

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° : 2018/ ESEM 14 / 87



DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Électronique

OPTION : Electronique du Système Embarqué

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Par : CHAKI Azzeddine

GHOUZROUM Anouar

Intitulé

**Conception et Réalisation des
Convertisseurs AC/DC à Base du
Microcontrôleur PIC16F877A**

Soutenu devant le jury composé de:

BOUCHAMA Idris	Université de M'SILA	Président
OUDIRA Houcine	Université de M'SILA	Rapporteur
MEZACHE Amar	Université de M'SILA	Rapporteur
GAREH Massoud	Université de M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2017 /2018

Remerciements

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 données durant toutes ces longues années d'études.

Nos remerciements s'adressent à nos encadrateurs Dr. Houcine OUDIRA et Pr. Amar MEZACHE pour avoir proposé et dirigé ce travail et pour ses continuel suivis tout le long de la réalisation et la correction de ce mémoire.

Ils nous ont présenté un excellent exemple de la compétence scientifique et disponibilité.

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

Nous tenons à remercier vivement toute personne qui nous a aidé 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 travail :

- A mon père et à ma mère, que dieu les récompense et les garde, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encouragé et de me soutenir tout au long de mon cursus scolaire et universitaire.

*- A toute la famille GHOUZROUM ;
à toute ma famille de près ou de loin.*

– A mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire.

– A tous mes voisins et mes amis.

– A tous les membres de ma promotion du Master Electronique, option "Electronique du système embarqué".

*A tous les amis d'étude surtout ceux d'électronique Promotion
2018*

Anouar GHOUZROUM

Dédicace :

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

Je dédie ce travail :

- À mes chers parents, que dieu les récompense et les garde, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encouragé et de me soutenir tout au long de mon cursus d'étude .

*- À toute ma famille ,mes deux chères frères Omar et Tamim ,
mes sœurs*

Et surtout mes neveux: Nouiri Bassem , Ziad et Iyad .

À toute ma famille de prés et de loin .

– À tous mes enseignants, chacun de son nom, qui sont intervenus tout le long de mon cursus d'étude du le primaire à l'université

*– À tous les membres de ma promotion du Master Electronique,
option "Electronique du système embarqué".*

À tous les amis d'étude et à tous mes amis chacun de son nom.

- À toute personne qui m'a aidé à réaliser ce travail

Azzeddine CHAKI

Table des matières :

Remerciements	i
Dédicace :	ii
Dédicace :	iii
Table des matières :	iv
Liste des abréviations :	ix
Liste des symboles :	x
Liste des tableaux :	xi
Liste des figures :	xii
Introduction générale :	1

Chapitre I: Généralités sur les redresseurs

I.1. Introduction :	6
I.2. Caractéristiques des composants électroniques :	6
I.2.1. Diodes de puissance :	6
I.2.1.1. Principe de fonctionnement :	7
I.2.1.2. Caractéristique statique d'une diode :	7
I.2.2. Le thyristor :	7
I.2.2.1. Principe de fonctionnement :	8
I.2.2.2. Caractéristique d'un thyristor :	8
I.3. Les redresseurs monophasés non commandés :	9
I.3.1. Redresseur monophasé simple alternance non commandé :	9
I.3.1.1. Schéma de principe :	9
I.3.1.2. Allures de tension et de courant :	10
I.3.1.3. Simulations par Matlab :	10
I.3.1.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :	11
I.3.2. Redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre:	11

I.3.2.1. Schéma de principe :	11
I.3.2.2. Allures de tension et de courant :	12
I.3.2.3. Simulations par Matlab :	12
I.3.2.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :	13
I.3.3. Redresseur monophasé double alternance non commandé :	13
I.3.3.1. Schéma de principe :	13
I.3.3.2. Allures de tension et de courant :	14
I.3.3.3. Simulations par Matlab :	14
I.3.3.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :	15
I.4. Les redresseurs commandés :	15
I.4.1. Redresseur monophasé simple alternance totalement commandé :	15
I.4.1.1. Schéma de principe :	15
I.4.1.2. Allures de tension et de courant :	16
I.4.1.3. Simulations par Matlab :	16
I.4.1.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :	18
I.4.2. Redresseur monophasé simple alternance semi commandé :	18
I.4.2.1. Schéma de principe :	18
I.4.2.2. Allures de tension et de courant :	19
I.4.2.3. Simulations Matlab :	19
I.4.2.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :	20
I.4.3. Redresseur monophasé double alternance totalement commandé :	20
I.4.3.1. Schéma de principe :	20
I.4.3.2. Allures de tension et de courant :	21
I.4.3.3. Simulations Matlab :	21
I.4.3.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :	22
I.4.4. Redresseur monophasé double alternance semi-commandé :	22
I.4.4.1. Schéma de principe :	22

I.4.4.2. Allures de tension et de courant :	23
I.4.4.3. Simulations Matlab :	23
I.4.4.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :	24
I.5. Conclusion :	25

Chapitre II: Microcontrôleur et simulations par Proteus

II.1. Introduction :	27
II.2. Microcontrôleur :	27
II.2.1. Qu'est ce qu'un microcontrôleur :	27
II.2.2. Intérêt des microcontrôleurs :	28
II.2.3. Les caractéristiques du PIC 16F877A :	29
II.2.4. Description général du PIC 16F877A :	30
II.2.5. Architecture externe :	30
II.2.6. Architecture interne :	32
II.2.7. Organisation de la mémoire :	33
II.2.8. Les registres du PIC 16F877A :	34
II.2.9. Les timers du pic 16F877A :	35
II.2.9.1. Le timer 0 « 8 bits »	35
II.2.9.2. Le timer 1 « 16 bits»:	36
II.2.9.3. Le timer 2 « 8 bits »	36
II.2.10. Les interruptions :	36
II.2.11. Les ports d'entré/sorties :	37
II.2.12. Le convertisseur analogique numérique :	39
II.3. conception de la carte de commande et de puissance par Proteus :	39
II.3.1. Partie logicielle (outils de développement utilisés) :	39
II.3.1.1. Langage C « compilateur C » :	40
II.3.1.2. Le simulateur ISIS de Proteus :	40
II.3.2. Schéma structurel de la carte par Proteus :	40

II.3 .3. Le fonctionnement :	41
II.3.4. L'organigramme de fonctionnement :	42
II.3.5. Simulations par Proteus :	43
II .3.5.1. Redresseur mono alternance – commande analogique ‘Mode#0’:	43
II .3.5.2. Redresseur double alternance – commande analogique ‘Mode#1’:	44
II .3.5.2. Redresseur mono alternance – commande numérique ‘Mode#2:	46
II .3.5.3. Redresseur double alternance – commande numérique ‘Mode#3’ :	47
II.7. Conclusion :	49

Chapitre III: Réalisation pratique

III.1. Introduction:	51
III.2. Réalisation de la carte électronique :	51
III.2.1. Câblage par Proteus :	51
III.2.2. Description des parties essentielles de la réalisation :	54
III.2.2.1 L'alimentation :	54
III.2.2.2 Transformateur d'impulsions :	55
III.2.2.3 Circuit de synchronisation et de couplage optique:	56
III.2.2.4 Afficheur LCD :	58
III.2.1.3. Routage de schéma électrique :	59
III.2.2. Les étapes de fabrication du circuit imprimé :	60
III.2.2.1. L'impression du typon :	60
III.2.2.2. L'insolation :	61
III.2.2.3. La révélation :	61
III.2.2.4. Gravure de circuit imprimé :	61
III.2.2.5. Test du circuit imprimé:	62
III.2.3. La mise en place et la soudure des composants :	62
III.3. Les problèmes rencontrés :	63
III.4. Résultats expérimentaux :	64

III.4.1. Signal d'entrée :	64
III.4.2. Signal de la gâchette du thyristor T1 pour le mode simple alternance:	65
III.4.3. Signal de la gâchette du thyristor T1 pour mode double alternance:	65
III.4.4. Signal de la sortie pour une charge de 3 inductances en série avec une résistance :	66
III.4.4.1. Redresseur mono alternance :	66
III.4.4.2. Redresseur double alternance :	68
III.4.5. Influence de la charge sur le signal de sortie:	69
III.4.6. Moteur DC comme une charge à la sortie:.....	70
III.5. Conclusion :	71
Conclusion générale.....	733
Bibliographié :	74
Résumé	
Abstract	

ملخص

Liste des abréviations :

Abréviations	Notations
AC	Courant alternatif
DC	Courant continu
EP	Electronique de puissance
MLI	modulation de largeur d'impulsions
D	Diode
D_{RL},D_L	Diode de roue libre
A	Anode
K	Cathode
T	Thyristor
R	Résistance
L	Inductance
G	Gâchette du thyristor

Liste des symboles :

Symboles	Notations
V_e, u_E	Tension d'entrée
V_m	Tension maximale
V_{Lmoy}	Tension moyenne
i_G	Courant de la gâchette du thyristor
i_L, i_S	Courant
u_L	Tension au bornes de l'inductance
u_R	Tension au bornes de l'inductance
T	Période
W	Pulsation
α	Angle d'amorçage du thyristor

Liste des tableaux :

Tableau II. 1 Broches du PIC.....	30
Tableau III.1 Liste des composants pour la réalisation du convertisseur AC-DC semi-commandé.	52

Liste des figures :

Figure I.1 Représentation symbolique d'une diode	7
Figure I.2 Caractéristique d'une diode	7
Figure I.3 Schéma représentatif du thyristor	8
Figure I.4 Caractéristiques du thyristor (SCR)	9
Figure I.5 Redresseur monophasé simple alternance non commandé	9
Figure I.6 Forme d'ondes du courant et de la tension	10
Figure I.7 Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé (Simulink-Matlab).	10
Figure I.8 Allures de la tension et du courant d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé (Simulink-Matlab).	11
Figure I.9 Redresseur non commandé avec diode de roue libre	11
Figure I.10 Simple alternance - Courant i_s lissé - Conduction ininterrompue	12
Figure I.11 Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre (Simulink-Matlab).	12
Figure I.12 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre.	13
Figure I.13 Redresseur en pont non commandé	13
Figure I.14 Allures théoriques de tension et de courant	14
Figure I.15 Schéma block d'un redresseur monophasé double alternance non commandé (Simulink-Matlab).	14
Figure I.16 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé double alternance non commandé.	15
Figure I.17 Redresseur simple alternance totalement commandé	16
Figure I.18 Forme d'ondes du courant et de la tension	16
Figure I.19 Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance totalement commandé (Simulink-Matlab).	17
Figure I.20 Allures de tension, de courant et de signal de commande du thyristor d'un redresseur monophasé simple alternance totalement commandé (simulink - Matlab).	17
Figure I.21 Redressement simple alternance semi-commandé	18

Figure I.22 Simple alternance – Charge inductive et diode de roue libre	
Conduction ininterrompue du courant dans la charge	19
Figure I.23 Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance semi	
commandé (Simulink-Matlab).	19
Figure I.24 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé simple	
alternance semi commandé (simulink -Matlab).	20
Figure I.25 Redresseur monophasé double alternance totalement commandé	20
Figure I.26 Les formes d'ondes de la tension et du courant du redresseur monophasé	
double alternance totalement commandé	21
Figure I.27 Schéma de block d'un redresseur monophasé double alternance totalement	
commandé (Simulink-Matlab)	21
Figure I.28 Allures de tension, de courant et les impulsion de commande d'un	
redresseur monophasé simple alternance totalement commandé (simulink -	
Matlab).	22
Figure I.29 Redresseur monophasé double alternance semi commandé	23
Figure I.30 Forme d'ondes du courant et de la tension du redresseur monophasé double	
alternance semi commandé	23
Figure I.31 Schéma block d'un redresseur monophasé double alternance semi-	
commandé (Simulink-Matlab).	24
Figure I.32 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé double	
alternance semi commandé (simulink -Matlab).	24
Figure II.1 brochage du PIC 16F877A	30
Figure II.2 Architecture interne du pic 16F877A	33
Figure II.3 Schéma du Timer 0	35
Figure II.4 Schéma descriptive du timer 1	36
Figure II.5 Schéma du Timer 2	36
Figure II.6 Les différents PORT de PIC16F877A	38
Figure II.7 Schéma fonctionnel analogique numérique	39
Figure II.10 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#0.	43
Figure II.11 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour	
le mode#0.	44
Figure II.12 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus	
pour le mode#0.	44

Figure II.13 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#1	45
Figure II.14 Allures des signaux d'entrée ,de synchronisation et de commande pour le mode#1.....	45
Figure II.15 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#1.	46
Figure II.16 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#2.....	46
Figure II.17 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour le mode#2.....	47
Figure II.18 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode #2.	47
Figure II.19 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#3	48
Figure II.20 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour le mode#3.....	48
Figure II.21 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#3.	49
Figure III.1 Câblage pour le circuit imprimé par le logiciel Proteus.....	53
Figure III.2 Montage de l'alimentation 5 V.....	54
Figure III.3 Montage de l'alimentation symétrique +12 V/-12 V.	54
Figure III.4 Schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.	55
Figure III.5 Les résultats des essais du transformateur d'impulsions.....	56
Figure III.6 Le circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique.....	56
Figure III.7 Allure du signal issu d'amplificateur opérationnel.	57
Figure III.8 Principe de fonctionnement d'un opto-coupleur.	57
Figure III.9 Signal de la sortie de l'opto-coupleur	58
Figure III.10 Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères.....	58
Figure III.11 Schéma routé de notre carte électronique.....	60
Figure III.12 le typon de la carte.....	60
Figure III.13 Circuit imprimé de la carte.	61
Figure III.14 Carte finalisée (côté pistes).	62
Figure III.15 Carte finalisée (côté composants)	63
Figure III.16 Allure de la tension d'entrée.	64
Figure III.17 Les impulsions de la commande du thyristor T1 pour le mode simple alternance.....	65

Figure III.18 Les impulsions de la commande du thyristor T1 pour le mode double alternance.....	65
Figure III.19 Trois inductances en série avec une résistance.	66
Figure III.20 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 59\%$. 66	66
Figure III.21 Représentation de notre carte et l'allure de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 16\%$. 67	67
Figure III.22 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 45\%$. 68	68
Figure III.23 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 16\%$. 69	69
Figure III.24 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 59\%$. 69	69
Figure III. 25 L'allure de la tension obtenue aux bornes du moteur DC pour un angle d'amorçage $\alpha = 59\%$	70



***Introduction
Générale***

Introduction générale :

Entre l'électrotechnique et l'électronique s'est développée une nouvelle technique qui est l'électronique de puissance (EP) appelé aussi électronique de courants fort. L'EP concerne l'étude des circuits électriques destinés pour la commande du débit de l'énergie électrique dans une charge.

La mise au point des semi-conducteurs diodes, thyristors et transistors au silicium, ou au carbure de silicium, ont donné un essor considérable à cette nouvelle technique, au point d'en faire aujourd'hui une des disciplines de base du génie électrique. Avant d'aborder l'étude de l'électronique de puissance, il est important d'en dégager la principale caractéristique, de montrer les particularités qui en résultent et de situer le domaine de ses applications [1].

C'est dans le domaine du redressement de forte puissance que se développent les premiers convertisseurs statiques destinés à remplacer les convertisseurs électromécaniques. Dans les années 1950, pour la traction électrique, on s'oriente vers la solution: transport en alternatif plus motorisation en continu. Les convertisseurs statiques nécessaires sont réalisés à l'aide de redresseurs à vapeur de mercure (ignitrons) ayant la même fonctionnalité que les thyristors.

Les premières diodes de puissance au silicium apparaissent en 1956 et les thyristors en 1961. Dans les années 1970, thyristors et diodes sont utilisés dans des dispositifs auto-commutés comme les hacheurs et les onduleurs, les années qui suivent voient le développement de transistors bipolaires de puissance qui favorise le développement d'une électronique de conversion de faible et moyenne puissance [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].

- **Plan de travail :**

Ce rapport est une description complète des différentes tâches accomplies durant la période de notre projet de fin d'étude. Dans ce mémoire, nous décrivons les principales parties de ce travail qui concerne la réalisation d'une carte à base d'un microcontrôleur de type PIC 16F877A pour une commande dédiée à différents ponts redresseurs monophasés à thyristors.

L'objectif principal de ce travail est de réaliser, en respectant un cahier de charge imposé, un nouvel appareil pour les laboratoires d'électronique de puissance et/ou de commande des machines, et ainsi satisfaire le besoin d'un déclencheur pour convertisseur AC-DC commandé, pour non seulement effectuer de nombreux travaux pratiques, mais également afin de servir de variateur de vitesse pour moteur à courant continu.

- **Cahier des charges :**

Ce projet consiste donc à réaliser une carte numérique basé sur un microcontrôleur PIC 16F877A, qui permet l'amorçage des thyristors d'un convertisseur alternatif-continu, et ainsi servir de générateur d'impulsions synchronisés sur le réseau pour le déclenchement des thyristors d'un pont redresseur monophasé.

Nous avons divisé notre projet en deux modules principaux :

Le premier concerne la carte de commande construite autour du microcontrôleur PIC 16F877A, elle doit remplir les fonctions suivantes :

- Le pic attend l'interruption externe qui est un signal carré issue d'un amplificateur opérationnel. Ce signal est injecté au pin RB0/INT.
- Choix entre plusieurs modes de fonctionnement ;
- Réglage de l'angle de retard à l'amorçage.
- Affichage sur écran LCD des valeurs de l'angle de retard à l'amorçage.

Le second module (Interface Amplification/Isolation Galvanique), reçoit le signal formé d'impulsions (train d'impulsions) de la carte de commande et doit remplir la fonction d'amplificateur des impulsions et la séparation galvanique avec les circuits des gâchettes des thyristors du montage de puissance envisagé.

• **Organisation du mémoire :**

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 redresseurs.
- Obtention des résultats de simulations où des comparaisons avec les signaux de simulations trouvés par le logiciel Matlab " Simulink" sont aussi considérés.
- 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 électroniques et la mise en marche du circuit réalisé.

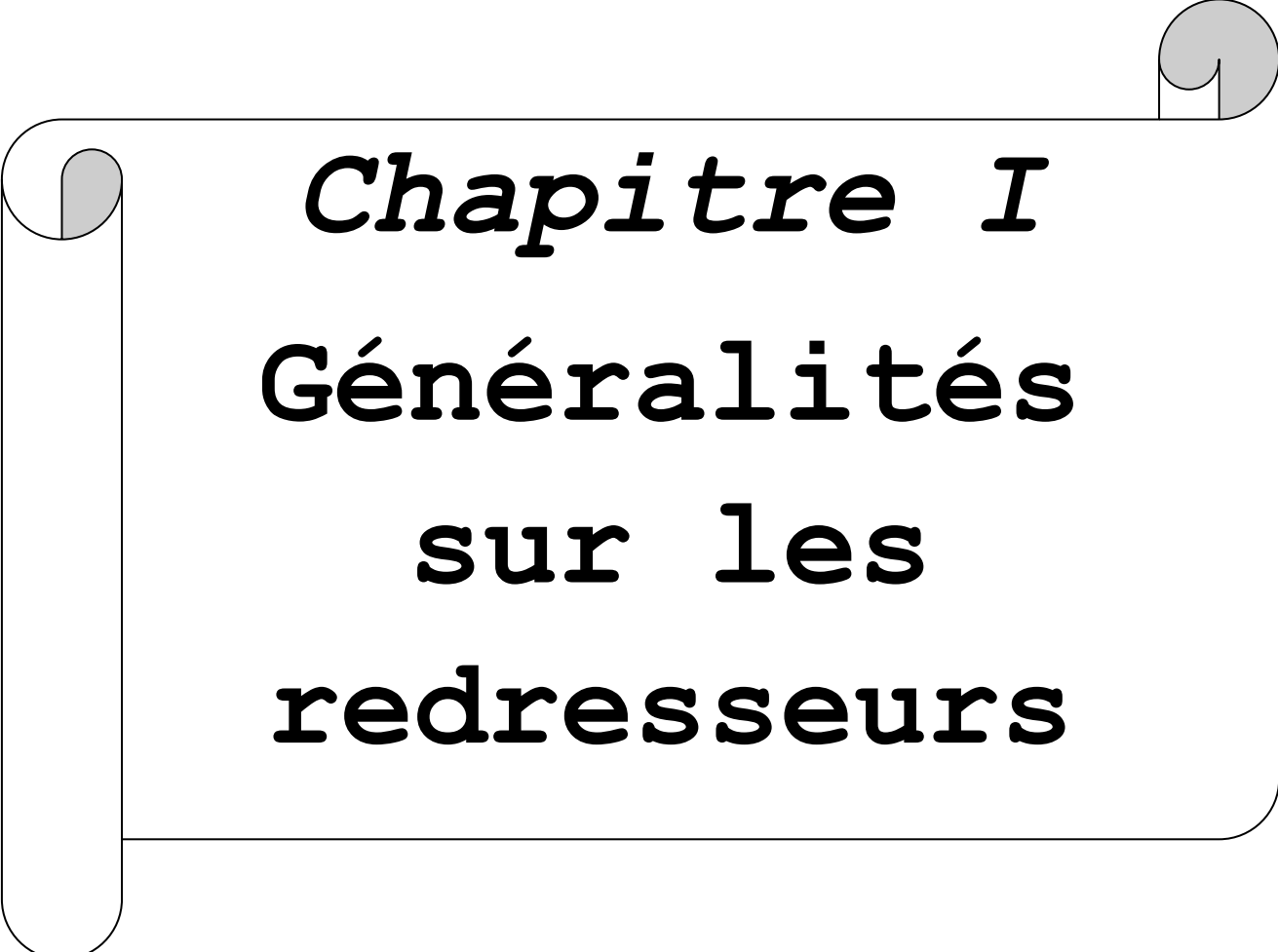
Ce mémoire est organisé en trois chapitres comme suit:

- Le premier chapitre est consacré à la présentation générale des convertisseurs statiques AC/DC et leurs principes de fonctionnements. Des simulations obtenues par le Simulink du Matlab (schéma block et les allures des tensions et des courants) sont aussi illustrées.
- Le deuxième chapitre décrit une étude détaillée sur l'architecture et les caractéristiques du microcontrôleur PIC16F877A qui représente le cœur de notre

réalisation. Ce chapitre offre aussi après chaque mode de fonctionnement les résultats de simulation par le logiciel Proteus.

- Le troisième chapitre sera réservé à la réalisation de notre carte tout en présentant les résultats expérimentaux obtenus par l'oscilloscope.

Enfin, on présente une conclusion générale qui résume l'ensemble des tâches réalisées et des perspectives pour des futurs travaux.



Chapitre I
**Généralités
sur les
redresseurs**

I.1. Introduction :

Les redresseurs assurent la conversion alternatif-continu. Ils permettent, à partir d'un ensemble des tensions alternatives, d'obtenir une tension continue ou redressée [1].

Dans ce premier chapitre, nous exposons un rappel théorique concernant les convertisseurs alternatif-continu. En premier lieu, une brève description des composants de puissance les plus employés dans le redressement est présentée. Puis, nous passons en revue les montages les plus célèbres dans les applications dédiées aux redressements commandés et non commandés et leurs performances pour des charges inductives.

