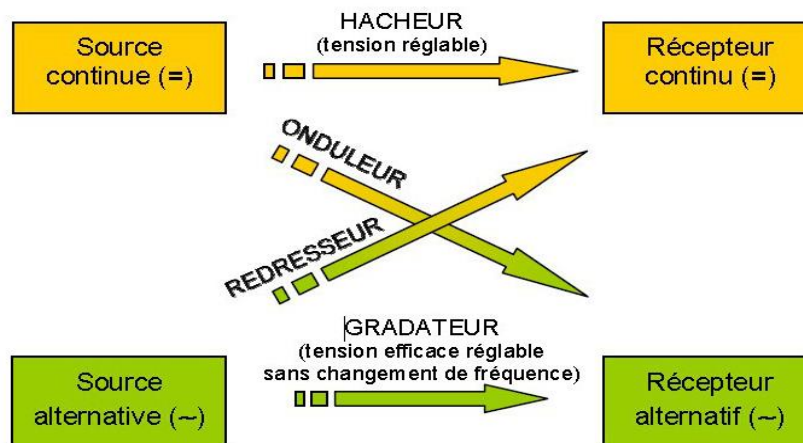


Figure I.1. Les différents convertisseurs statiques

I.2. Principe de la commande MLI sinusoïdale

La qualité de tension de sortie d'un onduleur dépend largement de la technique de commande utilisée. En réalité, l'onduleur n'a pas la possibilité de produire à sortie que des signaux purement rectangulaires. Si on dispose un système de signaux rectangulaires triphasé, la performance sera affectée par la forte teneur en harmoniques qui ne peuvent pas être filtrée complètement par la charge. De nos jours, une nouvelle technique basée sur le découpage de l'onde rectangulaire dénommée la modulation de largeur d'impulsion (MLI), (Pulse Width Modulation, PWM), est largement utilisée pour la commande des onduleurs. Le principe de la modulation de largeur d'impulsions MLI, est de comparer le signal de référence ou la modulante sinusoïdale V_{ref} avec une porteuse triangulaire de haute fréquence (environ de 20KHz), V_p .

Comme la sortie de l'onduleur de tension n'est pas purement sinusoïdale, l'intensité de courant comporte aussi des harmoniques se qui engendrent des pertes supplémentaires dans la charge. La commande MLI sert à remédier ces problèmes et elle a comme avantages [7]:

- Variation de la fréquence de la tension de sortie.
- Elimination de certaines harmoniques de tension.
- Elle repousse les harmoniques à des fréquences plus élevés.

Pour optimiser la commande MLI, on utilise deux paramètres qui caractérisent cette commande :

➤ L'indice de modulation, m défini par le rapport de la fréquence de la porteuse F_p sur la fréquence de la référence, F_r soit $m = \frac{F_p}{F_r}$

➤ Le taux de modulation, r définie par le rapport de l'amplitude de tension de référence

V_m , sur l'amplitude de la porteuse V_{pm} , $r = \frac{V_m}{V_{pm}}$

➤ La modulation est synchrone lorsque, m est entier et elle est asynchrone dans le cas contraire.

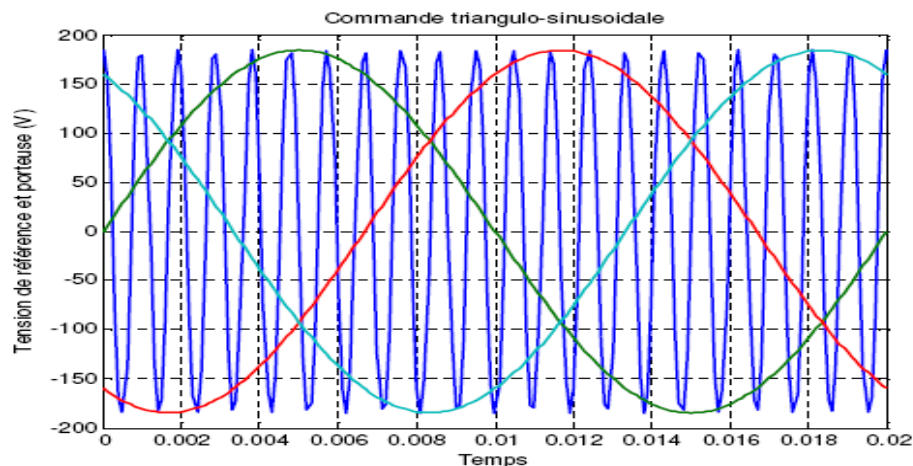


Figure I.2. Les différents signaux de la stratégie triangulo-sinusoidale

I.3. Conversion continu-continu (Les hacheurs)

Les convertisseurs continu-continu sont les convertisseurs statiques qui permettent le transfert de l'énergie électrique, ils ont pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue de départ peut être un réseau alternatif redressé et filtré, une batterie

d'accumulateurs, une alimentation stabilisée...etc. On distingue deux types de convertisseurs continu-continu. Ceux qui sont non isolés, que l'on appellera hacheurs, et ceux qui comportent un transformateur assurant l'isolation galvanique, que l'on appelle alimentations à découpage (cas des alimentations de PC...etc.) [8].

Nombreuses sont les applications pour la commande de machines à courant continu et les alimentations à découpage. Ils peuvent être utilisés pour alimenter un récepteur sous une tension continue variable (machine à courant continu), ou destinés à fournir une tension continue constante pour servir d'alimentation régulée (alimentations à découpage, convertisseurs PFC-Power Factor Control).

L'étude portera sur des convertisseurs reliant directement un générateur à un récepteur (tension et courant sont continus) :

- Les hacheurs seront donc composés exclusivement d'interrupteurs semi-conducteurs.
- La source de courant ne soit jamais un court-circuit.

I.3.1. Hacheur série réversible en courant

Dans ce système, le changement du sens de parcours de l'énergie est lié au changement du courant alors que la tension reste de signe constant. L'interrupteur est formé de deux composants. Le premier est un composant commandé à l'amorçage et au blocage (transistor, IGBT, GTO), alors que le second est une diode, ils sont montés en anti-parallèle [11].

I.3.1.1. Schéma de principe

Nous allons reprendre la structure du hacheur série classique par des interrupteurs réversible en courant. Nous avons modifié la charge en prenant une machine à courant continu, qui peut, sous tension constante, fonctionner en génératrice ou en moteur voir le schéma de principe de la Figure I.3.

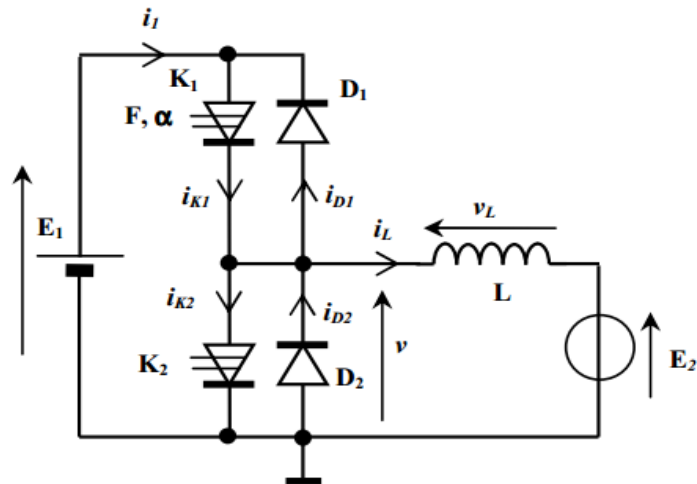


Figure I.3. Schéma de principe d'un hacheur réversible en courant

I.3.1.2. Allure des tensions et des courants

L'interrupteur k_2 est commandé de façon complémentaire à K_1 ($K_2 = \overline{K_1}$). Si K_1 et k_2 étaient commandé en même temps, ils mettraient la source E_1 en court-circuit ce qui serait dangereux. Dans la pratique, comme un composant est en général plus rapide à la fermeture qu'à l'ouverture, on maintient un léger temps mort de quelques microsecondes entre l'arrêt de l'un et la mise en marche de l'autre. Le chronogramme de la tension v est strictement le même que pour un hacheur série en conduction continue. Par contre le chronogramme du courant (Figure I.4) n'est plus limité à la partie positive. L'allure générale est la même mais elle peut être positive ou négative, tant en valeurs instantanées qu'en valeurs moyennes.

I.3.1.3. Simulation par Matlab

Pour bien comprendre la fonctionnalité de ces convertisseurs, le schéma synoptique de la Figure I.4, montre les différents étages utilisés et les liens entre les blocks. Le résultat de simulation est représenté dans la Figure I.5, qui montre les formes d'ondes de tension et de courant.

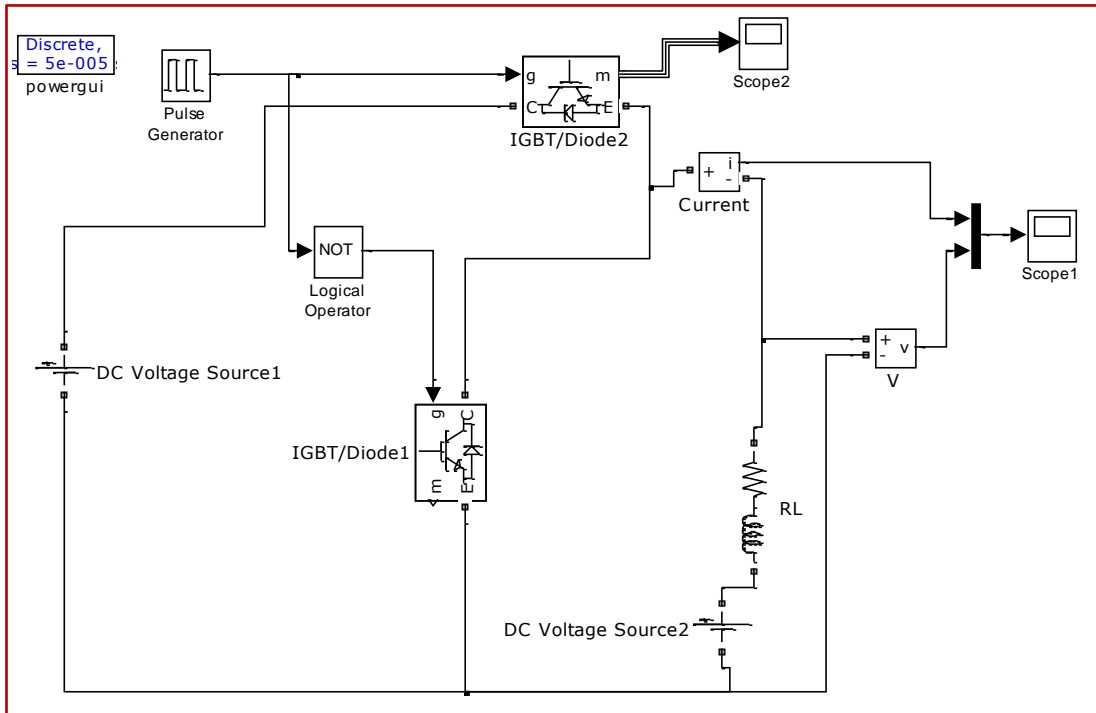


Figure I.4. Schéma block d'un hacheur réversible (Simulink-Matlab)

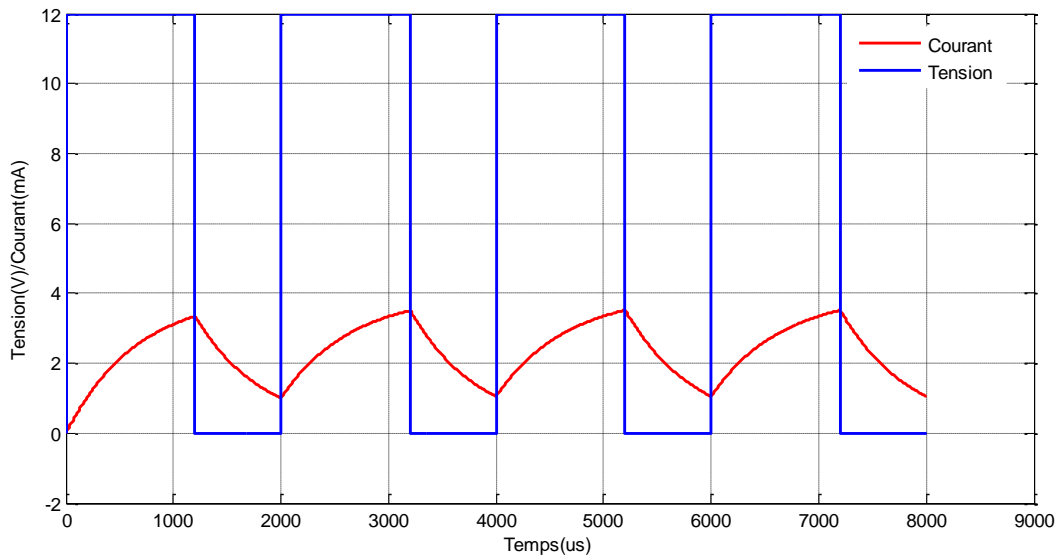


Figure I.5. Allures de tension et de courant d'un hacheur réversible en courant (Simulink-Matlab)

I.3.1.4. Calcul des grandeurs caractéristiques

D'après le schéma de principe de la Figure I.3, la marche en génératrice correspond au freinage par récupération de la machine: elle prend alors l'énergie mécanique de la charge qu'elle freine et la transforme en puissance.

En moteur, si K1 conduit pendant la partie αT de la période.

$$V_{moy} = \alpha_1 E_1; \text{ pour } : i_l > 0 \tag{I.1}$$

En génératrice, si K2 conduit pendant la partie $\alpha_2 T$ de période

$$V_{moy} = (1 - \alpha_2) E_1; \text{ pour } : i_l < 0 \tag{I.2}$$

De même, l'ondulation du courant I_L est donnée par :

$$\Delta I = I_\alpha - I_0 = \frac{(1 - \alpha) E_1}{L} \alpha T \tag{I.3}$$

I.2.2. Hacheur en pont en H (réversible en courant et en tension)

I.2.2.1. Schéma de principe

La structure de principe est représentée dans la Figure I.6. On considère ici le cas le plus fréquemment utilisé de la commande dite « complémentaire », dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Entre 0 et αT , T1 et T'2 sont commandés à l'état passant, T2 et T'1 sont bloqués.
- Entre αT et T, T1 et T'2 sont bloqués, T2 et T'1 sont commandés à l'état passant [1].

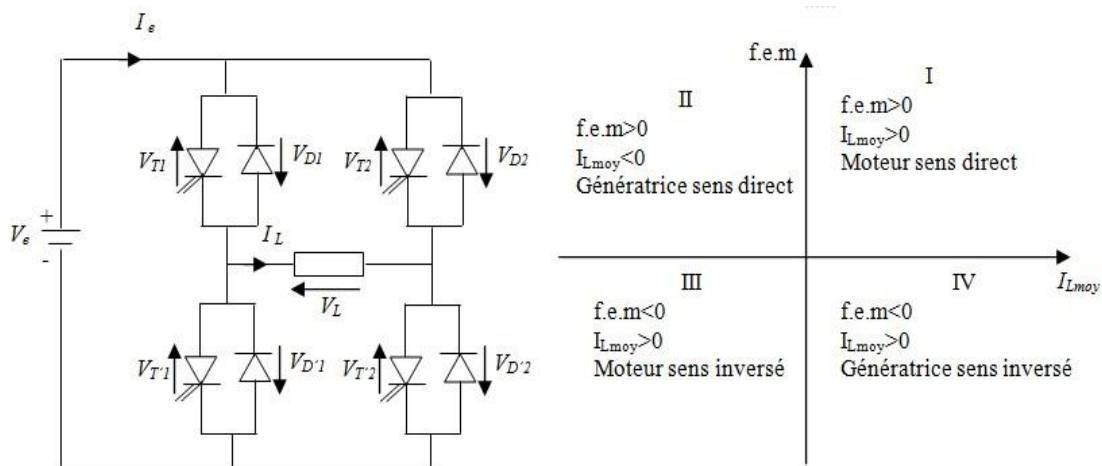


Figure I.6. Schéma de principe d'un hacheur en pont en H

I.2.2.2. Allure des tensions et des courants

A titre d'exemple, On a considéré le cas du débit sur une charge réversible dont l'impédance interne est supposée suffisamment inductive. Pour avoir une loi de commande unique.

- Pour : $0 < t < \alpha T$, on ferme T1 et T'2.
- Si : $i_l > 0$, $i = i_{T1} = i_l = i_{T3}$, $U_l = E$.
- Si : $i_l < 0$, $-i = i_{D1} = -i_l = i_{D'2}$, $U_l = E$.
- Pour : $\alpha T < t < T$, on ferme T2 et T'1.
- Si : $i_l > 0$, $i_{D'1} = i_l = i_{D2}$, $U_l = -E$.
- Si : $i_l < 0$, $i = i_{T2} = -i_l = i_{T'1}$, $U_l = -E$.

I.3.2.3. Simulation par Matlab

Le schéma block pour réaliser ce type de convertisseur est présenté par la Figure I.7, et Les résultats de simulation de cette commande sont présentés par la Figure I.8, qui montre les formes d'ondes de tension qui possède deux valeurs $+E = +12V$ et $-E = -12V$, et de courant qui varie d'une façon exponentielle.

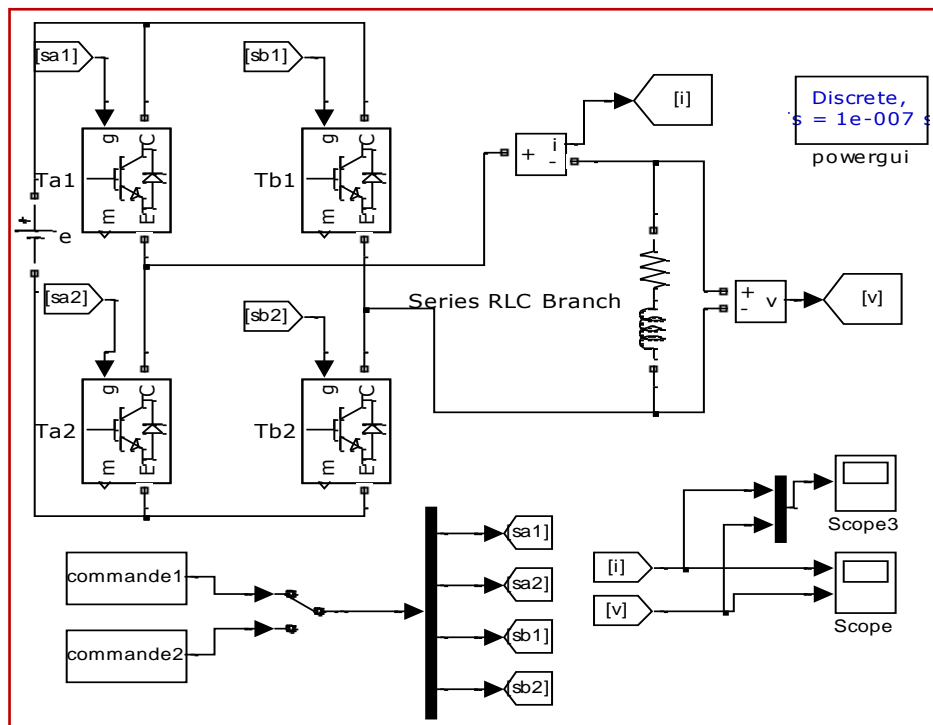


Figure I.7. Schéma de block d'un hacheur en pont en H (Simulink-Matlab)

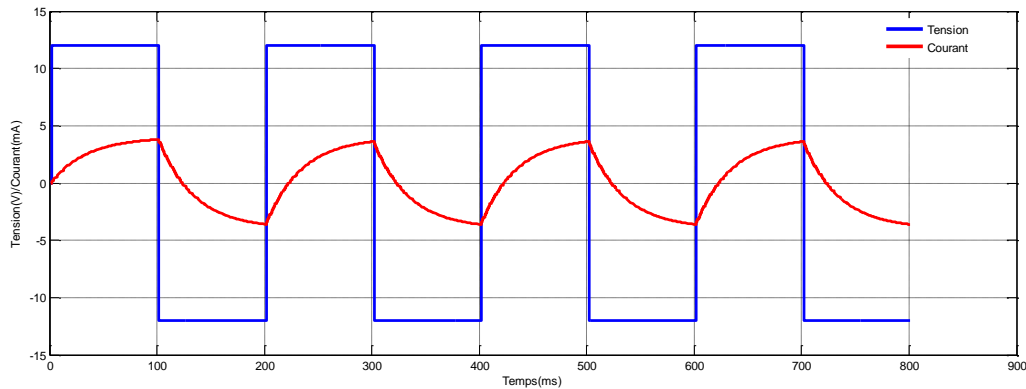


Figure I.8. Allures de tension et de courant d’un hacheur en pont (simulink -Matlab)

I.3.2.4. Calcul de la valeur moyenne de la tension de sortie U_c

A partir de l’allure de U_c (Figure I.8), on déduit l’expression de sa valeur moyenne :

$$U_c = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\alpha T} E dt + \int_{\alpha T}^T (-E) dt \right] = \frac{1}{T} [E\alpha T - E(T - \alpha T)] = (2\alpha - 1)E \quad (I.4)$$

Suivant la valeur de α et du signe de courant, le hacheur fonctionne soit en générateur, soit en récepteur, Les quatre possibilités sont résumés ci contre. Notons que le fonctionnement dans les quadrants 2 et 4 suppose, d’une part que la charge puisse fournir de la puissance, d’autre part que la source V_e soit elle-même réversible. Si cette dernière est constituée par une batterie, accumulateurs, cela ne pose pas de problème [9].

I.4. Conversion continu-alternatif (onduleurs de tension autonomes)

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continue/alternative. Ils désignent les circuits à source continue qui par commutation appropriée des dispositifs de puissance, donnant une tension alternative synthétisée pour alimenter une charge alternative. On distingue deux types d’onduleurs, les onduleurs non autonomes «assistés » et les onduleurs autonomes. Dans un onduleur assisté relié à un réseau alternatif c’est celui qui impose la fréquence.

Dans les onduleurs autonomes c’est la commande du semi-conducteur qui impose la fréquence et la forme des grandeurs alternatives.

La tension de sortie variable peut être obtenue en variant la tension continue d’entrée et en maintenant le gain de l’onduleur constant. D’autre part, si la tension d’entrée est fixe et qu’elle

soit non contrôlable, une tension de sortie variable peut être obtenue en variant le gain de l'onduleur [10].

I.4.1. Onduleurs monophasé

L'onduleur de tension est alimenté par une source de tension continue qui a une impédance interne négligeable [1].

I.4.1.1. Schéma de principe

La structure de principe est représentée sur la Figure I.3, qui est identique à celle d'un hacheur en pont en H.

I.4.1.2. Simulation par Matlab

Pour obtenir les courbes de tension et de courant caractéristiques d'un Onduleurs monophasé, il faut réaliser les blocks de la Figure I.4, qui est similaire à celle réalisé en hacheur en pont il suffit de changer le programme de la commande de s-fonction.

I.4.1.3. Fonctionnement en commande pleine onde

Dans ce mode de commande. Nous pouvons distinguer deux type de commande pleine onde : simultanée ou décalée.

Pour ce fonctionnement la durée de conduction t_{ON} , d'un interrupteur (K_i) est de $T/2$ et est constant.

La nature des interrupteurs dépend de la charge. Ils peuvent être commandés seulement au blocage si la charge est inductive (amorçage si capacitive). Par contre si la charge est quelconque les interrupteurs doivent être entièrement commandables. Mais dans tous les cas, ils doivent être unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant

I.4.1.3.1. Commande simultanée (bipolaire à 2 niveaux)

Les interrupteurs du pont en H sont commandés périodiquement et deux par deux (T_1 en même temps que T_2' ; T_1' en même temps que T_2).

- Pour $0 \leq t < T/2$, les interrupteurs T_1 et T_2' sont fermés, T_1' et T_2 sont ouverts.
- Pour $T/2 \leq t < T$, les interrupteurs T_1' et T_2 sont fermés, T_1 et T_2' sont ouverts.

Les courbes obtenues par simulation Matlab sont représentés par la Figure I.9 (même courbes que le hacheur en pont en H).

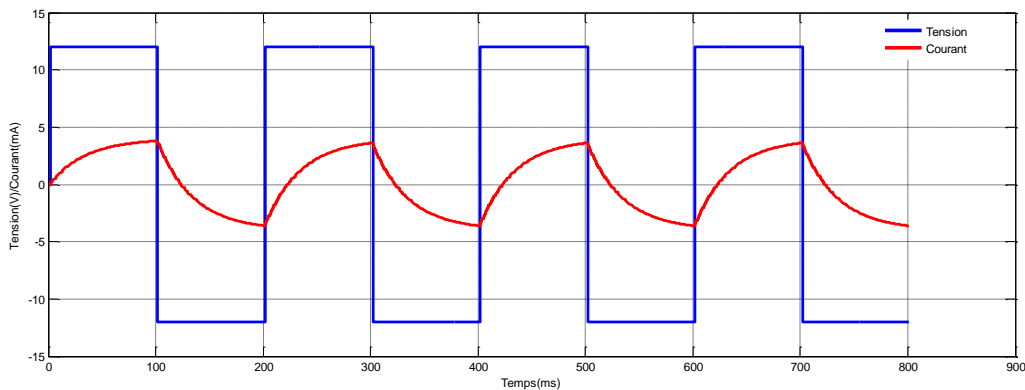


Figure I.9. Allures des grandeurs d’un onduleur monophasé en pont (symétrique)

I.4.1.3.2. Commande décalée (unipolaire 3 niveaux)

On peut aussi commander la tension de charge en introduisant des intervalles nuls dans l’onde carrée. En avançant les instants respectifs d’amorçage de la paire complémentaire des transistors T_1, T_4 comparativement aux T_2, T_3 . Les séquences de conduction sont : (T_1, T_2) puis (D_3, T_1) puis (D_3, D_4) puis (T_3, T_4) puis (T_4, D_2) puis (D_1, D_2) puis (T_1, T_2).

On a toujours ($I_{T1} = \bar{I}_{T4}$) et ($I_{T3} = \bar{I}_{T2}$) [1].

Les résultats de simulation de cette commande sont présentés par la Figure I.10.

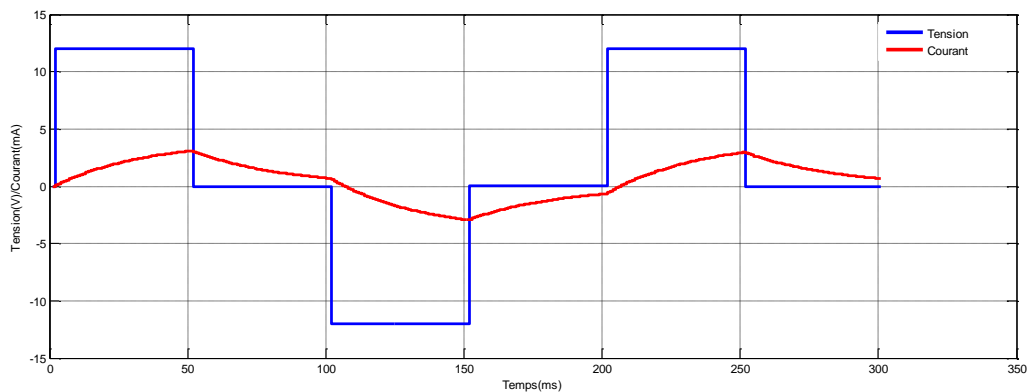


Figure I.10. Allure des grandeurs d’un onduleur monophasé en pont (décalée)

I.4.1.4. Fonctionnement en commande MLI

Ce mode de commande permet d’atteindre un double objectif [1, 9, 10]:

- Obtenir une valeur donnée pour le fondamental de la tension de sortie, toujours sans avoir à intervenir au niveau de la tension d’alimentation.

- Atténuer fortement les harmonique de rang faibles, ceux de rang élevé étant supposés sans influence sur le comportement de la charge.

Les montages précédents sont les mêmes, seule la commande est modifiée.

On peut définir deux formes différentes ; la forme à commande bipolaire (Figure I.11) et la forme à commande unipolaire (Figure I.12). Avec une fréquence du signal MLI=1KHz.