En fin, une simulation Matlab des différents circuits des redresseurs est présentée.

I.2. Caractéristiques des composants électroniques :

Les redresseurs permettent de convertir une alimentation alternative en continue. La tension et la puissance de sortie peuvent être contrôlées par les composants de puissance utilisés.

On peut grouper les composants utilisés dans les convertisseurs statiques AC- DC en deux catégories :

- Les diodes
- Les thyristors (Silicon-Controlled Rectifier : SCR).

L'électronique de puissance utilise des semi conducteurs fonctionnant en « interrupteurs »[1].

I.2.1. Diodes de puissance :

La diode est un composant à deux électrodes, l'anode *A* et la cathode *K*. Son fonctionnement, lui, est totalement imposé par le circuit dans lequel elle est insérée [1].

La diode est un élément redresseur non commandé constitué d'une jonction PN. La Figure I.1 montre le schéma symbolique représentatif de la diode.

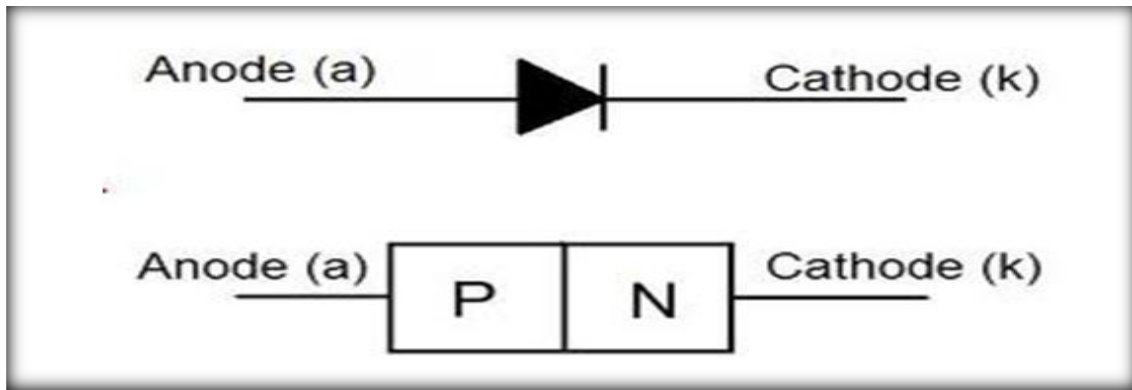
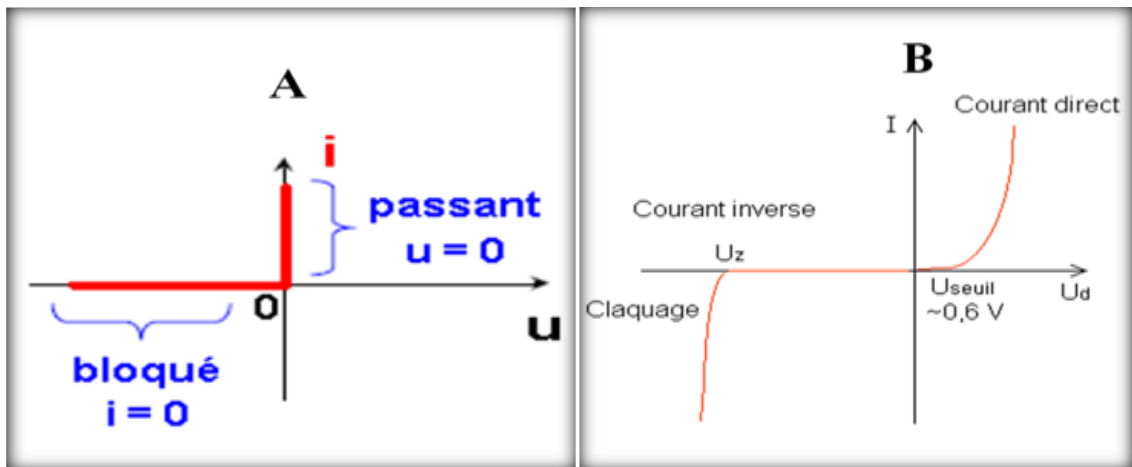


Figure I.1 Représentation symbolique d'une diode [6].

I.2.1.1. Principe de fonctionnement :

Une diode conduit le courant dans le sens anode (A) - cathode (K), tandis qu'elle est bloquée dans l'autre sens. Dans le cas d'une caractéristique parfaite, on suppose que la chute de tension entre (A) et (K) est nulle dans le sens de la conduction et que le courant est nul dans le sens du blocage [6]. comme le montre la Figure I.2.

I.2.1.2. Caractéristique statique d'une diode :



a. Caractéristique idéale

b. caractéristique réelle

Figure I.2 Caractéristique d'une diode [6].

I.2.2. Le thyristor :

Un thyristor comporte trois bornes : l'anode A et la cathode K, entre lesquelles, il joue le rôle d'interrupteur, et la gâchette G qui forme avec la cathode l'accès de commande. La Figure I.3 donne le schéma symbolique du thyristor et montre les trois segments de sa caractéristique [1].

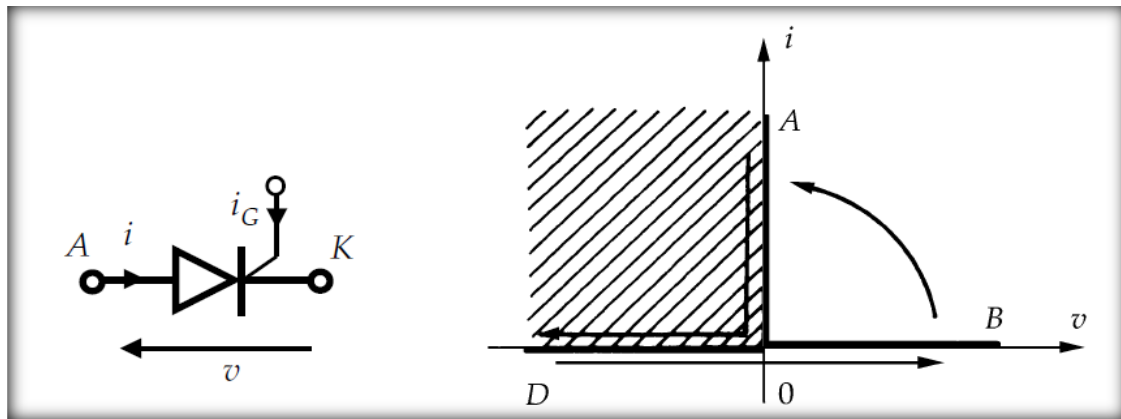


Figure I.3 Schéma représentatif du thyristor [1].

I.2.2.1. Principe de fonctionnement :

- En l'absence de signal de commande (c'est-à-dire le courant i_G nul), le composant, bloqué lorsque la tension v est négative (branche OD), le reste si v devient positive (branche OB).

- Lorsque la tension v est positive, on peut passer de OB à OA en envoyant un courant de commande i_G positif. La fermeture de l'interrupteur s'effectue donc par injection d'un courant de commande comme pour le transistor. Mais, dès que le courant i dépasse une certaine valeur appelée « courant d'accrochage », le composant se verrouille à l'état passant et on peut supprimer la commande sans entraîner un retour sur la branche OB .

- Le retour à l'état bloquant ne peut s'opérer que de manière spontanée par passage de la branche OA à la branche OD . Le point de fonctionnement doit ensuite se maintenir sur cette branche pendant un temps suffisant, appelé temps de désamorçage, pour que le thyristor reste bloqué quand la tension v redevient positive [1].

I.2.2.2. Caractéristique d'un thyristor :

Un thyristor est un dispositif à quatre couches PNPN. Il est constitué de trois diodes en série de sens tels qu'ils empêchent toute conduction. La caractéristique inverse est identique à celle de la diode.

- La caractéristique directe du thyristor a plusieurs formes en fonction de la valeur de la tension appliquée à ses bornes (Figure I.4) [2].

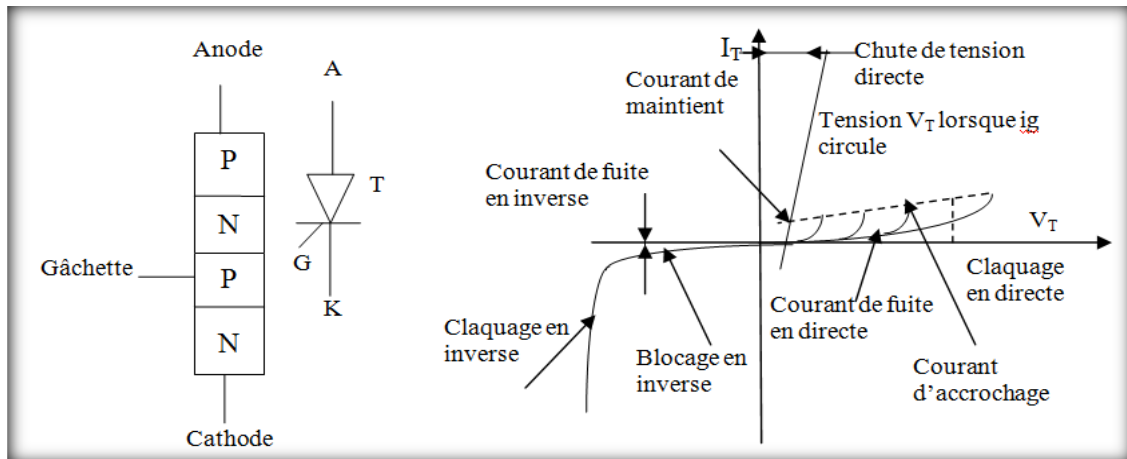


Figure I.4 Caractéristiques du thyristor (SCR) [2].

I.3. Les redresseurs monophasés non commandés :

I.3.1. Redresseur monophasé simple alternance non commandé :

I.3.1.1. Schéma de principe :

Soit le montage suivant du redresseur monophasé simple alternance qui alimente une charge générale inductive (RL) (Figure I.5).

Le circuit est alimenté par une tension alternative donnée par : $V_e = V_m \sin(\omega t) \dots\dots(I.1)$

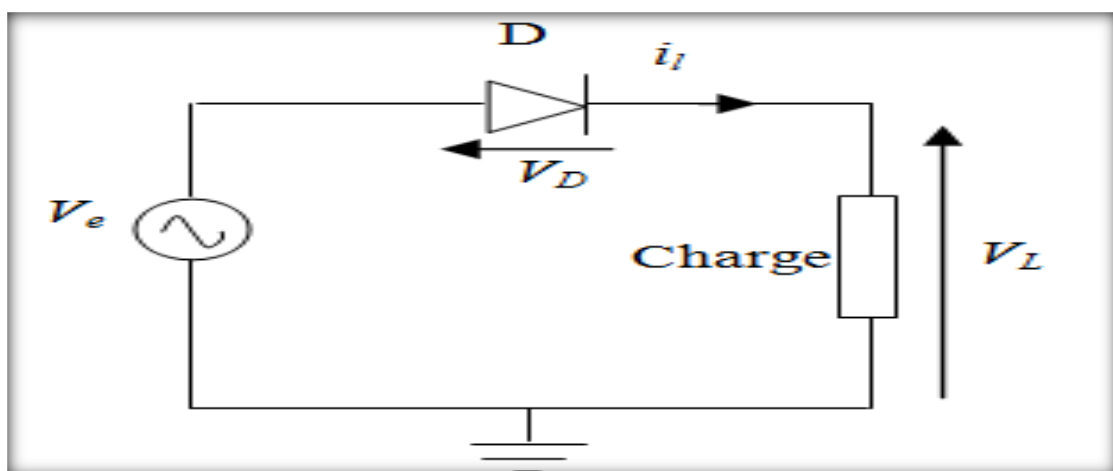


Figure I.5 Redresseur monophasé simple alternance non commandé [2].

I.3.1.2. Allures de tension et de courant :

- Les formes d'ondes de tension et de courant du circuit sont représentées par la Figure I.6.

- L'inductance retarde la variation du courant, le courant de charge existe encore à la fin de l'alternance et la diode reste à l'état passant. Alors, la charge voit la tension d'alimentation négative jusqu'à l'annulation du courant [2].

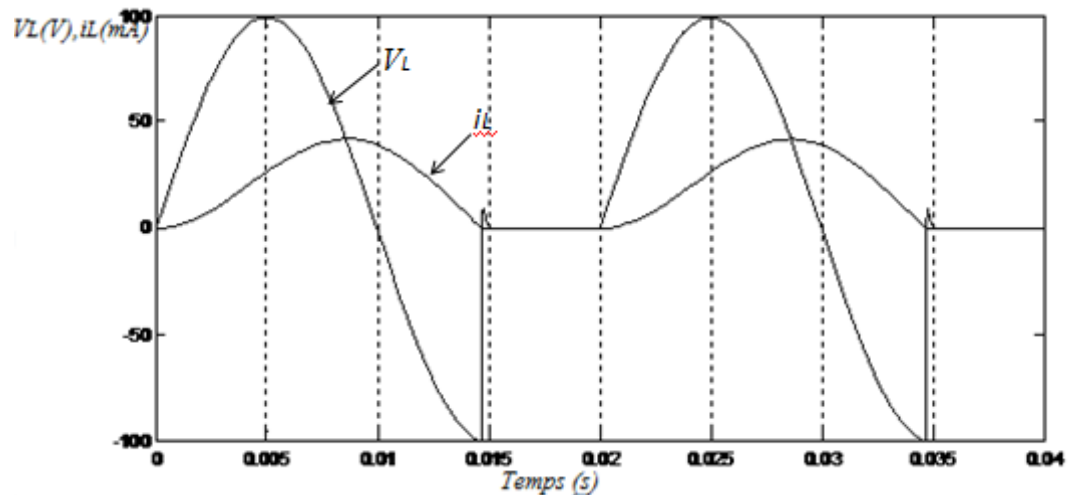


Figure I.6 Forme d'ondes du courant et de la tension [2].

I.3.1.3. Simulations 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 et de courant.

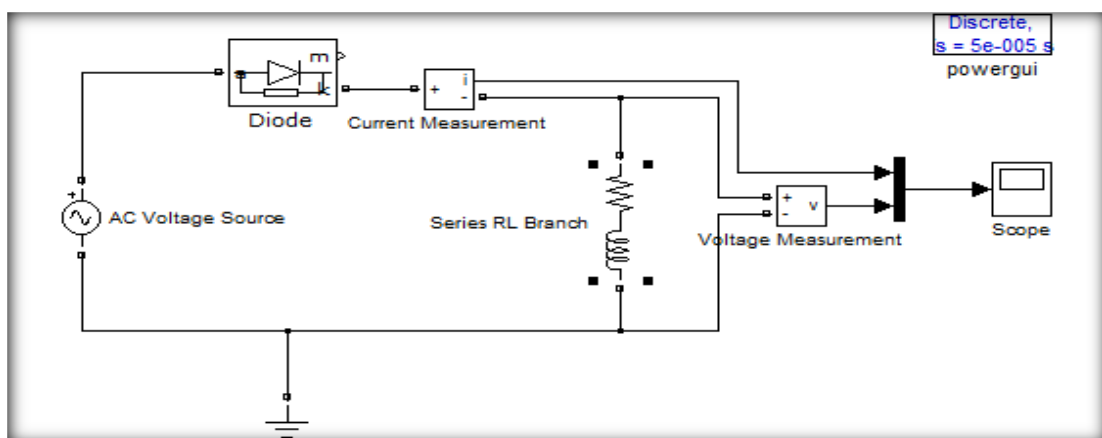


Figure I.7 Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé (Simulink-Matlab).

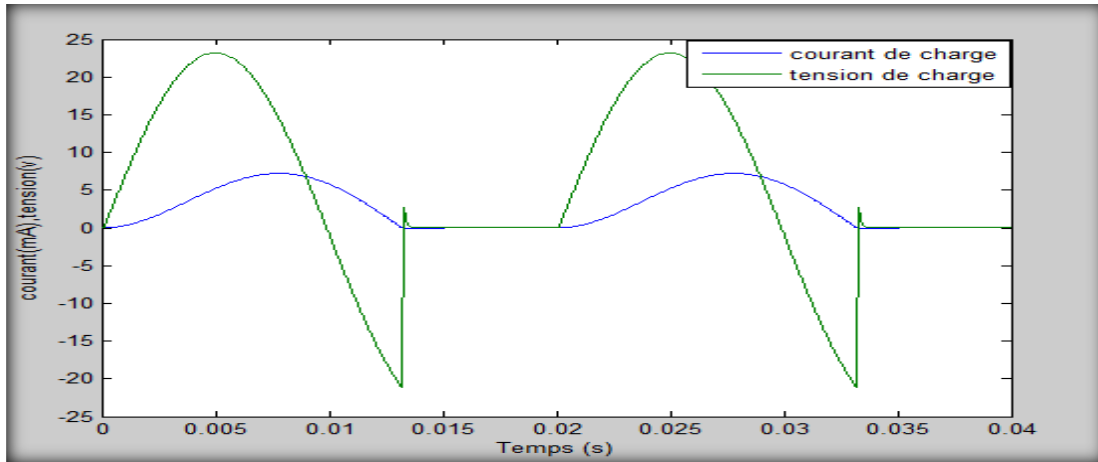


Figure I.8 Allures de la tension et du courant d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé (Simulink-Matlab).

I.3.1.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\varphi} V_m \cdot \sin(\theta) d\theta \dots \dots \dots (I.2)$$

I.3.2. Redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre:

I.3.2.1. Schéma de principe :

La structure de principe de ce type du redresseur est représentée dans la Figure I.9.

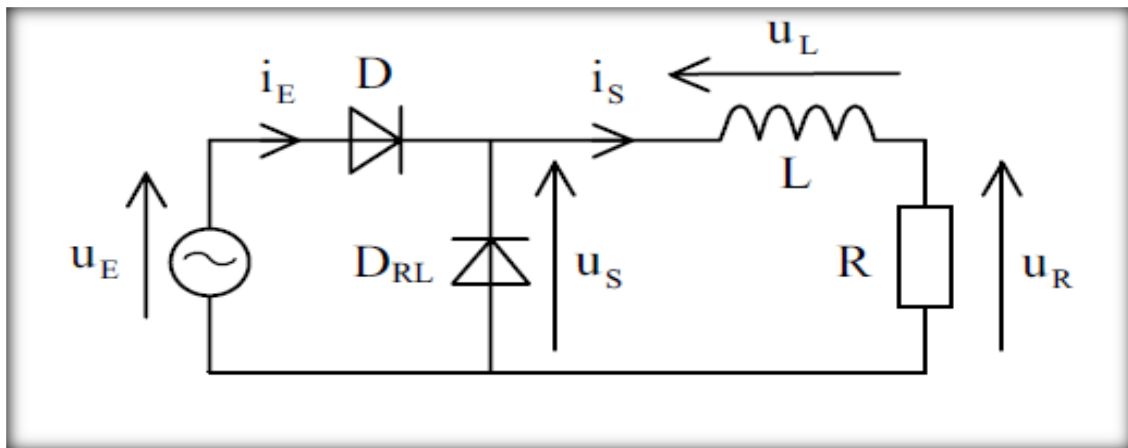


Figure I.9 Redresseur non commandé avec diode de roue libre [7].

Pour que le courant i_s puisse être ininterrompu, il faut placer une diode de roue libre D_{RL} en parallèle avec la charge (Figure I.10) Celle-ci permet le prolongement du courant i_s (absence de discontinuité de courant dans une inductance) lorsque la tension u_E devient négative et, en conséquence, permet le blocage de la diode de redressement

D. Pendant la conduction de D_{RL} , l'inductance fournit à la résistance de l'énergie précédemment emmagasinée sous forme électromagnétique [4].

I.3.2.2. Allures de tension et de courant :

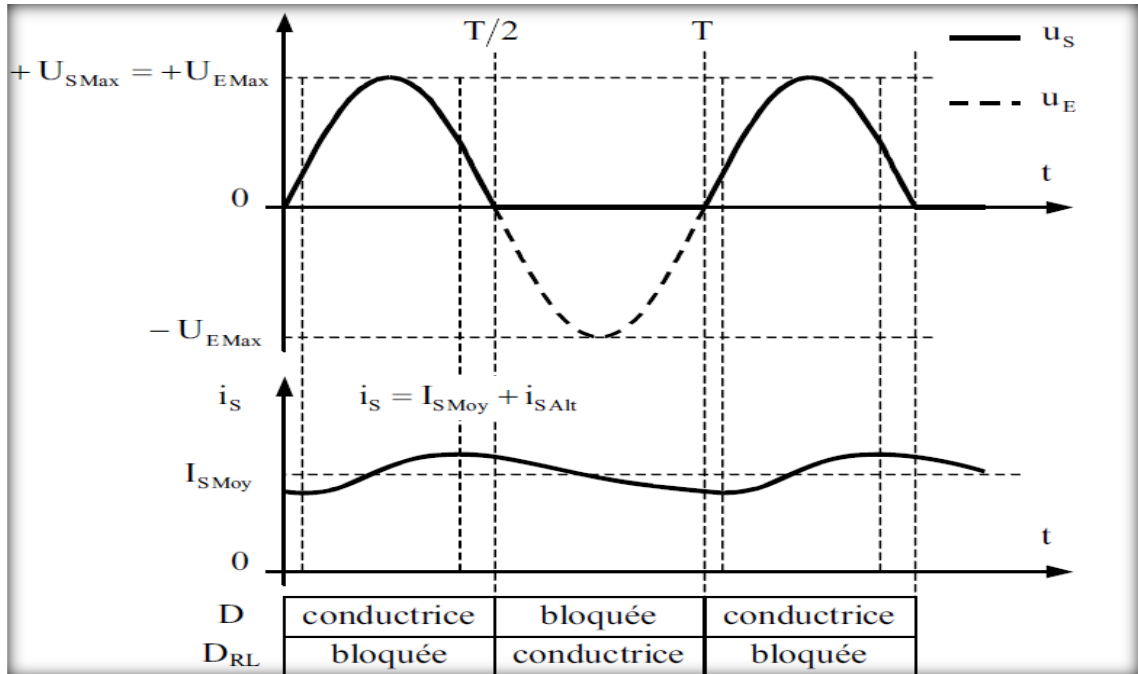


Figure I.10 Simple alternance - Courant i_s lissé - Conduction ininterrompue [7].

I.3.2.3. Simulations par Matlab :

Pour obtenir les courbes de tension et de courant caractéristiques d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre, on réalise le schéma blocks de la Figure I.11.