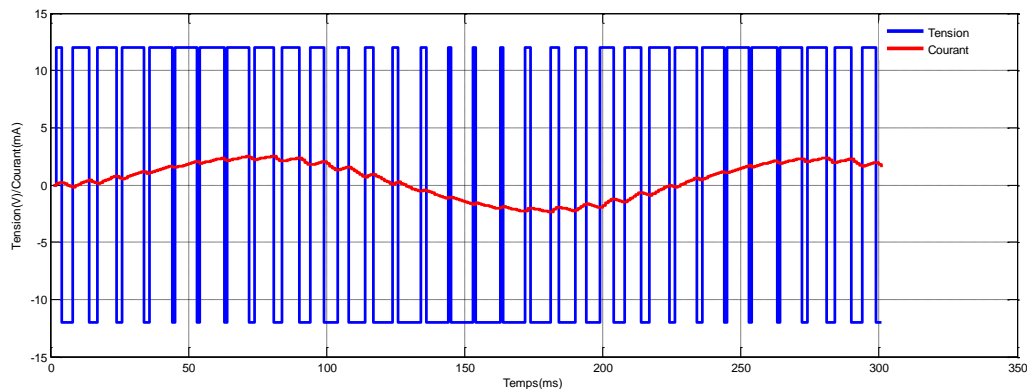


Figure I.11. Forme d'onde pour un onduleur monophasé fonctionnant en MLI bipolaire

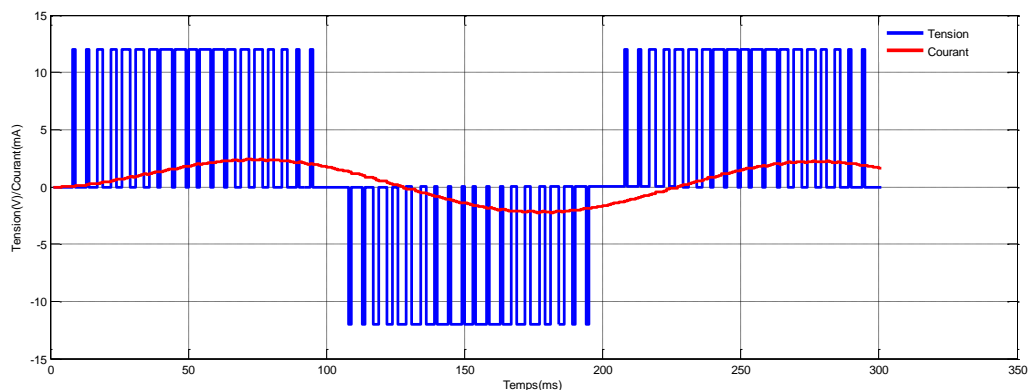


Figure I.12. Forme d'onde pour un onduleur monophasé fonctionnant en MLI unipolaire

I.4.1.5. Onduleur en créneau (Elimination des harmoniques)

Le principe de cette stratégie consiste d'abord à formuler l'expression générale de l'amplitude des harmoniques, en se basant sur les développements en série de Fourier. L'expression obtenue est une fonction des angles, α_i de commutation ensuite, un système d'équations non linéaire est obtenu, en imposant la valeur désirée du fondamental et en annulant certains harmoniques. La résolution de ce système non linéaire permet de déterminer les angles α_i , par conséquent les instants de commande des interrupteurs [7].

On peut faire la décomposition en série de Fourier sur le quart de période à cause de la symétrie par rapport à la demi-période. Nous présentons l'application des séries de Fourier à la

tension Fournie par l'onduleur à trois niveaux. Donc, nous décomposons le signal de sortie d'un onduleur, pour déterminer les équations exprimant des différentes harmoniques. Ces équations sont en fonction des angles de commutation de commande des interrupteurs [7].

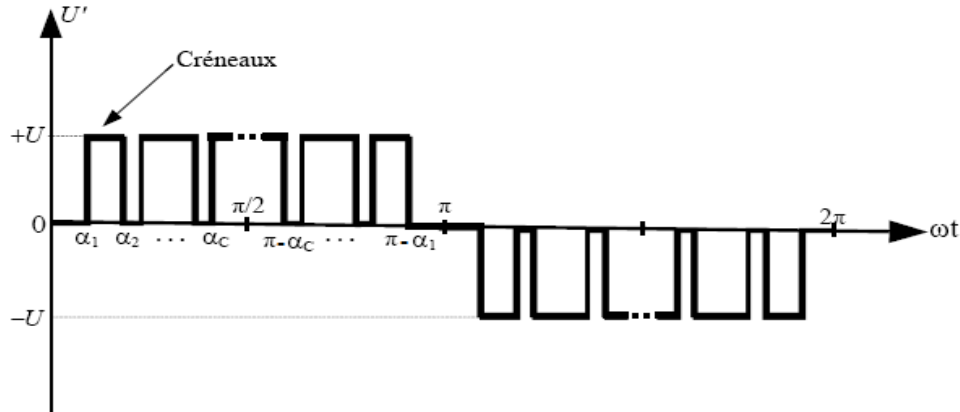


Figure I.13. Forme d'onde pour un onduleur en créneau

On cherche à éliminer tous les signaux qui possèdent des harmoniques et on garde seulement le fondamental. Mais pour cet exemple, on peut écarter uniquement deux harmoniques d'ordre 3 en annulant les amplitudes des harmoniques d'ordre 3 et 5. Dans le cas général, on peut écrire :

$$\begin{cases} \cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 + \cos \alpha_3 - \cos \alpha_4 + \dots \pm \cos \alpha_n = V_1 \frac{\pi}{4E} & (I.5) \\ \cos 3\alpha_1 - \cos 3\alpha_2 + \cos 3\alpha_3 - \cos 3\alpha_4 + \dots \pm \cos 3\alpha_n = 0 & (I.6) \\ \cos 5\alpha_1 - \cos 5\alpha_2 + \cos 5\alpha_3 - \cos 5\alpha_4 + \dots \pm \cos 5\alpha_n = 0 & (I.7) \\ \cos 7\alpha_1 - \cos 7\alpha_2 + \cos 7\alpha_3 - \cos 7\alpha_4 + \dots \pm \cos 7\alpha_n = 0 & (I.8) \\ \dots & \\ \cos c\alpha_1 - \cos c\alpha_2 + \cos c\alpha_3 - \cos c\alpha_4 + \dots \pm \cos c\alpha_n = 0 & (I.9) \end{cases}$$

Cette solution permet d'éliminer tous les harmoniques mais ce n'est pas possible d'obtenir une solution optimale du système non linéaire ci-dessus. Donc, les solutions des angles recherchées doivent obéir à la contrainte suivante :

$$\alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_n \frac{\pi}{2} \quad (I.10)$$

On pose $m = \frac{\pi}{4E} V_1$: taux de modulation $0 < m < 1$.

I.4.2. Onduleur triphasé

I.4.2.1. Schéma de principe

L'onduleur triphasé est réalisé à l'aide de trois onduleurs monophasés. Il est souvent appelé, onduleur triphasé à trois bras. Il suffit de décaler d'un tiers de période des commandes des trois phases. Si le récepteur triphasé est équilibré (moteur triphasé), l'onduleur de tension en pont est utilisé. La Figure I.14 suivante représente l'onduleur de tension triphasé qui alimente une charge inductive triphasée montée en étoile [1, 7].

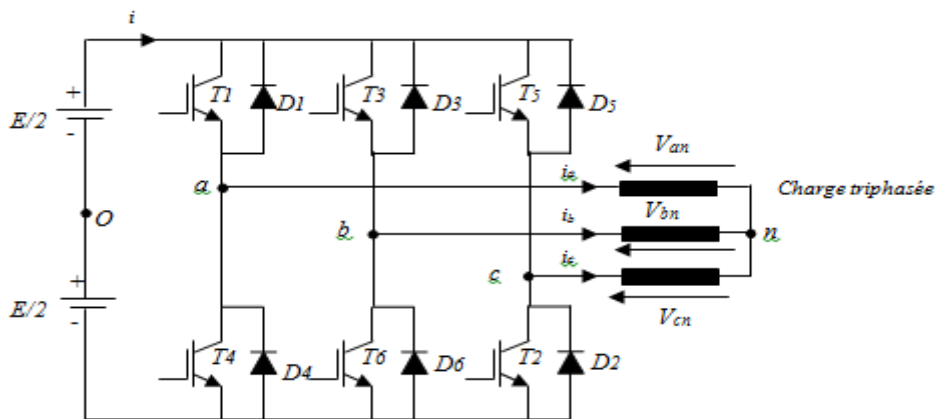


Figure I.14. Schéma de principe d'un onduleur triphasé

I.4.2.2. Simulation par Matlab

La Figure I.15 représente le schéma block d'un onduleur triphasé, par la simulation de cette montage on peut obtenir les courbes de la Figure I.16, on peut remarquer que la tension prend 4 valeurs de tension ($2E/3=8V, E/3=4V, -E/3=-4V, -2E/3=-8V$), et le courant possède une forme plus proche que la forme sinusoïdale.

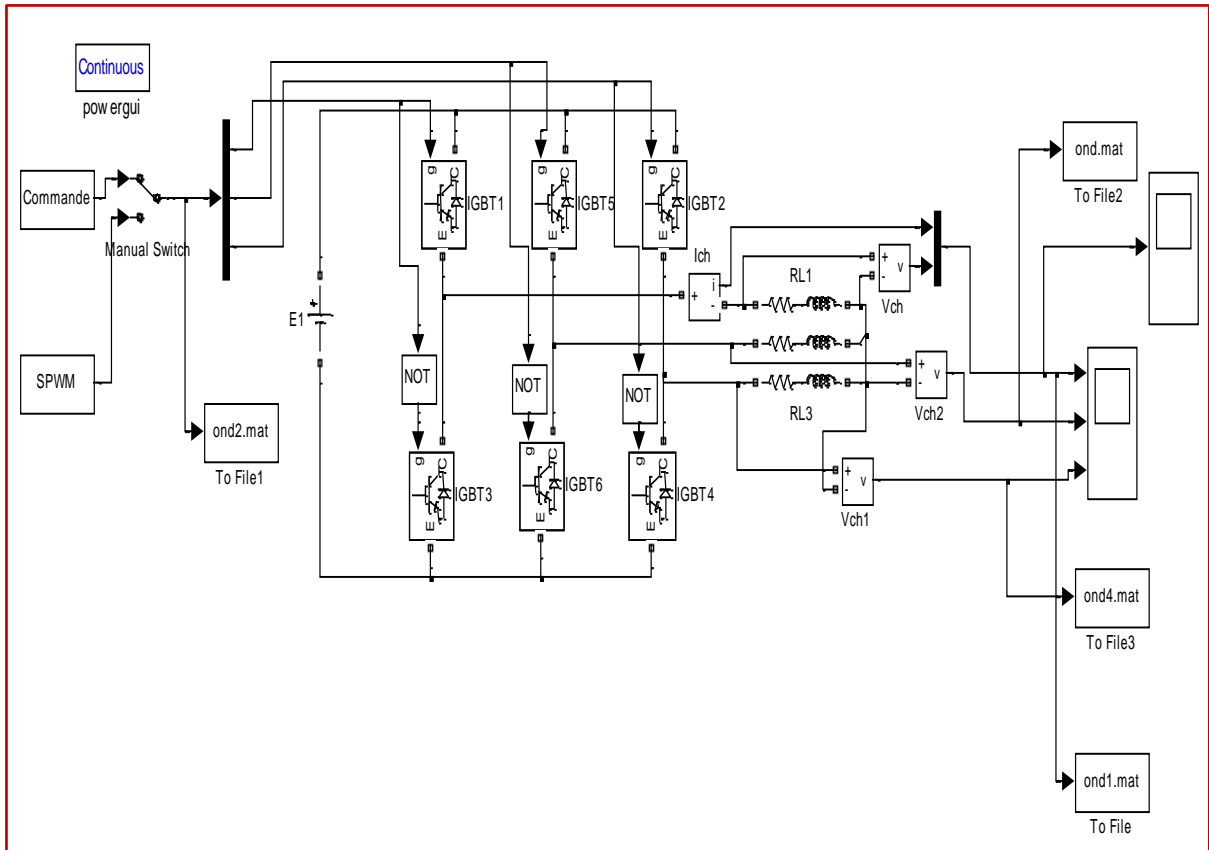


Figure I.15. Schéma de bloc d'un onduleur triphasé

I.4.2.3. Onduleur à onde rectangulaire

Les interrupteurs (k1, k4), (k3, k6) et (k5, k2) doivent être complémentaires deux à deux pour éviter le court-circuit de la source.

A cause de l'équilibre du récepteur :

$$i_a + i_b + i_c = 0. \quad (\text{I.10})$$

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0. \quad (\text{I.11})$$

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}. \quad (\text{I.12})$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn}. \quad (\text{I.13})$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an}. \quad (\text{I.14})$$

On peut écrire

$$V_{bn} = V_{bc} + V_{ca} + V_{an} \quad (\text{I.15})$$

$$V_{cn} = V_{an} - V_{ab} - V_{bc} \quad (\text{I.16})$$

$$V_{an} = \frac{1}{3}(V_{ab} - V_{ca}) \tag{I.17}$$

$$V_{bn} = \frac{1}{3}(V_{bc} - V_{ab}) \tag{I.18}$$

$$V_{cn} = \frac{1}{3}(V_{ca} - V_{bc}) \tag{I.19}$$

On peut résumer les huit possibilités ouverture/fermeture des interrupteurs k_1 , k_3 et k_5 pour obtenir les tensions V_{an} , V_{bn} et V_{cn} en fonction des courants de sortie i_a , i_b et i_c .

Les impulsions de commande sont déphasées par un angle de $2\pi/3$. La forme des tensions de sortie est imposée par la commande des interrupteurs. On présente le Tableau I.1 les commandes des interrupteurs ainsi que les niveaux des grandeurs de sortie [1].

Tableau I.1. Possibilités de commande

K1	K3	K5	Vab	Vbc	Vca	Van	Vbn	Vcn	ik1	ik3	ik5	i
F	F	F	0	0	0	0	0	0	ia	ib	ic	0
F	O	F	E	-E	0	E/3	-2E/3	E/3	Ia	0	ic	-ib
F	F	O	0	E	-E	E/3	E/3	-2E/3	ia	ib	0	-ic
F	O	O	E	0	-E	2E/3	-E/3	-E/3	ia	0	0	ia
O	F	F	-E	0	E	-2E/3	E/3	E/3	0	ib	ic	-ia
O	O	F	0	-E	E	-E/3	-E/3	2E/3	0	0	ic	ic
O	F	O	-E	E	0	-E/3	2E/3	-E/3	0	ib	0	ib
O	O	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

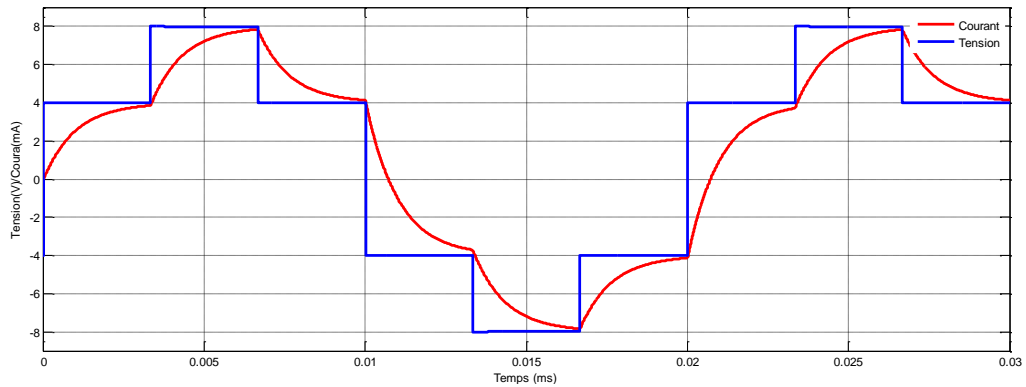


Figure I.16. Forme d’onde pour un onduleur triphasé Commande à pleine onde (Simulink Matlab)

I.4.2.4. Fonctionnement en commande MLI

Le principe et les procédés sont les mêmes que ceux utilisés pour les onduleurs monophasés à pleine onde :

- Les différentes voies étant décalées entre elles d’un tiers de période, il faut créer trois commandes distinctes. En particulier, pour la commande MLI en temps réel, on utilisera donc trois modulantes et trois porteuses (on peut cependant employer une porteuse commune dans la plupart des cas).

- On montre que les harmoniques multiples de 3 présentes dans les tensions ne sont pas transmises vers les tensions de sortie. Les formes d’onde de sortie de tension à quatre niveaux, et de courant qui est rassemble à un signal sin, sont représentées dans la Figure I.17, avec un signal MLI de fréquence=1 KHz.

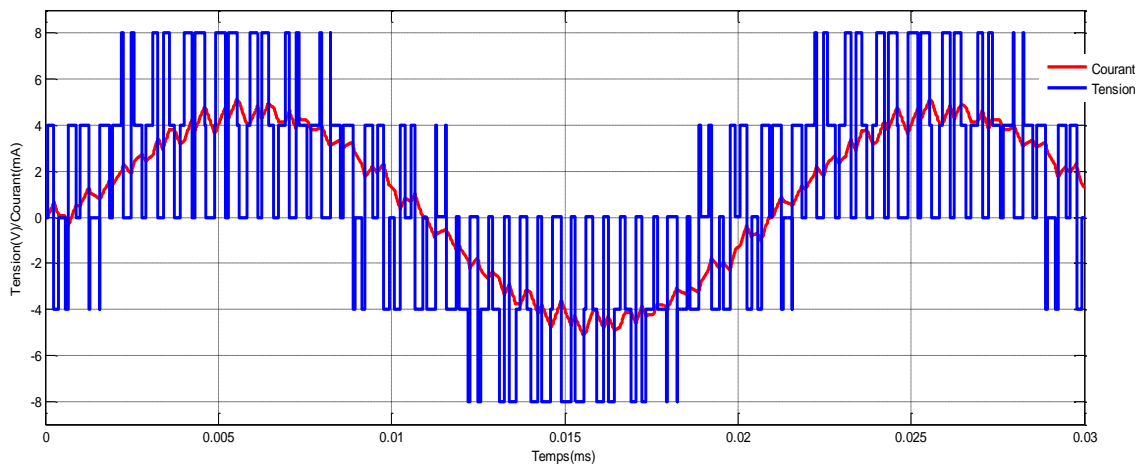


Figure I.17. Forme d’onde pour un onduleur triphasé fonctionnant en MLI

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux grandes familles des convertisseurs statiques qui sont les convertisseurs DC/DC 'Hacheurs' et les convertisseurs DC/AC 'Onduleurs' et les caractéristiques de chacun. Par le biais des différentes stratégies de commandes (commande à pleine onde et MLI), nous avons élaboré plusieurs formes de la tension et du courant de sortie. Des simulations par le logiciel MATLAB ont été illustrées et confirment ainsi l'étude théorique des différents convertisseurs considérés dans ce travail.

II.1. Introduction

Les microcontrôleurs ou pic dans la terminologie du fabricant forment une famille de microcontrôleurs de la Microchip. Le pic n'est pas officiellement un acronyme, bien que la traduction en « Peripheral interface Controller » (contrôleur d'interface périphérique) soit généralement admise. Cependant, à l'époque du développement du PIC1650 par General Instrument, PIC était un acronyme de « Programmable Intelligent Computer » ou « Programmable Integrated Circuit » [2].

II.2. Définition du PIC

Les microcontrôleurs sont aujourd'hui implantés dans la plupart des applications en grand public ou professionnelle, il en existe plusieurs familles. La société Américaine Microship Technologie a mis au point dans les années 90 un microcontrôleur CMOS : le PIC, ce composant encore très utilisé à l'heure actuelle, est un compromis entre simplicité d'emploi, rapidité et prix [11].

Le pic existe dans plusieurs versions :

- Les UVROM qui sont effaçable par une source de rayonnement ultraviolet.
- Les OTPROM programmable une seul fois.
- Les EEPROM et flash EPROM qui sont effaçables électriquement.

II.3. Intérêt des microcontrôleurs

Les microcontrôleurs sont de taille tellement réduite qu'ils peuvent être sans difficulté implantés sur l'application même s'ils sont censés piloter. Leur prix et leurs performances simplifient énormément la conception de système électrique et informatique.

On peut encore préciser :

- Les performances sont identiques voir supérieur à ses concurrents.
- Très utilisé donc très disponible.
- Les outils de développement sont gratuits et téléchargeables sur WEB.
- Le jeu d'instruction réduit est souple, puissant et facile à maîtriser.
- Les versions avec mémoire flash présentent une souplesse d'utilisation et des avantages pratiques indéniables.

- La communauté des utilisateurs des PICs est très présente sur le WEB.
- L'utilisation des microcontrôleurs ne connaît de limite que l'ingéniosité des concepteurs, on les trouve dans nos cafetières, les magnétoscopes et les radios [12].

II. 4. Classification des PICs de Microchip

Actuellement les modèles Microchip, sont classés en 3 grandes familles, comportant chacune plusieurs références. Ces familles sont :

- Base-line : les instructions sont codées sur 12 bits.
- Mid-line : les instructions sont codées sur 14 bits.
- High-End : les instructions sont codées sur 16 bits.

II.5. Identification des PIC [13]

Un PIC est généralement identifié par une référence de la forme suivante :

- xx(L)XXyy-zz Xx : famille du composant, actuellement « 12, 14, 16, 17 et 18 ».
- L : tolérance plus importante de la plage de tension.
- XX : type de programme (C : EPROM ou EEPROM, F : flash).
- Yy : identificateur.
- Zz : vitesse maximale du quartz de pilotage.

II.6. Choix d'un PIC

- Le choix d'un PIC est directement lié à l'application envisagée [15] :
- Il faut dans un premier temps déterminer le nombre d'entrées \sorties nécessaires pour l'application.
- Ce nombre d'entrées \ sorties nous donne une idée sur la famille du PIC
- Il faut ensuite déterminer si l'application nécessite un convertisseur Analogique \ Numérique ce qui va faire un peu plus vers le choix du PIC.
- La rapidité d'exécution est un élément important, il faut consulter les DATA-BOOK pour vérifier la compatibilité entre la vitesse maximale du PIC choisi et la vitesse max nécessaire au montage.

- La taille de la RAM interne et la présence ou non d'une EEPROM pour mémoriser des données est également pour l'application souhaitée.
- La longueur de programme de l'application détermine la taille de la mémoire programme du PIC recherché.

Afin de choisir un PIC adéquat à notre projet, nous avons pensé à l'utilisation du PIC18F4431 car il possède aussi des modules MLI adaptés pour la commande des convertisseurs cités dans le chapitre I.

II.7. PIC18F4431

Le PIC18F4431 est un circuit intégré contenu dans un boîtier nommé « DIL 40 », il présente 40 broches, 20 de chaque côté. Les broches sont virtuellement de 1 à 40.

La 1^{ère} broche est placée dans le coin situé à gauche de l'encoche de repérage.

La Figure II.1 montre photo du PIC18f4431, qu'on trouve sur notre carte [14, 15].



Figure II.1. Photo du PIC18F4431

II.8. Caractéristiques principales du PIC18F4431

Les éléments essentiels du PIC18F4431 sont [14, 15]:

- 36 lignes d'entrées/sorties, réparties comme suit :

- Le port A (8 bits) I/O.
 - Le port B (8 bits) I/O.
 - Le port C (8 bits) I/O.
 - Le port D (8 bits) I/O.
 - Le port E (4 bits) I/O.
- Une mémoire de programme de type flash 16384 Octets.
 - Une SRAM donnée de 768 octets.
 - Une mémoire EEPROM de 256 octets.
 - Power control PWM aux nombre de 4 MLI générateurs et 8 canaux de sorties.
 - Convertisseur analogiques numériques 10 bits à 9 canaux.
 - USART, port série univers.
 - SSP, port série synchrone.
 - Quatre TIMERS avec leurs prescalers, TMR0, TMR1, TMR2, TMR5.
 - Deux modules de comparaison et capture CCP1 et CCP2.
 - Un chien de garde.
 - 34 sources d'interruption.
 - Générateur d'horloge, à quartz (jusqu'à 40 MHz).
 - Possibilité aux applications utilisateur d'accéder à la mémoire programme.
 - Tension de fonctionnement de 2.4 à 5.5V.
 - Jeux de 75 instructions.

II.9. Brochage

Ce composant intègre un microcontrôleur de 14-bits, appartient à la famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits, il possède 40 pins [15].

- **Pattes (11, 12, 31, 32) :** L'alimentation du circuit est assurée par les pattes VDD(11, 32) et VSS(12, 31). Elles permettant à l'ensemble des composants électroniques du PIC de

fonctionner. Pour cela, on relie VSS à la masse (0 Volt) et VDD à la borne positive de l'alimentation qui doit délivrer une tension continue comprise entre 3 et 6 Volts.

- **Pattes (13, 14) :** Le Microcontrôleur est un système qui exécute des instructions les unes après les autres à une vitesse (fréquence) qui est fixée par une horloge interne au circuit. Cette horloge doit être stabilisée de manière externe au moyen d'un cristal de quartz connecté aux pattes OSC1/CLKIN et OSC2/CLKOUT.
- **Patte (1) :** est appelée MCLR (Master Clear Reset). Elle permet lorsque la tension appliquée est égale à 0V de réinitialiser le microcontrôleur. C'est-à-dire que si un niveau bas (0 Volt) est appliqué sur MCLR, le microcontrôleur s'arrête, place tous ses registres dans un état connu et se redirige vers le début de la mémoire de programme pour recommencer le programme au début (adresse dans la mémoire de programme : 0000). A la mise sous tension, la patte MCLR étant à zéro, le programme démarre donc à l'adresse 0000.
- **Pattes (33, 34, 36, 37) :** interruptions Externes Broches RB0, RB1, RB3, RB4. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. Impulsion MLI (0, 1, 3, 4) (largeur d'impulsion modulée).
- **Pattes (25, 26) :** Les pins de port RC65(TX) et RC7(RX) sont reliées au circuit MAX232, cela afin d'utiliser l'interface RS232 du microcontrôleur. On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL).
- **Pattes (2-30, 33-40) :** ces pins représentent les ports d'entrées/sorties (portA, portB, portC, portD et portE).
- **Pattes (39, 40) :** En fin on a les pins des port ICPGC, ICPGD et ICRST sont utilisées pour programmer le microcontrôleur par la méthode ICDP (In circuit serial programming).

Cette méthode permet de programmer le microcontrôleur sans avoir à le retirer de la plaque du circuit imprimé.

La Figure II.2. représente le brochage du PIC18F4431. Le diagramme de pins de la Figure II.2 présente les composants du PIC18F4431 comme indiqué dans le Tableau II. 1.

Tableau II.1. Caractéristiques du PIC18F4431

Features	PIC18F2331	PIC18F2431	PIC18F4331	PIC18F4431
Operating Frequency	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz
Program Memory (Bytes)	8192	16384	8192	16384
Program Memory (Instructions)	4096	8192	4096	8192
Data Memory (Bytes)	768	768	768	768
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	22	22	34	34
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
14-bit Power Control PWM	(6 Channels)	(6 Channels)	(8 Channels)	(8 Channels)
Motion Feedback module (Input Capture/Quadrature Encoder Interface)	1 QEI or 3x IC	1 QEI or 3x IC	1 QEI or 3x IC	1 QEI or 3x IC
Serial Communications	SSP, Enhanced USART	SSP, Enhanced USART	SSP, Enhanced USART	SSP, Enhanced USART
10-bit High-Speed	5 Input	5 Input	9 Input	9 Input

Analog-to-Digital Converter module	Channels	Channels	Channels	Channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions
Packages	28-pin SDIP 28-pin SOIC	28-pin SDIP 28-pin SOIC	40-pin DIP 44-pin TQFP 44-pin QFN	40-pin DIP 44-pin TQFP 44-pin QFN

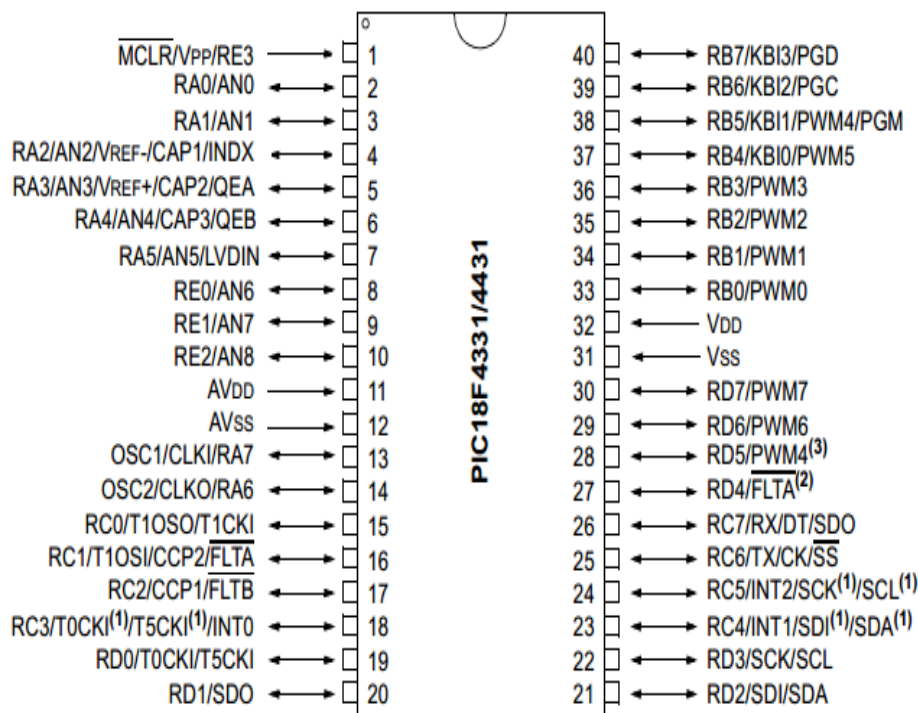


Figure II.2 : Brochage du PIC18F4431

II.10. Eléments de base du PIC18F4431 [14, 15]

II.10.1. Horloge

L'horloge peut être soit interne soit externe. L'horloge interne est constituée d'un oscillateur à quartz ou d'un oscillateur RC, à ce thème, il apparait la notion de multiplicateur de fréquence de phase Lock Loop (PLL) Disponible à la fois pour le cristal haute vitesse et Modes d'oscillateur interne, ce qui donne une horloge de vitesse allant jusqu'à 40 MHz, il donne la possibilité de multiplier la fréquence par 4 'H4', on put l'utilisé avec un Oscillateur interne Sans utiliser un cristal externe ou un circuit d'horloge.

II.10.2. Organisation de la mémoire

Le microcontroleur PIC18F4431 dispose de deux types de mémoire séparées :

- ✚ Une mémoire de programme de 32 Ko (mémoire FLASH)
- ✚ Une mémoire de données de 2048 octets.

II.10.2.1. Mémoire programme

La capacité de la mémoire programme est de 32 Ko. Cependant, chaque instruction est codée sur 16 bits, ce qui signifie que chaque instruction occupe 2 octets, ainsi la mémoire de programme ne peut stocker que jusqu'à 16384 instructions au maximum.

Le programme exécutable par le PIC est implanté dans la mémoire flash à l'aide d'un programmeur (hard+soft).

II.10.2.2. Mémoire de données

Elle se décompose en deux parties : une RAM et une EEPROM.

II.10.3. Timers

Le Timer est un élément important dans le PIC. Cette ressource permettra de réaliser de nombreuses fonctions, telles que la temporisation, la génération des signaux MLI, ou encore les modes Compare ou Capture.

Selon le type du PIC rencontré, on trouvera un certain nombre de Timers qui seront pour certains associés à des ressources internes de PIC. Un timer est en fait un compteur incrémentant au rythme d'une horloge, et ceci en ayant la possibilité de pré positionner une valeur de départ.

Certains timers pourront fonctionner en mode 8bits, 16bits ou 32bits. Dans le PIC18F4431, il existe quatre timers (un timer de 8 bit et le reste de 16 bits).

II.10.4. Microprocesseur (CPU : CENTRAL PROCESSING UNIT)

Il constitue le coeur du PIC et composé de : UAL registre W et le registre d'usage, il fait l'analyse du contenu du programme. Il organise aussi l'enchaînement des tâches précisées dans la mémoire programme, et il prend en compte les informations extérieures au système.

✚ **ALU** : est une unité arithmétique et logique à 8bits qui réalise les opérations arithmétiques et logiques de base.

✚ **Accumulateur W** : est un registre de travail 8bits, toutes les opérations à deuxopérandes passent par lui. On peut avoir :

- Une instruction sur un seul opérande qui est en général un registre situé dans la RAM.
- Une instruction sur deux opérandes. Dans ce cas, l'un des deux opérandes est toujours l'accumulateur W, l'autre peut être soit un registre soit une constante.

Pour les instructions dont un des opérandes est un registre, le résultat peut être récupéré soit dans l'accumulateur, soit dans le registre lui-même.

II.10.5. Interruptions

Une interruption provoque l'arrêt du programme principal pour aller exécuter une procédure d'interruption. A la fin de cette procédure, le microcontrôleur reprend le programme principal à l'endroit où il l'a laissé. Les interruptions sont associées de bits, un bit de validation et un drapeau. Le premier permet de'autoriser ou non l'interruption, le second permet au programmeur de savoir de quelle interruption il s'agit.

Les interruptions sont classées en deux catégories, les interruptions primaires et les interruptions périphériques. Elles sont gérées par les registres :

- RCON
- INTCON
- INTCON2
- INTCON3
- PIR1, PIR2, PIR3
- PIE1, PIE2, PIE3
- IPR1, IPR2, IPR3

II.10.5.1. Sources d'interruptions de PIC18F4431

La liste suivante présente quelques sources d'interruptions :

- Trois interruptions externes, action sur les broches INT0/RC3, INT1/RC4 et INT2/RC5.
- Débordement de TIMER0.
- Changement d'état logique sur une des broches du PORTB (RB4 à RB7).
- Une interruption des périphériques (PEIE).
- Fin de programmation d'une case mémoire de l'EEPROM.
- Changement d'état sur le PORTD (PSPIE).
- Fin de conversion analogique numérique (ADIE).
- Réception d'une information sur la liaison série (RCIE).
- Fin d'émission d'une information sur la liaison série (TXIE).
- Interruption SPI ou I2C du modèle MSSP (SSPIE).
- Interruption de registre de capteur et /ou de comparaison 1 (CCPI1E).
- Interruption de registre de capteur et /ou de comparaison 2 (CCPI2E).
- Débordement de TIMER1 (TMR1E).
- Débordement de TIMER2 (TMR2E).

- Collision de bus (BCLIE).

II.10.5.2. Mécanisme général d'une interruption

Nous pouvons dire, sans nous tromper beaucoup qu'une routine d'interruption est un sous-programme particulier, déclenché par l'apparition d'un événement spécifique.

II.10.5.3. Interruption externe sur RB4 à RB7

La spécificité des broches RB4 à RB7 de PIC 18F4431 est qu'elles peuvent être configurées comme entrées d'interruption. Cette interruption sera produite lors du changement d'un niveau logique sur une des broches RB4 à RB7.

Configuration des broches RB4 à RB7 en entrées d'interruption

Pour configurer les interruptions du PIC18F4431, il existe un registre INTCON (INTerrupt CONtrol) de 8 bits, le Tableau II.2. montre les compositions du registre INTCON.

Tableau II.2. Compositions du registre INTCON

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBI E	TMROIF	INT0IF	RBF

II.10.6. Convertisseur

Le CAN est un périphérique intégré destiné à mesurer une tension et la convertir en nombre binaire qui pourra être utilisé par un programme. Notre PIC18F4431 travaille avec un convertisseur analogique/numérique qui permet un échantillonnage sur 10bits. Ce module A/D prend en charge jusqu'à 9 canaux à grande vitesse jusqu'à 200K échantillons par seconde.

Le signal numérique peut donc prendre 1024 valeurs possibles. On sait que pour pouvoir numériser une grandeur, nous devons connaître la valeur minimale qu'elle peut prendre, ainsi que sa valeur maximale. Les PICs considèrent par défaut que la valeur minimal correspond à leur Vss d'alimentation, tandis que la valeur maximale correspond à la tension positive d'alimentation Vdd. Le schéma fonctionnel de CNA est représenté dans la Figure II.3.

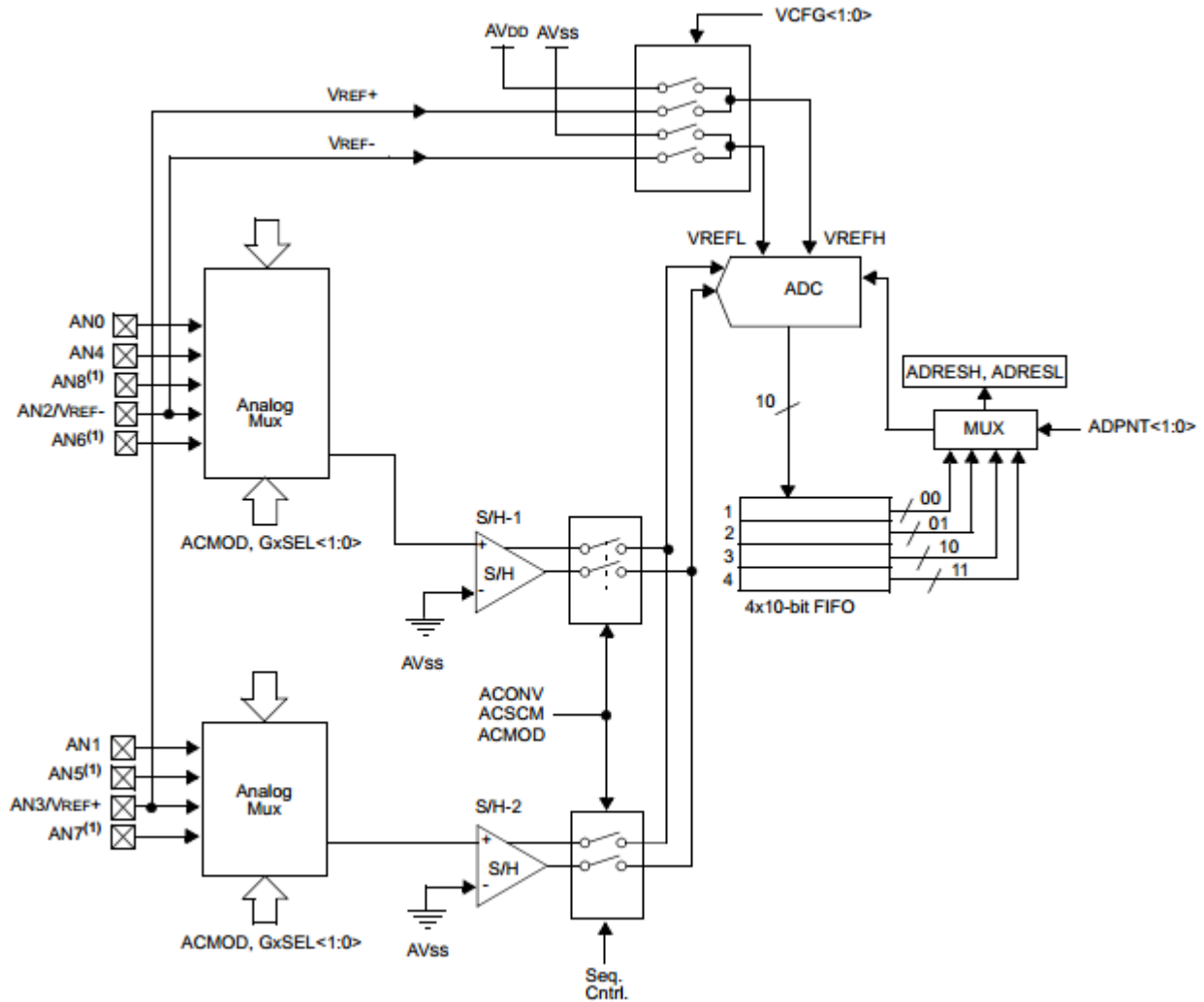


Figure II.3. Schéma fonctionnel de CNA

Le module de conversion utilise 9 registres disposés comme suit :

- Registre de résultat High (ADRESH).
- Registre de résultat Low (ADRESL).
- Registre 0 de contrôle (ADCON0).
- Registre 1 de contrôle (ADCON1).
- Registre 2 de contrôle (ADCON2).
- Registre 3 de contrôle (ADCON3).
- Registre de sélection canal (ADCHS).
- Registre 0 de sélection des broches analogiques (ANSEL0).

- Registre 1 de selection des broches analogiques (ANSEL1).

II.10.6.1. Choix de l'horloge de conversion

Le temps de conversion par bit est appelé **TAD**. Une conversion 10 bits nécessite 11 TAD, la source permettant de générer l'horloge de conversion est sélectionnable par programme parmi 7 possibilités (Tosc= période de l'oscilateur du μC) :

Le Tableau. II.3 suivant aide à définir la configuration de l'horloge :

Tableau.II.3. Configuration de l'horloge

Source de l'horloge de l'AD (TAD)	Fréquence de matériel maximum	
Opération	ADCS<2 :0>	PIC18Fxx31
2 Tosc	000	4.8MHz
4 Tosc	100	9.6MHz
8 Tosc	001	19.2 MHz
16 Tosc	101	38.2 MHz
32 Tosc	010	40.0 MHz
64 Tosc	110	40.0 MHz
RC/4 (^3)	011	1.00 MHz(^2)
RC(^3)	111	4.0 MHz(^2)

II.10.7. Power control PWM (PCPWM)

Le module PCPWM est un module qui génère un signal numérique caré, avec un rapport cyclique réglable. Il prend en charge 4MLI générateurs et 8 canaux de sorties en mode complémentaires ou en mode indépendants. Les schémas de la Figure II.4 et la Figure II.5 montrent comment le module de sortie est configuré en complémentaires et indépendants.

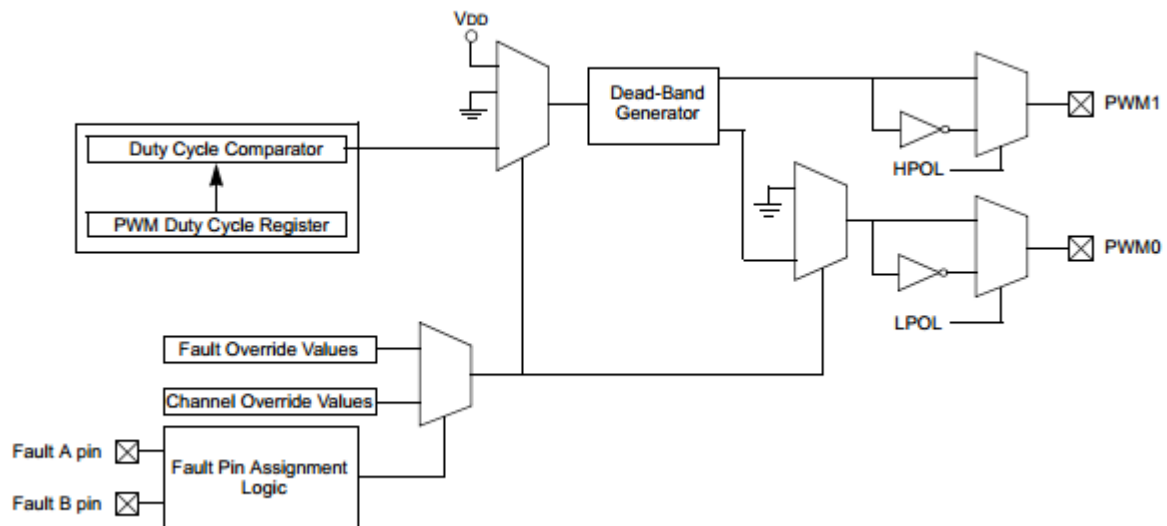


Figure II.4. Diagramme block du module MLI en mode complémentaire

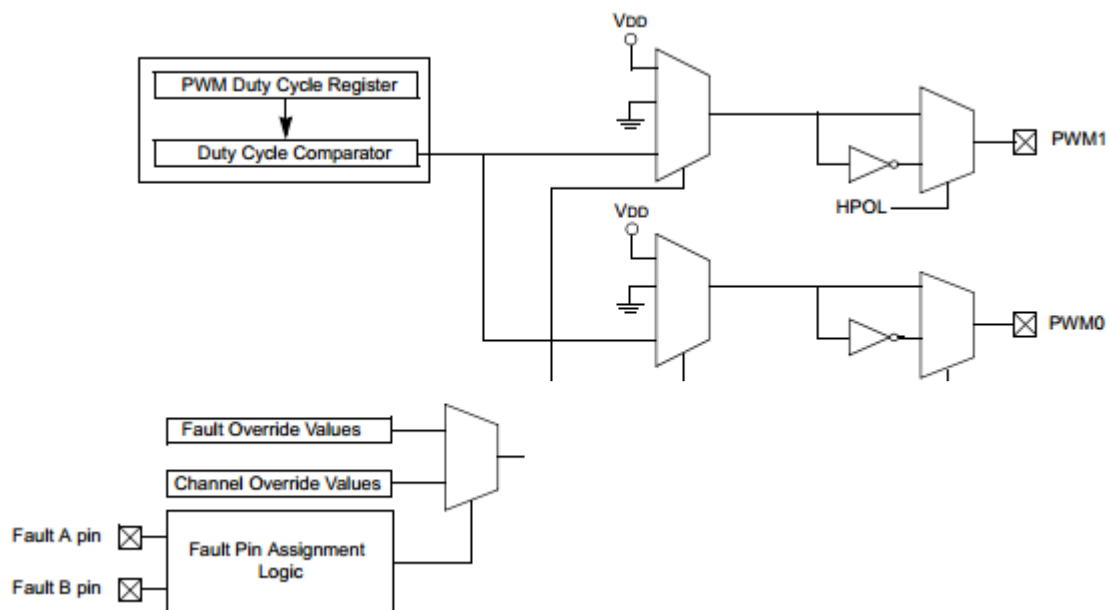


Figure II.5. Diagramme du module MLI en mode indépendant

II.10.7.1. Applications du module PCPWM

- Entraînements à vitesses variables des moteurs à courant continu et alternatif (monophasé/triphasé).
- Entraînements à vitesses variables des moteurs pas à pas.
- Entraînements à vitesses variables des moteurs à courant continu sans balais (BLDS).

- Block d'alimentation sans coupure (UPS).

II.10.7.2. Caractéristiques du module MLI

Ce module possède les caractéristiques suivantes :

- Jusqu'à 8 broches MLI avec 4 générateurs du rapport cyclique. Ces broches peuvent fonctionner en paire pour obtenir un contrôle de demi-pont.
- La résolution de période MLI peut atteindre 14bits.
- Période du signal MLI est configurable.
- Génération de temps mort dans le cas où les broches MLI fonctionnent en mode complémentaire.

II.10.7.3. Base de temps MLI

- La base de temps MLI est fournie par un timer de 12bits avec diviseur et une fonction « postscaler ».
- La base de temps MLI est configurée via le registre PTCON0 et PTCON1.
- La base de temps est activée ou désactivée en affectant le bit PTEN de registre PTCON 1.

II.10.7.4. Période de signal MLI

Le registre PTPER définit la période de comptage pour PTMR. L'utilisateur doit écrire une valeur de 12bits à PTPER. Lorsque la valeur PTMR correspond à la valeur PTPER, la base de temps sera être remis à (0) en mode libre ou inversé le sens de comptage dans le cas du mode UP/DOWN. L'action exécutée dépend du mode de fonctionnement de la base de temps.

- **Période de MLI pour le mode FREE-RUNNING**

$$T_{MLI} = \frac{(PTPER + 1) * PTMRPS}{Fosc/4}$$

- **Période MLI pour HAUT/BAS mode COMPTAGE**

$$T_{MLI} = \frac{(2 * PTPER) * PTMRPS}{Fosc/4}$$

- **Fréquence de MLI**

La fréquence détermine la vitesse à la quelle le MLI effectue un cycle et par conséquent à quelle vitesse il passe de l'état haut à l'état bas et le contraire.

$$\text{MLI}_{\text{fréquence}} = \frac{1}{\text{MLI période}}$$

II.10.7.5. Rapport cyclique

Le rapport cyclique MLI décrit la durée pendant la quelle le signal est à l'état haut (actif) en pourcentage de la durée d'un cycle complet. Il est défini par les registres de PDCx (PDCxL et PDCxH). Il ya en total 4 registres de rapport cyclique MLI pour 4 paires de canaux MLI.

Registres du rapport cyclique MLI

Il existe 4 registres de fonctions spéciaux de 14bits utilisés pour spécifier les valeurs du rapport cyclique pour le module MLI :

- PDC0 (PDC0L et PDC0H).
- PDC1 (PDC1L et PDC1H).
- PDC2 (PDC2L et PDC2H).
- PDC3 (PDC3L et PDC3H).

II.11. Conclusion

Le PIC18F4431 est un microcontrôleur simple, efficace et peu coûteux. Une multitude d'applications existent autour de ce microcontrôleur. Dans ce chapitre, nous pouvons dire que le microcontrôleur peut bien jouer le rôle d'une unité de contrôle pour notre système de commande des convertisseurs électriques DC/DC et DC/AC. Pour fonctionner cette unité de commande, il faut le programmer et l'adapter à un compilateur de programmation. Dans le chapitre qui se suit, on va exploiter les modules MLI du PIC18F4431 pour avoir les différentes stratégies de commande des convertisseurs considérés dans ce travail.

III.1. Introduction

L'idée principale de ce travail était la réalisation d'un circuit électronique qui fait la commande de la conversion de l'énergie électrique (convertisseurs statiques DC/DC « hacheurs », et DC/AC « onduleurs»). Le microcontrôleur PIC18F4431 décrit dans le chapitre II et ses périphériques représentent les organes de commande du circuit convertisseur électrique L298N (pont à quatre bras). Par la suite, on va établir les composants et les organigrammes pour chaque type de commande MLI. Après, en se basant sur ses algorithmes de commande, on présente des simulations par le logiciel Proteus avant de passer à la réalisation matérielle des circuits convertisseurs électriques dans le chapitre II.

III.2. Partie Matérielle (présentation du circuit intégré L298N)

III.2.1. Généralité

Dans le but de simplifier la carte électronique et de diminuer son coût, son encombrement et sa consommation, on a remplacé les 8 transistors MOS ou IGBT par un seul circuit intégré L298N (ou L298HN horizontal) (Figure III.1) [16, 17].



Figure III.1. Le circuit L298HN (H=Modèle Horizontal)

III.2.2. Définition

Le circuit intégré L298N contient 2 ponts en H (Figure.III.2) donc, n'est ni plus ni moins qu'un double pont de commande de puissance possédant des sorties de mesure de courant consommé par le moteur ainsi que des entrées de validation. Il ne nécessite donc que très peu de composants externes et sa mise en œuvre est très simple [18, 19].

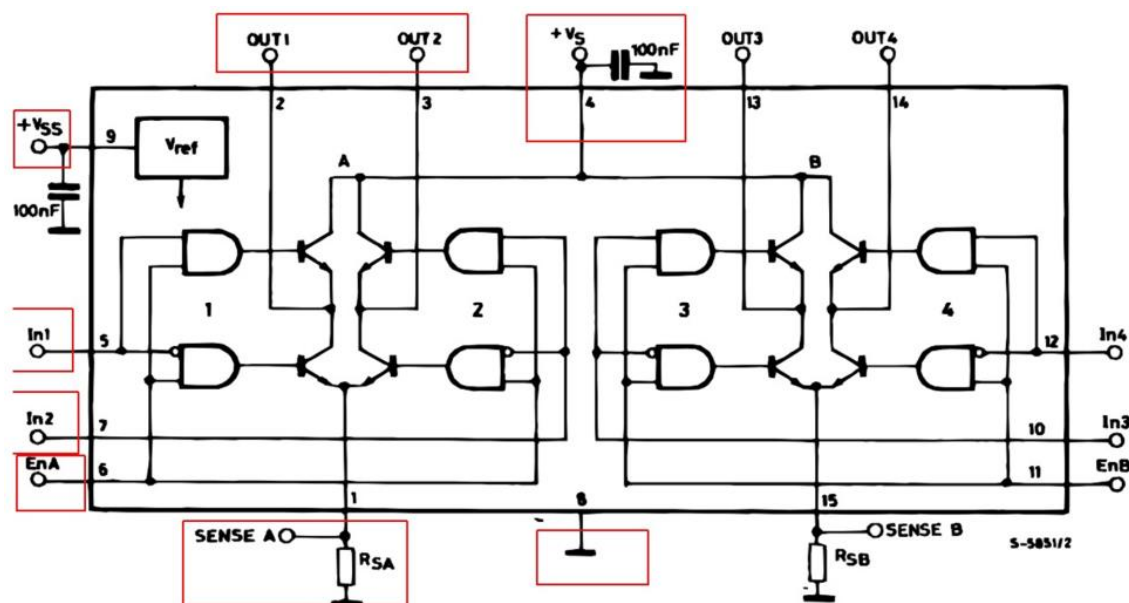


Figure III.2. Structure interne du circuit L298N

III.2.3. Brochage du circuit de puissance L298N

Il se présente sous la forme d'un boîtier à 15 broches dont le dessin est donné par la Figure III.3. Les broches sont données par le Tableau III.1.

On peut représenter son brochage sous forme de tirets comme suit [18] :

- VSS - Alimentation de la logique de commande (+5V).
- VS - Alimentation de puissance des moteurs.
- GND - Doit être raccordée à la masse (GND) de la source d'alimentation de puissance VS (donc le négatif de l'accumulateur) et à la masse de la source d'alimentation de VSS.
- OUTPUT1, OUTPUT2 - Broches raccordés à la charge (le moteur). Via ces broches que le L298 commande le sens de rotation du moteur.
- INPUT1, INPUT2, INPUT3 et INPUT4 Broches de commande des deux Ponts-H.
- ENABLE A ou ENABLE B - (Chip Activer) permet d'envoyer (ou pas) la tension sur les sorties du moteur via OUTPUT1 & OUTPUT2. ENABLE. A commande l'activation du premier Pont-H. Si ENABLE A = GND, le pont-H est déconnecté et le moteur ne fonctionne pas. Si ENABLE A = VSS, le pont-H est connecté aux sorties et le moteur fonctionne dans un sens ou l'autre ou pas en fonction des tensions appliquées sur INPUT1 & INPUT2.

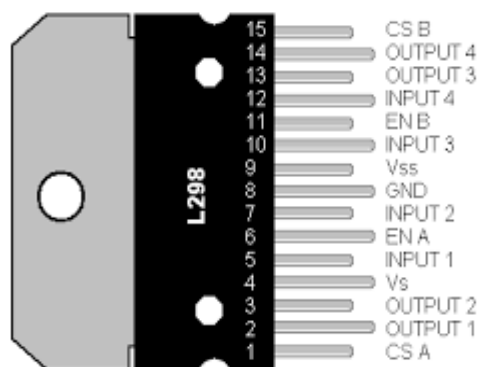


Figure III.3. Schéma de brochage du circuit L298N

Tableau III.1. Broches du circuit L298N

Pin	Non du pin	pin	Nom du pin
1	Current sensing A	9	Vss
2	Output 1	10	Input 3
3	Output 2	11	Enable B
4	Vs	12	Input 4
5	Input 1	13	Output 3
6	Enable A	14	Output 4
7	Input 2	15	Currentsensing B
8	GND		

II.2.4. Caractéristiques générales du circuit L298N [20]

III.2.4.1. Avantages

Il facilite grandement son utilisation seul le brochage diffère. Parmi les avantages qui nous ont laissés choisir ce composant sont :

- L298N supporte une tension de puissance jusqu'à 46 volts maximum.
- Un courant de service de 2A, supporte les pics occasionnels à 3A et pics répétitifs à 0.5A. Compatible à la famille TTL.

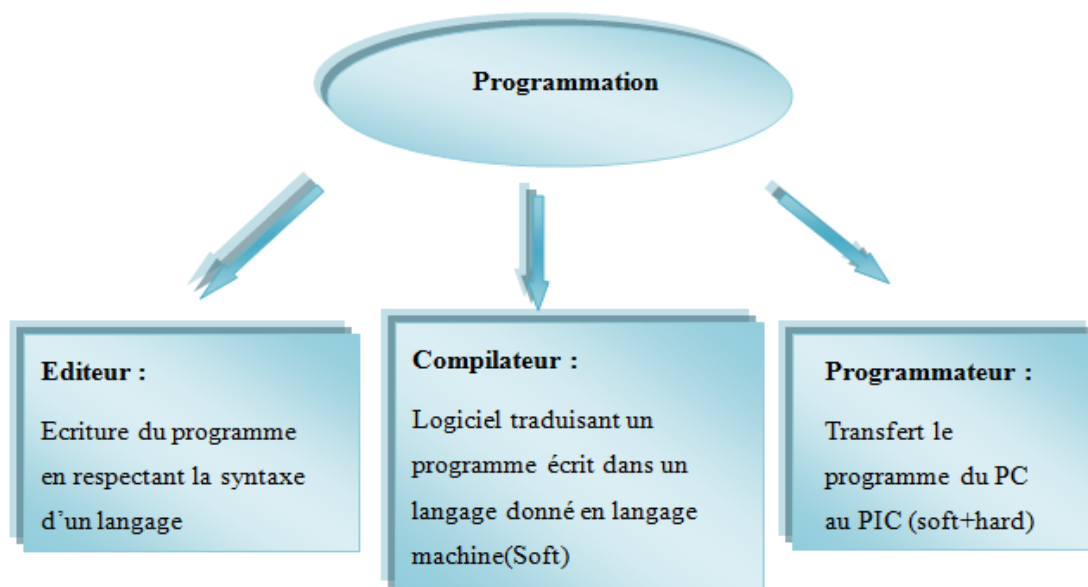
- Dispose d'un dispositif de mesure du courant (sensor/ pins). Ce pin est raccordé à la masse si on ne l'utilise pas.
- Chute de tension V_{ce_sat} totale de 1.8 volts (typique), 3.2v à $I_L=1A$, 4.9v à $I_L=2A$. Si cela semble beaucoup, c'est aussi un avantage car cela permet d'utiliser un accu de 7.2v directement avec un moteur +5V. La chute de tension V_{ce_sat} du Pont-H sera suffisante pour adapter la tension au moteur (généralement +/- 5V).

III.2.4.2. Inconvénients

Le L298N est un double pont en H avec interface logique, mais il est nécessaire d'ajouter les diodes de roues libres, car elles ne sont pas intégrées. Ce composant et en plus de tension d'alimentation de 12v, il nécessite une tension logique de 5Volts, le montage intègre un régulateur à faible chute de tension qui pourra servir d'alimentation pour les autres cartes électroniques. Si l'on souhaite réaliser la commande MLI à fréquence autour de quelques kilohertz, alors les diodes de roues libres doivent être remplacées.