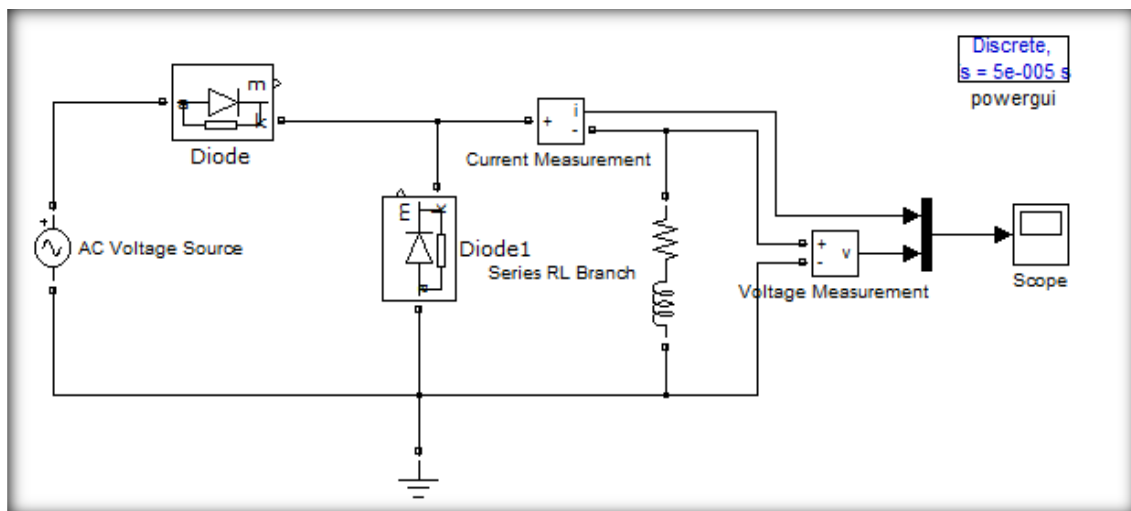


Figure I.11 Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre (Simulink-Matlab).

Les courbes obtenues par simulation Matlab sont représentées dans la Figure I.12.

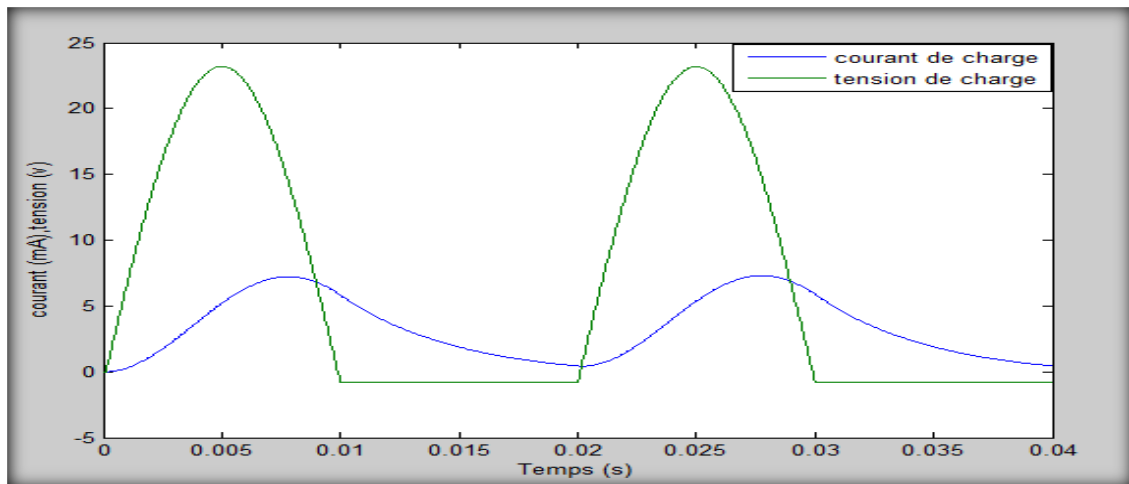


Figure I.12 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre.

I.3.2.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin(\theta) d\theta$$

$$= -\frac{V_m}{2\pi} [\cos(\theta)] = \frac{V_m}{\pi} \dots\dots\dots (I.3)$$

I.3.3. Redresseur monophasé double alternance non commandé :

I.3.3.1. Schéma de principe :

La structure de principe de ce type du redresseur est représentée dans la Figure I.13.

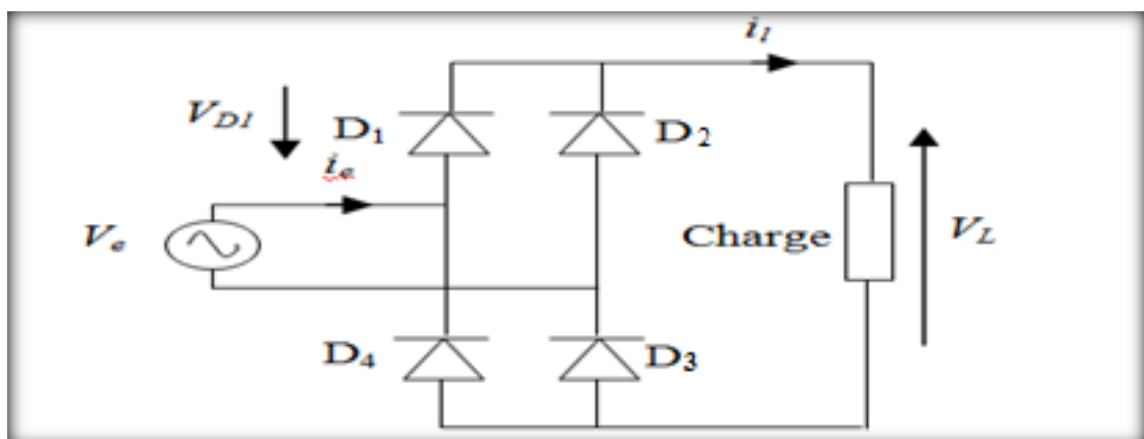


Figure I.13 Redresseur en pont non commandé [2].

Durant l'alternance positive de la source, les diodes D_1 et D_3 conduisent car elles sont polarisées en directe ($V_L=Ve$). Pendant l'alternance négative, D_2 et D_4 conduisent qui donnent $V_L=-Ve$ alors que le courant de charge garde le même sens.

- La tension inverse maximale pour chaque diode égale la valeur maximale de la tension d'alimentation.

I.3.3.2. Allures de tension et de courant :

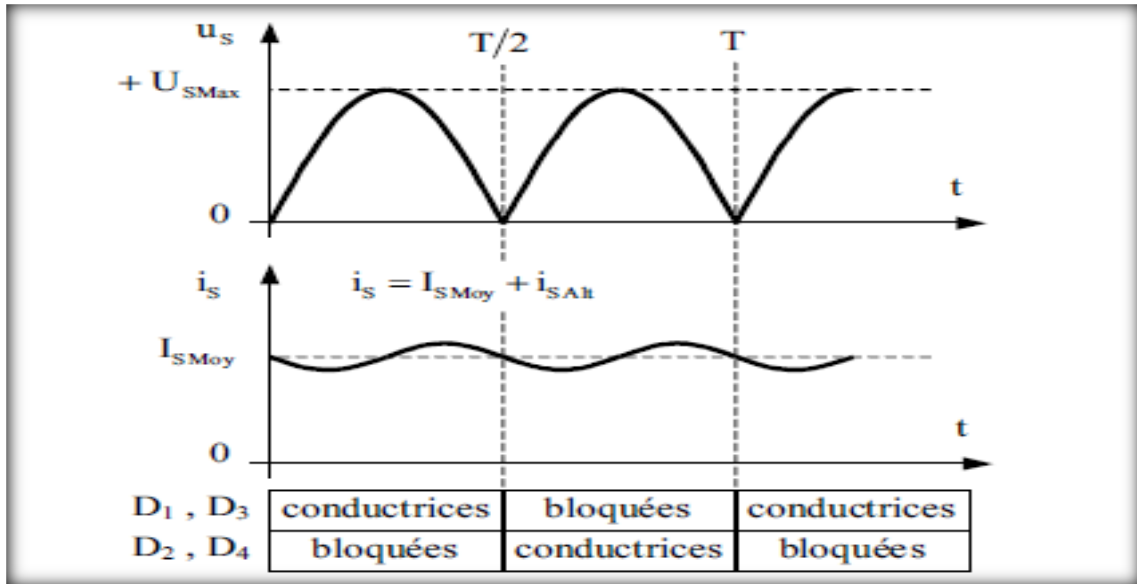


Figure I.14 Allures théoriques de tension et de courant [7].

I.3.3.3. Simulations par Matlab :

La Figure I.15 représente le schéma block d'un redresseur monophasé double alternance non commandé, par la simulation de ce montage on peut obtenir les courbes de la Figure I.16.

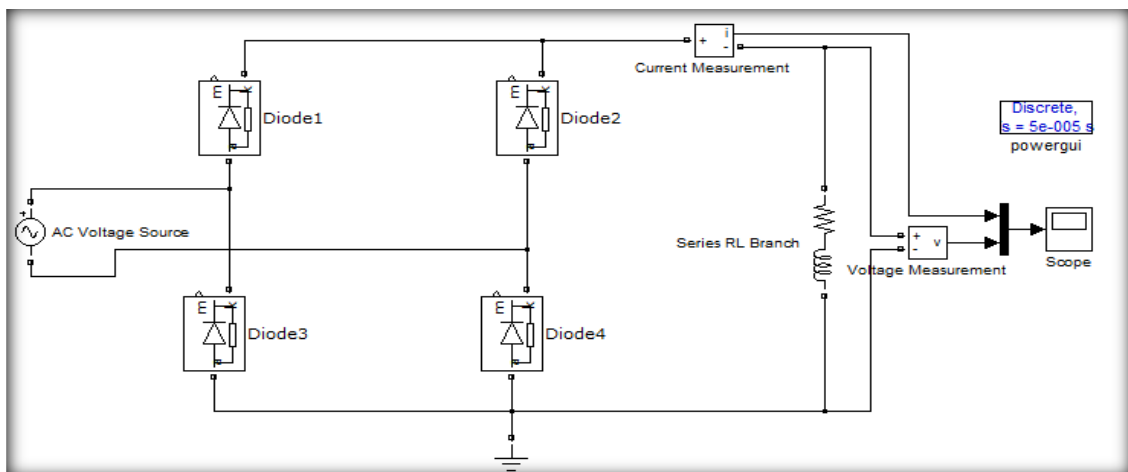


Figure I.15 Schéma block d'un redresseur monophasé double alternance non commandé (Simulink-Matlab).

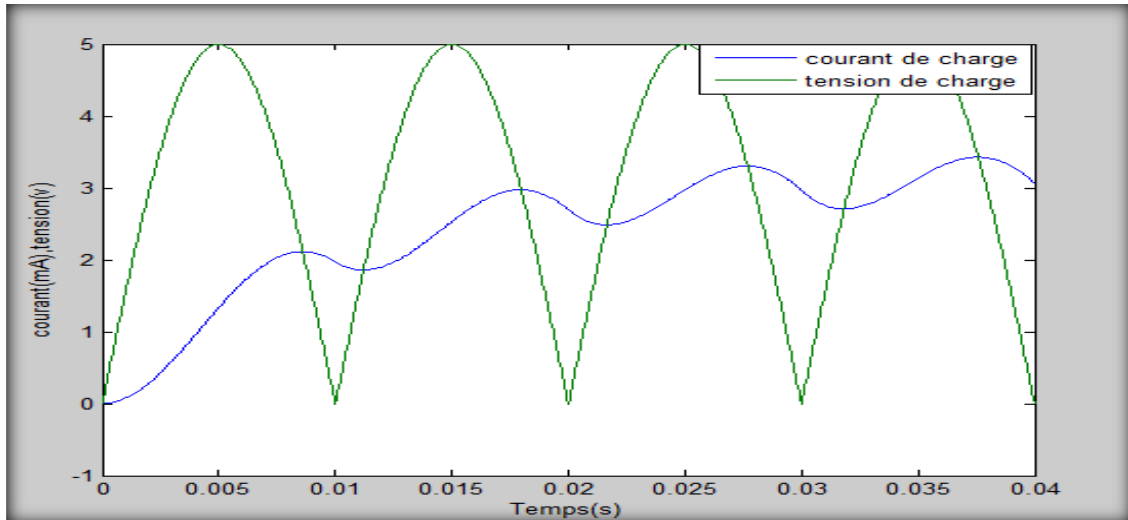


Figure I.16 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé double alternance non commandé.

I.3.3.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin(\theta) d\theta = \frac{2V_m}{\pi} \cong 0.63V_m \dots \dots \dots (I.4)$$

I.4. Les redresseurs commandés :

Le redresseur commandé permet d'obtenir, à partir d'une source alternative, un courant unidirectionnel aux valeurs moyennes et efficaces réglables. Le redressement commandé est utilisé pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu [8].

I.4.1. Redresseur monophasé simple alternance totalement commandé :

I.4.1.1. Schéma de principe :

On règle la tension moyenne de charge en grandeur et en signe en contrôlant l'angle de retard (amorçage). Ce type de convertisseurs est souvent appelé des convertisseurs bidirectionnels car la puissance peut circuler dans les deux sens entre l'alimentation et la charge [2].

Le schéma de ce redresseur est représenté par la Figure I.17.

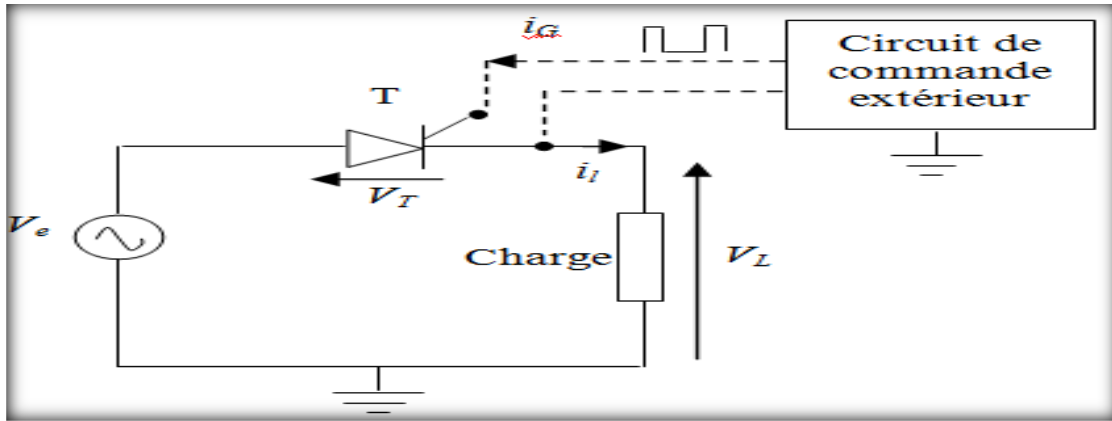


Figure I.17 Redresseur simple alternance totalement commandé [2].

Pendant l’alternance positive, on amorce le thyristor en injectant une impulsion sur sa gâchette à $\omega T = \alpha$, T1 conduit et l’entrée est repérée à la sortie. Quand la tension d’entrée change de polarité, le thyristor ne se bloque pas directement, l’inductance se décharge à travers celui-ci et le thyristor se bloque dès que le courant d’anode devient inférieur à son courant de maintien [6].

I.4.1.2. Allures de tension et de courant :

Les formes d’ondes peuvent être tracées comme montré par la Figure I.18.

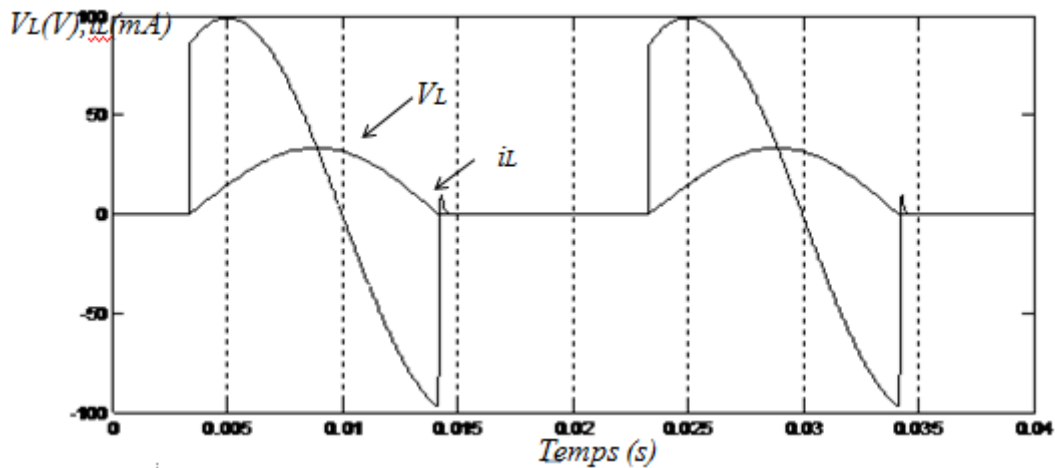


Figure I.18 Forme d’ondes du courant et de la tension [2].

I.4.1.3. Simulations par Matlab :

Pour bien comprendre la fonctionnalité de ce type de convertisseur, le schéma synoptique de la Figure I.19 montre les différents étages utilisés et les liens entre les blocks.

Il ya deux possibilités pour générer la commande du thyristor, la première est d'utiliser un bloc qui s'appelle « pulse generator » dans la quel il suffit de fixer l'angle de retard voulu, la deuxième possibilité est de faire un programme Matlab en utilisant la commande S-Function pour générer l'angle de retard en question.

Dans notre travail, on a utilisé la deuxième possibilité.

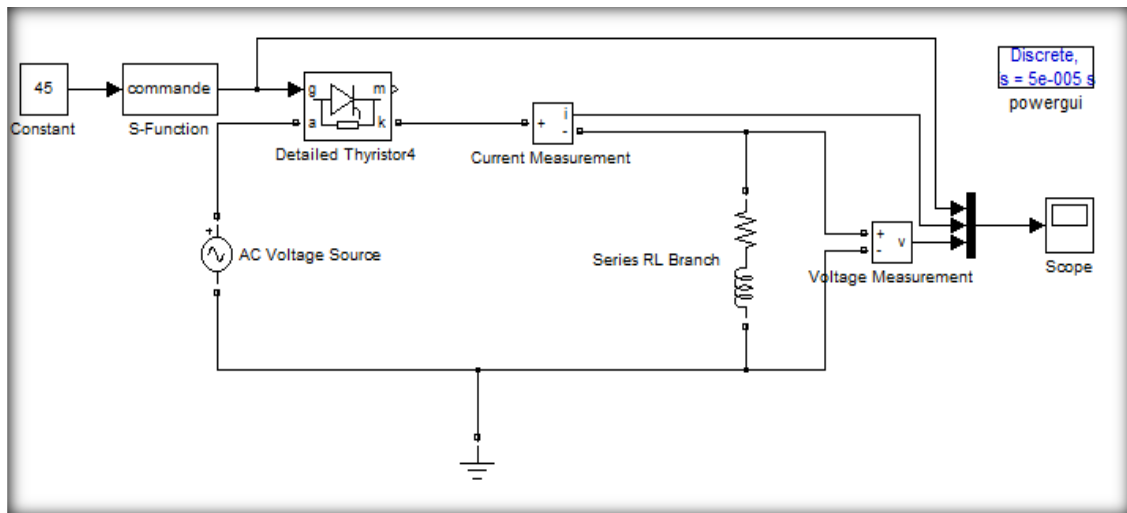


Figure I.19 Schéma block d'une redresseuse monophasée simple alternance totalement commandé (Simulink-Matlab).

Le résultat de simulation est représenté dans la Figure I.20, qui montre les formes d'ondes de tension, de courant et le signal de commande du thyristor.

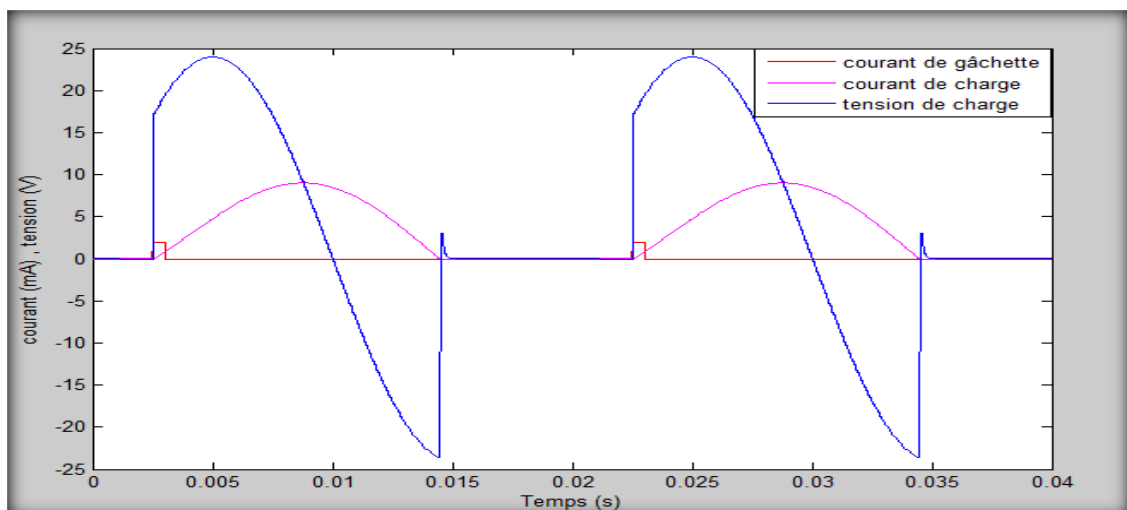


Figure I.20 Allures de tension, de courant et de signal de commande du thyristor d'un redresseur monophasé simple alternance totalement commandé (simulink -Matlab).

I.4.1.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\varphi} V_m \cdot \sin(\theta) d\theta \dots \dots \dots (I.5)$$

I.4.2. Redresseur monophasé simple alternance semi commandé :**I.4.2.1. Schéma de principe :**

On place une diode de roue libre D_{RL} en parallèle sur la charge pour que le courant i_S puisse être ininterrompu (Figure I.21 et Figure I.22). Cette diode prolonge le courant i_S (absence de discontinuité de courant dans une inductance) lorsque la tension u_E devient négative et, conséquemment, permet le blocage du thyristor. Pendant la conduction de D_{RL} , l'inductance fournit à la résistance de l'énergie précédemment emmagasinée sous forme électromagnétique. Aucune énergie n'est renvoyée à la source u_E . La conduction du courant dans la charge est ininterrompue [7].

Le schéma de ce redresseur est représenté par la Figure I.21.

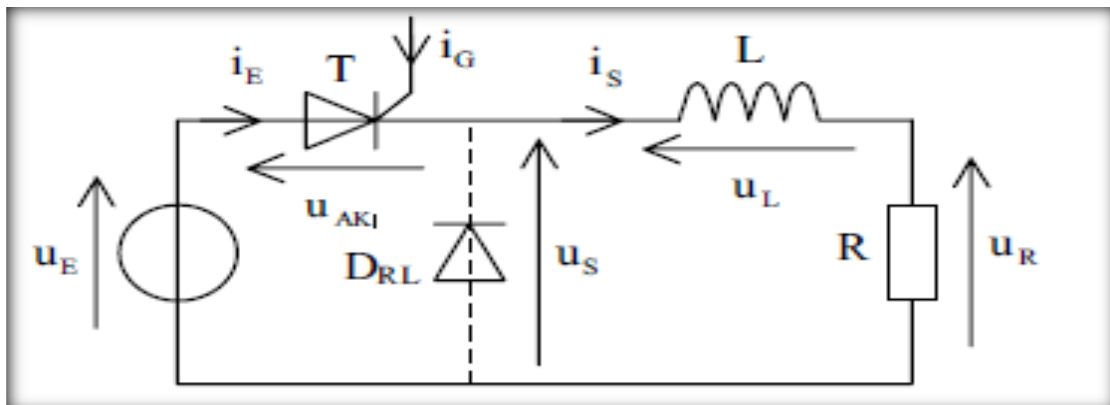


Figure I.21 Redressement simple alternance semi-commandé [7].