III.3. Partie logicielle (Outils de développement utilisés)

Nous avons utilisé plusieurs logiciels pour réaliser ce travail. Dans cette partie, nous disposons de quelques logiciels pour la simulation des diverses tâches de commande. Pour développer une application fonctionnant à l'aide d'un microcontrôleur, il faut disposer de :



III.3.1. Langage de Programmation MPLAB

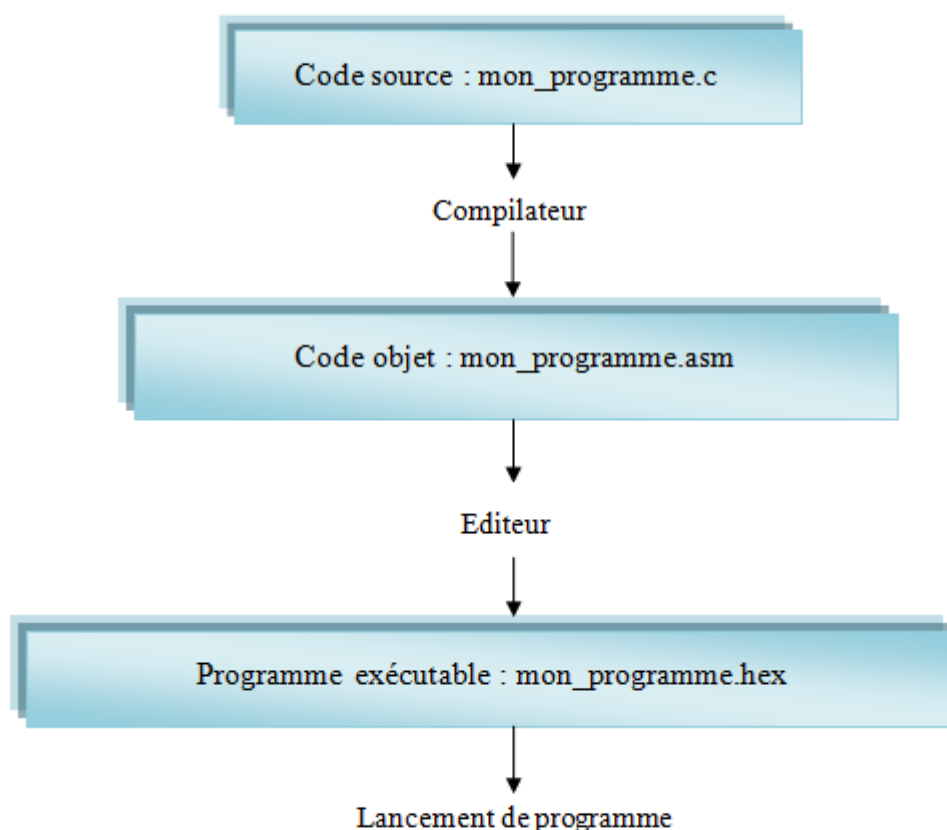


Les microcontrôleurs PIC utilisent la plate-forme logiciel de développement **MPLAB : Integrated Development Environment IDE**. Ce logiciel est un outil de développement pour programmer des microcontrôleurs de type PIC de la famille Microchip. Il est mis au point par la société Microchip, et est entièrement gratuit. Ce logiciel nous permettra de créer un programme de l'assemblée et de le simuler.

III.3.2. Langage C « Compilateur C »



Le compilateur C de la société CCS (Custom Computer Services) est un compilateur C adapté aux microcontrôleurs PICs. Il ne respecte pas complètement la norme ANSI, mais il apporte des fonctionnalités très intéressantes.



III.3.3. Réalisation virtuelle « PORTEUS »



Le Logiciel de simulation des circuits électronique est un logiciel qui dessine un circuit par les composants et les circuits intégrés et permet de voir les résultats de la réalisation pratique. Il existe plusieurs simulateurs. Pour notre cas, on a utilisé le logiciel PROTEUS.

Le logiciel PROTEUS se compose de deux parties, le logiciel ISIS pour la simulation des circuits électroniques, et le logiciel ARES pour dessiner les circuits imprimés [21].

Le circuit global de notre travail est donné par la Figure III.4. En plus de PIC, on a trouvé les boutons poussoirs pour de reset et de mode, les deux potentiomètres (10KOhms) pour changer duty et la fréquence. Et une LCD (2x16) et une Led-bars pour afficher les résultats. On a considérée aussi que le L298 est relié par des diodes par ce que il ne contient pas des diodes de protections des transistors internes, une charge inductive monophasée et triphasée ($R=100$ Ohms et $L=5$ mH 'hacheur', $L=300$ mH 'onduleur') (il suffit de changer le brochage des des charges pour traverser d'un montage monophasé à un montage triphasé et l'inverse), et aussi les oscilloscopes pour afficher les courbes de courant et de tension.

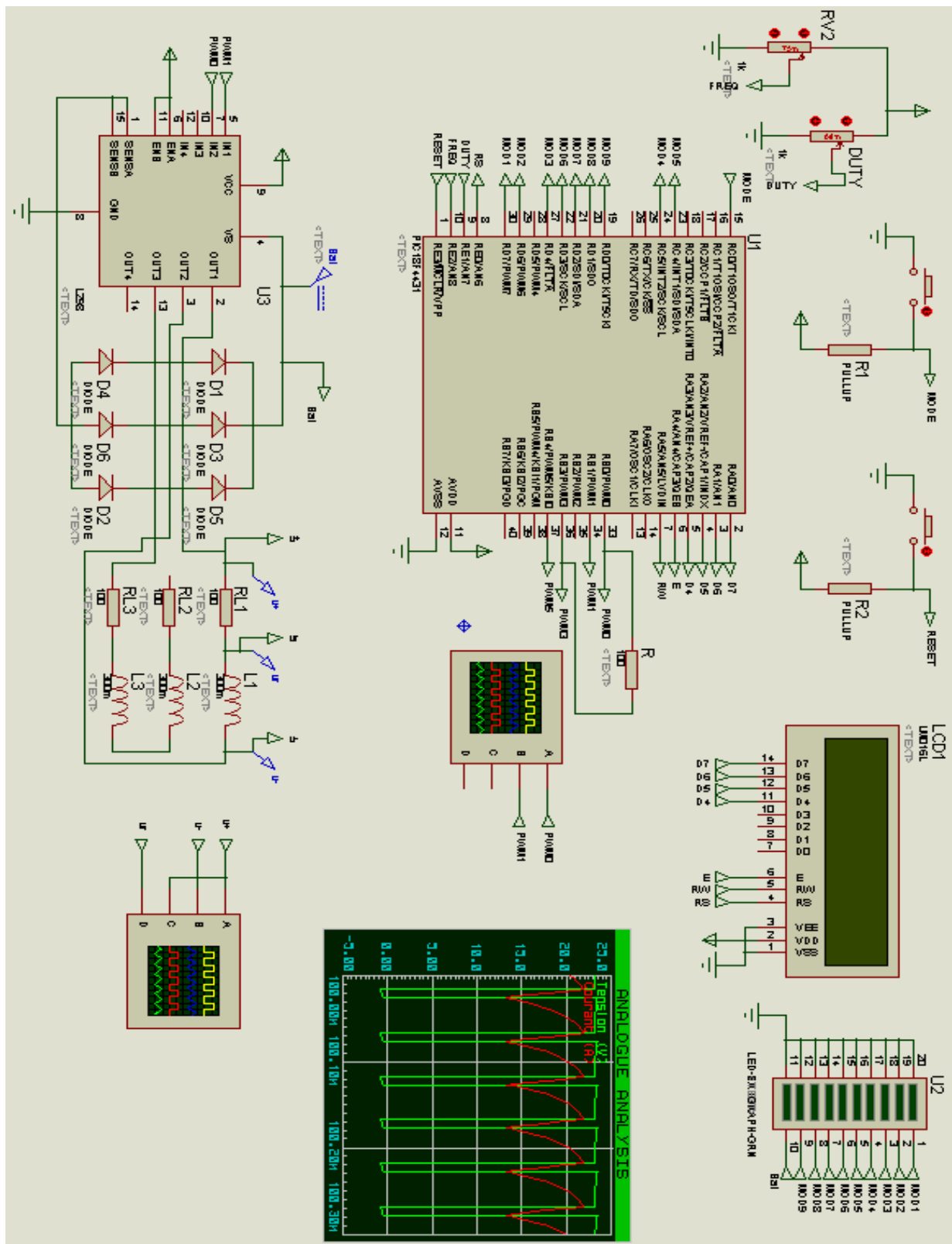


Figure III.4. Schéma structurel de la carte 'ISIS'

III.4. Alimentation du système

Le système qui nous comptons réaliser nécessite trois alimentations continues, une de 5V pour alimenter le PIC et le L298, et une autre de 12V pour alimenter le L298 aussi et le led-bars. Nous avons utilisé le circuit régulateur 7805 pour le 5V et 7812 pour le 12V.

III.5. Organigrammes de commande et résultats de simulation par Proteus

Cette partie représente essentiellement les organigrammes des programmes que nous avons développés.

- Période d'interruption : $T = (4 \cdot 16 \cdot (24 + 1) \cdot 10) / (40 \cdot 1000) = 0.4 \text{ms}$, donc chaque 0.4ms, il y a une interruption.

- Fréquence de du signal MLI: cette quantité est fixée pour toutes les stratégies de commande MLI à 20KHz. La configuration de cette fréquence dans le PIC18F4431 devient: $\text{Fréquence} = (4 \cdot 10000) / (16 \cdot (124 + 1)) = 20 \text{kHz}$ où la fréquence du cristal est 10MHz.

- Rapport cyclique: ce rapport est ajusté par l'injection d'un nombre entier entre 0 et 504 dans la configuration du signal MLI du PIC18F4431 qui représente " $\text{Duty} = \alpha T / T$ ou $\%0 < \alpha < 100\%$ ".

- Fréquences des signaux onduleurs: Cette grandeur est proportionnelle au nombre d'exécution de l'interruption en fonction des fréquences désirées entre 25KHz et 100kHz.

III.5.1. Hacheur réversible en courant (Mode#1)

III.5.1.1. Organigramme de la commande MLI

Dans ce circuit, on a besoin de commander par le signal MLI (PWM1 ou PWM3) un seul bras du pont L298N. Le signal de commande du 2^{ème} bras est mis à « 0 ». L'organigramme de la Figure III.5 illustre parfaitement cette technique de commande de deux hacheurs réversibles en courant assurant la variation de la vitesse ainsi que l'inversion du sens de rotation du moteur à courant continu (DC).

III.5.1.2. Courbes obtenues

Après la charge du programme sur le PIC18F4431, les signaux de la Figure III.6 confirment bien les signaux étudiés en théorie et les simulations trouvées dans le chapitre I par le logiciel Matlab. Pour $0 < \text{Duty} < 50\%$, nous avons un fonctionnement du moteur sens direct (tension moyenne positive) et pour $50\% < \text{Duty} < 100\%$, nous avons un fonctionnement du moteur sens

inverse (tension moyenne négative). Ce type de commande est appelé « commande séquentielle » car on a utilisé à chaque intervalle deux signaux MLI différents.

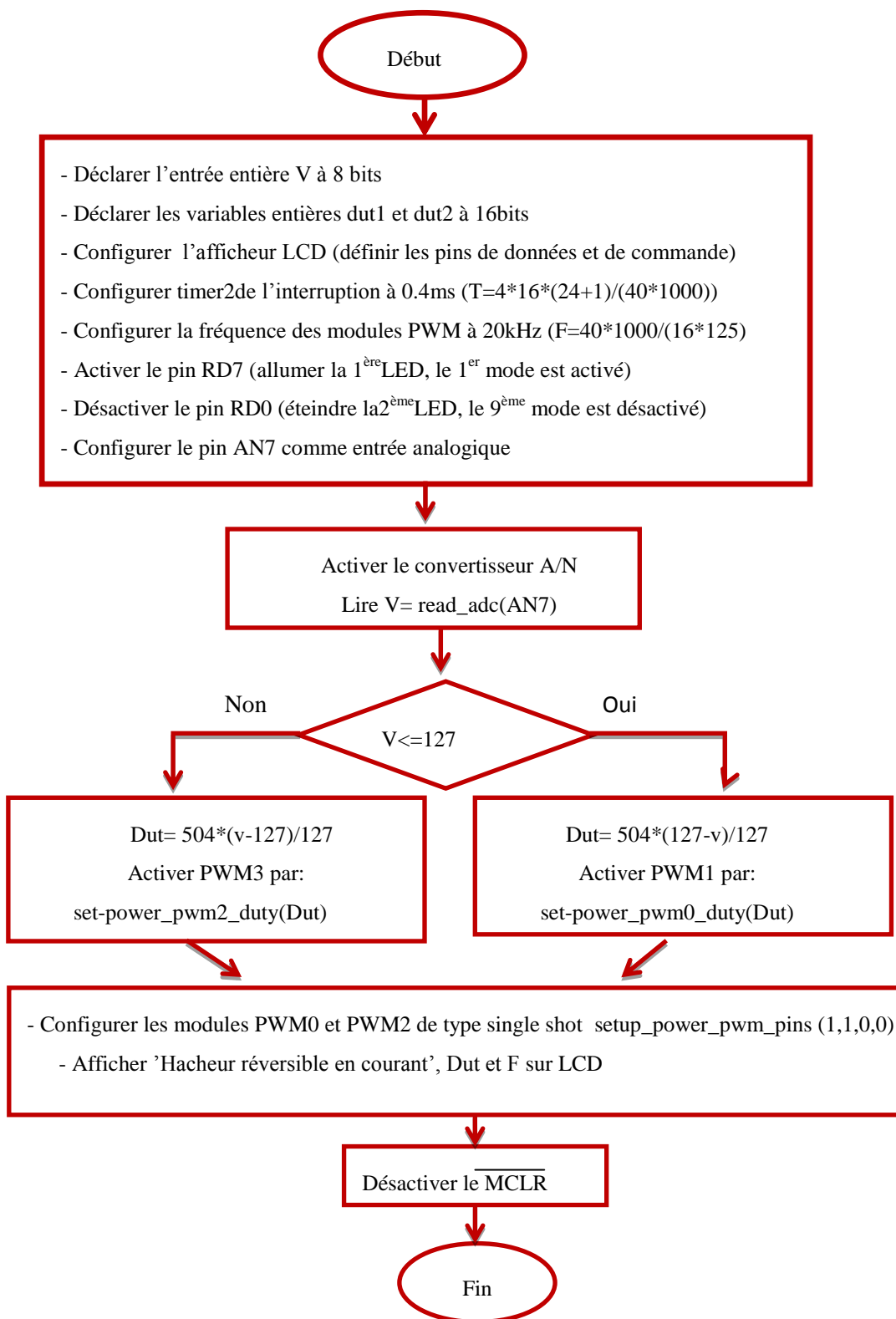


Figure III.5. Organigramme de génération du signal MLI utilisant le code CCS PICC pour deux hacheurs réversibles en courant commandés par un seul signal analogique de 0 à 5V

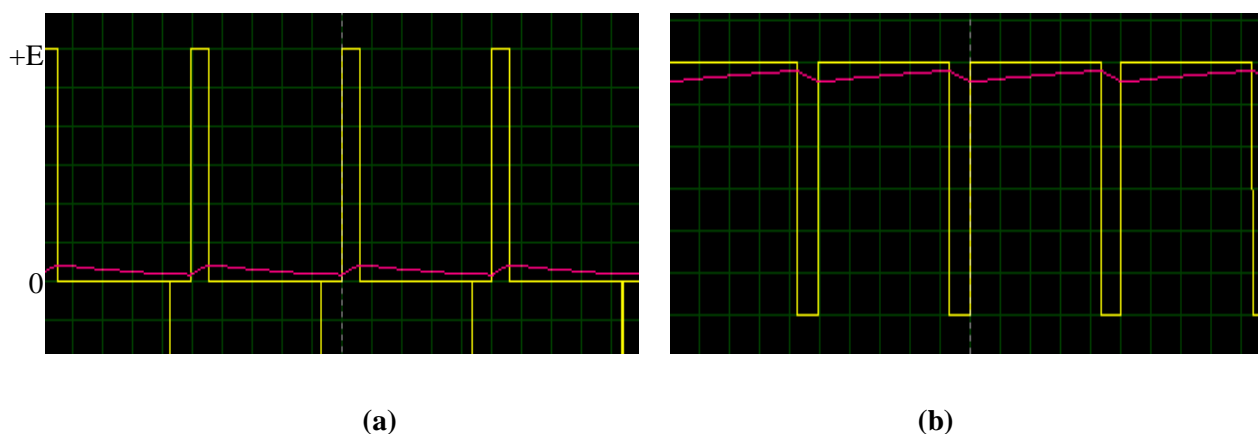


Figure III.6. Allures de tension et de courant obtenues (Mode#1) par simulation Proteus (10µs/div)

(a):Duty=27%, (b):Duty=14%

III.5.2. Hacheur en pont (Mode#2)

III.5.2.1. Organigramme de la commande MLI

Dans ce circuit, on a commandé le pont L298N par deux signaux MLI complémentaires (int1 : PWM1 et int2 : PWM0). Ceci est conduit par la commande les deux bras par un seul signal analogique (potentiomètre). L'organigramme de la Figure III.7 montre les étapes de cette technique de commande du hacheur en pont afin d'assurer la variation de la vitesse et l'inversion du sens de rotation du moteur DC.

III.5.2.2. Courbes obtenues

A partir de la Figure III. 8, il est bien clair que la tension aux bornes du moteur contient deux valeurs opposées ($+E=+12V$ et $-E=-12V$) et le courant de charge varie d'une façon exponentielle. Le réglage de vitesse se fait par la variation du rapport cyclique (Duty). Ces résultats sont en concordance à celles obtenus en théorie et en simulation Matlab (Chapitre I).

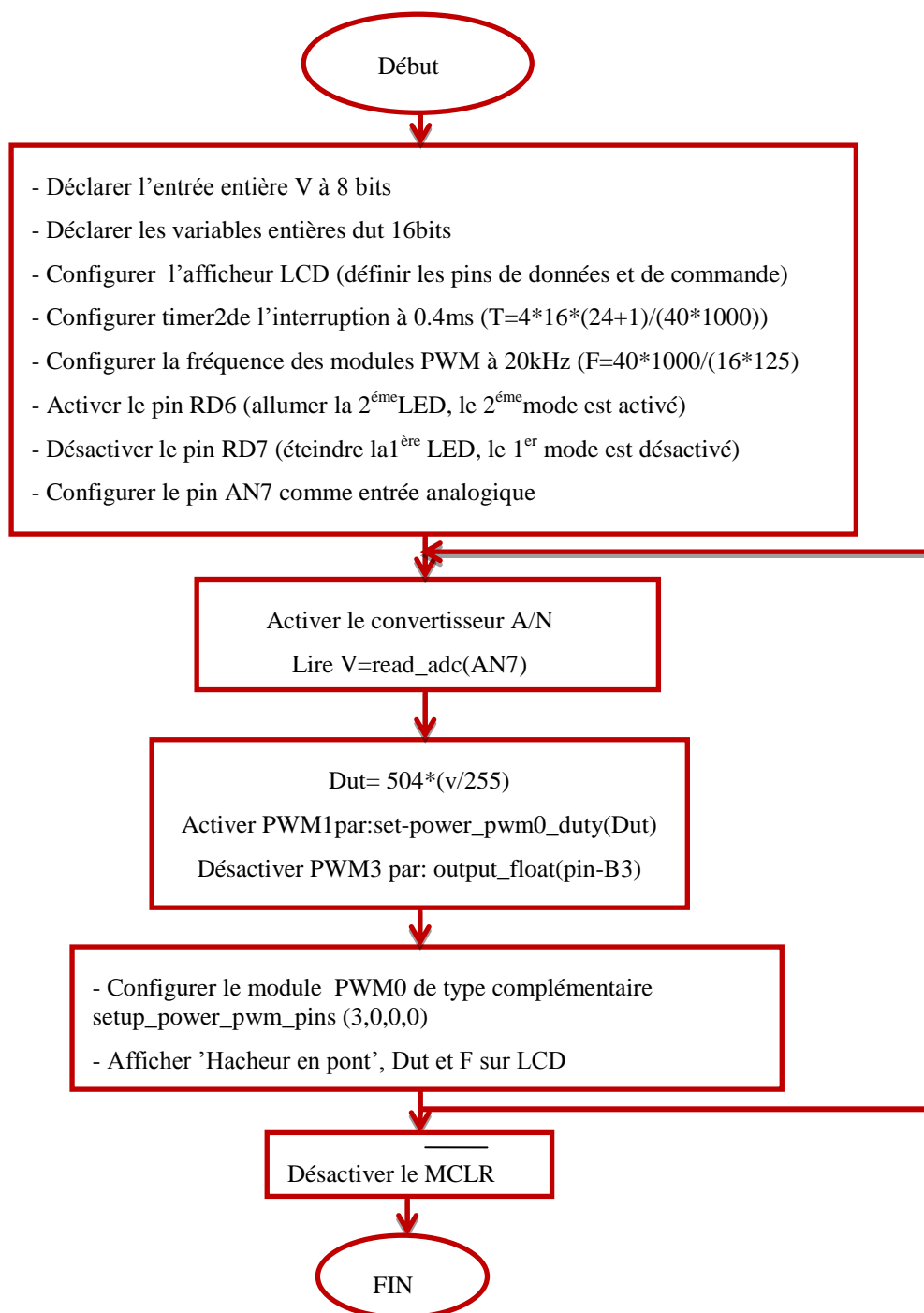


Figure III.7. Organigramme de génération du signal MLI utilisant le code CCS PICC pour un hacheur en pont

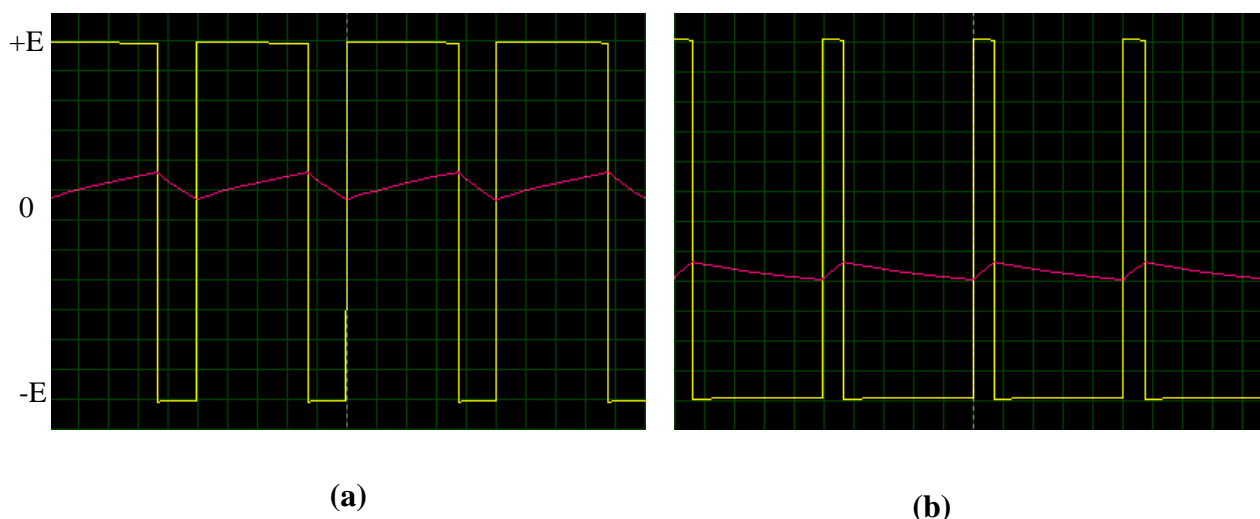


Figure III.8. Allures de tension et de courant obtenues (Mode#2) par simulation Proteus (10µs/div)

(a):Duty=75%,(b):Duty=15%

III.5.3. Onduleur monophasé bipolaire (Mode#3)

III.5.3.1. Organigramme de la commande MLI

A cette fois, la commande est complémentaire pour les deux signaux MLI (PWM1 et PWM0) qui sont reliés à int1 et int2 de L298N respectivement. Cette commande est basé sur 2 signaux carrés (duty=0% ou 100%) de fréquence qui varie entre 25Hz et 100 Hz, chaque signal atteint un bras de L298N et on a obligé d'utiliser un signal externe qui joue le rôle d'un variateur de fréquence (compteur). Chaque incrément du compteur représente un temps de 0.4ms (durée de l'interruption). Pour bien éclaircir cette finesse de commande, on présente l'organigramme de la Figure III.9. Ce type de commande permet de changer uniquement la fréquence des grandeurs de sortie (courant et tension).

III.5.3.2. Courbes obtenues

A partir de la Figure III. 10, deux niveaux de tension de sortie sont obtenus. Sa valeur efficace reste est constante tandis que la fréquence peut varier entre 25Hz et 100Hz. Ces résultats de simulations trouvés sont en lien avec la simulation Matlab du Chapitre I.

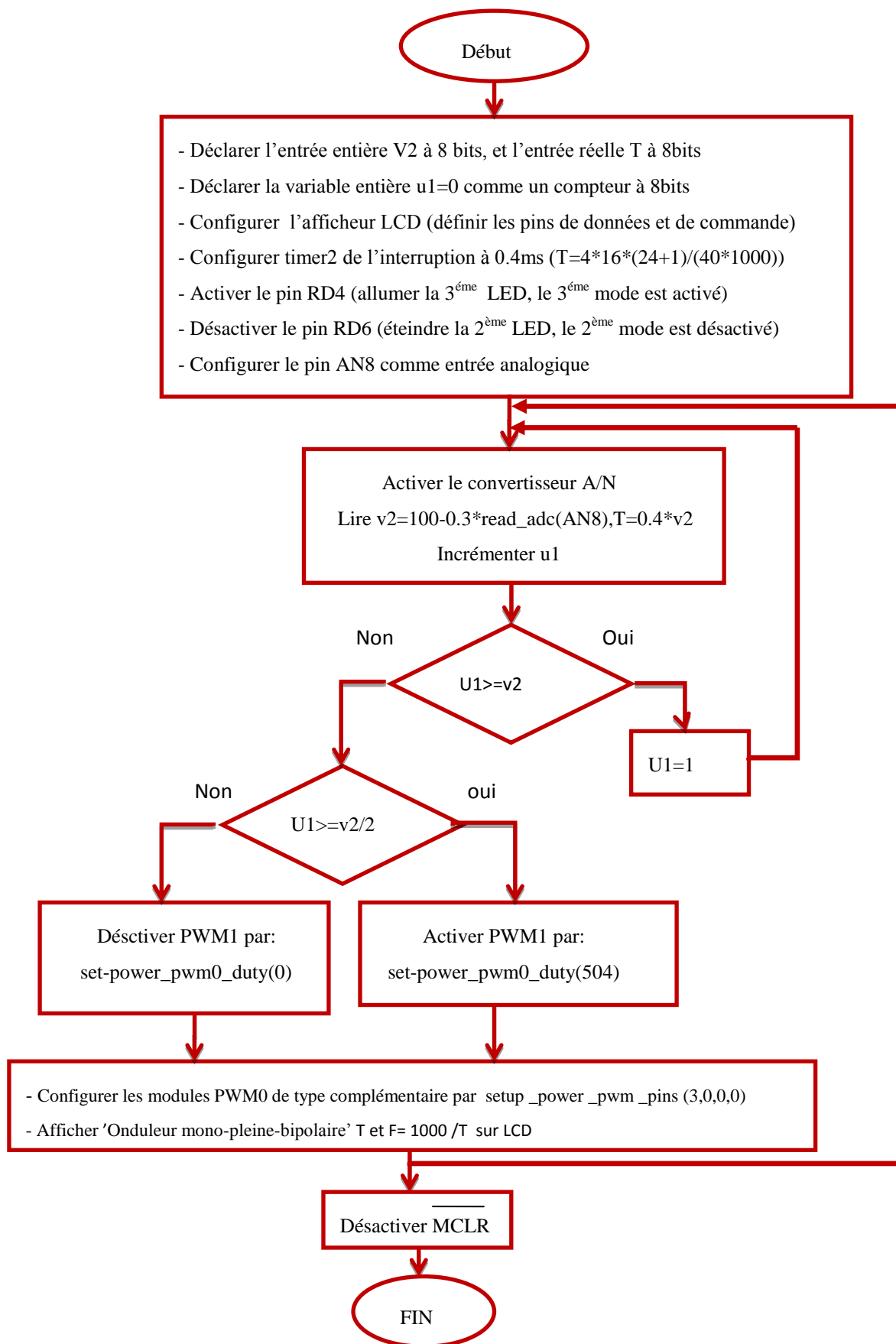


Figure III.9. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur mono-bipolaire

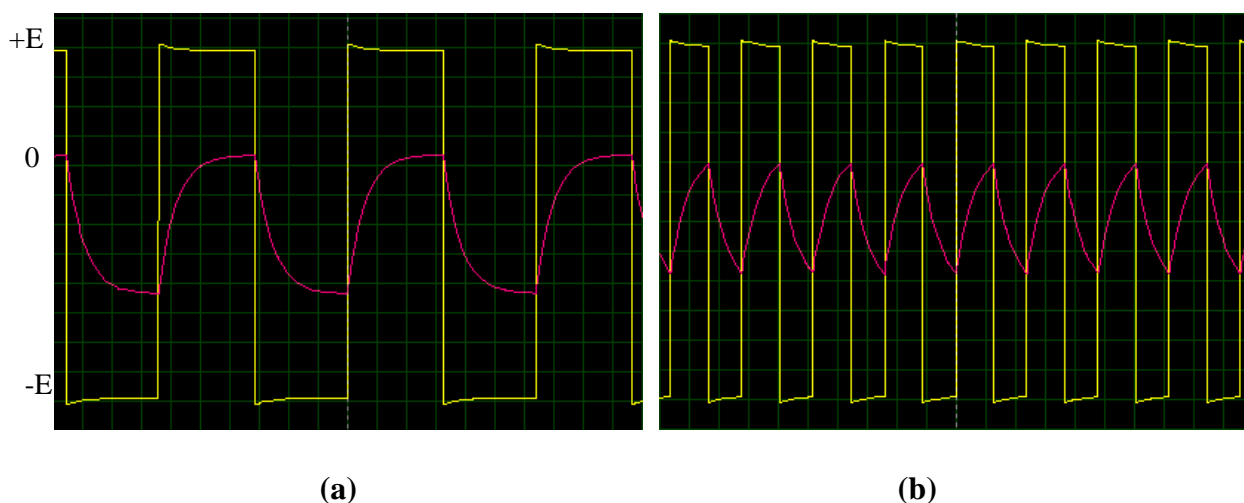


Figure III.10. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#3) par simulation Proteus (5ms/Div)

(a) :Fréquence=30Hz, (b) : Fréquence=80Hz

III.5.4. Onduleur monophasé unipolaire (Mode#4)

III.5.4.1. Organigramme de la commande MLI

La technique se déroule sur la commande des deux bras du pont L298N par le signal MLI (int1 : PWM1 et int2 : PWM3). Ceci est conduit par la commande des deux bras par deux signaux carrés décalés de fréquence entre 25Hz et 100Hz. Deux potentiomètres de commande sont utilisés. Le premier sert à régler la valeur efficace du signal de sortie via l'angle de décalage. Le deuxième sert à régler la fréquence de la tension de sortie par l'incrément du compteur au niveau de l'interruption. L'organigramme de la Figure III.11 récapitule clairement cette technique de commande.

III.5.4.2. Courbes obtenues

D'après la Figure III. 12 et la Figure III.13, trois niveaux de tension de sortie sont obtenus (+E=+12V, E=0 et E=-12V), le courant de charge varie d'une façon exponentielle. On peut aussi obtenir sa fréquence entre 25Hz et 100Hz et sa valeur efficace entre (0V et +12V), par l'application de l'équation suivante :

$$V_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T V^2 d\theta \quad (\text{III.1})$$

Ces résultats de simulations trouvés sont analogues à celle de la simulation par Matlab (Chapitre I).

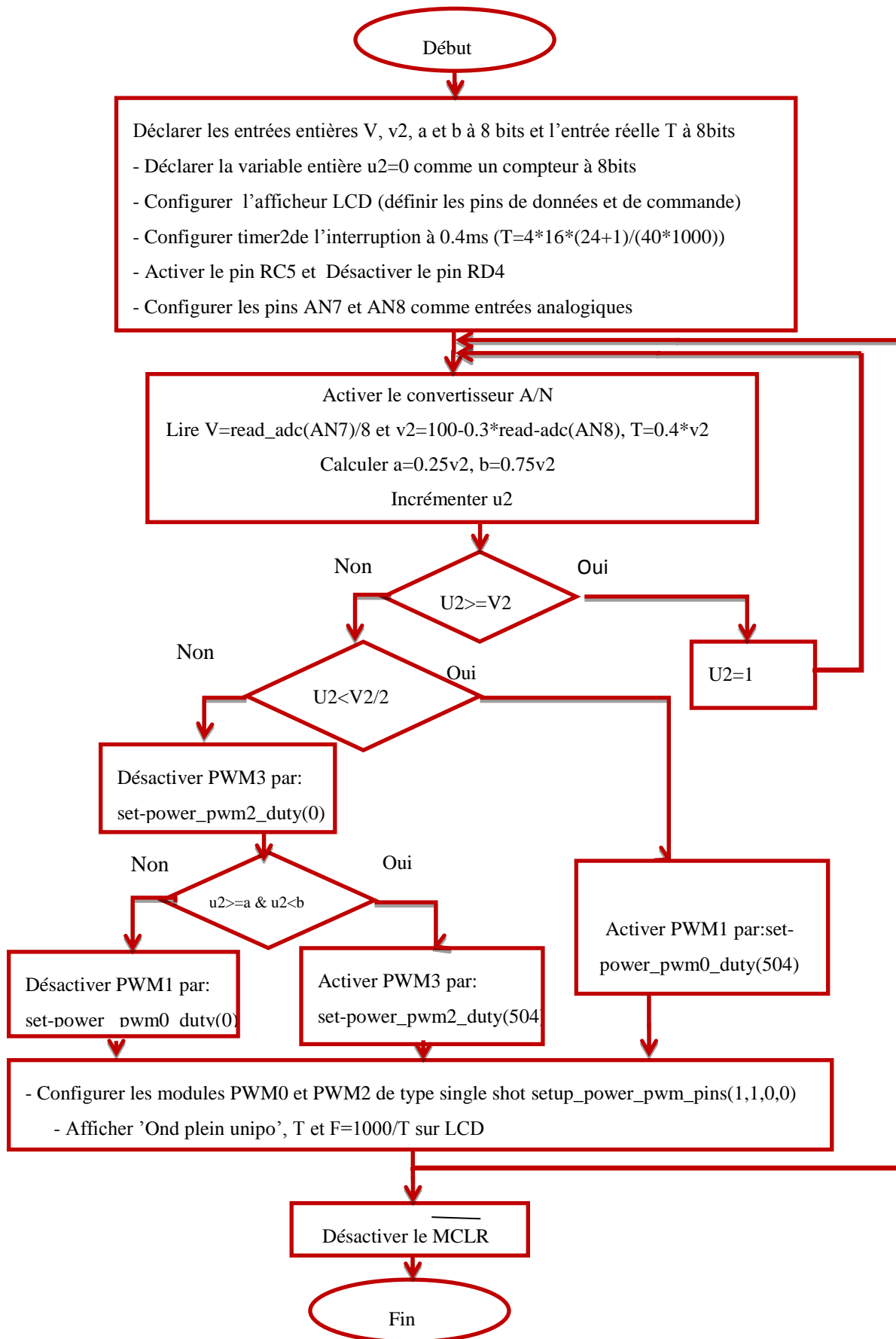


Figure III.11. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur mono-unipolaire

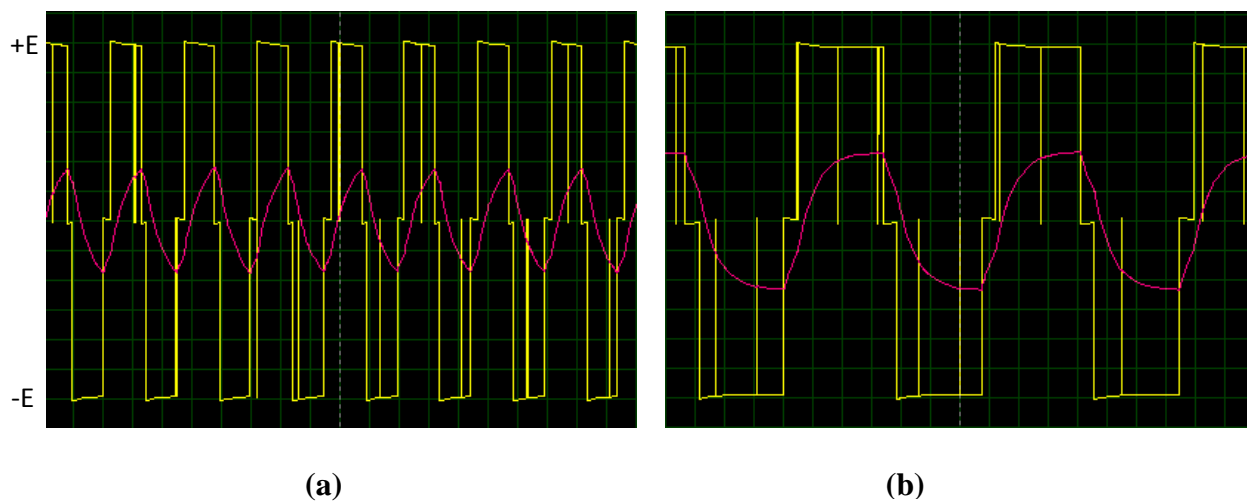


Figure III.12. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#4) par simulation Proteus (5ms/Div)
 Duty=90%, (a): fréquence=80Hz, (b) : fréquence=30Hz

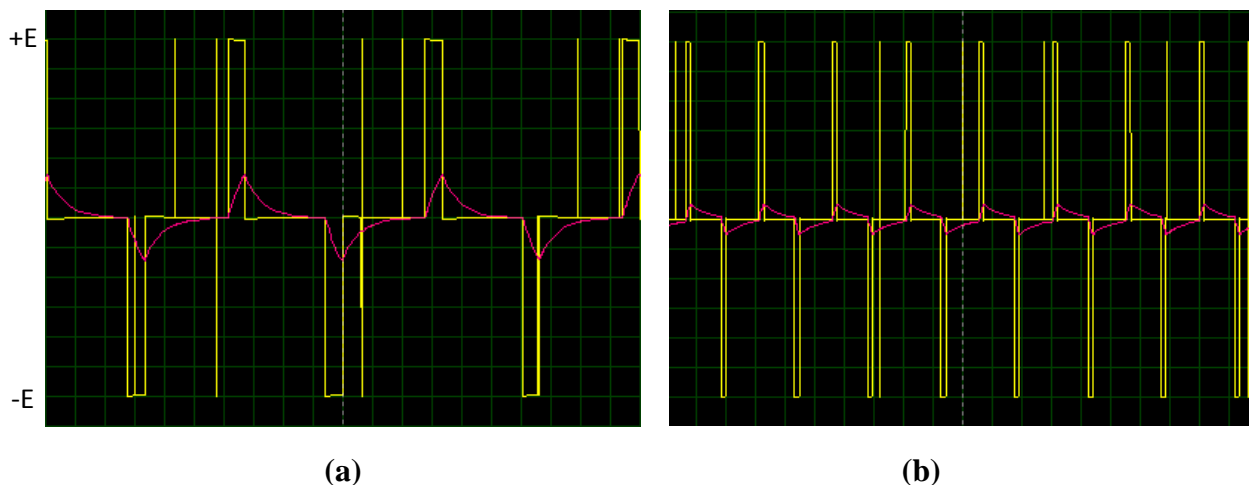


Figure III.13. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#4) par simulation Proteus (5ms/Div)
 Duty=20%, (a): fréquence=80Hz, (b) : fréquence=30Hz

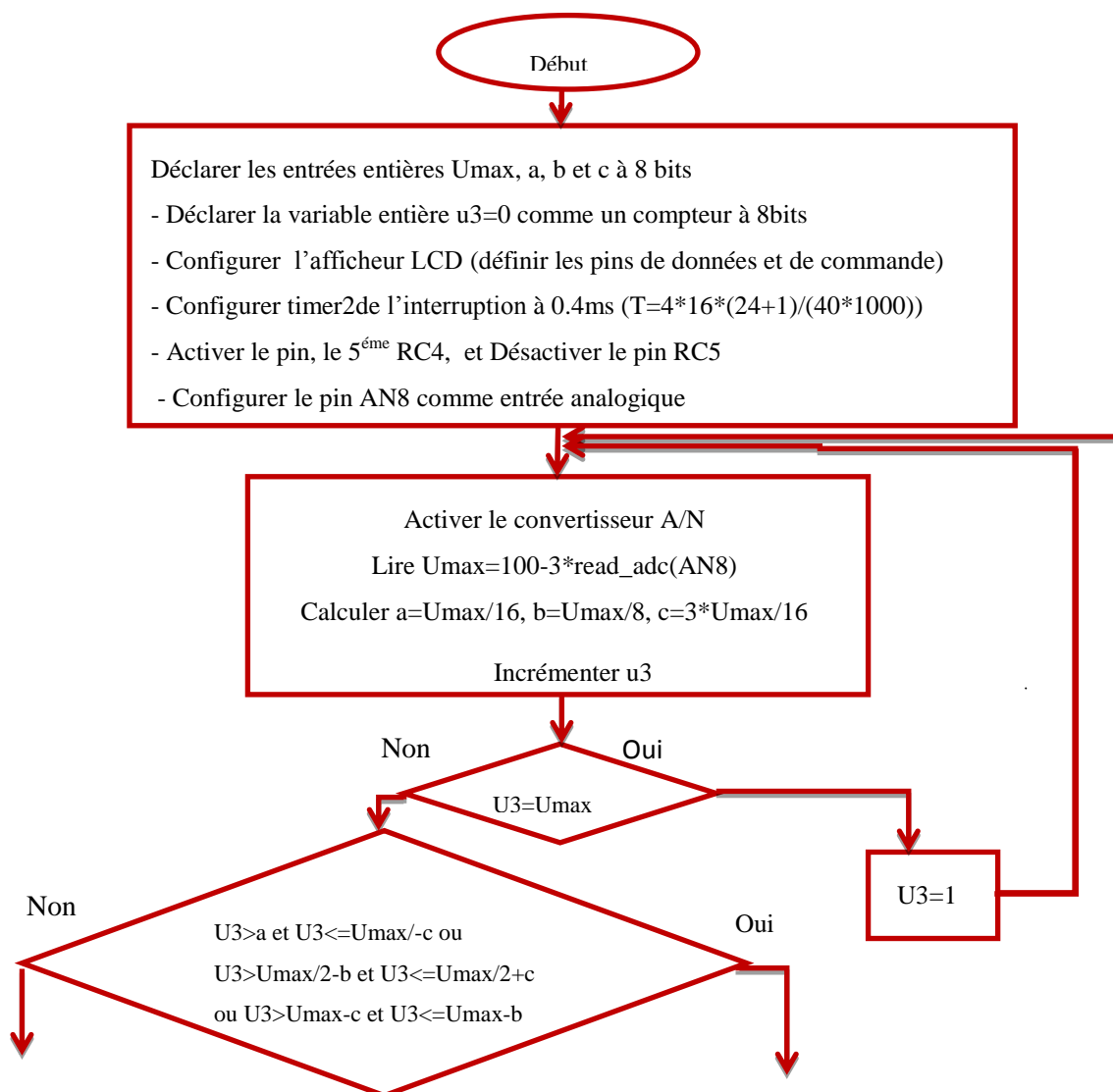
III.5.5. Onduleur monophasé à élimination d'harmonique (Mode#5)

III.5.5.1. Organigramme de la commande MLI

La technique réalisée dans ce circuit est la commande des deux bras du pont L298N par le signal MLI (int1 : PWM1 et int2 : PWM3) de fréquences 25-100Hz. Dans ce cas, on a besoin d'un compteur au niveau de l'interruption pour fixer la fréquence. En outre, il faut aussi fixer des angles a , b , et c pour obtenir une forme MLI comme indiquée par l'organigramme de la Figure III.14.

III.5.5.2. Courbes obtenues

Les courbes de la Figure III. 15, donnent trois niveaux de tension de sortie de fréquence variable entre 25Hz et 100Hz. On constate que la forme d'onde de tension confirme bien le signal étudié en théorie et en simulations par le logiciel Matlab (Chapitre I).



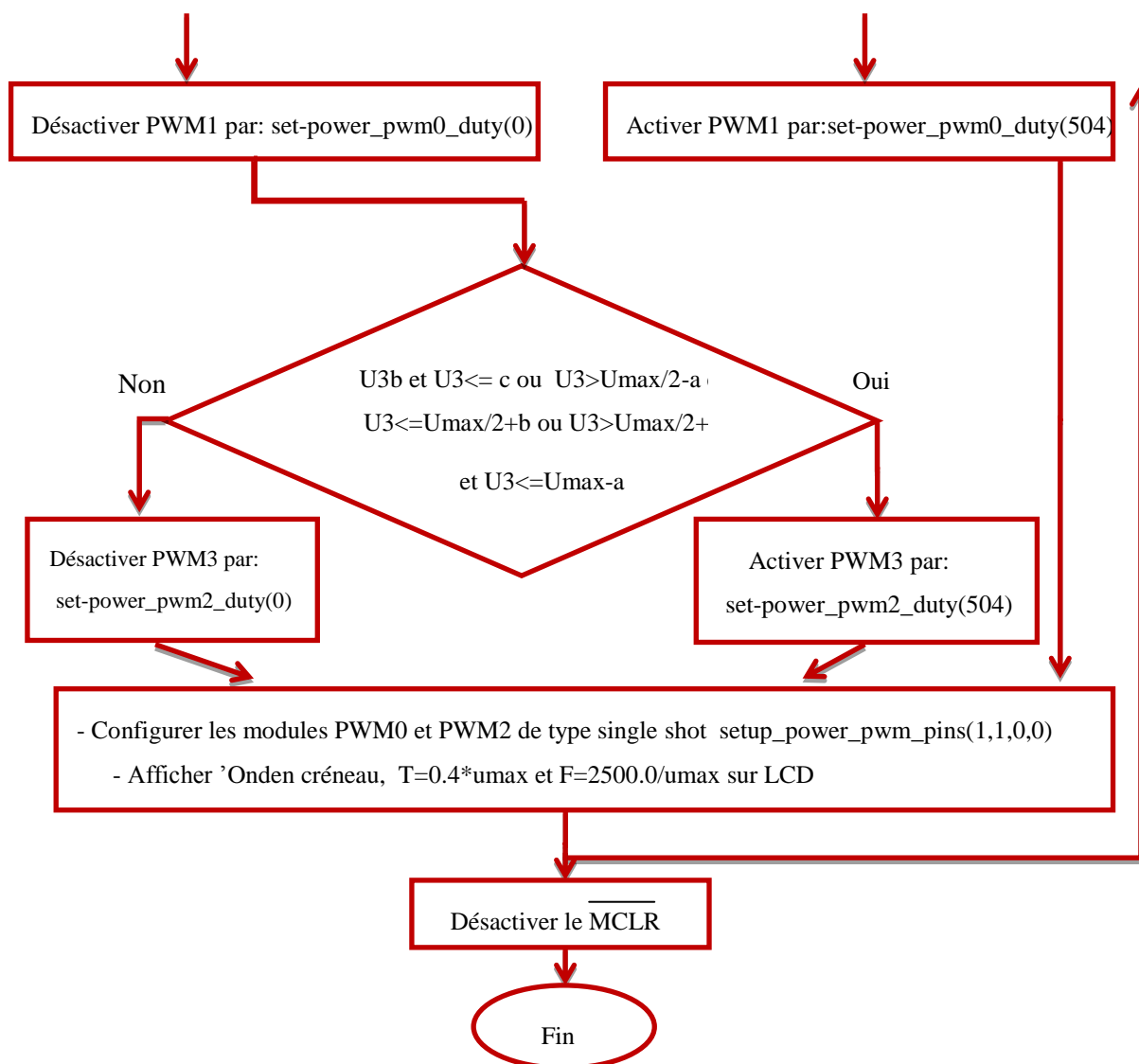


Figure III.14. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur en créneau

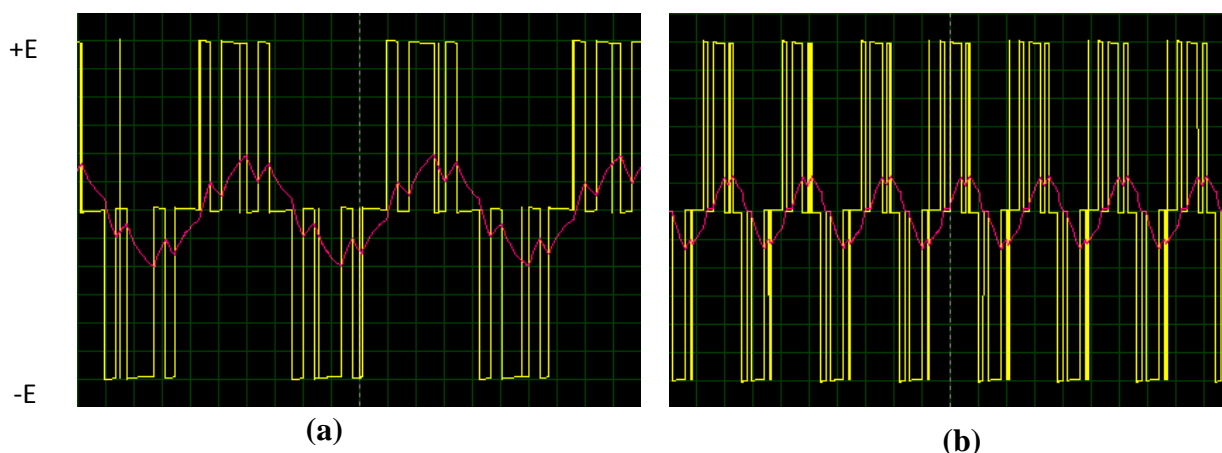


Figure III.15. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#5) par simulation Proteus:

(a) : Fréquence=30Hz, (b) : Fréquence=70Hz

III.5.6. Onduleur monophasé MLI bipolaire (Mode#6)

III.5.6.1. Organigramme de la commande MLI

Pour réaliser un onduleur monophasé MLI bipolaire, il faut commander le pont L298N par deux signaux MLI complémentaires (int1 : PWM1 et int2 : PWM0). Cette commande est générée par un signal de référence sinusoïdal pondéré par la grandeur de commande issue par un potentiomètre. L'utilisation d'un compteur commandé par un signal analogique externe est nécessaire pour cette technique. Dans notre cas, on a utilisé 28 valeurs du signal sinusoïdal. Pour faire passer ses valeurs pour chaque fréquence, on est obligé de commander la durée de l'interruption. L'organigramme de la Figure III.16 montre convenablement les étapes de cette technique de commande. On règle la fréquence qui varie entre 25Hz et 100 Hz, comme on peut régler la valeur efficace de tension.

III.5.6.2. Courbes obtenues

A partir de la Figure III. 17 et la figure III.18, deux niveaux de tension de sortie sont obtenus ($+E=+12V$ et $E= -12V$), le courant de charge varie d'une façon plus proche que le signal sinus. On peut changer sa fréquence qui peut varier entre 25Hz et 100Hz et sa valeur efficace qui peut varier entre (0V et +12V). On observe que les résultats obtenus sont semblables à celle trouvés dans le Chapitre I.

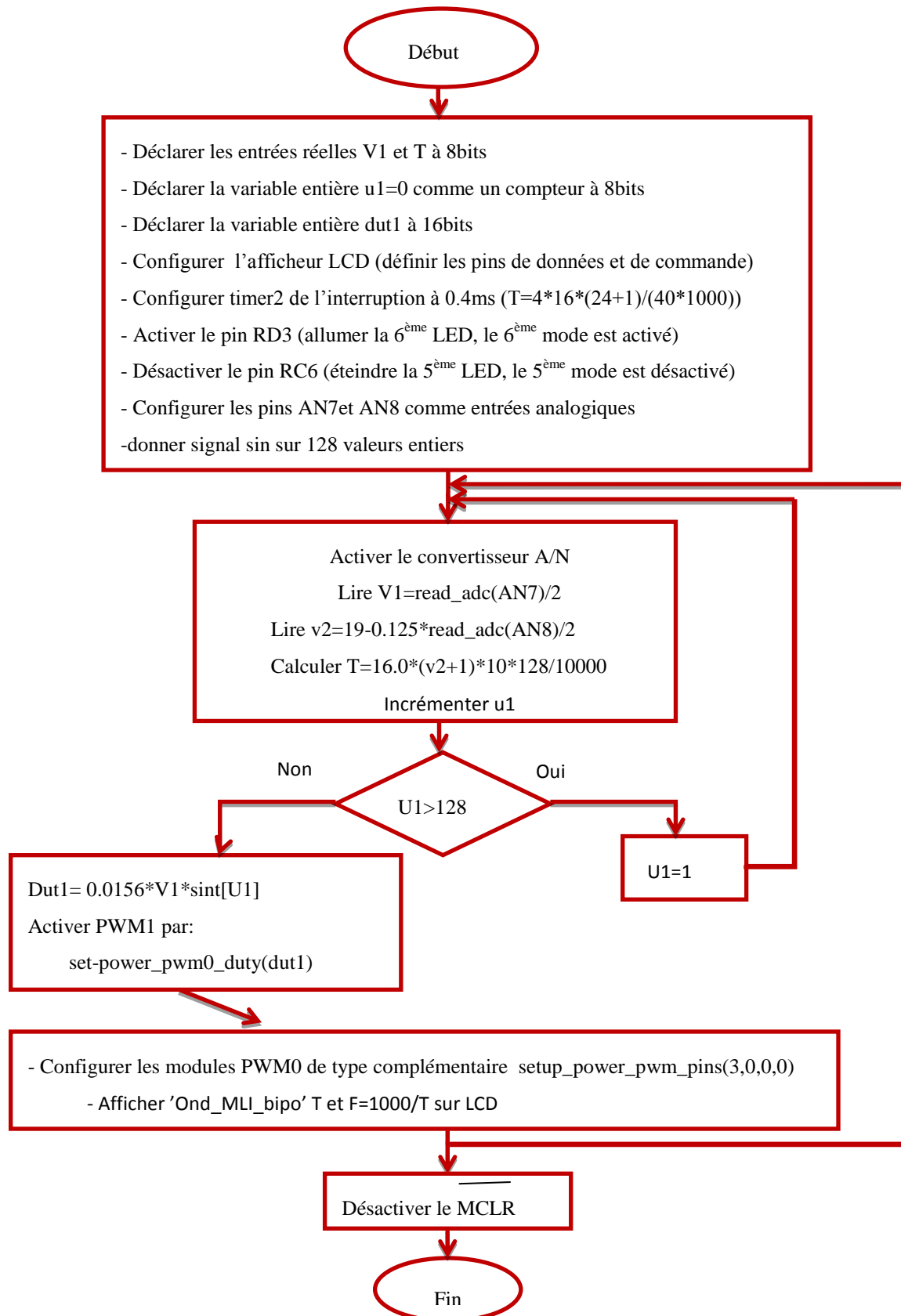


Figure III.16. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur monophasé MLI bipolaire

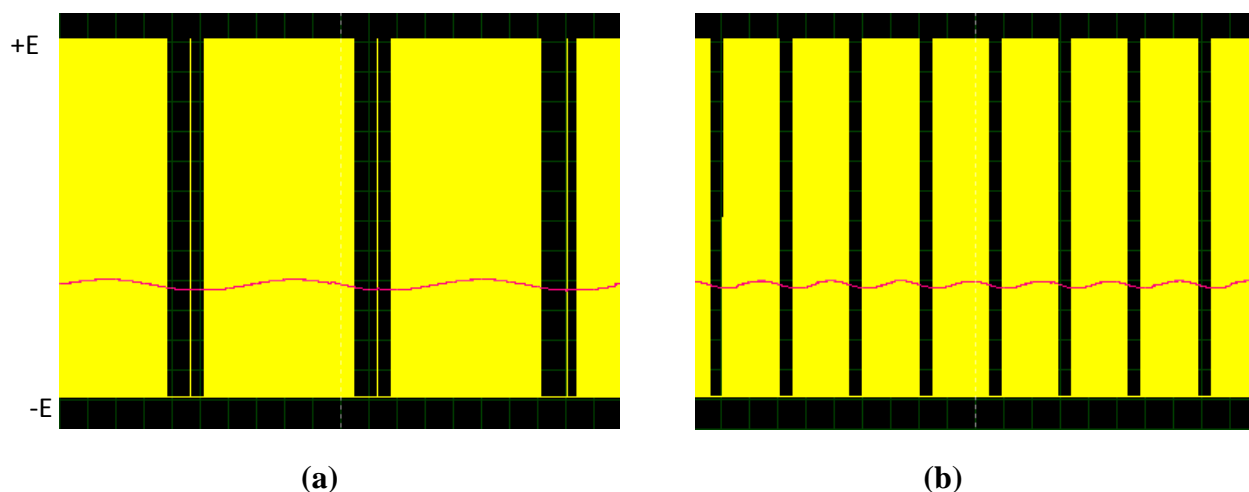


Figure III.17. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#6) par simulation Proteus:(5ms/div):
Duty=10%, Fréquence=30%, (b) : Fréquence=80%

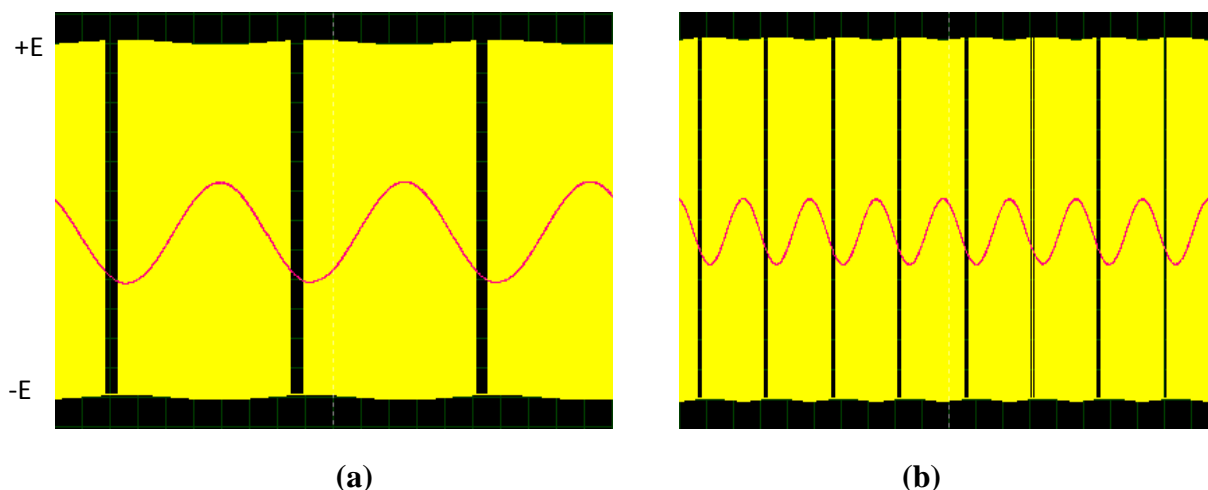


Figure III.18. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#6) par simulation Proteus:(5ms/div)
Duty=85%, (a) : Fréquence=30%, (b) : Fréquence=80%

III.5.7. Onduleur monophasé MLI unipolaire (Mode#7)

III.5.7.1. Organigramme de la commande MLI

Dans cette technique, on a besoin de commander par le signal MLI (int1 : PWM1 et int2 : PWM3) deux bras du pont L298N». On utilise un signal sinus contenant 128 valeurs pour configurer le signal MLI. L'utilisation d'un compteur est nécessaire pour changer la valeur efficace de la tension de sortie. L'organigramme de la Figure III.19 donne le principe de cette technique de commande MLI.