I.4.2.2. Allures de tension et de courant :

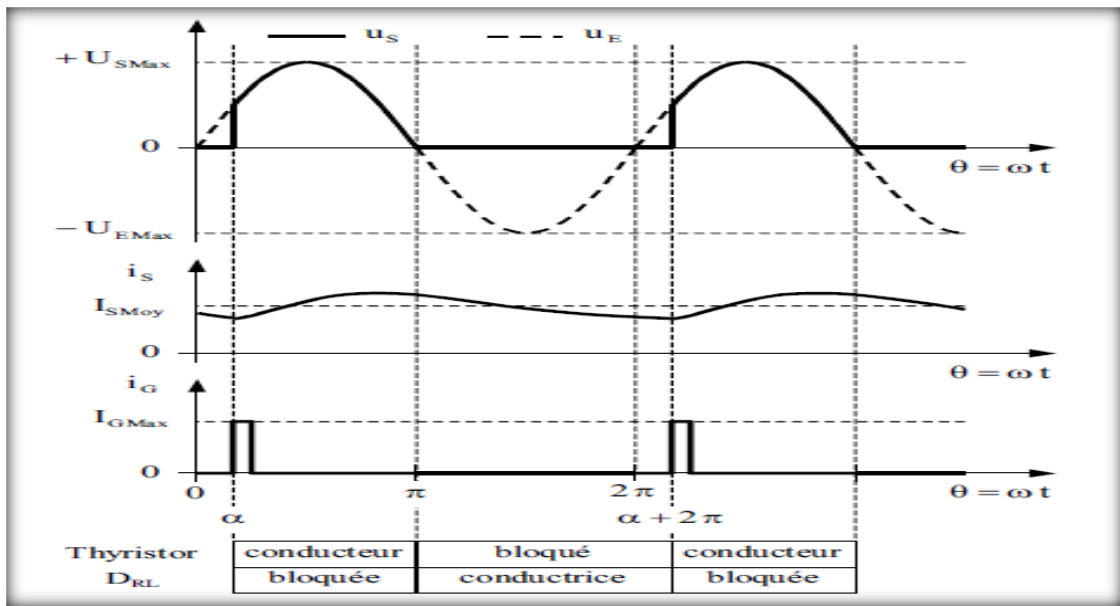


Figure I.22 Simple alternance – Charge inductive et diode de roue libre
Conduction ininterrompue du courant dans la charge [7].

I.4.2.3. Simulations Matlab :

Pour obtenir les courbes de tension et de courant caractéristiques d'un redresseur monophasé simple alternance semi commandé, on réalise le schéma blocks de la Figure I.23.

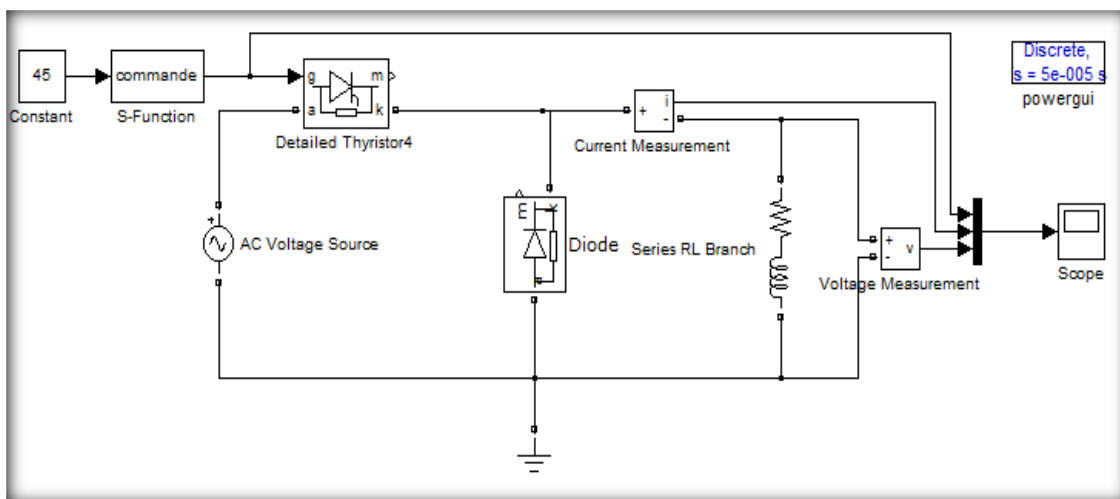


Figure I.23 Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance semi commandé (Simulink-Matlab).

Les courbes obtenues par simulation Matlab sont représentées dans la Figure I.24.

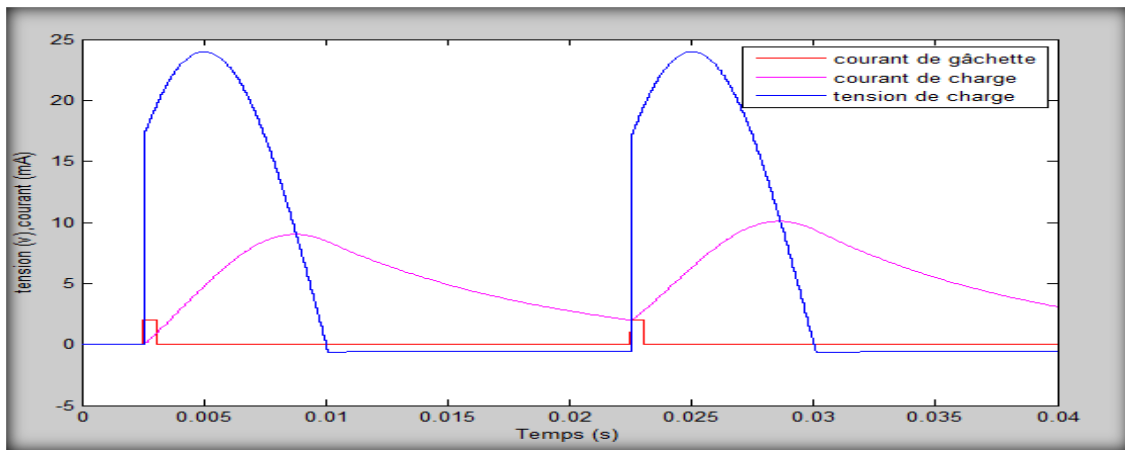


Figure I.24 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé simple alternance semi commandé (simulink -Matlab).

I.4.2.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \cdot \sin(\theta) d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos(\alpha)) \dots \dots \dots (I.6)$$

I.4.3. Redresseur monophasé double alternance totalement commandé :

I.4.3.1. Schéma de principe :

Dans ce cas, le montage ne comporte que des thyristors. Il n'y a de conduction jusqu'à l'amorçage des thyristors. Pour qu'un courant circule, il faut amorcer les thyristors T₁ et T₂ simultanément ainsi T₃ et T₄ dans l'alternance suivante. Pour que l'amorçage soit simultané, un même circuit amorce deux thyristors [2].

Le circuit de principe est donné par la Figure I.25.

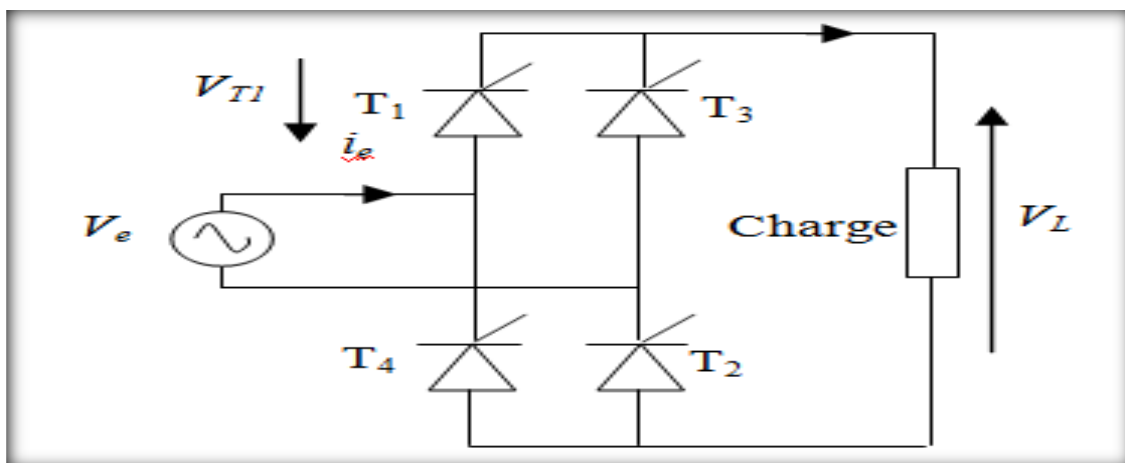


Figure I.25 Redresseur monophasé double alternance totalement commandé [2].

Pendant l'alternance positive, les thyristors T1 et T2 sont amorcés à $\omega T = \alpha$, ainsi la charge est connectée à l'entrée, ces derniers continuent à conduire jusqu'à $\omega T = \pi + \alpha$ et ils se bloquent par l'amorçage des T3 et T4. Le courant de charge est transféré de T1 et T2 vers T3 et T4, d'où la continuité du courant [6].

I.4.3.2. Allures de tension et de courant :

Les formes d'ondes de ce convertisseur sont représentées dans la Figure I.26.

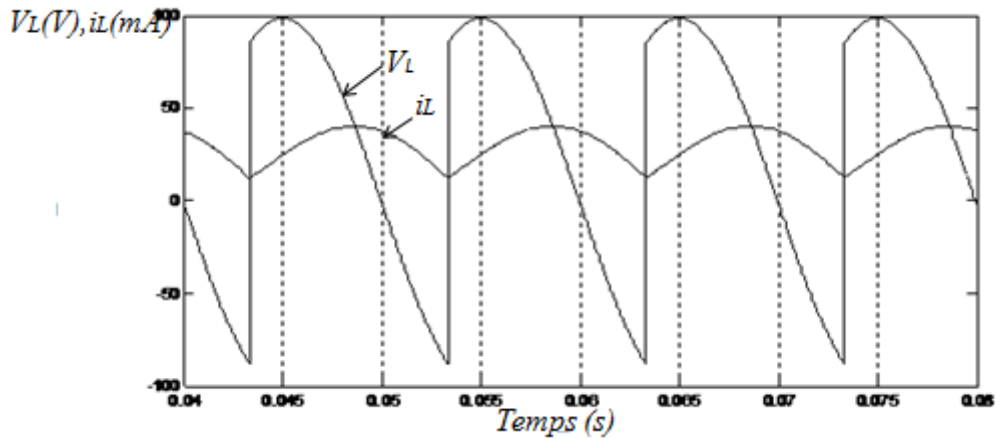


Figure I.26 Les formes d'ondes de la tension et du courant du redresseur monophasé double alternance totalement commandé [2].

I.4.3.3. Simulations Matlab :

Pour obtenir les courbes de tension et de courant caractéristiques d'un redresseur monophasé double alternance totalement commandé, on réalise le schéma blocks de la Figure I.27.

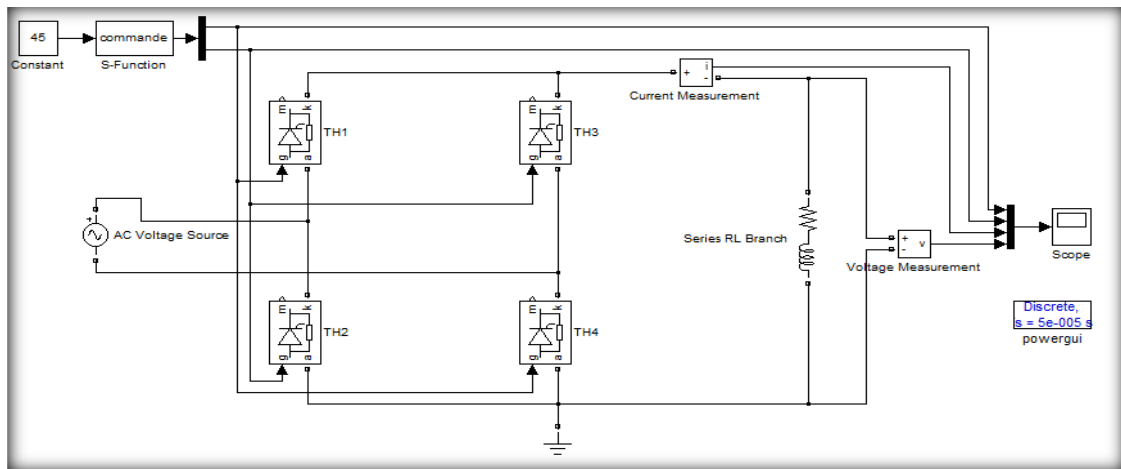


Figure I.27 Schéma de block d'un redresseur monophasé double alternance totalement commandé (Simulink-Matlab)

Les formes d'ondes de tension, de courant et les impulsion de commande sont représentées dans la Figure I.28.

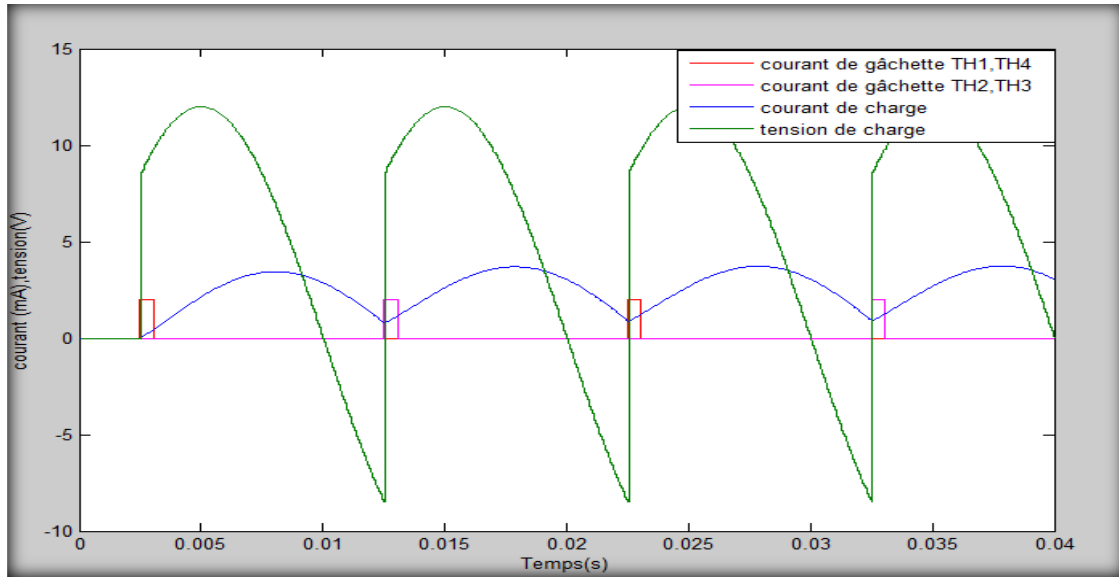


Figure I.28 Allures de tension, de courant et les impulsion de commande d'un redresseur monophasé simple alternance totalement commandé (simulink -Matlab).

I.4.3.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \cdot \sin(\theta) d\theta = \frac{2V_m}{\pi} \cos(\alpha) \cong 0.63V_m \cos(\alpha) \dots \dots \dots (I.7)$$

I.4.4. Redresseur monophasé double alternance semi-commandé :

I.4.4.1. Schéma de principe :

- Deux thyristors et deux diodes permettent de commander la tension redressée moyenne (le circuit de principe est donné dans la Figure I.29). Le courant d'entrée passe par T₁, T₂ et D₁, D₂ assurent le retour du courant.

- Les thyristors commutent lorsqu'ils sont amorcés et les diodes commutent aux zéros de la tension d'alimentation. La tension de charge élaborée ne devient jamais négative même sans D_L.

- D_L fournit un chemin parallèle préférentiel à ce trajet de roue libre comparativement à la combinaison série d'un thyristor et d'une diode par exemple T₁, D₁.

- D_L permet donc au thyristor de repasser à l'état bloqué [2].

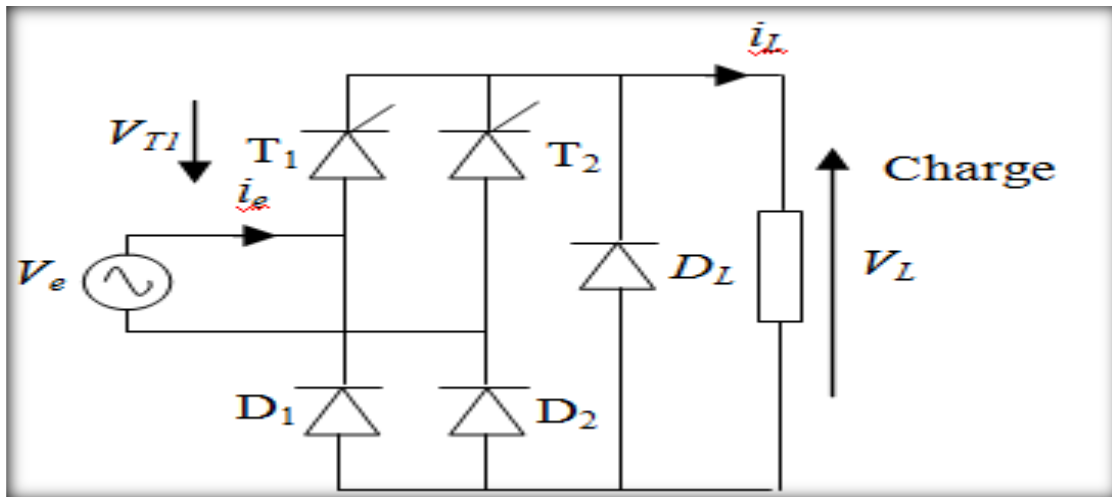


Figure I.29 Redresseur monophasé double alternance semi commandé [2].

I.4.4.2. Allures de tension et de courant :

Les formes d'ondes du courant et de la tension du redresseur monophasé double alternance avec diode de roue libre représentées par la Figure I.30.

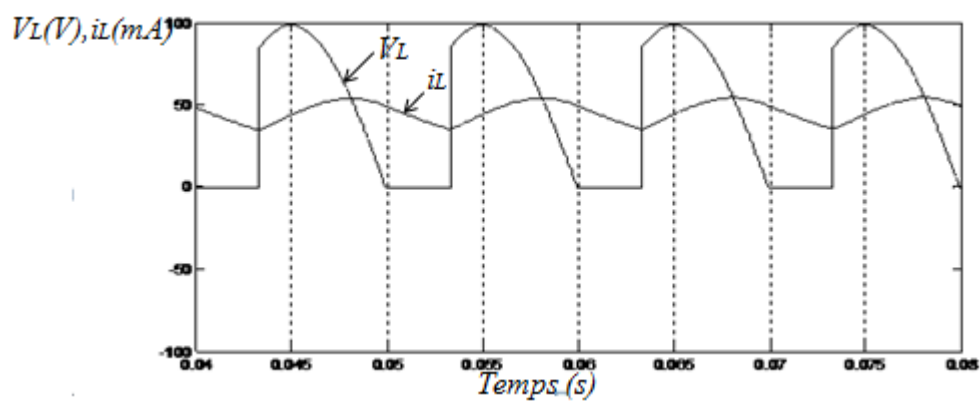


Figure I.30 Forme d'ondes du courant et de la tension du redresseur monophasé double alternance semi commandé [2].

I.4.4.3. Simulations Matlab :

Pour obtenir les courbes de tension et de courant caractéristiques d'un redresseur monophasé double alternance semi-commandé, on réalise le schéma blocks de la Figure I.31.

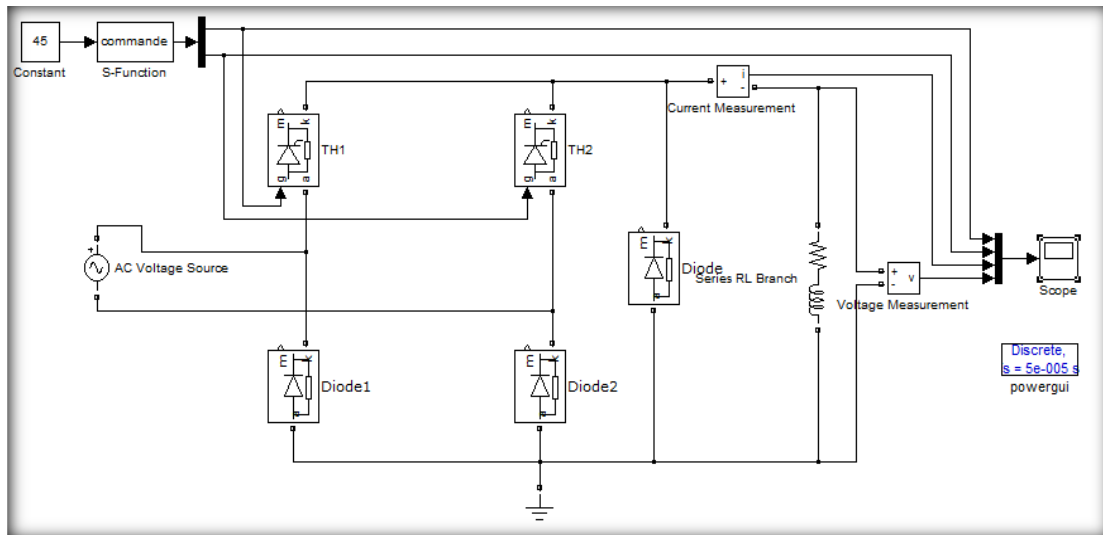


Figure I.31 Schéma block d'un redresseur monophasé double alternance semi-commandé (Simulink-Matlab).

Les formes d'ondes de tension, de courant et les impulsion de commande sont représentées sur la Figure I.32.