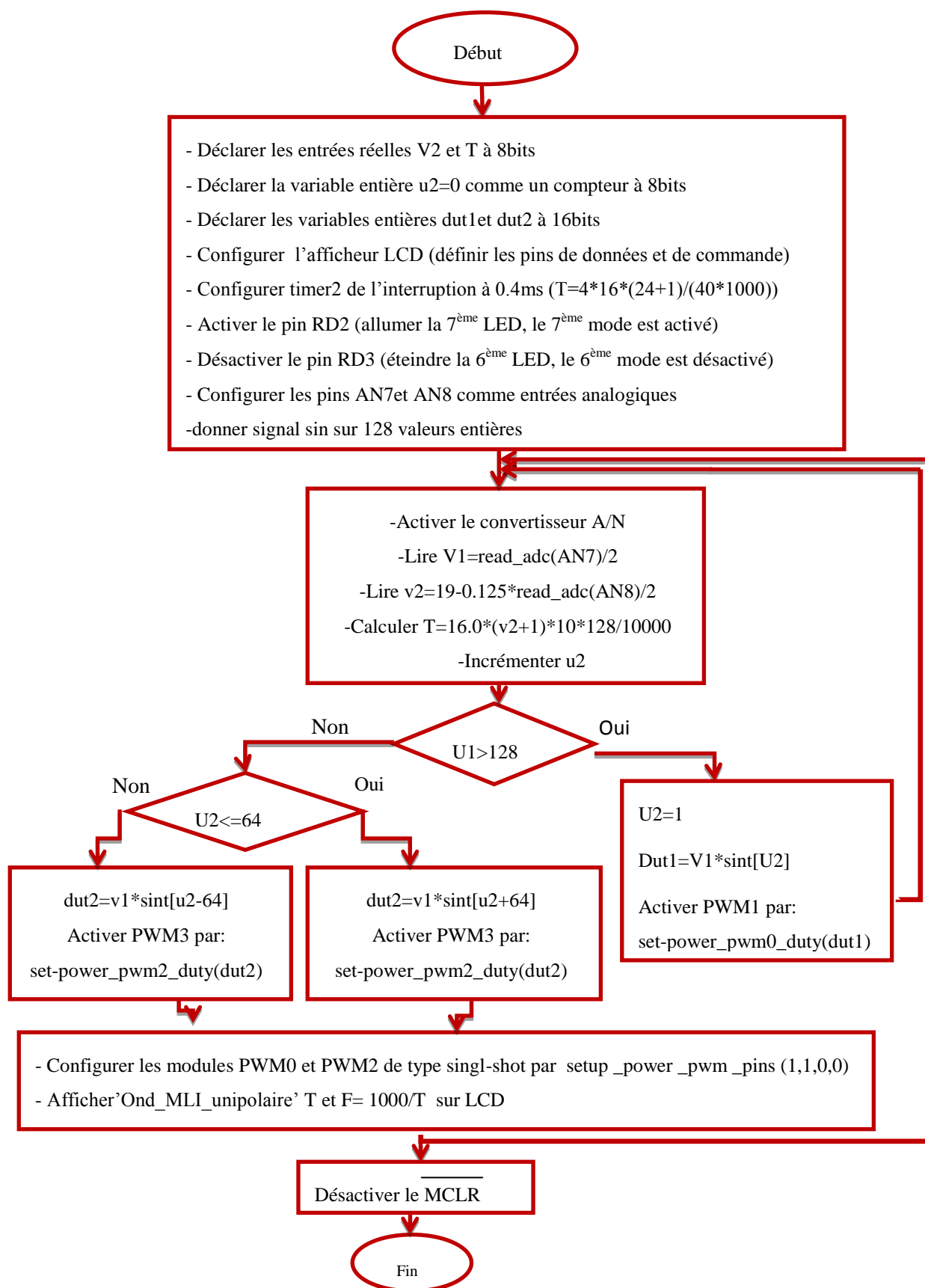


Figure III.19. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur monophasé MLI unipolaire

III.5.7.2. Courbes obtenues

Les allures des Figures suivantes (III. 20 et III.21) montrent trois niveaux de tension de sortie ($+E=+12V$, $E=0$ et $E= -12V$), la forme de courant de charge varie d'une façon plus proche que le signal sinus. On peut changer sa fréquence qui peut varier entre 25Hz et 100Hz et sa valeur efficace qui peut varier entre (0V et +12V). Il est bien clair que ces résultats sont similaires à celles obtenus en simulation Matlab (Chapitre I).

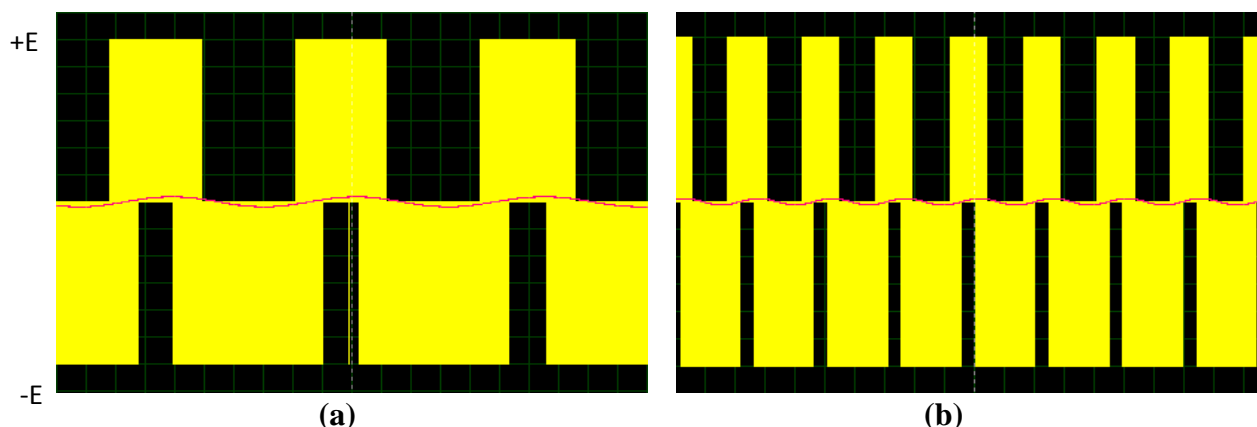


Figure III.20. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#7) par simulation Proteus (5ms/div)duty=10%, (a): Fréquence=30%, (b) : Fréquence=80%

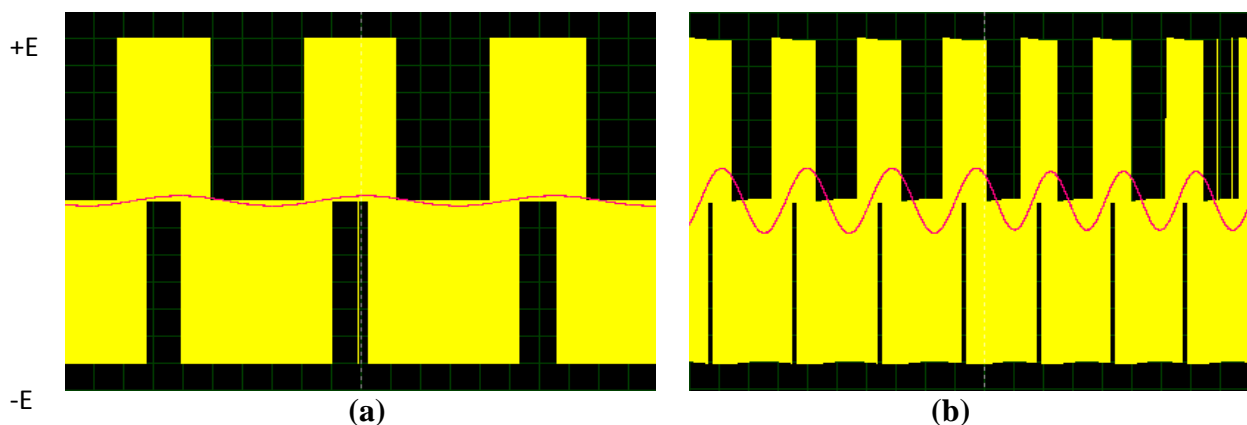


Figure III.21. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#7) par simulation Proteus (5ms/div) duty=85%, (a): Fréquence=30%, (b) : Fréquence=80%

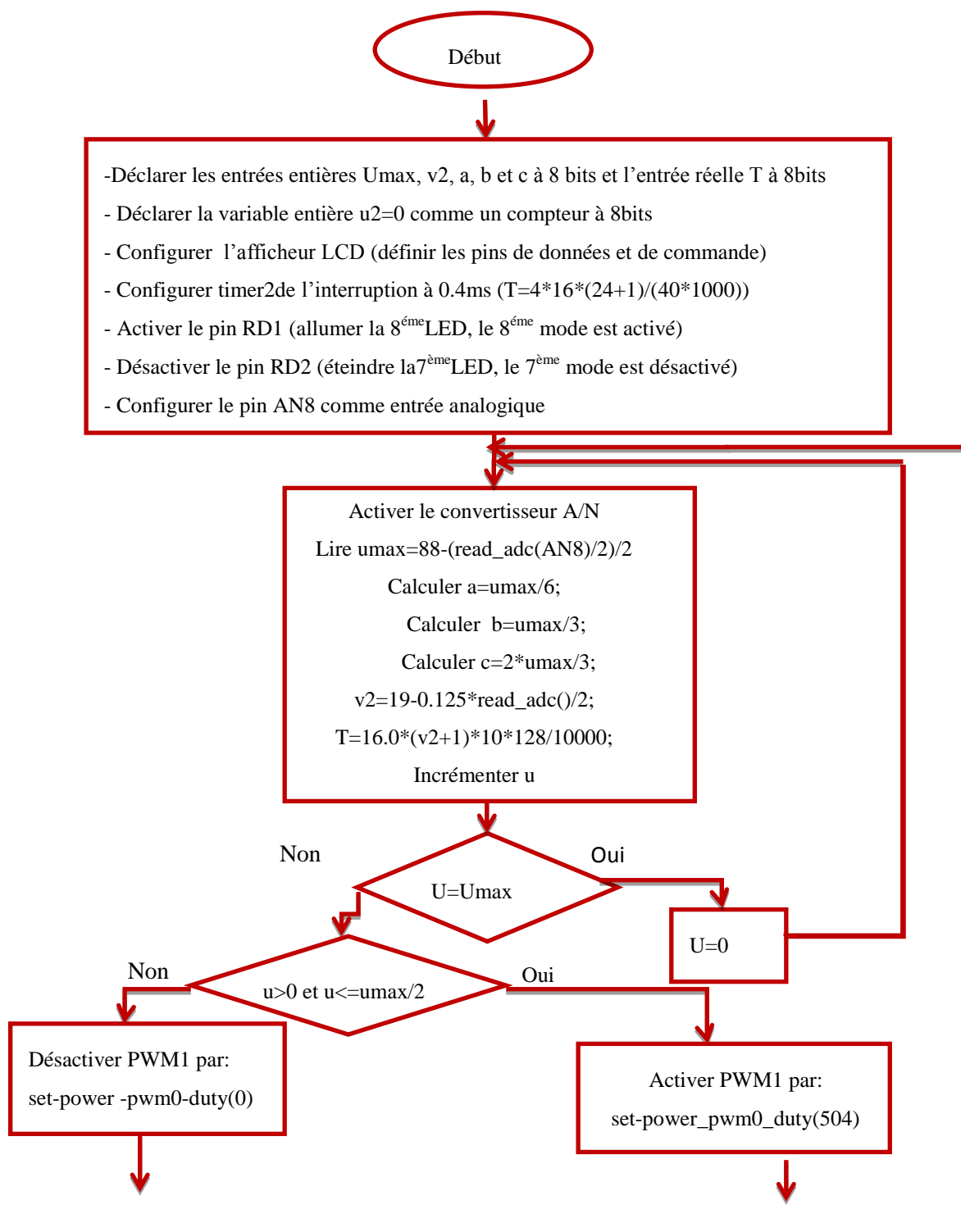
III.5.8. Onduleur triphasé à pleine onde (Mode#8)

III.5.8.1. Organigramme de la commande MLI

Dans ce partie, on a besoin de commander le pont L298N par trois signaux MLI complémentaires (int1 : PWM1, int2 : PWM3 et int3 : PWM5). Ceci conduit à commander les trois bras par trois signaux carrés de fréquences entre 25Hz et 100Hz. La technique est d'utiliser

un compteur commandé par un signal analogique externe. Les commandes doivent être déphasées par un angle de 120° de durées 180° .

L'organigramme de la Figure III.22, permet de comprendre simplement cette commande. Ce type de commande permet de changer uniquement la fréquence des grandeurs de sortie.



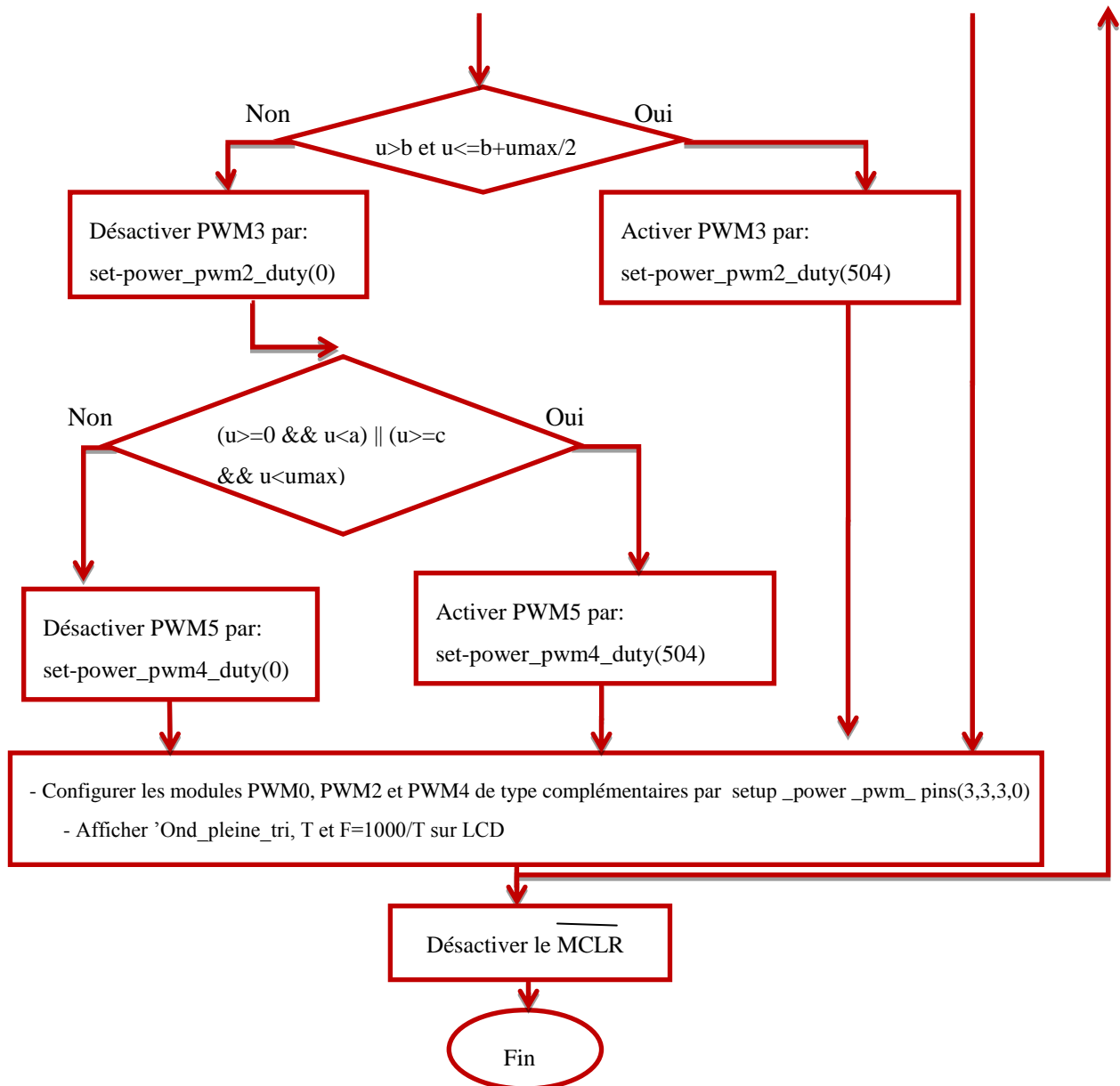


Figure III.22. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur triphasé à pleine onde

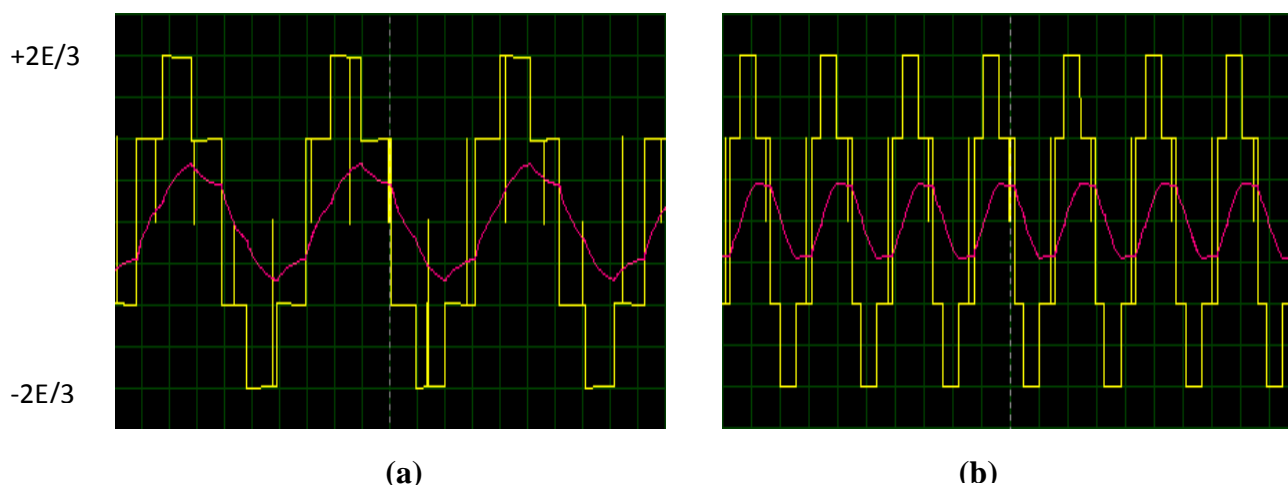


Figure III.23. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#8) par simulation Proteus:

(a) : Fréquence=30Hz, (b) :Fréquence=80Hz.

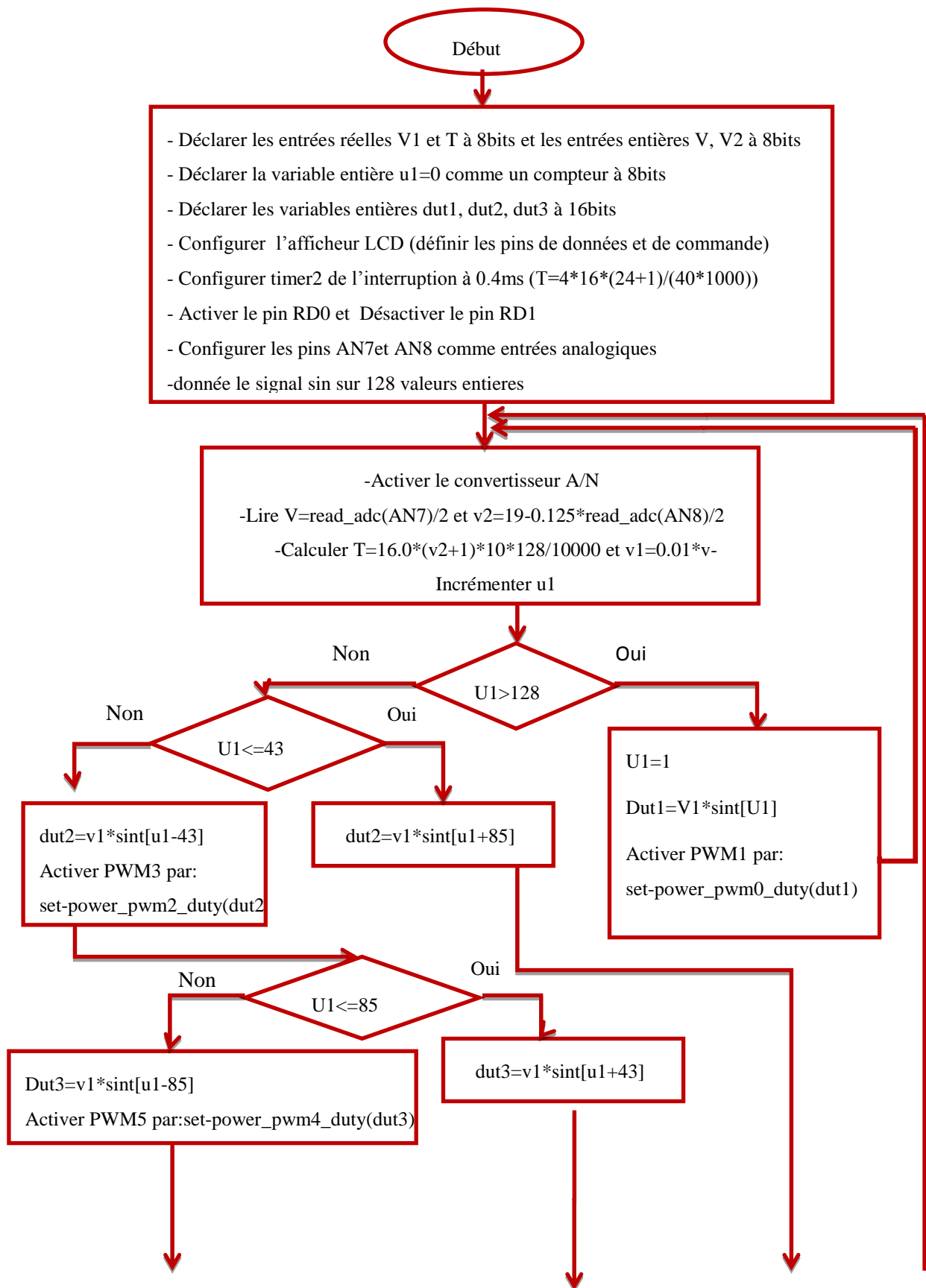
III.5.9. Onduleur triphasé MLI (Mode#9)

III.5.9.1. Organigramme de la commande MLI

Dans cette stratégie de commande, on a besoin aussi de commander le pont L298N par trois signaux MLI complémentaires (int1 : PWM1, int2 : PWM3 et int3 : PWM5). Ceci conduit à commander les trois bras par trois signaux carrés de fréquences entre 25Hz et 100Hz. Trois signaux de référence sinusoïdaux de 128 valeurs doivent être décalés par un angle de 120° . On contrôle la durée de l'interruption pour le réglage de la valeur efficace et on utilise un compteur au niveau de celle ci pour régler la fréquence. L'organigramme de la Figure III.24 résume bien ce mode de fonctionnement.

III.5.9.2. Courbes obtenues

D'après les Figures III.25 et III.26, on a obtenu quatre niveaux de la tension de sortie ($+2E/3$, $E/3$, $-E/3$, $-2E/3$), le courant de charge varie d'une manière plus proche que le signal sinus. On peut changer sa fréquence et sa valeur efficace. Les tracés acquis sont analogues aux signaux résultants par les simulations Matlab du Chapitre I.



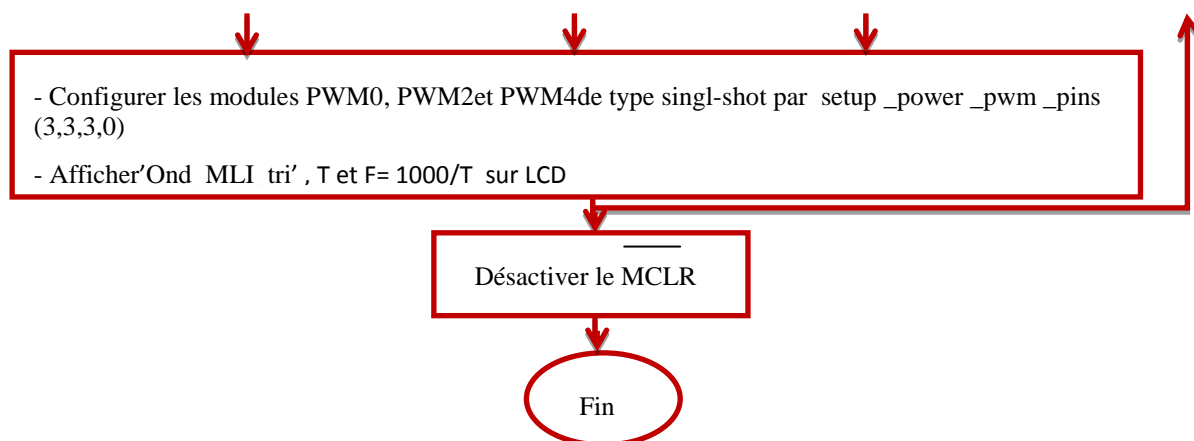


Figure III.24. Organigramme de génération du signal MLI pour un onduleur triphasé MLI

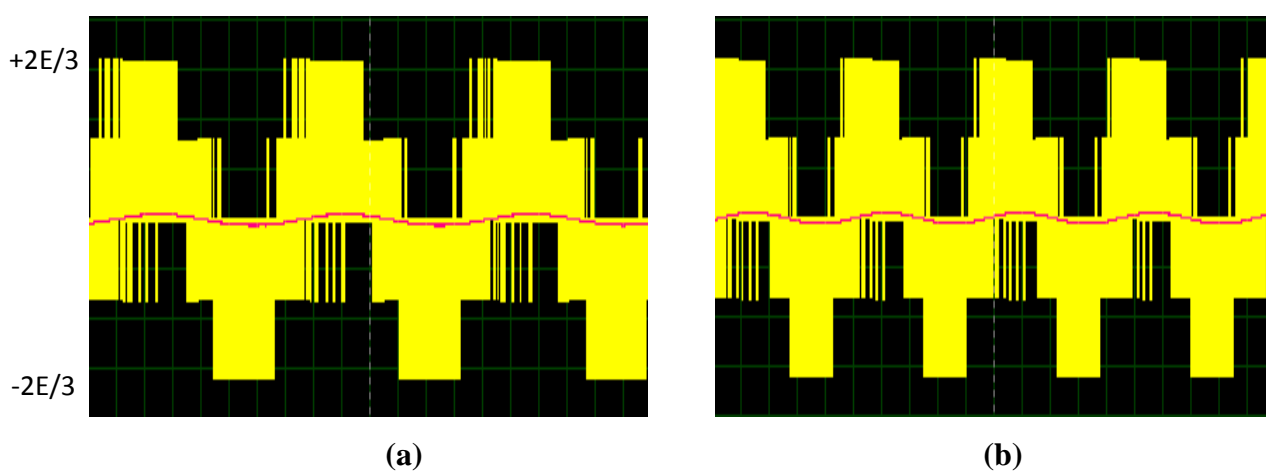


Figure III.25. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#9) par simulation Proteus:

Duty=10%, (a) :Fréquence=30Hz, (b) :Fréquence=80Hz.

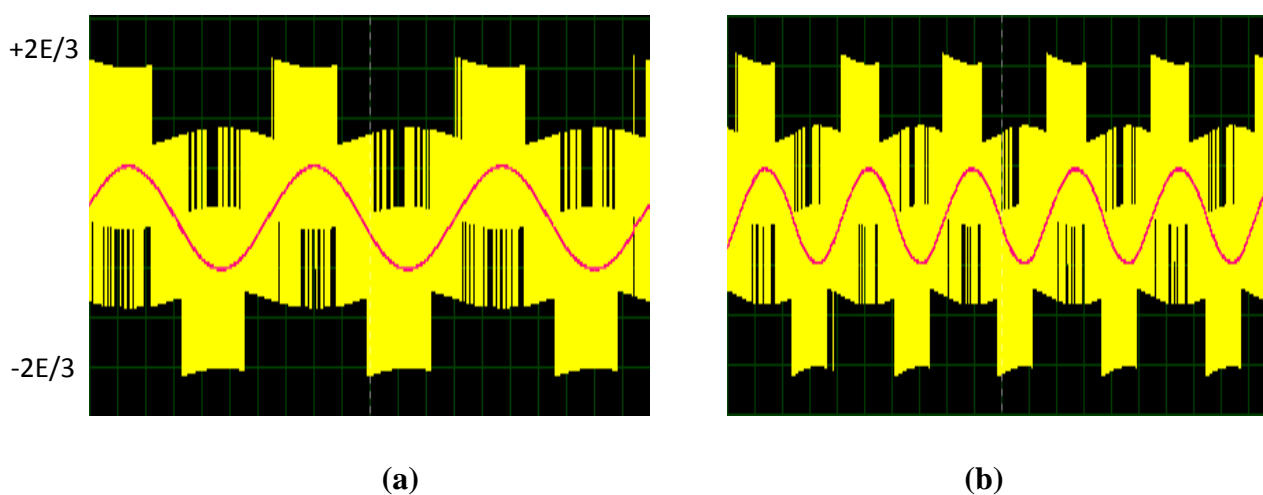


Figure III.26. Allures de tension et de courant obtenus (Mode#9) par simulation Proteus:

Duty=85%, (a) :Fréquence=30Hz, (b) :Fréquence=80Hz.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux différentes parties essentielles pour la conception de notre carte : la partie matérielle (PIC18F4431 et L298N) et la partie logicielle (CCS PICc, MPLAB, et Proteus). Les détails de conception de la commande MLI pour chaque mode de fonctionnement sont bien présentés sous formes d'organigrammes. Des simulations par Proteus sont aussi présentées montrant la bonne concordance avec les résultats trouvés en théorie et en simulation Matlab. Dans le Chapitre qui se suit, on va expliquer en détail les démarches de notre réalisation tout en présentant nos résultats expérimentaux.