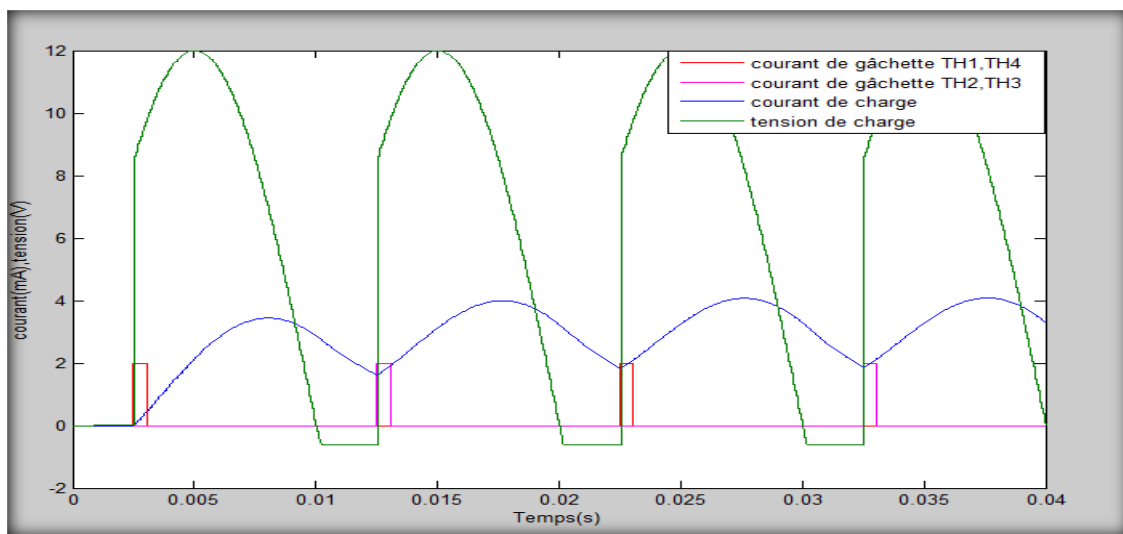


Figure I.32 Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé double alternance semi commandé (simulink -Matlab).

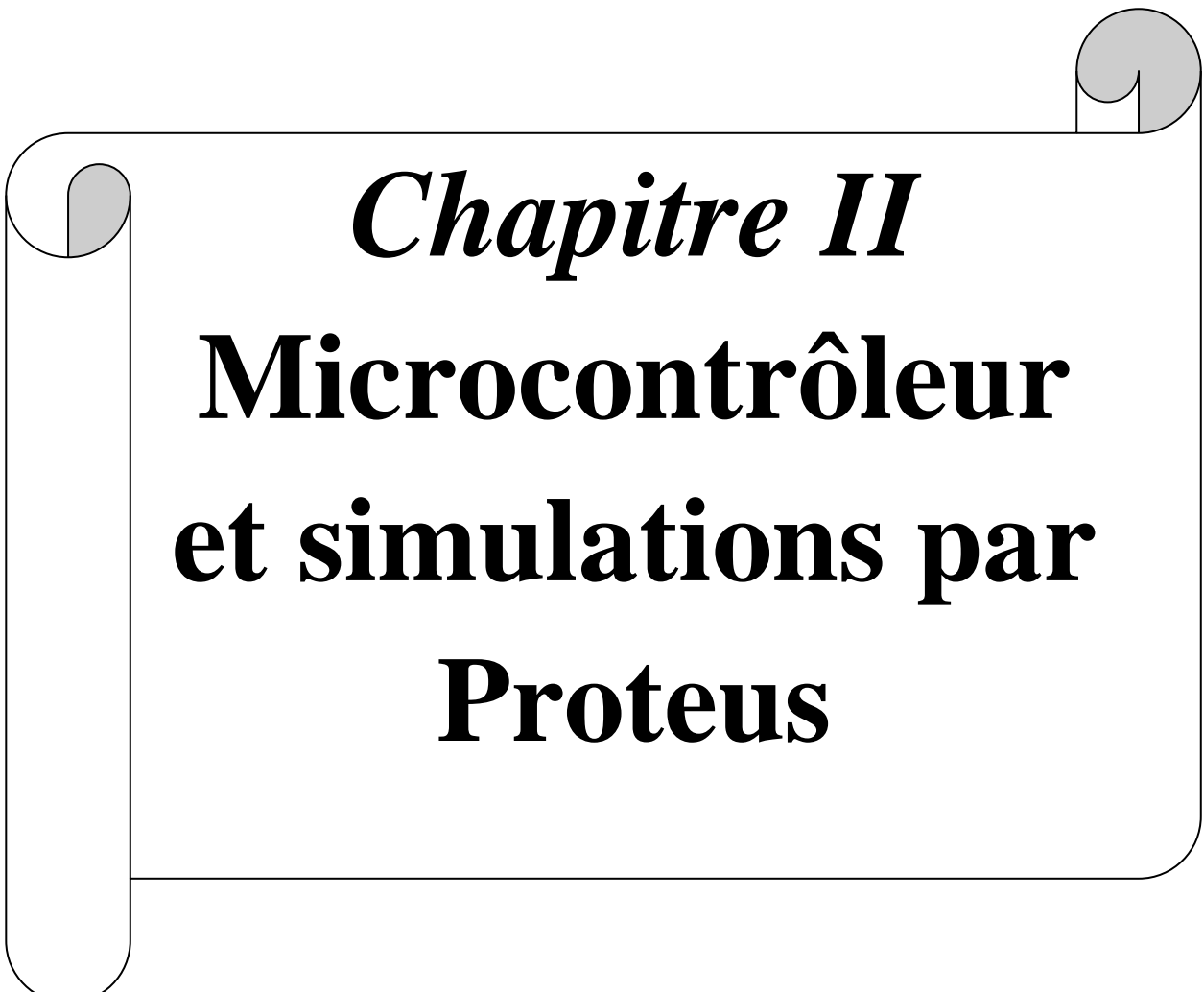
I.4.4.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \cdot \sin(\theta) d\theta = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \dots \dots \dots (I.8)$$

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une grande famille des convertisseurs statiques qui est les convertisseurs alternatifs-continus. En premier lieu, nous avons présenté des notions générales sur les interrupteurs électriques, leurs principes de commande, le choix d'un thyristor nous permet de jouer sur la valeur moyenne d'une tension redressée par l'angle d'amorçage d'un thyristor. Nous passons en deuxième lieu par présenter les montages les plus célèbres dans les applications dédiées aux redressements commandés et leurs performances pour des charges RL. Des simulations par le logiciel Matlab ont été illustrées et confirment ainsi l'étude théorique des différents convertisseurs considérés dans ce travail.

Dans le chapitre qui se suit, on va présenter l'architecture générale et les caractéristiques du microcontrôleur PIC 16F877A de la société MICROCHIP, un organigramme qui explique notre code, et une simulation Proteus de notre travail vont aussi être présentés.

A decorative scroll graphic with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the chapter title.

Chapitre II
**Microcontrôleur
et simulations par
Proteus**

II.1. Introduction :

Ce chapitre présente brièvement l'architecture générale et les caractéristiques du microcontrôleur PIC 16F877A de la société MICROCHIP. Ainsi qu'un petit rappel sur les logiciels qu'on a utilisés comme le CCS PICC qui permet la programmation du pic, et le Proteus qui permet de faire la simulation. A la fin de ce chapitre, on fera un organigramme qui explique notre code, et une simulation Proteus de notre travail.

II.2. Microcontrôleur :

II.2.1. Qu'est ce qu'un microcontrôleur :

C'est un ordinateur monté dans un circuit intégré. Les avancées technologiques en matière d'intégration, ont permis d'implanter sur une puce de silicium de quelques millimètres carrés la totalité des composants qui forment la structure de base d'un ordinateur.

Comme tout ordinateur, on peut décomposer la structure interne d'un microprocesseur en trois parties :

- Les mémoires
- Le processeur
- Les périphériques

Les PICs sont des composants RISC (*Reduce Instructions Construction Set*), ou encore composant à jeu d'instructions réduit. L'avantage est que plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide en est le décodage, et plus vite le composant fonctionne.

La famille des PICs est subdivisée en 3 grandes familles : La famille **Base-Line**, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits, la famille **Mid-Range**, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie la 16F84 et 16F876), et la famille **High-End**, qui utilise des mots de 16 bits (18FXXX).

Pour identifier un PIC, on utilise simplement son numéro :

- Les 2 premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC, **16** indique un PIC Mid-Range.
- Vient ensuite parfois une lettre **L**, celle-ci indique que le PIC peut fonctionner avec une plage de tension beaucoup plus tolérante.

- Vient en suite une ou deux lettres pour indiquer le type de mémoire programme :
 - *C* indique que la mémoire programme est une EPROM ou plus rarement une EEPROM .
 - *CR* pour indiquer une mémoire de type ROM
 - *F* pour indiquer une mémoire de type FLASH.
- On trouve ensuite un nombre qui constitue la référence du PIC.

On trouve ensuite un tiret suivi de deux chiffres indiquant la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir [8].

II.2.2. Intérêt des microcontrôleurs :

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

On peut encore préciser :

- Les performances sont identiques voir supérieurs à ses concurrents.
- Très utilisé donc très disponible.
- Les outils de développement sont gratuits et téléchargeables sur le 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.

On trouve sur l'Internet quasiment tout ce dont on a besoin, tutoriaux pour démarrer, documents plus approfondis, schémas de programmeurs avec les logiciels qui vont avec, bibliothèques de routines, forums de discussion etc [8].

Afin de choisir un pic adéquat à notre projet, il faut prendre en compte plusieurs considérations tel que le nombre d'entrées / sorties, la nécessité d'un convertisseur analogique/ numérique, la rapidité d'exécution ainsi que la taille de la RAM interne et la longueur de programme de l'application. Après ces considérations, nous avons pensé à utiliser le PIC 16F877A car il possède le nécessaire.

II.2.3. Les caractéristiques du PIC 16F877A :

Le microcontrôleur **PIC 16F877A** est un circuit intégré à 40 broches dont les caractéristiques générales peuvent être résumées comme suit :

- Vitesse d'exécution allant jusqu'à 20MHz permettant l'exécution rapide du programme, une instruction en cycle d'horloge de 200ns.
- Une mémoire vive « **RAM** » de 368 octets, répartie sur 4 banque 0, 1, 2, 3 « mémoire de données ».
- Une mémoire **EEPROM** pour sauver des paramètres de 256 octets « mémoire de données».
- Une mémoire morte « **ROM** » mémoire programme de type FLASH de 8ko « 1mot=14bit».
- **33** Entrées/Sorties programmables multiplexés.
- **8** entrées « canaux » du module de conversion analogique numérique 10 bits.
- **2** Comparateurs analogiques programmables avec une référence de tension, programmable également.
- Conservation des informations en mémoire vive jusqu'à 1.5v.
- Une plage d'alimentation de 2.0V à 5V.
- Module de capture **MLI** programmable permettant de capturer un signal « logique » en fonction du temps, ou d'offrir un signal **MLI (PWM)**.
- De nouvelles fonctionnalités, comme les gestions de ports «Série».

Le PIC 16F877A parmi les plus puissants microcontrôleurs de la gamme « Midrange» chez Micro-chip.

Dans notre travail, on s'intéresse au convertisseur analogique/numérique et au Timer0 pour la génération de l'interruption interne qui nous aide à déterminer l'angle de retard souhaité pour la commande [9].

II.2.4. Description général du PIC 16F877A :

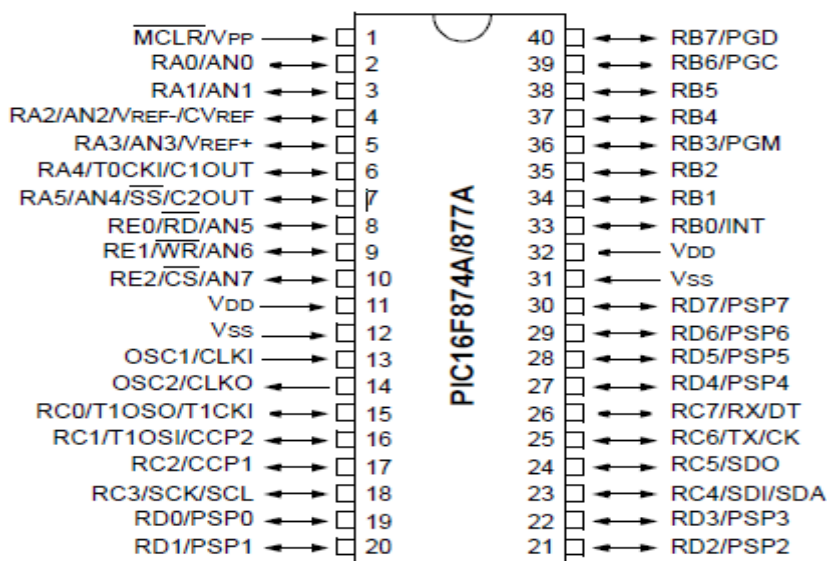


Figure II.1 brochage du PIC 16F877A [10].

II.2.5. Architecture externe :

Le microcontrôleur 16F877A fait partie de la sous famille des 16F87X. Cette branche fait partie intégrante de la famille des Pics Mid-Range, Le PIC 16F877A se présente sous la forme d'un boîtier 40 broches, Le numéro peut être suivi d'un «A», et d'un «-XX» qui donne la fréquence d'horloge maximum du composant. A l'heure actuelle, la version la plus courante est la version -20. Donc la fréquence maximale sera de 20MHz [9].

PIN	UTILISATION
ARA0 à RA5	Lignes d'entrées /sorties du port
BRB0 à RB7	Lignes d'entrées /sorties du port
CRC0 à RC7	Lignes d'entrées /sorties du port
DRD0 à RD7	Lignes d'entrées /sorties du port
ERE0 à RE3	Lignes d'entrées /sorties du port
VDD	Broche d'alimentation +5V
VSS	Broche du 0V
MCLR.	Reset du circuit
OSC1 et OSC2	Broche recevant quartz externe

Tableau II.1 Broches du PIC.

- **Alimentation « VDD et VSS » :**

Ce sont les broches d'alimentation du circuit, les tensions qui peuvent être appliquées sont :

De **4V** à **6V** pour la gamme standard.

De **2V** à **6V** pour la gamme étendue.

L'intensité du courant consommé peut aller de **1 μ A** à **10mA**. La consommation sera en fonction de :

La tension d'alimentation.

La fréquence interne.

Le mode de fonctionnement.

- **L'horloge :**

Deux pattes **13** et **14** sont présentées sur le boîtier du **PIC 16F877A**.

La première nommée **OSC1/CLKIN** et la deuxième **OSC2/CLKOUT**. Ces deux broches peuvent être utilisées de plusieurs manières; cela dépend de l'oscillateur ou de l'horloge employés:

XT : version à oscillateur à quartz «standard» fonctionnant jusqu'à une fréquence maximale de **4MHz**.

HS « High Speed » : version à oscillateur à quartz capable de fonctionner jusqu'à une fréquence maximale de **20MHz**.

RC : capable de fonctionner jusqu'à **4MHz** mais avec une stabilité de fréquence plus faible que les versions à quartz.

LP « Low Power » : version à quartz également, mais prévue spécialement pour les applications à très faible consommation. C'est donc une version dont la fréquence maximale de fonctionnement est limitée à **20KHz**.

- **MCLR**

Cette broche sert à initialiser le PIC, ce dernier dispose de plusieurs sources de **RESET** :

POR « Power on reset » : mise sous tension. Un front descendant sur **MCLR** déclenche l'initialisation du microcontrôleur. Cette broche peut être simplement reliée à **VDD** si on n'a pas besoin de **RESET** externe.

EXTERNAL RESET « mis à l'état de **MCLR** ».Remise à zéro extérieur. Il faut appliquer un niveau bas sur l'entrée. RESET au moins **2µs** pour que l'initialisation soit prise en compte.

WDT : chien de garde. Si le **WDT** arrive à la fin du temps de garde sans être rafraîchi, il aura une initialisation du µc.

BOR : baisse de l'alimentation. Si l'alimentation VDD chute en dessous de **4V** pendant **100µs** au moins, le microcontrôleur peut générer un RESET [9].

II.2.6. Architecture interne :

Cette architecture nous présente les principaux organes qui composent le microcontrôleur, la Figure (II.2) illustre cette architecture :

- La mémoire **FLASH** de **8K** mots à **14** bits.
- La mémoire de donnée **EEPROM** à **256** octets.
- La mémoire de donnée **RAM** à **368** octets.
- Les registres particuliers **W** « registre de travail »; **FSR** et **STATUS** « d'état ».
- L'unité arithmétique et logique « **UAL** ».
- Cinq ports bidirectionnels **E/S A, B, C, D,E**.
- Huit niveaux de pile.

Cependant, même si les op-codes sont codés sur **14** bits, les données et les résultats seront toujours sur **8** Bits [9].

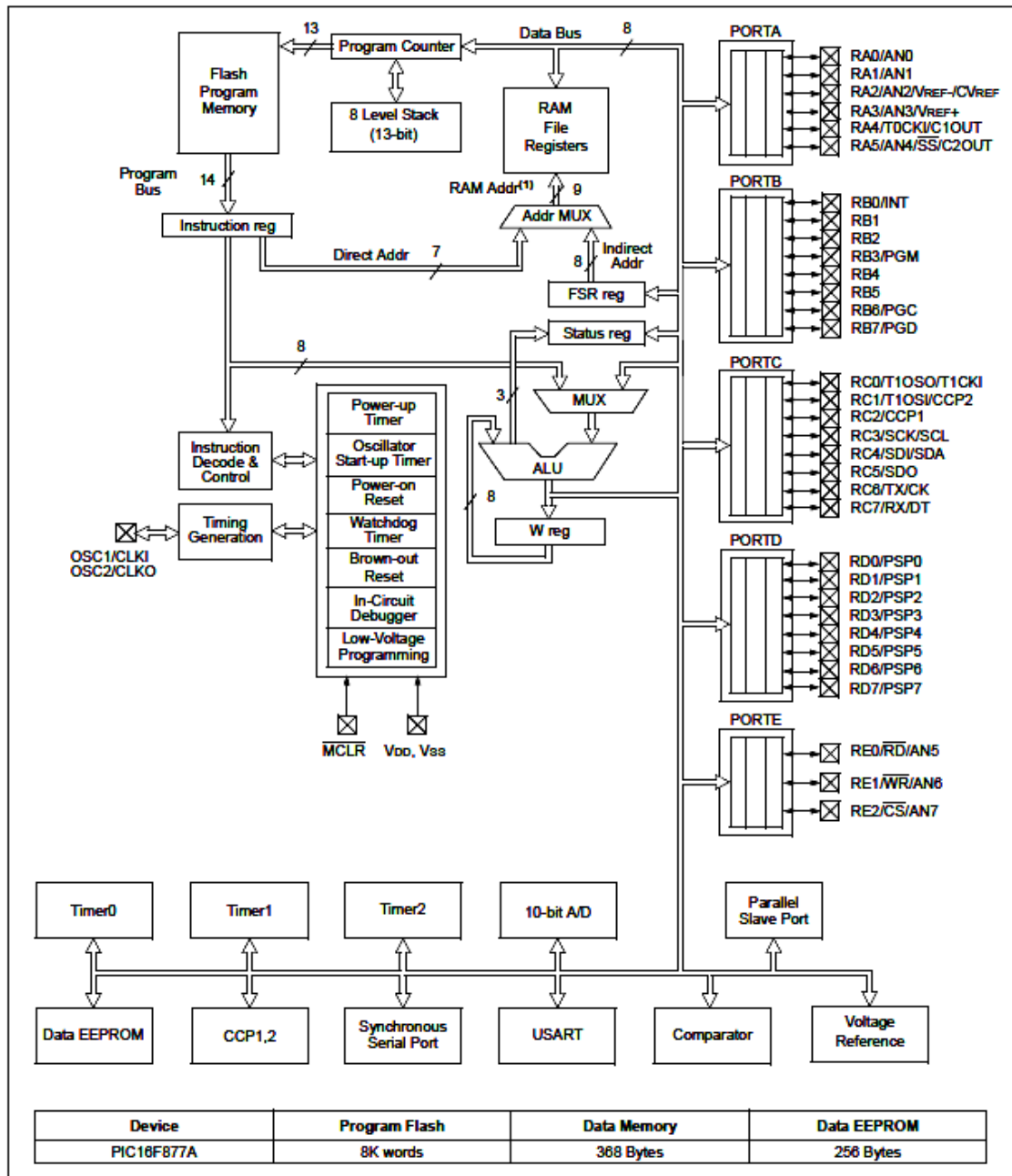


Figure II.2 Architecture interne du pic 16F877A [10].

II.2.7 Organisation de la mémoire :

La mémoire du PIC 16F877A est divisée en 3 parties :

- **La mémoire programme :** La mémoire programme est constituée de 8k mots de 14 bits. C'est dans cette zone que nous allons écrire notre programme. Le PIC exécute une à une les instructions logées dans la mémoire du programme.
- **La mémoire EEPROM :** La mémoire EEPROM « Electrical Erasable Programmable Read Only Memory », est constituée de 256 octets, ces octets sont

conservés après une coupure du courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi-permanents.

- **La mémoire RAM et organisation** : La mémoire RAM est celle qui est souvent utilisée. Toutes les données qui y sont stockées sont perdues lors d'une coupure du courant. La mémoire RAM disponible du 16F877 est de 368 octets. Elle est répartie de la manière suivante :
 - 80 octets en banque 0, adresses 0*20 à 0*6F
 - 80 octets en banque 1, adresses 0*A0 à 0*EF
 - 96 octets en banque 2, adresses 0*110 à 0*16F
 - 96 octets en banque 3, adresses 0*190 à 0*1EF

16 octets commun aux 4 banques, soit 0*70 à 0*7F = 0*F0 à 0*FF.

a. Plan mémoire pour les instructions « code programme » : Le plan mémoire est linéaire les adresses vont de 0000h à 1FFFh « 8k mots de 14 bits », Par page de 2k mots. Les Pics n'ont qu'un seul vecteur d'interruption en 0004h. Lors d'une interruption, le sous programme associé devra déterminer quel périphérique a demandé en mémoire de donnée comme avec les microcontrôleurs classiques, mais dans la mémoire programme. Elles sont utilisées lors d'appel de sous programmes, on ne peut pas imbriquer plus de 8 sous programmes.

b. Plan mémoire pour les données et registres internes « SFR » : *Spécial function register* » Le plan mémoire des données et des registres internes est découpé en 4 zones ou Bank de 128 octets, pour accéder à une zone, il faut positionner les bits RB0 « bit 5 » et RP1 « bit 6 » du registre STATUS. Les registres appelés General purpose Register ne sont ni plus ni moins que des cases mémoires pour stocker les données [9].

II.2.8. Les registres du PIC 16F877A :

La mémoire RAM est organisée en 4 banques pour le 16F877A. La RAM est subdivisée de plus en quatre parties. Dans chacune des banques, on trouve des «cases mémoires spéciales» appelées REGISTRES SPECIAUX et des cases mémoires «libres» dont nous pouvons nous en servir à notre guise.

a. Le registre statu d'adresse 0X03 ou registre d'états : Comme son nom l'indique ce registre contient un certain nombre de bits d'états de l'unité centrale mais aussi des bits de sélection de la page qui s'appellent ici RP1 et RP0. De ce fait, il peut être lu comme

n'importe quel autre registre étant entendu que certains bits d'états restant non modifiables.

b. Le registre FSR d'adresse 0X04 : Le PIC 16F877A possède une unité arithmétique et logique « UAL » et un registre de travail W. L'UAL effectue des fonctions arithmétiques booléennes entre les données se trouvant dans le registre de travail et n'importe quel registre. Pour les instructions à deux opérandes, typiquement une donnée est dans le registre de travail « W » et l'autre opérande dans un autre registre ou se trouve une valeur immédiate constante. Pour les instructions à un seul opérande, la donnée se trouve soit dans le registre de travail « W » soit dans un autre registre. Le registre de travail « W » possède 14 bits, utilisé pour les opérations avec l'UAL, ce n'est pas un registre adressable. Elle « UAL » est composée de :

- Un accumulateur 8 bits W : WORKING « travail », c'est lui qui effectue toutes les opérations arithmétiques et logiques.
- Un registre d'état 8 bits STATUS.

II.2.9. Les timers du pic 16F877A :

Les Pics 16F877A disposent 3 timers :

II.2.9.1. Le timer 0 « 8 bits »: Il peut être incrémenté par des impulsions extérieures via la broche « TOCKI/RA4 » ou par l'horloge interne « Fosc/4 ».

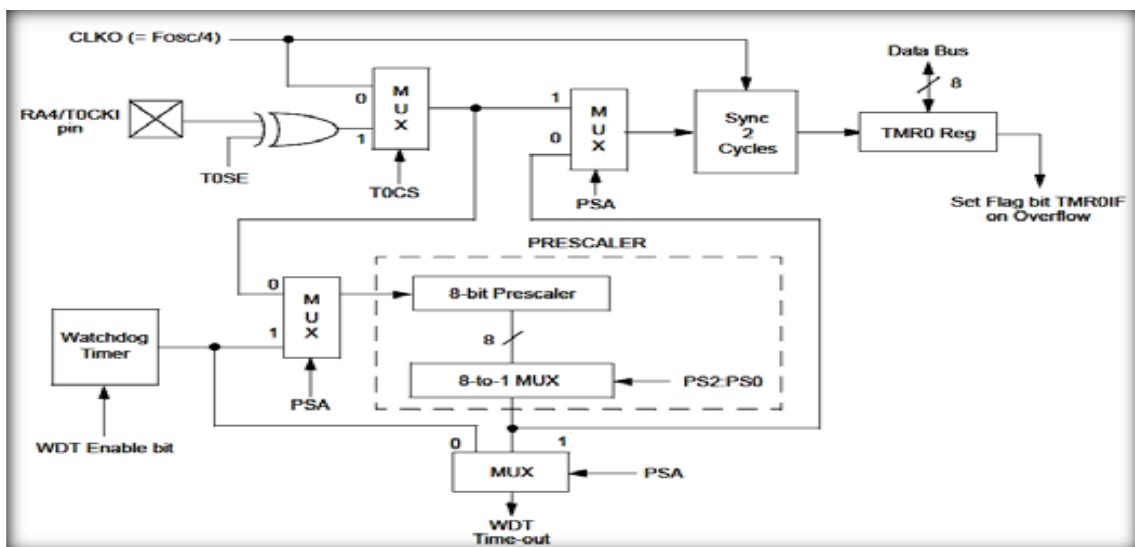


Figure II.3 Schéma du Timer 0 [10].

II.2.9.2. Le timer 1 « 16 bits »: il peut être incrémenté soit par l'horloge interne, par des impulsions sur les broches TICKI/RC0 ou par un oscillateur « RC ou quartz » connecté sur les broches TOSO/RC0 et T1OS1/RC1.

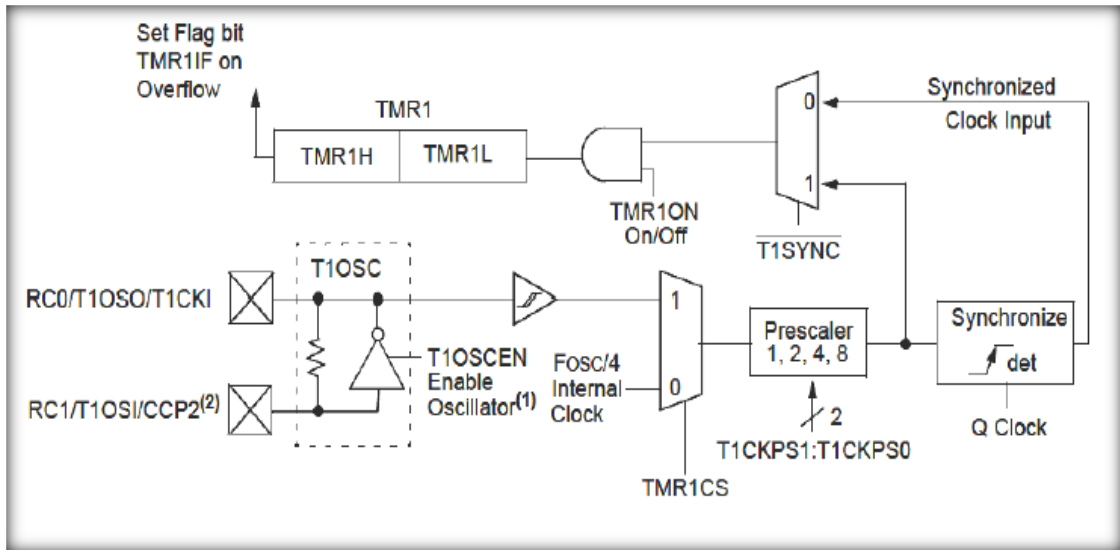


Figure II.4 Schéma descriptif du timer 1 [10].

II.2.9.3. Le timer 2 « 8 bits »: il est incrémenté par l'horloge interne, celle-ci peut être pré-divisée. Tous ces timers peuvent déclencher une interruption interne, s'ils ont été autorisés.

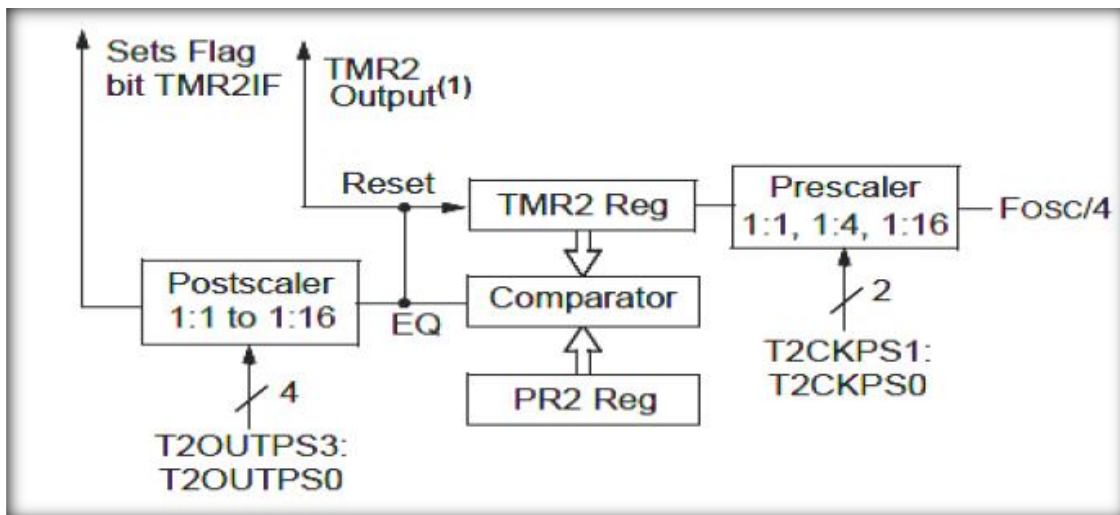


Figure II.5 Schéma du Timer 2 [10].

II.2.10. Les interruptions :

Le PIC 16F877A possède 15 sources d'interruptions. Les plus importantes à connaître, car ce sont les plus utilisées en pratique, sont :

- TMR0I : Dépassement du TIMER0 « débordement le passage de 255 à 0 »

- TMR1I : Dépassement du TIMER1 « débordement le passage de 65535 à 0 »
- TMR2I : Contenu du PR2 du TIMER2 « débordement le passage de la valeur qui contient dans le registre PR2 à 0 »
- INT : Interruption extérieure RB0
- RBI : Changement d'état du port B « RB7 : RB4 »
- PSPI : Lecture / Ecriture sur le port parallèle
- ADI : Convertisseur Analogique / Numérique
- TXI : Emission sur le port RS232
- RCI : Réception sur le port RS232
- SSPI : Bus SPI / I²C
- CCP1I : Capture / Compare / PWM
- CCP2I : Capture / Compare / PWM
- EEI : Ecriture dans EEPROM
- CMI : Comparateur
- BCLI : Collision sur Bus [9].

II.2.11. Les ports d'entré/sorties :

Le microcontrôleur 16F877A dispose 5 PORT « A, B, C, D, E ». Tous ces ports sont bidirectionnels. La plupart des lignes de Ports ont une double fonction.

- Le PORT A « 5 bits » I/O pure et/ou convertisseur analogique et/ou TIMER0.

La broche RA4 du PORT A « Entrée du TIMER T0CKI » est du type DRAIN OUVERT.

- Le PORT B « 8 bits » I/O pure et/ou programmation ICSP/ICD « broche RB3/PGM, RB6/PGC et RB7/PGD » et l'entrée d'interruption externe RB0/INT.

- Le PORT C « 8 bits » I/O :C'est un port tout ce qu'il a de plus classique, or qu'il a deux pins qu'on les utilisera plus tard dans la communication série avec le PC à travers « TX et RX ».

- Le PORT D « 8 bits » I/O Le registre TRISD comportera donc les 8bits de direction, pendant que le registre port D correspond aux pins I/O concernés.

D'où les 8 pins I/O, en mode entrée, sont du type « trigger de Schmitt ».

- Le PORT E « 3 bits » I/O Ce port n'est présent que sur les PIC 16F877. Il ne comporte que 3 pins RE0 à RE2, mais, contrairement aux ports, les bits non concernés de TRISE sont, cette fois, implantés pour d'autres fonctions. Les pins REX peuvent

également être utilisés comme pins d'entrées analogiques. D'où le registre ADCON1 qui détermine si ce port est utilisé comme port I/O ou comme port analogique [9].

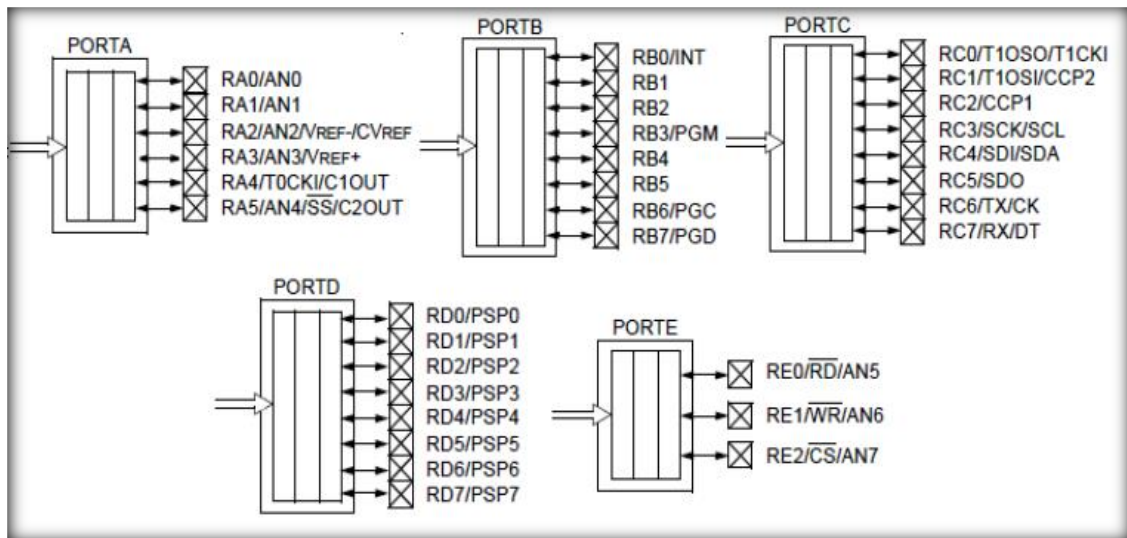


Figure II.6 Les différents PORT de PIC16F877A [10].

II.2.12. Le convertisseur analogique numérique :

Notre 16F877A travaille avec un convertisseur analogique/numérique qui permet un échantillonnage sur 10 bits. Il se compose de :

- Un multiplexeur analogique 5 voies « PIC 16F877A ».
- Un échantillonneur bloqueur. Un convertisseur analogique numérique de 10 bits.

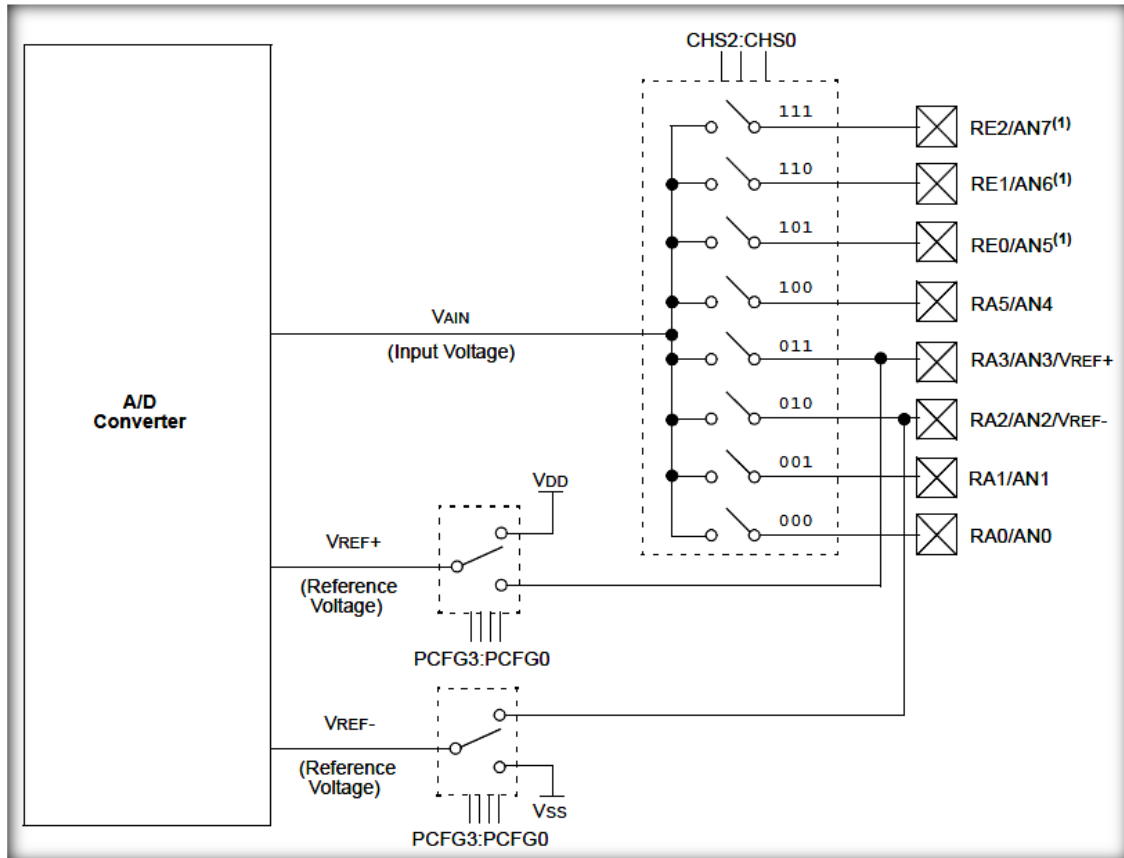


Figure II.7 Schéma fonctionnel analogique numérique [10].

II.3. conception de la carte de commande et de puissance par Proteus :

II.3.1. 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 génération du code et la simulation des diverses tâches de commande pour développer une application fonctionne à l'aide d'un microcontrôleur.

II.3.1.1. 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 [3].

II.3.1.2. Le simulateur ISIS de Proteus :

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. Dans 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 [11].

II.3.2. Schéma structurel de la carte par Proteus :

Le circuit global de notre travail est donné par la Figure II.8. Sur cette figure on voit que le pic représente l'organe principal dans la réalisation, on trouve aussi les boutons poussoirs pour faire la commande non seulement pour le réglage du consigne (analogique/digital), mais aussi pour spécifier le mode de fonctionnement (redressement mono-alternance/redressement double-alternance).

On a aussi deux types d'affichage, un affichage en utilisant LCD (2X16) et un affichage avec une led-bar. En utilisant aussi les oscilloscopes pour afficher les courbes des courants et des tensions

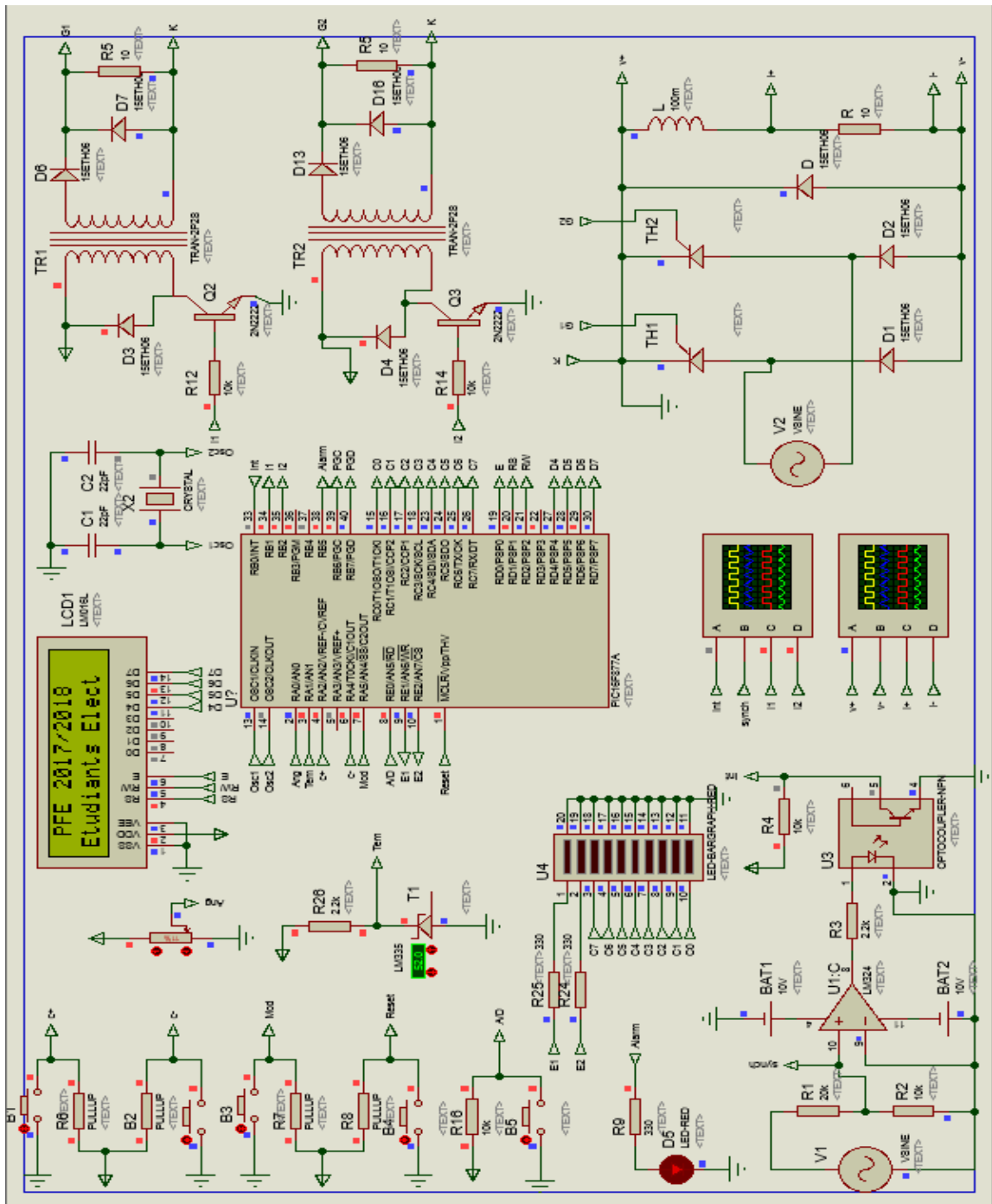


Figure II.8 Schéma structurel de la carte 'ISIS'.

II.3 .3. Le fonctionnement :

Ce circuit fonctionne de manière que le pic attend l'interruption externe qui est un signal carré issue d'un amplificateur opérationnel. Ce signal est injecté au pin RB0/INT. Un programme principal est exécuté en utilisant la consigne (soit analogique à partir de potentiomètre ou numérique par les boutons poussoirs) de l'utilisateur pour fournir les commandes nécessaires aux gâchettes des thyristors du circuit de puissance.

II.3.4. L'organigramme de fonctionnement :

La Figure II.9 présente un organigramme général pour le fonctionnement de notre carte de commande. Il sert à générer les codes correspondant aux différents modes redresseurs envisagés.

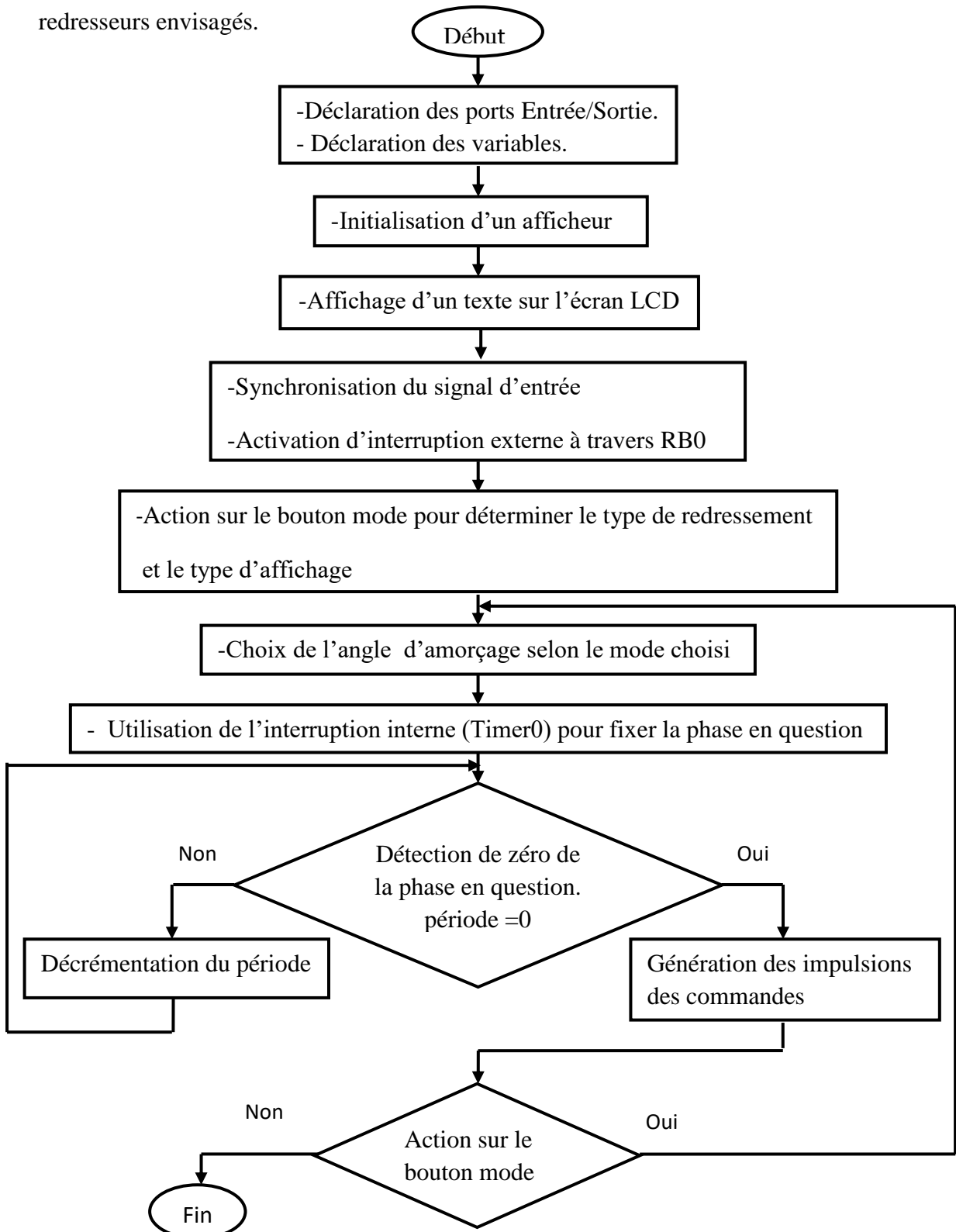


Figure II.9 Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande.