IV.1. Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons essayer de mettre en évidence l'aspect pratique de ce que nous avons vu dans les chapitres précédents. Ce qui fait que ce travail a été divisé en deux parties, la réalisation de la maquette matérielle et les résultats obtenus sur le système réel via deux oscilloscopes différents selon les 9 modes de fonctionnement considérés.

IV.2. Réalisation de la maquette matérielle

IV.2.1. Le circuit électrique

Avant de réaliser le circuit imprimé global (Alimentations, circuit de commande et circuit de puissance) par l'outil ISIS/ARES du logiciel Proteus, il faut faire d'abord les câblages nécessaires entre les différents éléments de la carte comme présentés dans la Figure IV.1. La liste des composants pour cette réalisation est montrée par le Tableau. IV.1.

Tableau. VI.1 Liste des composants pour la réalisation de la commande MLI des convertisseurs DC/DC et DC/AC

Désignation	Référence	Quantité
Transformateur	220V/12V AC	01
Pont de diodes	-	01
Condensateur chimique 50V	200uF	01
Régulateur de tension 12V	L7812	01
Condensateurs chimique 16V	470uF	02
Régulateur de tension 5V	L7805	01
Microcontrôleur	PIC18F4431	01
Quartz (cristal)	10MHz	01

Condensateurs céramiques	22pF	02
Potentiomètres	10KOhm	02
Résistances	1KOhm	12
Diodes	3A	06
Afficheur LCD	LCD 2x16	01
Lede-bar		01
Circuit de puissance	L298N	01
Connecteurs	10 pins	01
Connecteurs	3 pins	02
Connecteurs	4 pins	04
Connecteurs	5 pins	04
Connecteurs	16 pins	01
Bouton poussoir	ON/OFF	01
Bouton poussoir		02

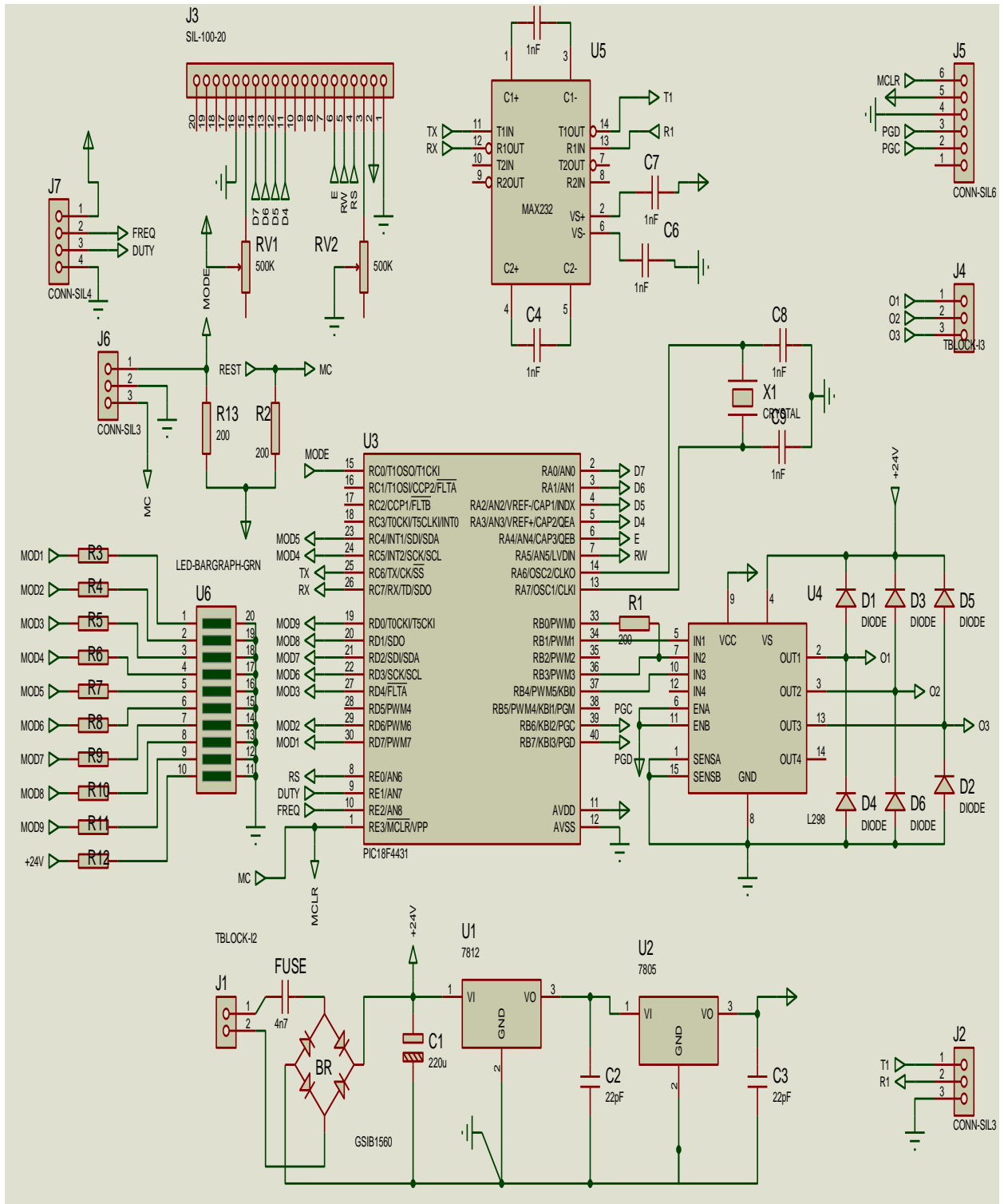


Figure IV.1. Câblage du circuit électrique à réaliser

IV.2.2. Typon

Pour accomplir la suite de la réalisation, la 2^{ème} étape consiste en l'établissement du Typon de la carte. Le Typon est la base qui servira à imprimer les pistes et la localisation des composants sur la carte électronique. Ce n'est qu'une fois le Typon imprimé sur la carte qu'on pourra commencer à installer les composants. Le tracé des pistes est assez compliqué car il s'agit de parvenir à placer toutes les liaisons entre les composants tout en évitant qu'elle ne se court-circuite pas. Pour nous aider dans notre tâche, nous avons utilisé le logiciel de développement ISIS/ARES qui permet justement de créer le Typon en partant du schéma électronique (Figure. IV.1) afin d'obtenir le circuit imprimé final de la Figure. IV.2.

En partant du schéma de la Figure IV.1, on veut réaliser d'une part le schéma d'implantation des composants et d'autre part, sur la même image en symétrique le tracé des pistes. Le tracé des pistes est assez compliqué car il s'agit de parvenir à placer toutes les liaisons entre les composants tout en évitant qu'elles ne se court-circuitent ce qui est difficile surtout dans le cas d'un Typon à simple face (les pistes ne sont imprimées que sur une face de la carte). En effet, la largeur des pistes ainsi que la taille des pastilles ne facilitent pas la tâche. Pour contourner de certaines difficultés sur le parcours des pistes, il faut souvent faire appel à des straps : sorte de ponts qui se trouvent sur la face composants et qui permettent à une piste de contourner d'autres pistes. Pour faire un strap, il suffit d'interrompre la piste (que l'on terminera par une pastille) puis de la reprendre (toujours avec une pastille) à l'endroit le plus pratique, le strap est simplement un morceau de fil qui sera soudé d'une pastille à l'autre assurant ainsi la continuité de la piste.

On a utilisé le logiciel de développement ISIS/ARES qui permet justement de créer le Typon en partant du schéma électronique (Figure. IV.1) afin d'obtenir le circuit imprimé final de la Figure. IV.2. Les lignes vertes apparaissent dans la Figure. IV.2 sont remplacées par les straps dans le circuit imprimé.

Il suffit ensuite d'imprimer ce typon sur un transparent pour pouvoir réaliser l'impression directement sur la carte grâce à une machine spécialement conçue pour ça : elle imprime les pistes sur un côté.

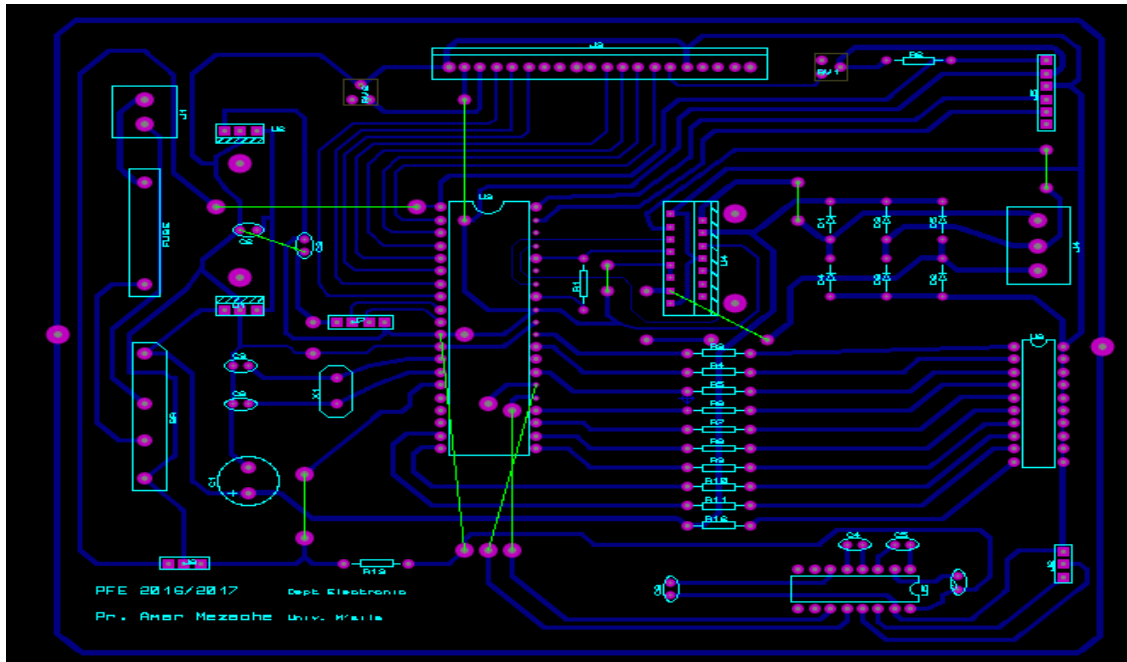


Figure IV.2. Typon de la carte 'ARES'

IV.2.3. Soudage des composants

Une fois cette carte réalisée, il ne reste plus qu'à percer les emplacements appropriés (les pastilles) avant d'y implanter les composants du tableau IV.1.

Le plus simple, lors de cette étape de soudure est de commencer par souder les pièces les moins encombrantes en premier lieu, car une fois les grosses pièces installées, il sera compliqué d'accéder aux emplacements des petites pour les maintenir en place lors du soudage. Nous commencerons donc par souder les straps puis les résistances, les diodes, les interrupteurs, les transistors, les condensateurs,... et nous finirons par les supports de circuits intégrés (PIC et L298N), les potentiomètres... etc.

Les fils et les connecteurs pourront être installés à la fin car ils sont situés en périphérie de la carte (reliés au boîtier). Pour souder n'importe quel composant, il faut tout d'abord percer les trous que nous avons prévus en faisant le Typon de la carte. Ensuite, on fait passer les pattes du composant dans ces trous en le maintenant bien contre la carte. Il faut faire attention car certains composants ne sont pas symétriques (L298N).

La soudure est faite par l'étain et le fer à souder, mais il faut éviter que l'étain fasse un court-circuit en étant en contact avec deux pistes distinctes et la vérification du court-circuit par un multimètre est très importante.

Finalement, on obtient la carte imprimée comme représentée par les Figures IV.3&IV.4.

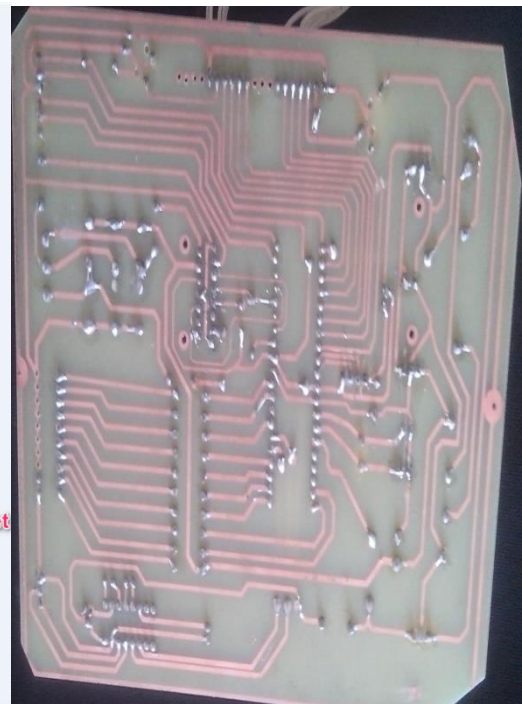
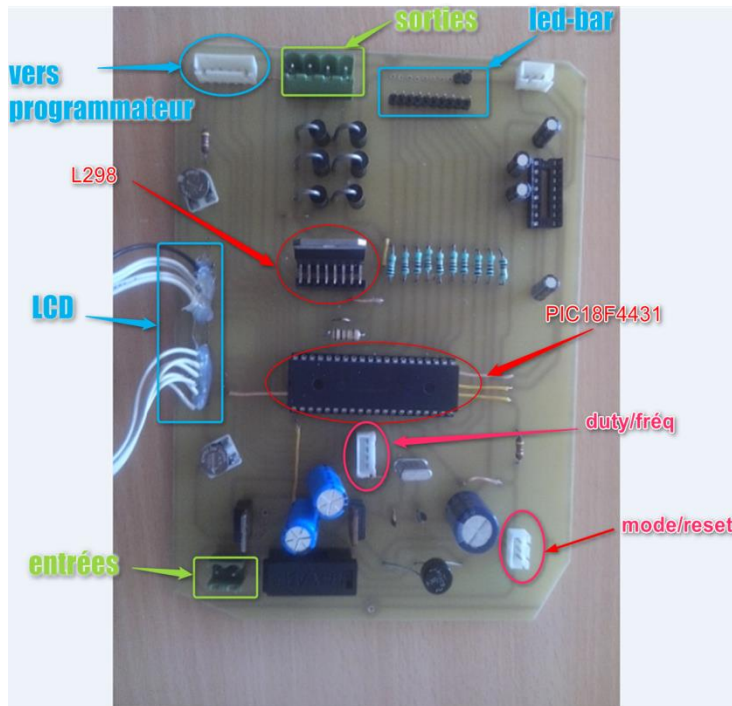


Figure IV.3. Carte terminée (côté composants)

Figure IV.4. Carte terminée (côté pistes)

IV.2.4. Structure générale de la carte réalisée

La structure générale de notre carte est représentée sous forme d'un boîtier. On remarque qu'il n'apparaît à son face externe que les composants de réglage (les deux boutons poussoirs de mode et de reset, deux potentiomètres de rapport cyclique et de fréquence), les connections d'entrées, et de sortie, et les éléments d'affichages (le led-bars et l'afficheur LCD). Tout l'ensemble est mis sous tension si on active le bouton 'ON/OFF'.

A l'intérieur de ce boîtier, on trouve notre carte qui contient le PIC18F4431 (le noyau de cette carte), autour de microcontrôleur se trouvent les différents éléments qui lui permettent de contrôler le système. On a trouvé essentiellement L298N qui est conçu pour la commande des différents types de convertisseurs. Voir le schéma de la Figure IV.5.

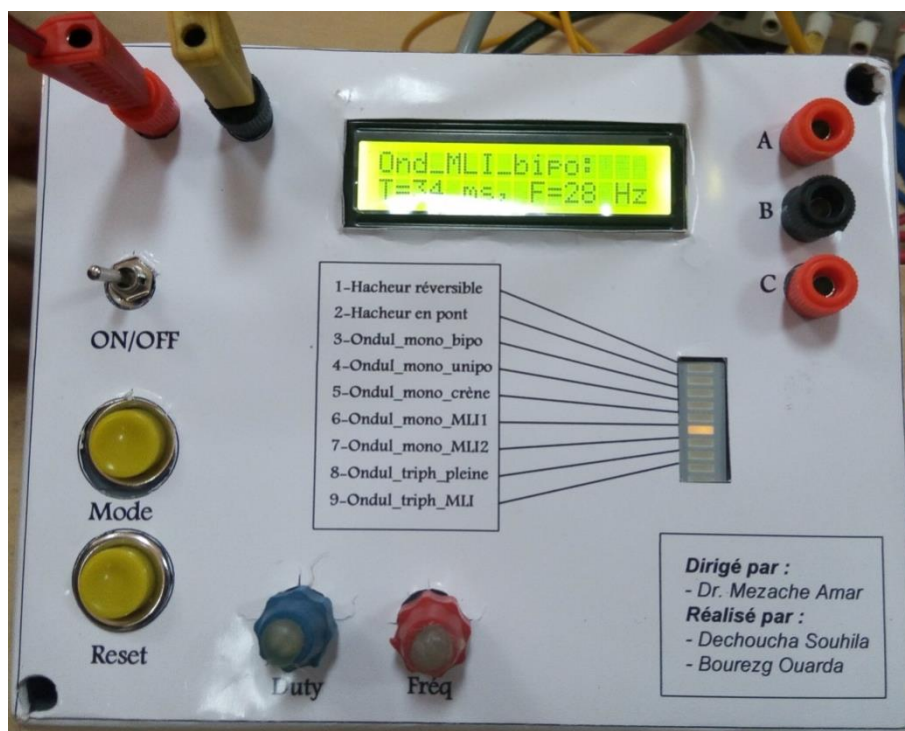


Figure IV.5. Structure générale de la carte réalisée

IV.3. Résultats expérimentaux

Cette section concerne les résultats pratiques relevés lors des essais réalisés. En premier lieu, on présente les résultats représentant seulement les formes de tension de chaque mode, les résultats sont enregistrés par un oscilloscope numérique à l'intermédiaire d'un flash disque puis on va reprendre les résultats (tension et courant) par un autre oscilloscope.

IV.3.1. Cas d'une charge résistive

IV.3.1.1. Hacheur réversible en courant (mode #1)

Les Figures IV.6 et IV.7 montrent respectivement les tensions d'un hacheur réversible en courant sens (1) avec un rapport cyclique: Duty = 11 % et sens (2) avec un rapport cyclique: Duty = 13 %, cette fois on a utilisé une résistance de 100 Ω .

On constate que les formes d'ondes de tension est identiques à celles obtenus en théorie, en simulation Matlab dans le chapitre I et par simulation Proteus dans le chapitre III.

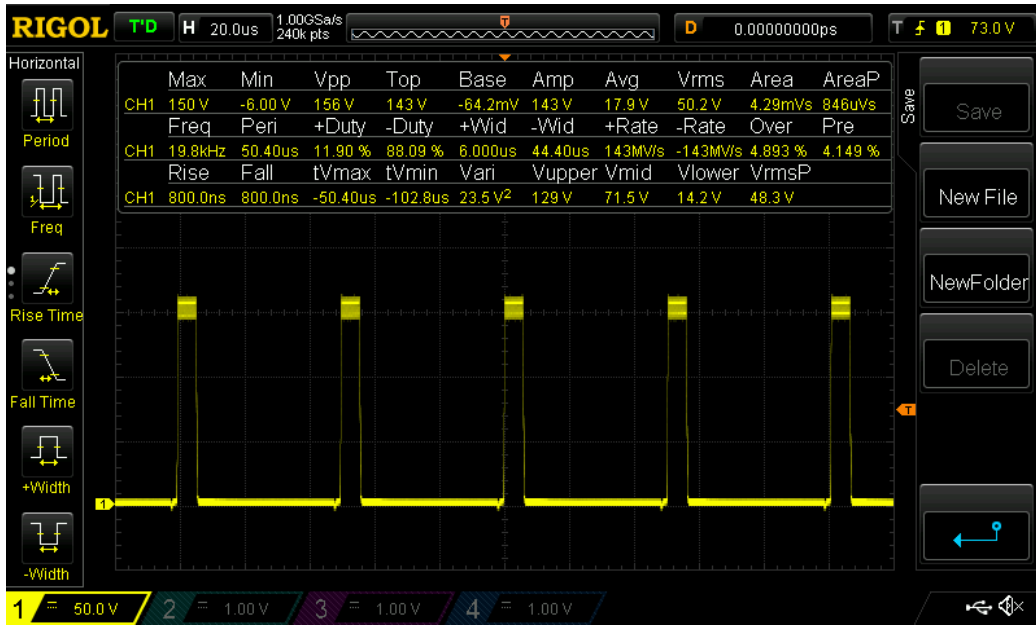


Figure IV.6. Allures de tension et de courant obtenus (mode #1) par oscilloscope réelle sens1:
Duty= 11 %

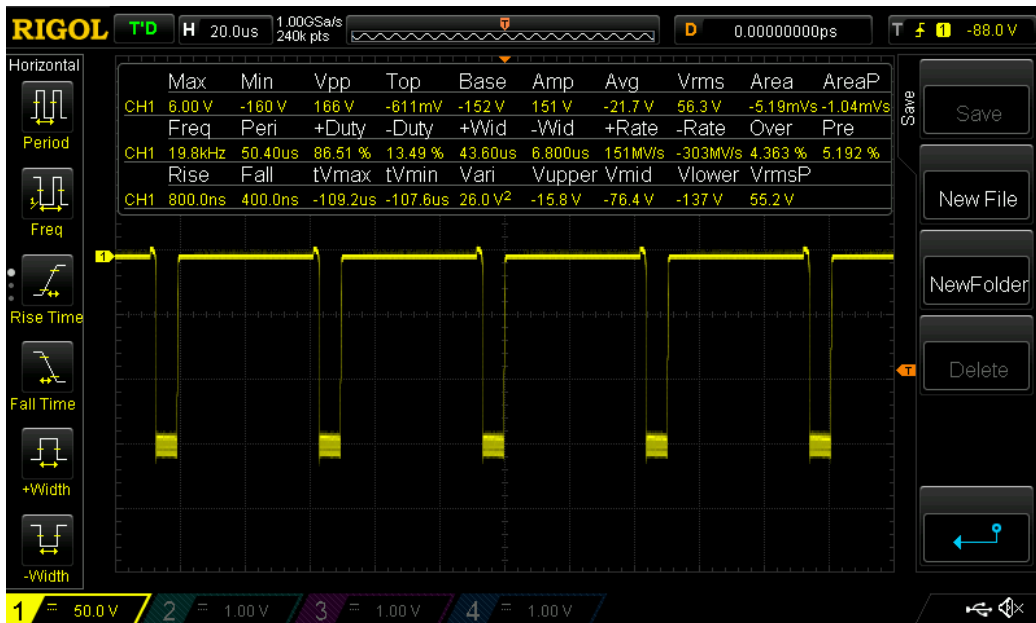


Figure IV.7. Allures de tension et de courant obtenus (mode #1) par oscilloscope réelle: sens2
Duty = 13 %

IV.3.1.2. Hacheur en pont (mode#2)

La courbe de la Figure IV.8 représente la tension aux bornes d'une charge résistive ($R=100\Omega$) d'un hacheur en pont avec rapport un cyclique: Duty = 16 %. On constate que la forme d'onde

de tension confirme bien le signal étudié en théorie et les simulations trouvées dans le chapitre I par le logiciel Matlab et dans le chapitre III par le logiciel Proteus.

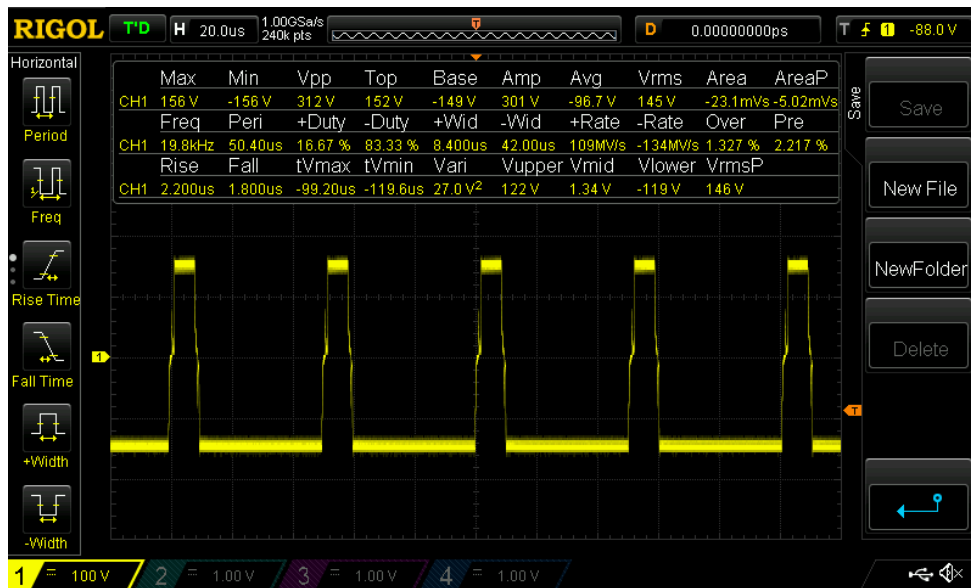


Figure IV.8. Allures de tension et de courant obtenus (mode#2) par oscilloscope réelle: Duty = 16 %

IV.3.1.3. Onduleur monophasé bipolaire (mode#3)

La courbe de la FigureIV.9 représente la tension aux bornes d'une charge résistive monophasé ($R=100\Omega$) d'un onduleur monophasé bipolaire avec une fréquence = 50 Hz. On observe que les résultats obtenus sont semblables à celle trouvés dans le chapitre I et dans le chapitre III

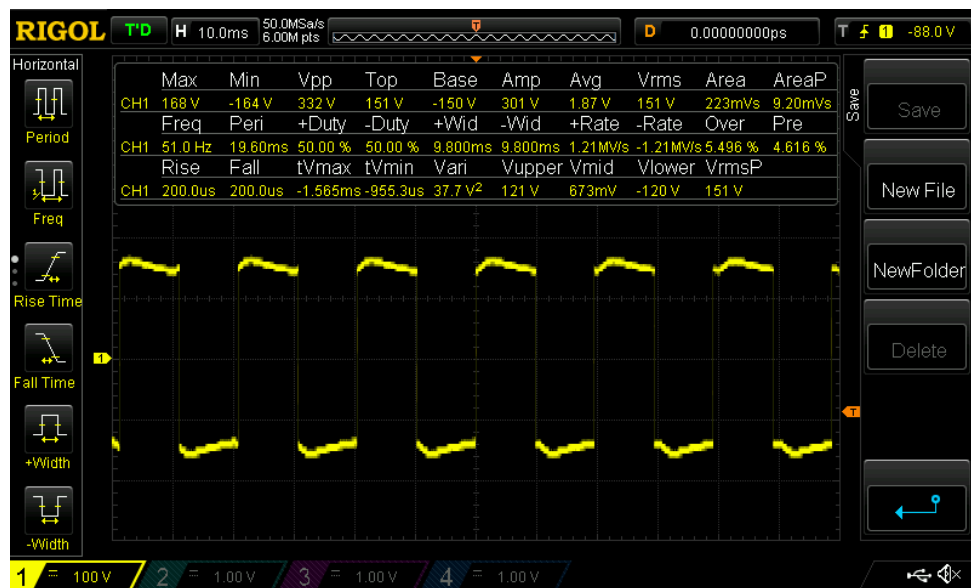


Figure IV.9. Allures de tension et de courant obtenus (mode#3) par oscilloscope réelle:

Fréquence = 50 Hz

IV.3.1.4. Onduleur monophasé unipolaire (mode#4)

La Figure IV.10 montre la tension aux bornes d'une charge résistive monophasé ($R=100\Omega$) d'un onduleur monophasé unipolaire d'une fréquence = 60 Hz. Ces résultats sont en concordance à celles obtenus en théorie et en simulation Matlab (Chapitre I) et par simulation Proteus dans le chapitre III.