II.3.5. Simulations par Proteus :

A près la compilation de notre code dans le compilateur CCS PICC, on va charger le PIC par le fichier au format Hex résultant. On lance la simulation, les Figures selon le mode et le type de commande sont obtenues comme suit :

II .3.5.1. Redresseur mono alternance – commande analogique ‘Mode#0’:

Les Figures (II.10, II.11et II.12) représentent le schéma de simulation par Proteus et les formes d’ondes obtenues en cas où la cosigne est introduite sous forme analogique (potentiomètre) pour le mode mono alternance.

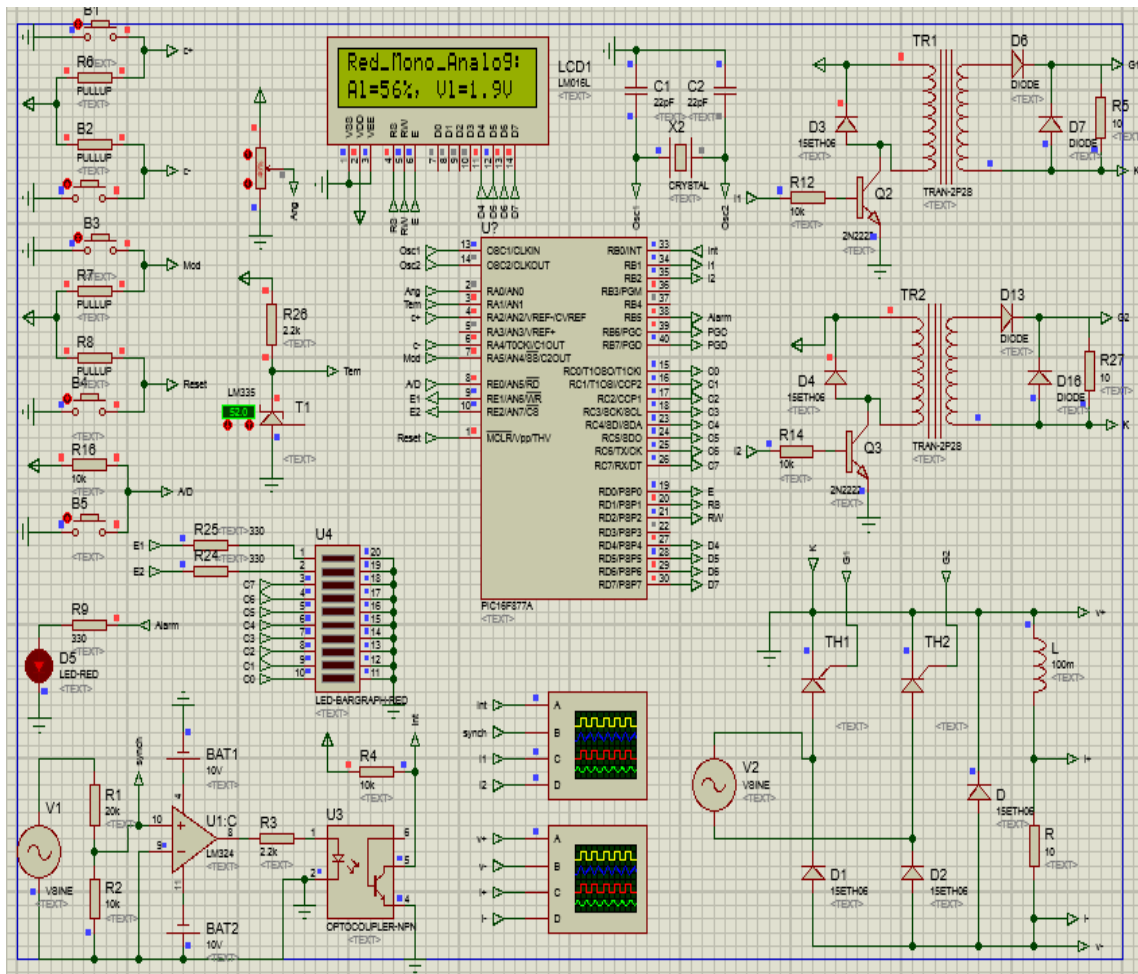


Figure II.8 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#0.

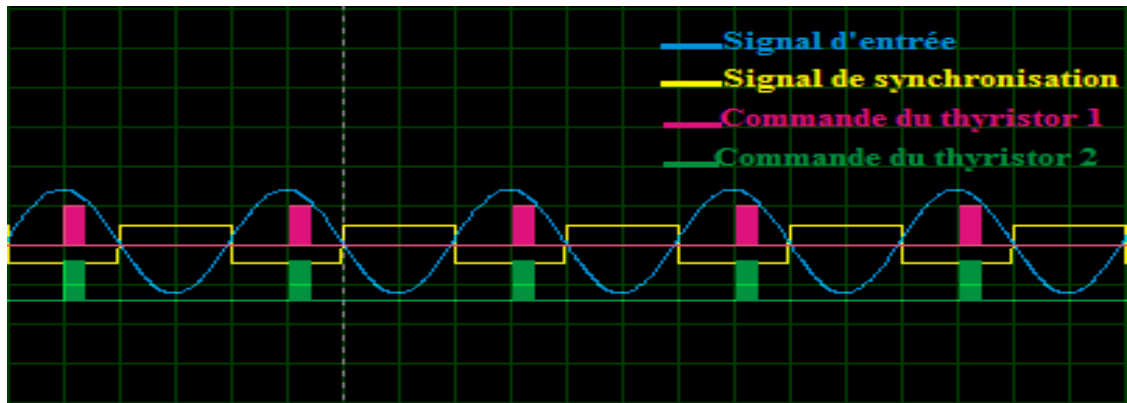


Figure II.9 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour le mode#0.

D'après la Figure II.11 de la simulation, on constate que pour ce mode les impulsions de commande sont générées dans le premier demie période. Elles sont appliquées simultanément au niveau des gâchettes des thyristors T1 et T2, mais un seul thyristor va s'amorcer(T1) parce que l'autre sera polarisé en inverse.

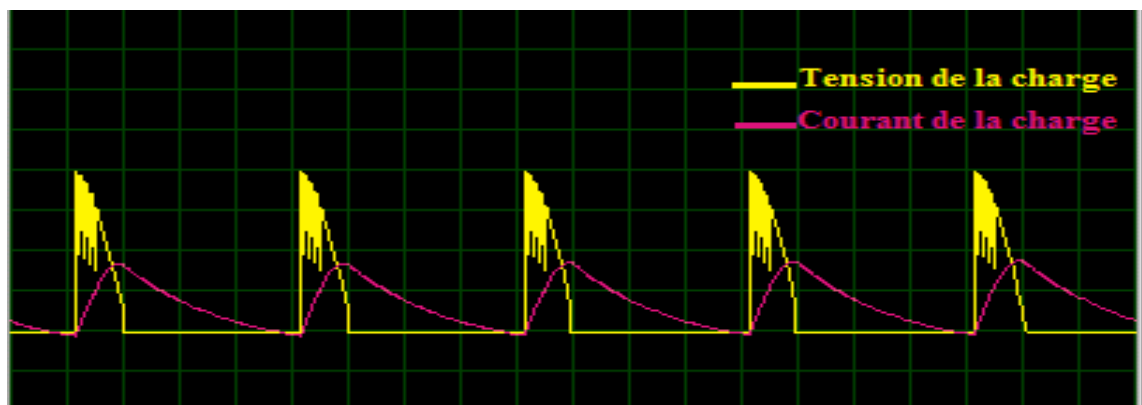


Figure II.10 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#0.

A partir de cette figure, on voit qu'il ya des pic sur l'allure de tension au début de chaque alternance, ceci est revient à la manière de la commande des thyristors. Parce que on a les attaqués par un train d'impulsions avec une durée limitée, les thyristors prennent un temps avant de s'amorcer.

II .3.5.2. Redresseur double alternance – commande analogique ‘Mode#1’:

Dans ce cas on garde la commande de la consigne et on change le mode de fonctionnement (double alternance). Les figures (II.13, II.14 et II.15) présentent le schéma de simulation par Proteus et les différentes formes d'ondes obtenues.

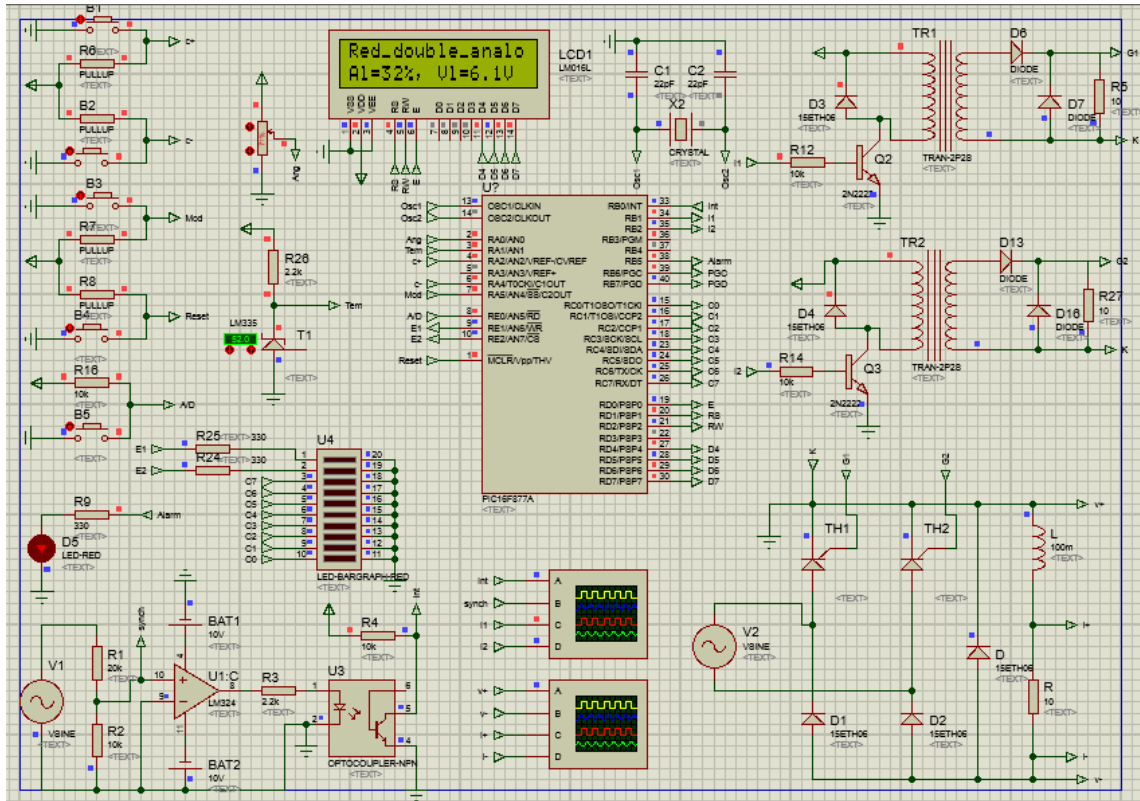


Figure II.11 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#1 .

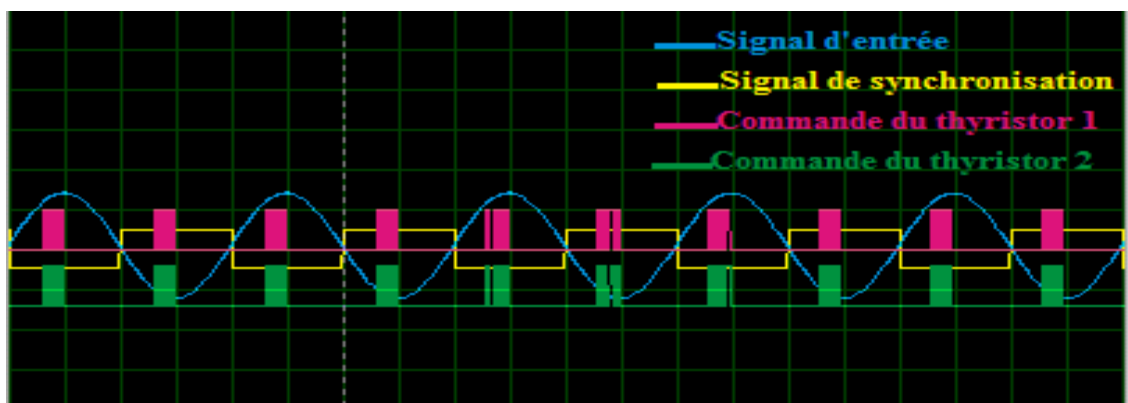


Figure II.12 Allures des signaux d'entrée ,de synchronisation et de commande pour le mode#1.

D'après la Figure II.14 de la simulation, les impulsions de commande sont générées dans les deux demi-périodes. Elles sont appliquées simultanément au niveau des gâchettes des thyristors T1 et T2, mais pendant l'alternance positive, T1 va s'amorcer tandis que l'autre ne s'amorce pas malgré la présence de la commande parce qu'il est polarisé en inverse.

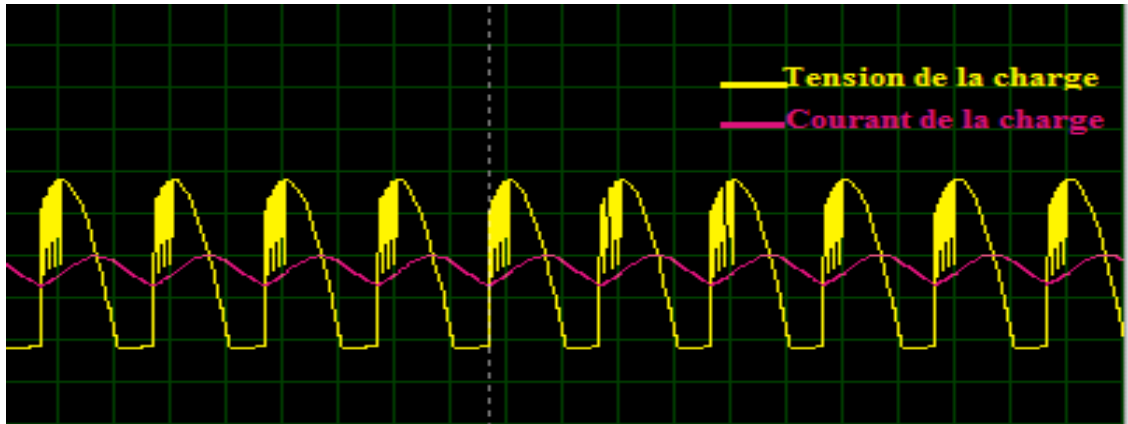


Figure II.13 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#1.

A partir des Figures II.12 et II.15 on constate que les allures de la tension et du courant confirment bien les signaux étudiés en théorie et les simulations trouvées dans le chapitre précédent par le logiciel Matlab.

II .3.5.2. Redresseur mono alternance – commande numérique ‘Mode#2:

Les Figures (II.16, II.17et II.18) représentent le schéma de simulation par Proteus et les formes d’ondes obtenues en cas où la cosigne cette fois ci est introduite sous forme numérique (boutons poussoir) pour le mode mono alternance.

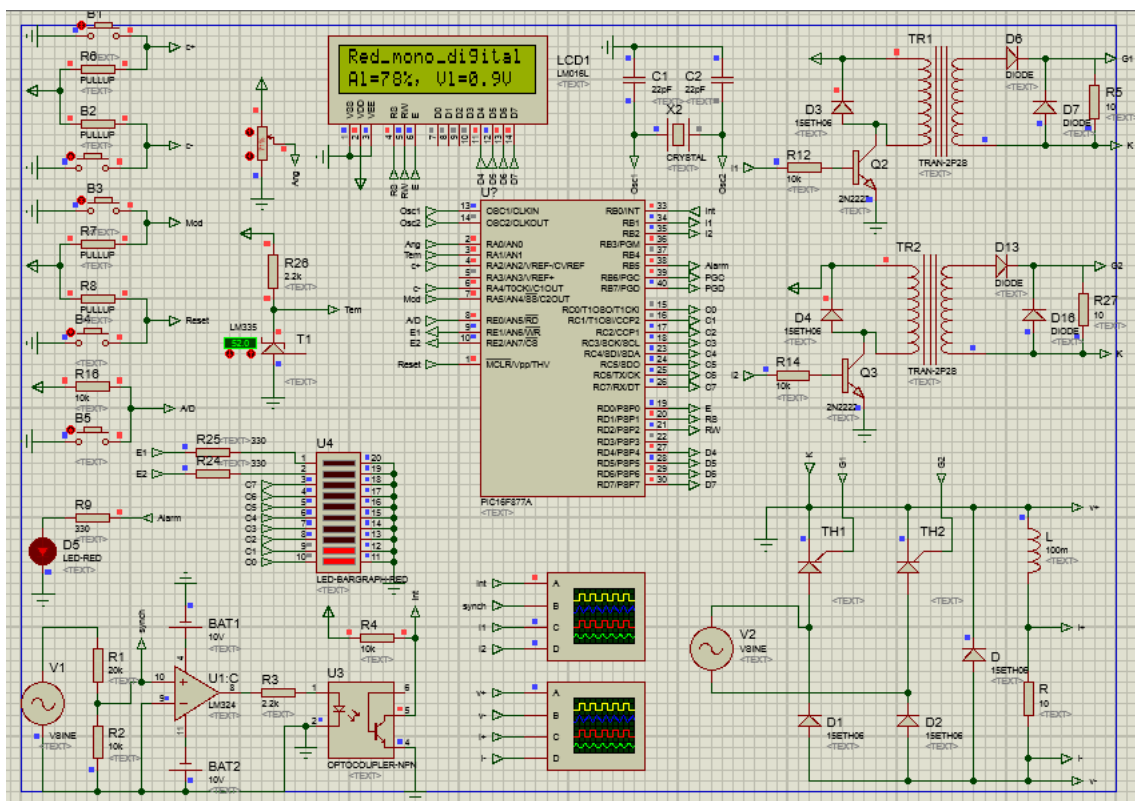


Figure II.14 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#2.

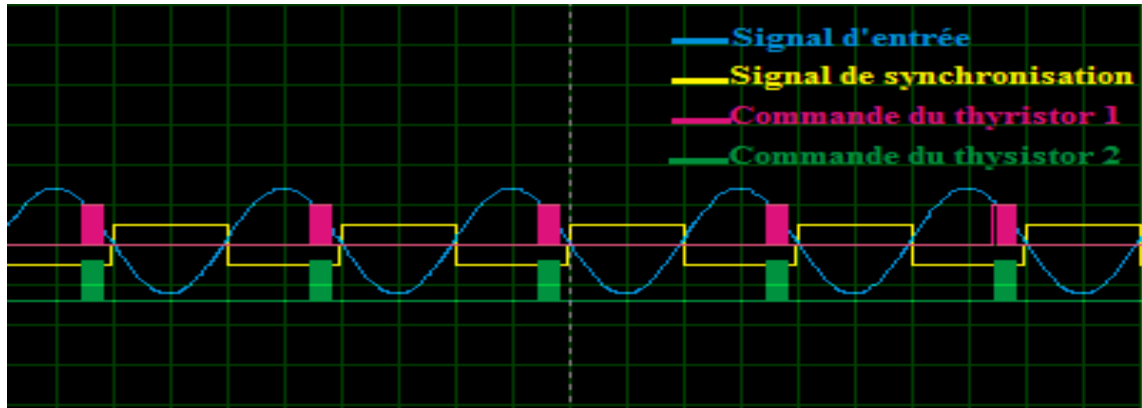


Figure II.15 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour le mode#2.

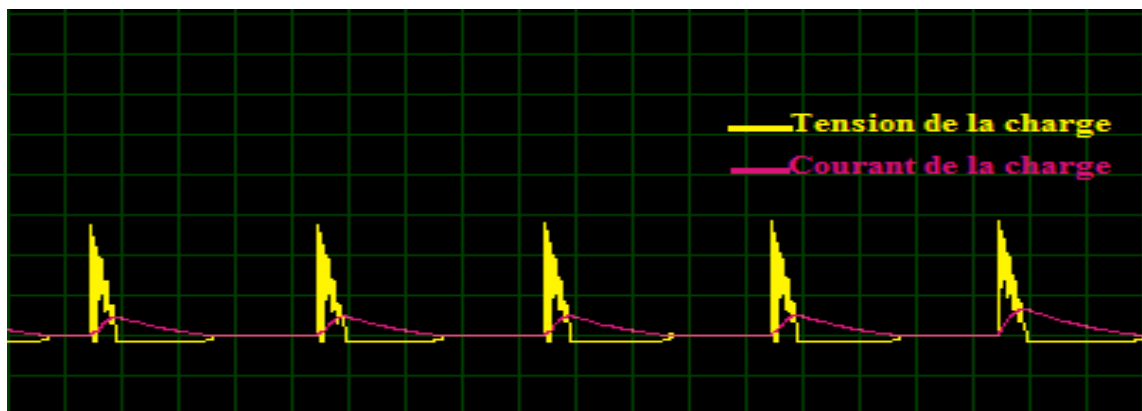


Figure II.16 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode #2.

D'après la Figure II.18 de la simulation, on constate qu'il y a un déphasage entre le courant et la tension de la charge et que à la fin de l'alternance, le courant ne sera pas nul directement malgré que la tension est nulle à cause de l'énergie dissipée par l'inductance à travers la diode de roue libre.