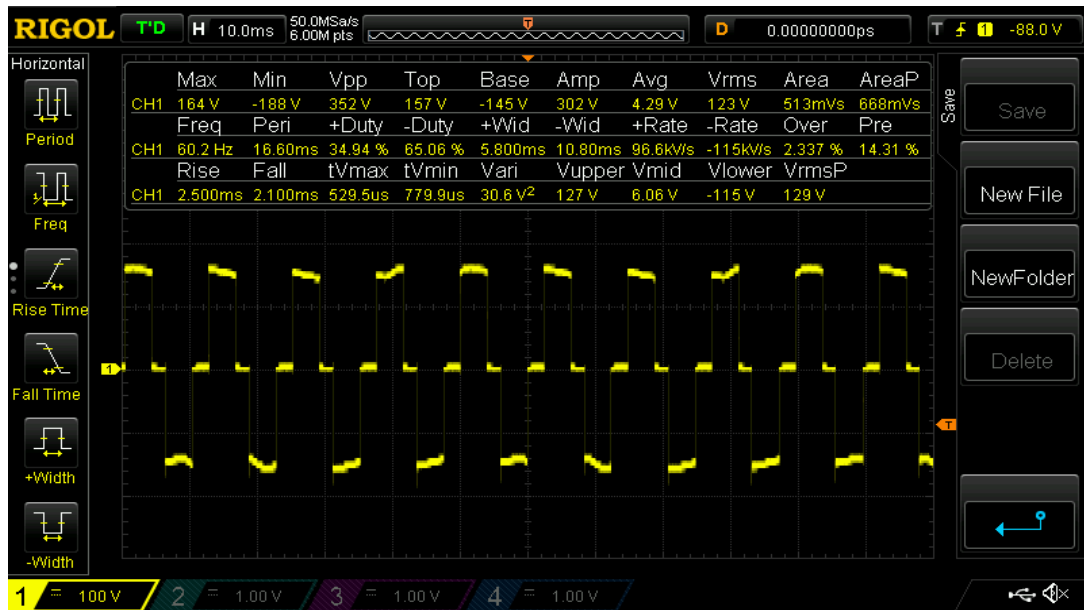


Figure IV.10. Allures de tension et de courant obtenus (mode#4) par oscilloscope réelle:
Fréquence = 60 Hz

IV.3.1.5. Onduleur monophasé en créneau (mode#5)

A partir de la Figure III. 11, il est bien clair que la tension de charge a une forme carrée réglable et représente la même forme obtenue en théorie, en simulation Matlab (Chapitre I) et en simulation Proteus (chapitre III). Cet enregistrement est d'un onduleur monophasé en créneau avec une fréquence = 75Hz.

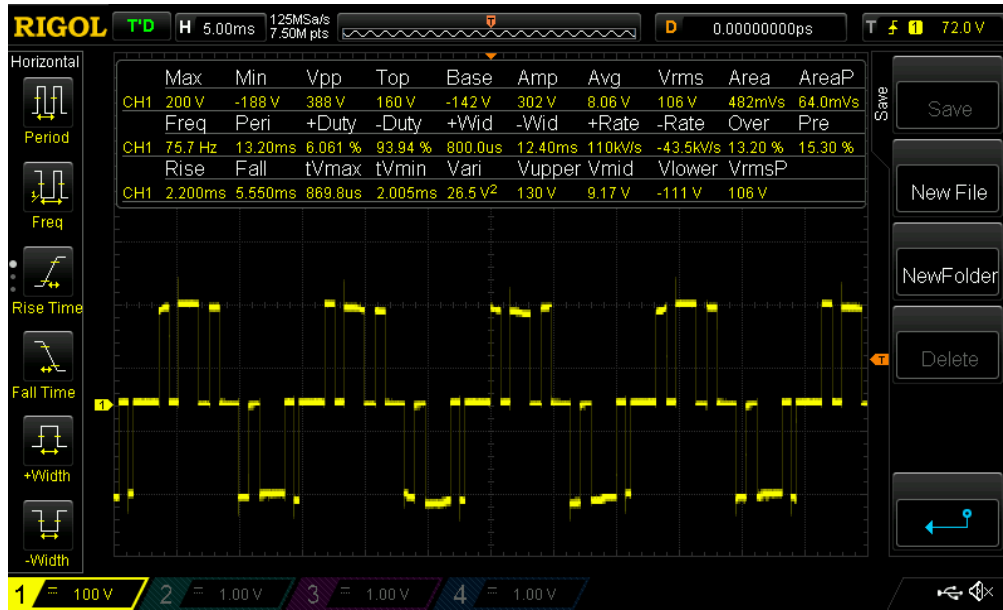


Figure IV.11. Allures de tension et de courant obtenus (mode#5) par oscilloscope réelle:
Fréquence = 75 Hz

IV.3.1.6. Onduleur monophasé bipolaire MLI (mode#6)

La courbe de la FigureIV.12 représente la tension de charge résistive monophasé (R=100Ω) d'un onduleur monophasé bipolaire MLI avec une fréquence = 50 Hz. On remarque bien apparition des angles de commutation des semi-conducteurs dont les tracés acquis sont analogues aux signaux résultants par les simulations Matlab et par simulation Proteus.

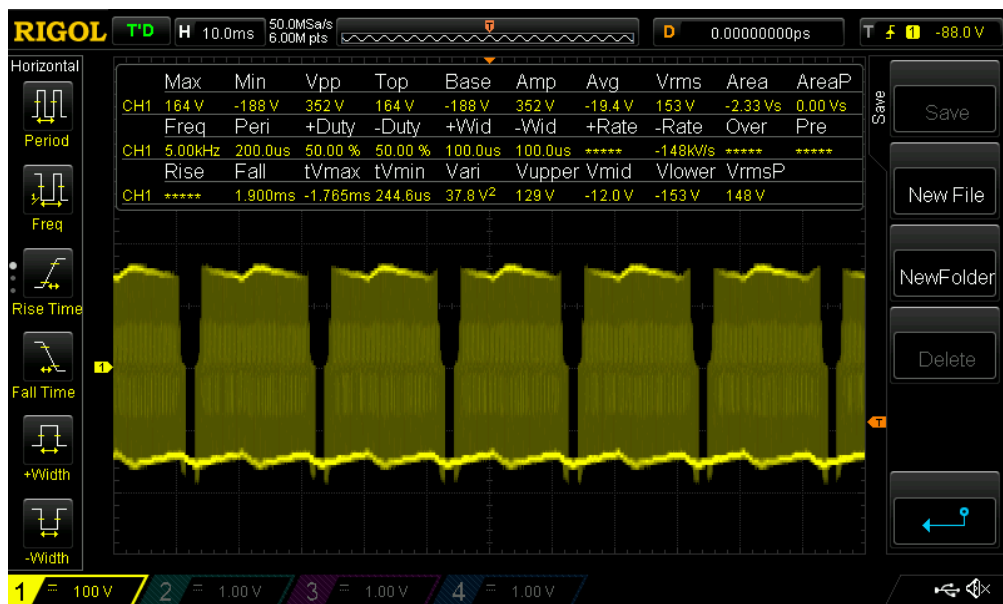


Figure IV.12. Allures de tension et de courant obtenus (mode#6)par oscilloscope réelle:
Fréquence = 50 Hz

IV.3.1.7. Onduleur monophasé unipolaire MLI (mode#7)

La courbe de la FigureIV.13 représente la tension aux bornes d'une charge résistive monophasé ($R=100\Omega$) d'un onduleur monophasé unipolaire MLI avec une fréquence = 57 Hz. On trouve que la forme d'onde de cette tension justifie bien les formes étudiées en théorie et les simulations trouvées dans le chapitre I par le logiciel Matlab et dans le chapitre III par le logiciel Proteus.

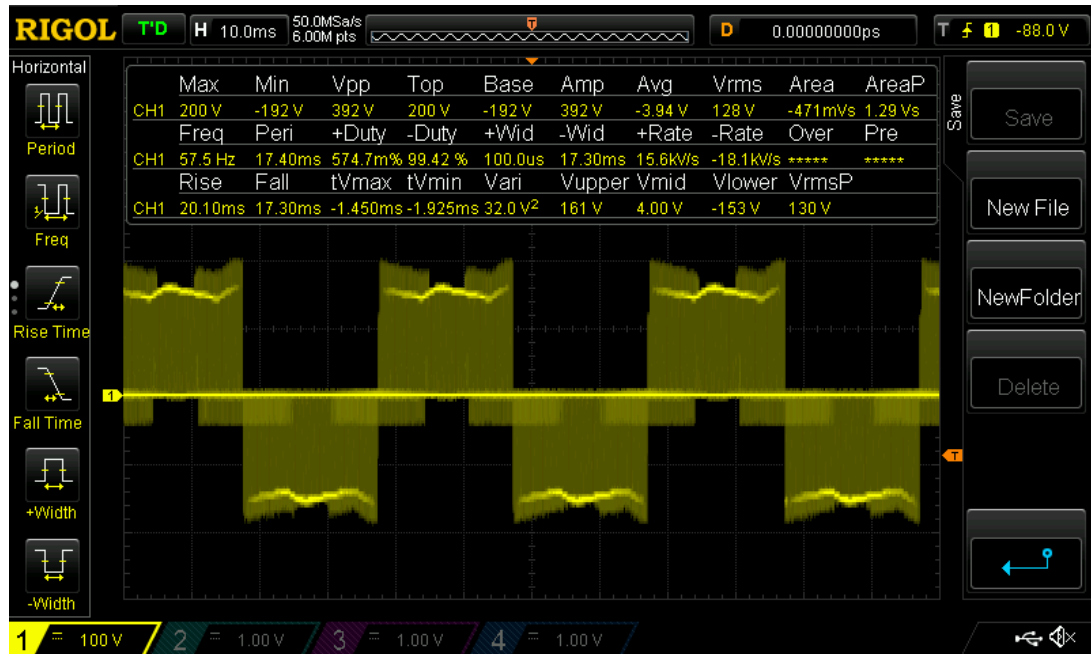


Figure IV.13. Allures de tension et de courant obtenus (mode#7) par oscilloscope réelle:

Fréquence = 57 Hz

IV.3.1.8. Onduleur triphasé pleine onde (mode#8)

La FigureIV.14 représente la tension aux bornes d'une charge résistive triphasé ($R=100\Omega$) d'un Onduleur triphasé pleine onde avec une fréquence = 50 Hz. On voit que les allures enregistrées ont quatre niveaux comme indiqués par les tracés de Simulink-Matlab et par Proteus (chapitre I et III).

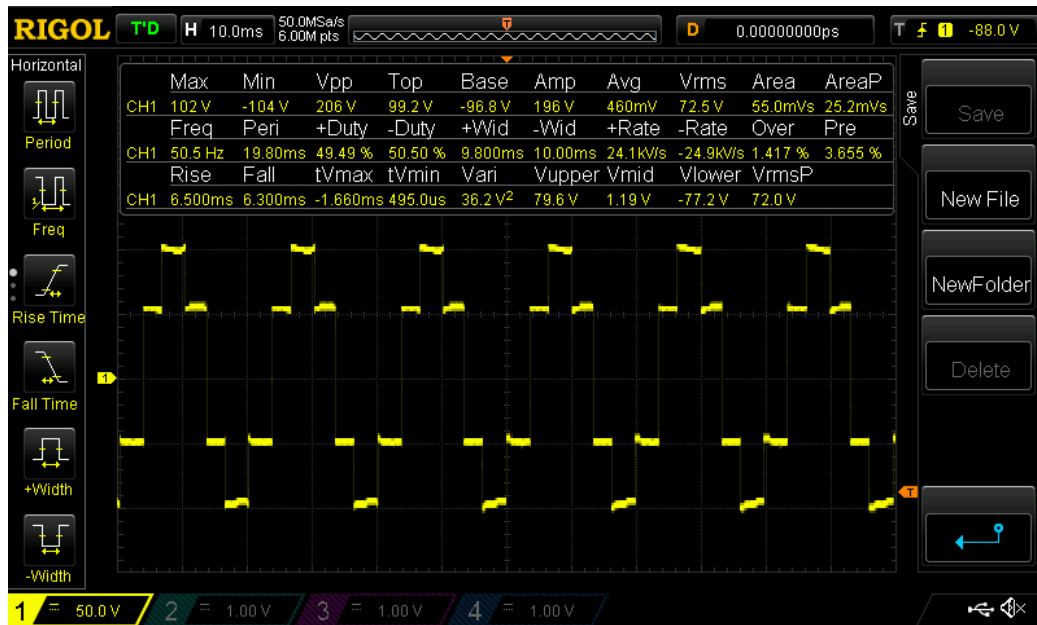


Figure IV.14. Allures de tension et de courant obtenus (mode#8) par oscilloscope réelle:
Fréquence = 50 Hz

IV.3.2. Cas d'une charge inductive

On peut maintenant visualiser ces courbes par un autre oscilloscope mais cette fois on a enregistré le courant (en rouge) pour certains modes. Le montage de la charge inductive utilisée est représenté par le schéma de la Figure IV.15 et les résultats sont apparait dans les Figures IV.16- IV.20.

Les courants obtenus dans tous les enregistrements des Figures IV.16-IV.20 ont une forme exponentielle due à la présence de l'inductance. Donc, on peut dire que l'inductance joue un rôle de lissage de la forme de courant. Pour le cas des hacheurs, on a utilisé une charge inductive ($R=100\Omega$, $H=5mH$) et pour le cas des onduleurs, on a utilisé une charge inductive ($R=100\Omega$, $H=300mH$).

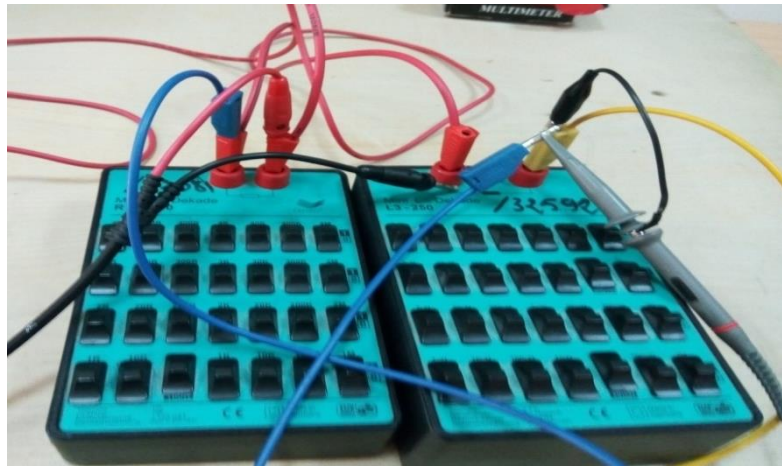


Figure IV.15. Charge RL variable

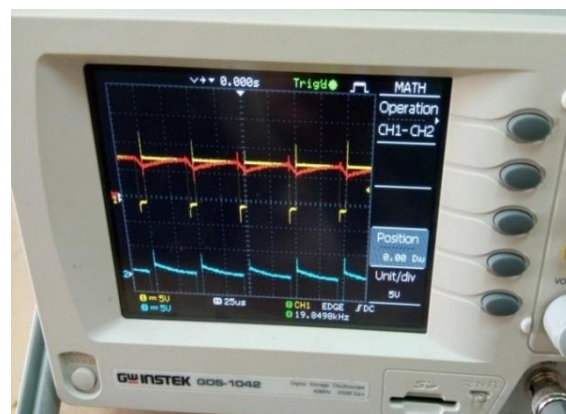
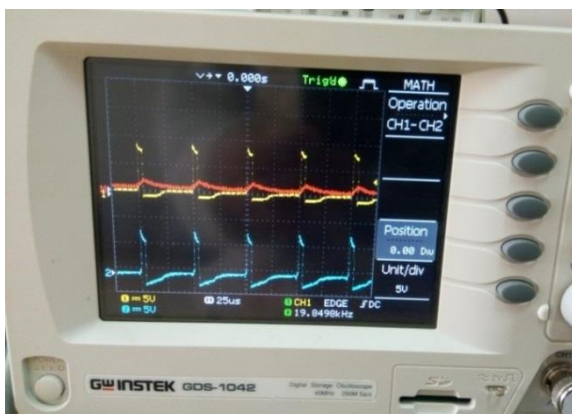
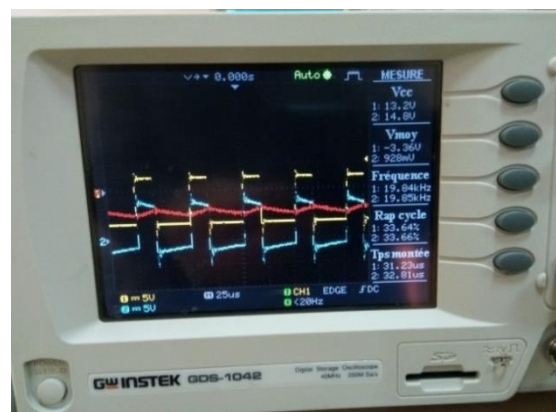


Figure IV.16. Hacheur réversible en courant 'sens1' avec 2 valeurs différentes du rapport cyclique



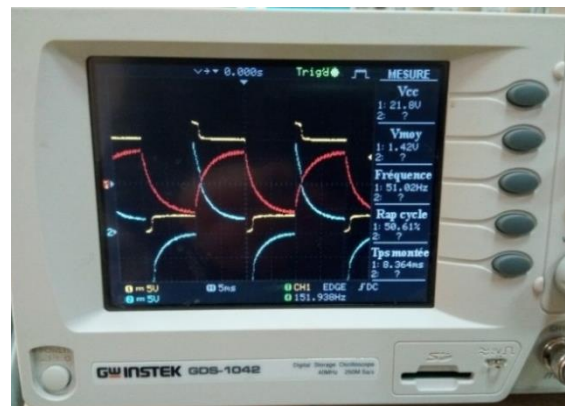
(a) Duty=84%

(b) Duty=33%

Figure IV.17. Hacheur en pont avec 2 valeurs différentes du rapport cyclique



(a) Fréquence=80Hz



(b) Fréquence=50Hz

Figure IV.18. Onduleur monophasé bipolaire à pleine onde avec 2 valeurs différentes du rapport cyclique

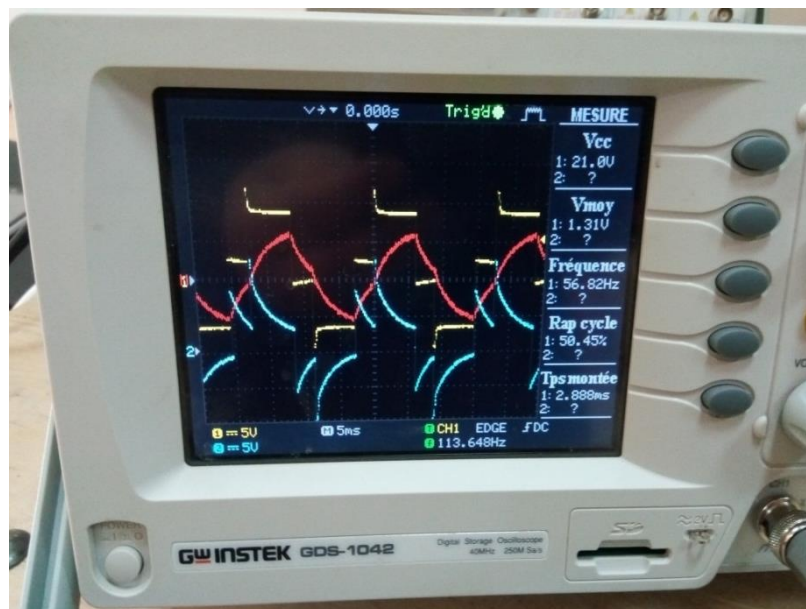


Figure IV.19. Onduleur monophasé unipolaire à pleine onde

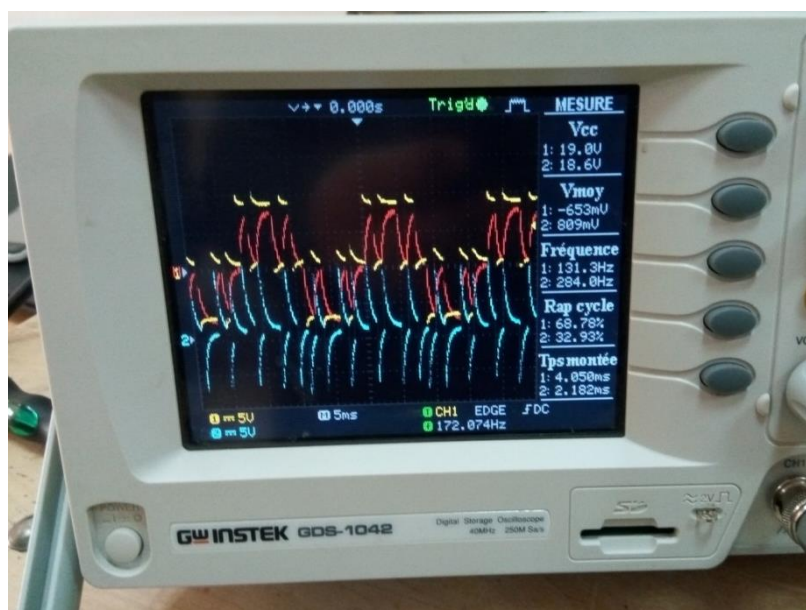


Figure IV.20. Onduleur monophasé à élimination d'harmoniques

IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la réalisation matérielle de notre travail. Les signaux MLI sont obtenus selon les 9 modes de fonctionnement étudiés dans le Chapitre III. Les étapes de conception sont détaillées et les mesures sur le système réel sont effectuées. Nos efforts et nos compétences dans ce projet pratique sont résumés comme suit :

- Création de circuit imprimé par le logiciel ARES/Proteus.
- Réalisation de la carte imprimée en passant par l'impression et le traitement chimique par les produits nécessaires.
- Perçage et placement des composants.
- Soudure des composants.
- Vérification du circuit résultant.
- Mise en marche du circuit.
- Test et prélèvements des résultats en temps réel par un oscilloscope tout en considérant les modes de fonctionnement des systèmes DC/DC et DC/AC alimentant deux types de charges résistive et inductive.

Conclusion générale

En conclusion, les travaux présentés dans ce mémoire dressent un ensemble des tâches pour la conception des techniques de commande MLI pour les convertisseurs d'énergie électrique DC/DC et DC/AC. Ces derniers sont utiles dans le domaine industriel qu'on veut désir à réaliser les variateurs de vitesse des moteurs DC et AC.

Dans un premier temps, on a essayé de réunir un ensemble d'information théorique nécessaire qui constitue la base de notre travail. Cette étude est illustrée en premier lieu par une simulation Simulink-Matlab dans le but de mettre une référence de comparaison avec les résultats expérimentaux obtenus par le circuit réalisé.

La seconde partie est dirigée vers une étude approfondie sur le microcontrôleur PIC18F4431 et leur caractéristique pour faciliter la manipulation avec ses différentes branches.

La troisième partie de cette étude fut consacrée à l'apprentissage d'un logiciel de conception et de prototypage virtuel dédié à notre circuit (Proteus). Ce dernier permet de mener à bien des simulations à l'aide de modèles extraits de données concrètes et pratiques, qui est utilisé dans un premier temps pour concevoir et dimensionner la carte électronique, ainsi que la génération du signal MLI utilisant le code CCS PICC optimisée pour le fonctionnement de cette carte. On a expliqué chaque type de commande sous forme d'organigramme pour bien éclairer les techniques de commande MLI adéquates. Les résultats de simulation par Proteus sont illustrés pour chaque mode étudiés qui sont en forte coordination avec les simulations Matlab.

La dernière partie de ce travail du mémoire insiste sur la réalisation de la maquette, cette phase est suivie par l'emplacement de chaque composant tout en respectant les préconisations des fondeurs pour éviter tout problème une fois que le circuit est réalisé. Les tests expérimentaux de la structure complète ont montré des résultats similaires à celle de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab. Ces résultats représentant les formes de courant et de tension de charge sont bien analysées.

Grace au travail continu, on a pu atteindre notre but, les résultats obtenus nous montre clairement l'efficacité et l'avantage de la commande par la technique MLI. Pour une extension de notre travail, il est souhaitable de réaliser les boucle de régulation de vitesse des moteurs DC et/ou AC utilisant des contrôleurs de type PI.

Références bibliographiques

- [1] Cyril W. Lande, ‘‘Electronique de puissance’’ Cours et exercices-205 problèmes résolus, Ecole de génie électrique et électronique, Leicester Polytechnique, MPcGraw-Hill Inc., Paris.
- [2] <http://fr.wikipedia.org>, consulter le: mars 2017
- [3] Glaize. C, « Introduction à l’Électrotechnique et à l’Électronique de puissance », Collection médiathèque, L’IUT de Nîmes, 9 septembre 2002
- [4] Jean. L, « Caractérisation et modélisation de composants IGBT et diode pin dans leur environnement thermique sévère lié aux applications aéronautiques », Thèse de doctorat, Université de TOULOUSE, 2010
- [5] Sylvain. M, « Optimisation des convertisseurs d’électronique de puissance selon des critères thermiques », mémoire, Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2009
- [6] Glaize. C, « Introduction à l’électronique et à l’électronique de puissance », Cours de master2, université de monpellier2.
- [7] Gi. Segulier, « Electronique de puissance ».
- [8] Emadi. A, Khaligh. A, Nie. Z, «Integrated power electronic converters and digital control», CRC Press, 2009
- [9] Claude. C, « Convertisseur Haute Performance De Courant Alternatif\Contin Réversible », Université Du Quebec A Trois-Rivieres, Mémoire de master
- [10] Mr BOUZID. A, « Onduleur triphasé commandé par la Stratégie d’Élimination d’Harmonique », Magister, École Normale Supérieurs d’Enseignement Technique d’ORAN, 2009/2010
- [11] BEN HADDADA. T, HAMAM. M, MAHJOUR. R, «Un robot suiveur de ligne», Rapport de projet de fin d’étude, Université Tunis-El Manar, 2009
- [12] Tourchine. V, « Microcontrôleur de la famille pic », Université M’hamed Bougaras, Boumerdes, 2009.

[13] Bali .C, Abaidi. H, « Réalisation d'un robot mobile avec évitement d'obstacle et trajectoire programmé », université mohamed khider, mémoire de master, biskra, 06 juin 2012

[14] Madoui. N, Hamdini. O, « Etude et réalisation d'un contrôleur des moteurs par la technique de microstepping », université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, mémoire de master, Borj Bou Arréridj, 2016

[15] Microship fiche technique, « PIC18F2331/2431/4331 Datasheet »

[16] Wale. J.D, Pollock. C, « Hybride stepping motors and drivers », IEEE, Power Engineering Journal, vol. 15.N°1, pp. 5-12, 2001

[17] Bendiedia. M, « Synthèse de commande sans capteurs de moteurs pas à pas et implantation sur architecture programmable », université de franche-comté, Thèse doctorat, 2007

[18] Mr Bendiab. T, « Etude Et Realisation D'une Carte De Commande De Trois Moteurs Pas A Pas Pour Machine De Prototypage Rapide », Université Abou Bekr Belkaid, mémoire de Master, Tlemcen

[19] Microship fiche technique, « L298 Datasheet »

[20] [KRAMA. A, GOUGUI. A, « Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde », , université Kasdi Merbah, mémoire de master, OUARGLA, 08/06/2015

[21] <http://www.labcenter.com>.

Autre sites WEB visités :

http://artic.ac_besancon.fr/Sciences_Physiques/presentations/convertisseur_fly-back/fly-ack.htm.
visité le 02/03/2017.

<http://fisik.free.fr/ressources/hacheurserie.swf>, visité le 02/03/2017.

<http://www.elektronique.fr/logiciels/mplab.php>, visité le 26/03/2017.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER EN ELECTRONIQUE
SPECIALITE : CONTROLE INDUSTRIEL**

Proposé et dirigé par : Pr. A. MEZACHE

Présenté par : Dechoucha Souhila & Bourezg Ouarda

Thème

**Conception des techniques MLI dédiées à la commande des convertisseurs DC/DC et
DC/AC à base du microcontrôleur pic18F4431**

Résumé : Les travaux présentés dans ce mémoire montent un ensemble des tâches pour la conception des techniques de commande MLI pour les convertisseurs d'énergie électrique DC/DC (hacheurs) et DC/AC (onduleurs). Dans le premier chapitre, on a réuni un ensemble d'information théorique illustrée par une simulation Simulink-Matlab. Le second chapitre est dirigé vers une étude détaillée sur l'architecture et les caractéristiques du microcontrôleur PIC18F443. La troisième partie fut consacrée à l'apprentissage d'un logiciel de conception (Proteus), et la génération du signal MLI utilisant le code CCS PICC optimisée pour le fonctionnement de la carte sous forme d'organigramme avec Les résultats de simulation par Proteus pour chaque mode étudiés. Le quatrième chapitre s'intéresse à la réalisation des maquettes logicielles et matérielles tout en présentant les résultats expérimentaux qui représentent les formes de tension et de courant de charge. Les tests expérimentaux de la structure complète ont montré des résultats similaires à celle de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab.

Mots-clés: hacheurs, onduleurs, commande MLI, PIC18F443, code CCS PICC.

Abstract: The work presented in this thesis presents a set of tasks for the design of PWM control techniques for DC / DC (chopper) and DC / AC converters (inverters). In the first chapter, we gathered a set of theoretical information illustrated by a Simulink-Matlab simulation. The second chapter is directed to a detailed study on the architecture and characteristics of the PIC18F4431 microcontroller. The third part was devoted to learning design software (Proteus), and the generation of the PWM signal using the CCS PICC code optimized for the operation of the map in the form of a flowchart with the results of simulation by Proteus for Each mode studied. The fourth chapter deals with the realization of the software and hardware models, while presenting the experimental results, which represent the forms of voltage and load current. Experimental tests of the complete structure showed similar results to that of the theoretical study and by simulation Proteus and Matlab.

Keywords: choppers, inverters, PWM control, PIC18F443, CCS PICC code.

Chapitre I :

Convertisseurs statiques

DC/DC & DC/AC

DC/DC & DC/AC

Convertisseurs statiques

Chapitre II :

Microcontrôleurs

Microcontrôleurs

Chapitre III:

Dispositifs de réalisation

des systèmes

DC/DC & DC/AC

DC/DC & DC/AC

des systèmes

Chapitre IV :

Commande pratique

des Convertisseurs

DC/DC & DC/AC

DC/DC & DC/AC

des Convertisseurs

Introduction

Générale

Générale

Conclusion

Générale

Générale