II .3.5.3. Redresseur double alternance – commande numérique “Mode#3” :

Dans ce cas on garde la commande da la consigne et on change le mode de fonctionnement (double alternance). Les Figures (II.19, II.20et II.21) présentent le schéma de simulation par Proteus et les différentes formes d'ondes obtenues.

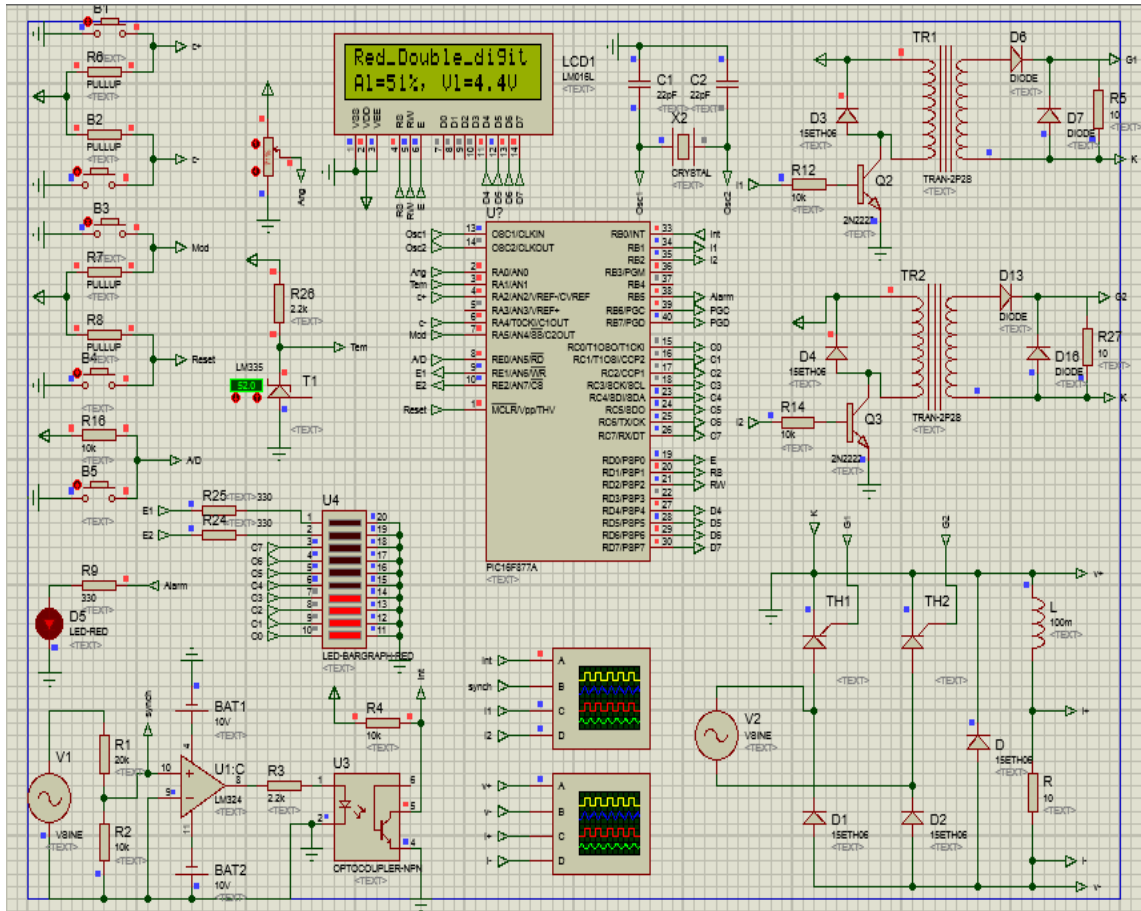


Figure II.17 Schéma de simulation par Proteus pour le mode#3 .

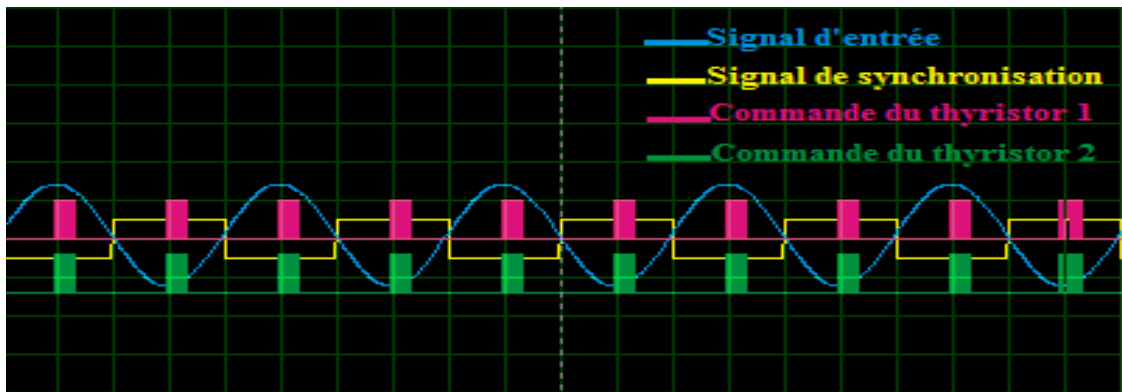


Figure II.18 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour le mode#3.

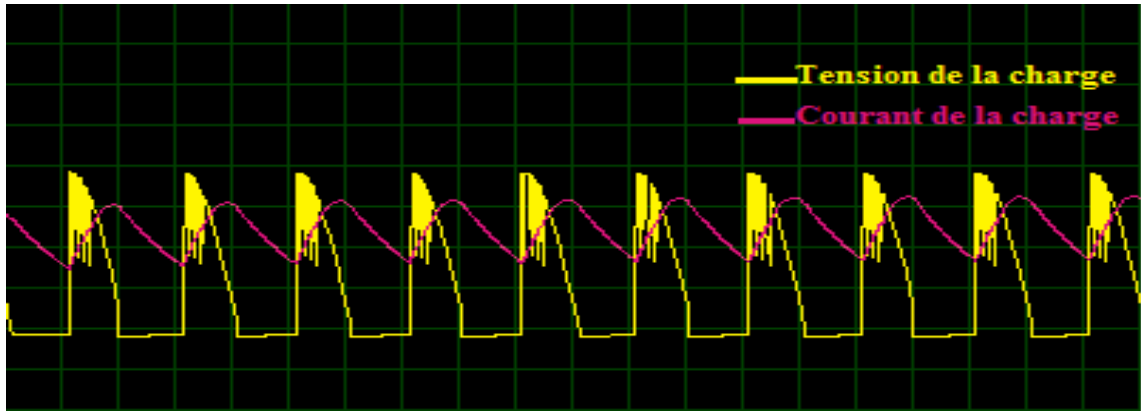


Figure II.19 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#3.

D'après la Figure II.21 de la simulation, on constate que le courant ne s'annule pas (toujours présent) malgré que la tension est nulle car la deuxième alternance (négative) sera arrivée avant que l'énergie de l'inductance se dissipe complètement.

Les signaux de la figure II.19 et II.22 sont en concordance à ceux obtenus en théorie et en simulation par le logiciel Matlab (chapitreI).

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux parties essentielles pour la conception de notre carte électronique : la partie matérielle (PIC16F877A) et la partie logicielle (CCS PIC et Proteus).

Les détails de conception de la commande pour chaque mode de fonctionnement sont bien présentés sous forme d'organigramme. 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 détails les démarches de notre réalisation tout en présentant nos résultats expérimentaux.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

Chapitre III
Réalisation pratique

III.1. Introduction:

L'objectif principal de ce travail est de réaliser une carte numérique basée sur un microcontrôleur, qui permet l'amorçage des thyristors d'un convertisseur alternatif-continu, et ainsi servir de générateur d'impulsions synchronisées sur le réseau pour le déclenchement des thyristors d'un redresseur monophasé.

Dans ce dernier chapitre, nous allons essayer de mettre en évidence l'aspect pratique de ce que nous avons vu dans le chapitre précédent.

On va expliquer d'une façon générale quelques composants qu'on a utilisés dans la réalisation, les difficultés que nous avons rencontrées et la réalisation de notre carte électronique.

A la fin, on va présenter les résultats expérimentaux obtenus.

III.2. Réalisation de la carte électronique :

III.2.1. Câblage par Proteus :

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 présente la Figure III.1. La liste des composants utilisés pour cette réalisation est montrée par le Tableau III.1.

	Désignation	Référence	Quantité	Coût (DA)
01	Microcontrôleur	PIC 16F877A	01	700
02	Afficheur LCD	LCD 16*2	01	1000
03	Led-bars		01	100
04	Quartez	8MHz	01	100
05	Amplificateur –Opérationnel	LM358	01	70
06	Opto-coupleur	4N32	01	150
07	Régulateur de tension +5V	L7805	01	50
08	Régulateur de tension +12V	L7812	01	50
09	Régulateur de tension -12V	L7912	01	50
10	Transformateur d'impulsion		02	500*2
11	Potentiomètre pour LCD		02	70*2

12	Potentiomètre de réglage	10K	01	100
13	Leds		04	10*4
14	Boutons poussoir		04	35*4
15	Condensateur (chimique)	470uF/16V	03	20*3
16	Condensateur (chimique)	470uF/50V	03	20*3
17	Transistor	2N2222	02	50*2
18	Diode 3A		06	50*6
19	Diode	1N222	06	20*6
20	Condensateurs céramique	22pF	02	30*2
21	Résistance	1 K	10	5*10
22	Résistance	10K	06	5*6
23	Résistance	2.2K	08	5*8
24	Radiateur de refroidissement		05	20*5
25	Support de PIC	20/2	01	50
26	Support LED-Bar	10/2	01	40
27	Support Amp-Op	4/2	01	30
28	Support Opt-coupleur	3/2	01	20
29	Support LCD	16/1	01	35
30	Tblock 2pin		03	70*3
31	Connecteur 5pin		01	70
Total :				4985

Tableau III.1 Liste des composants pour la réalisation du convertisseur AC-DC semi-commandé.

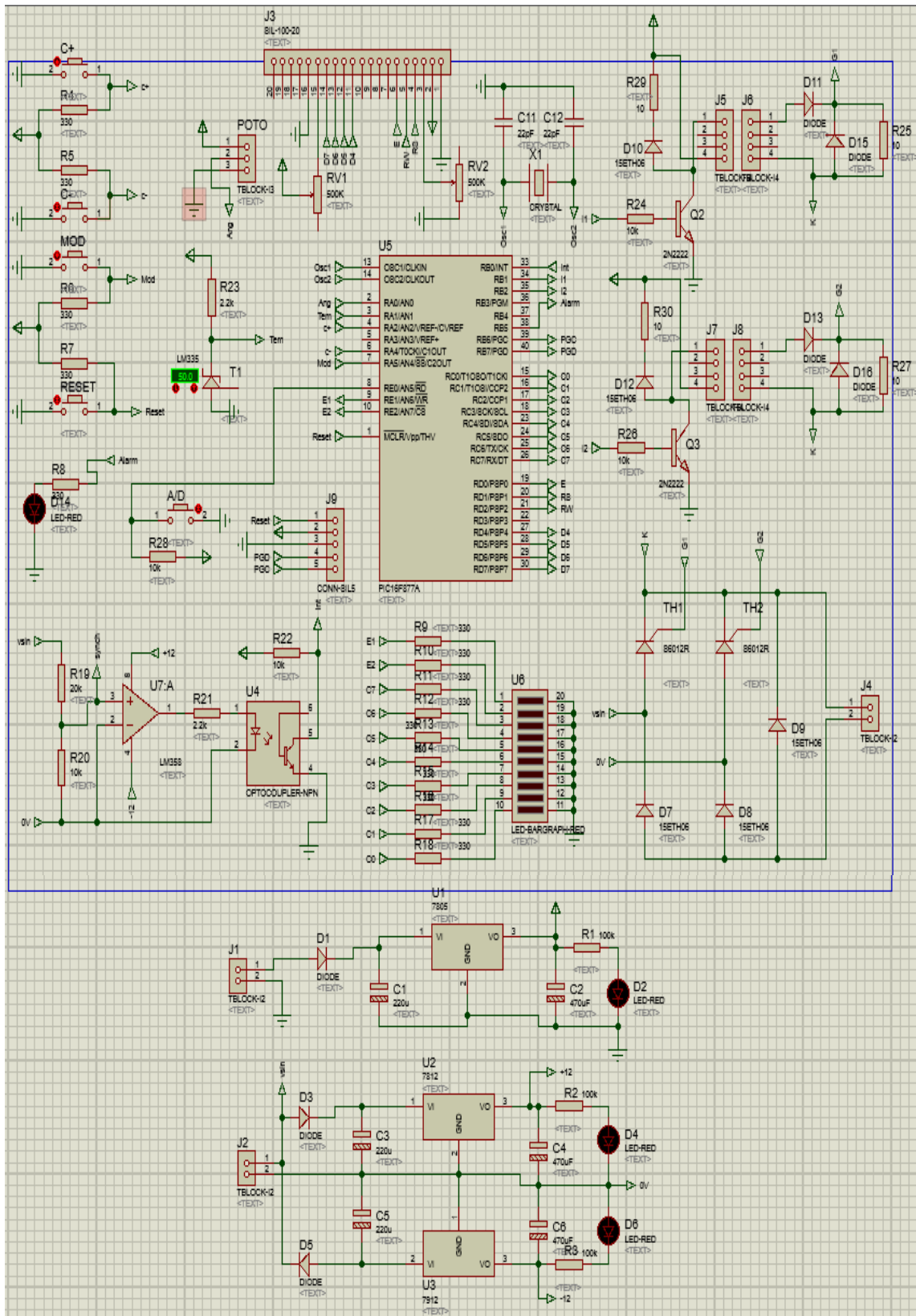


Figure III.1 Câblage pour le circuit imprimé par le logiciel Proteus..

III.2.2. Description des parties essentielles de la réalisation :

III.2.2.1 L'alimentation :

Dans notre réalisation, on a besoin de 2 alimentations : une de 5VDC (Figure III.2) pour l'alimentation du microcontrôleur, opto-coupleur et transformateur d'impulsion et l'autre une alimentation symétrique de +12/-12 VDC (Figure III.3) pour alimenter l'amplificateur opérationnel.

Chaque alimentation comporte :

- Un transformateur ;
- Une diode de redressement;
- Des condensateurs de filtrage ;
- Un régulateur intégré.

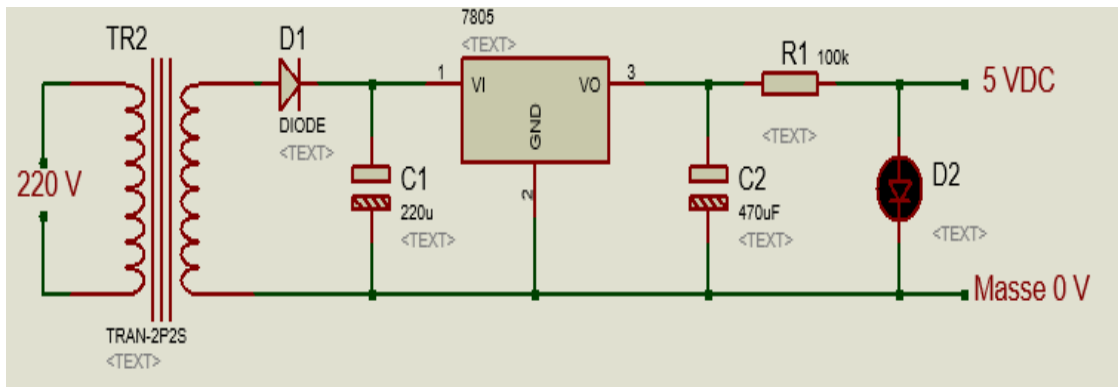


Figure III.2 Montage de l'alimentation 5 V.

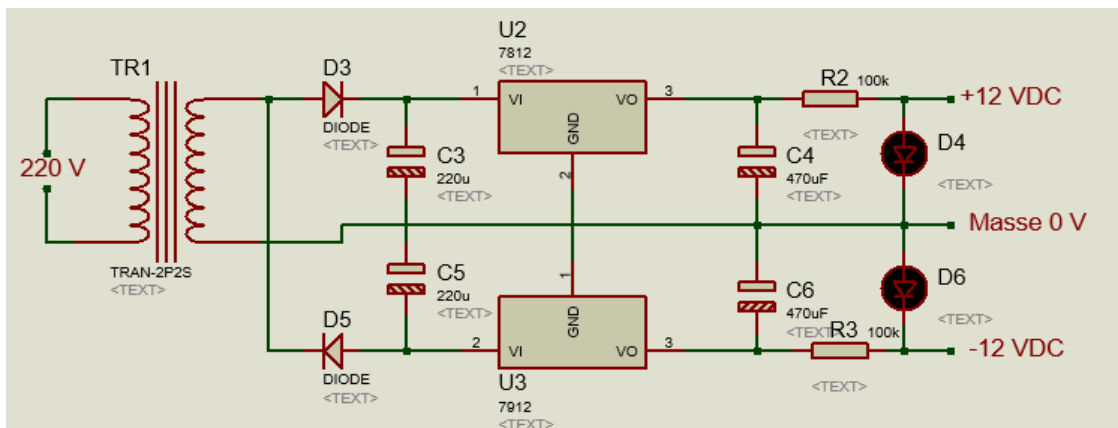


Figure III.3 Montage de l'alimentation symétrique +12 V/-12 V.

- Le transformateur baisse la tension sinusoïdale d'entrée de 220V AC à une tension de 7V AC (ayant les mêmes caractéristiques de la tension d'entrée). Puis on l'a fait passer par la diode qui fera le redressement, ensuite, on l'a fait passer par un condensateur pour faire le filtrage. Enfin, on utilise le régulateur L7805 pour obtenir une tension de 5V DC. C'est exactement le même principe pour avoir des tensions 12 et

-12V DC sauf que on a utilisé respectivement cette fois-ci un transformateur 220V AC/14V AC et des régulateurs L7812 et L7912.

III.2.2.2 Transformateur d'impulsions :

Dans notre travail, le circuit de commande supporte 5V DC au maximum, par contre, le circuit de puissance s'alimente de 24V AC. Pour cette raison, il est préférable de séparer les deux circuits pour protéger l'unité de traitement (PIC 16F877A).

On a utilisé dans cette application un transformateur d'impulsions (représenté dans la Figure III.4) pour faire l'isolation galvanique entre les deux circuits.

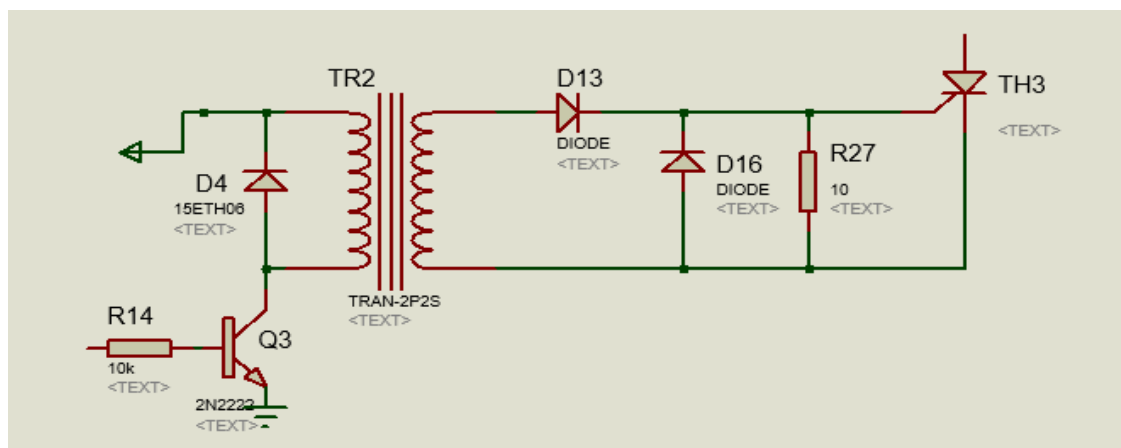


Figure III.4 Schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.

Quand on a monté le transformateur d'impulsions sur une plaque d'essai et fait les essais en lui attaquant par une impulsion carrée à l'entrée, il nous a donné à la sortie un pic, ce dernier n'arrive pas à assurer l'accrochage du thyristor, alors comme solution proposée, on lui attaque par un train d'impulsions pour qu'il puisse nous donner une impulsion suffisante pour l'accrochage du thyristor. Les résultats des essais sont représentés dans la Figure III.5.



(a) L'entrée du transformateur d'impulsions. (b) La sortie du transformateur d'impulsions.

Figure III.5 Les résultats des essais du transformateur d'impulsions.

III.2.2.3 Circuit de synchronisation et de couplage optique:

Dans notre travail, on utilise le circuit détecteur de passage par zéro pour générer le signal de synchronisation avec lequel on attaque la pin RB0/INT du pic après l'avoir passer par un opto-coupleur qui assure la séparation entre le circuit de commande et la tension du secteur (Figure III.6).

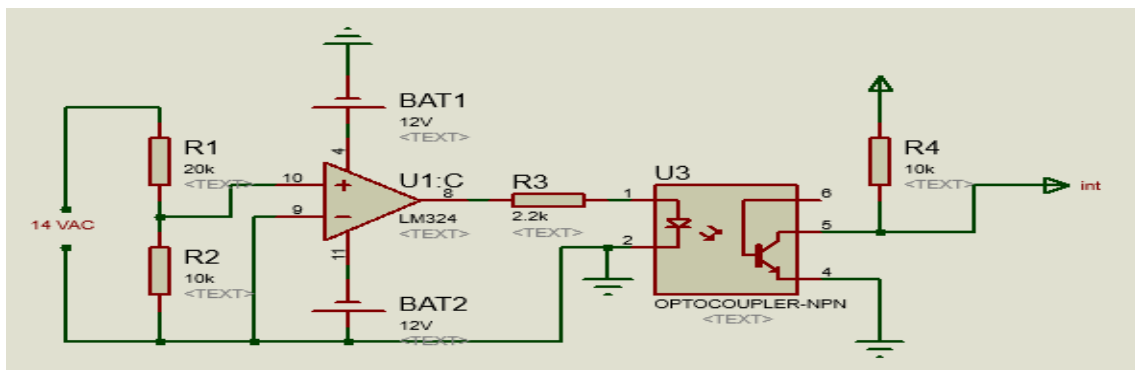


Figure III.6 Le circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique.

L'amplificateur opérationnel travaille en commutation pour jouer le rôle d'un comparateur qui compare la tension d'entrée non inverseuse (signal sinusoïdal) avec la tension d'entrée inverseuse (tension de référence 0 V). Si la tension d'entrée non inverseuse est inférieure à la tension de référence (0V), la sortie est saturée négativement (-12V à la sortie) et reste négative jusqu'à que la tension d'entrée non

inverseuse sera supérieure à celle de référence (0V) le comparateur sera alors saturé positivement comme il est montré dans la Figure III.7.

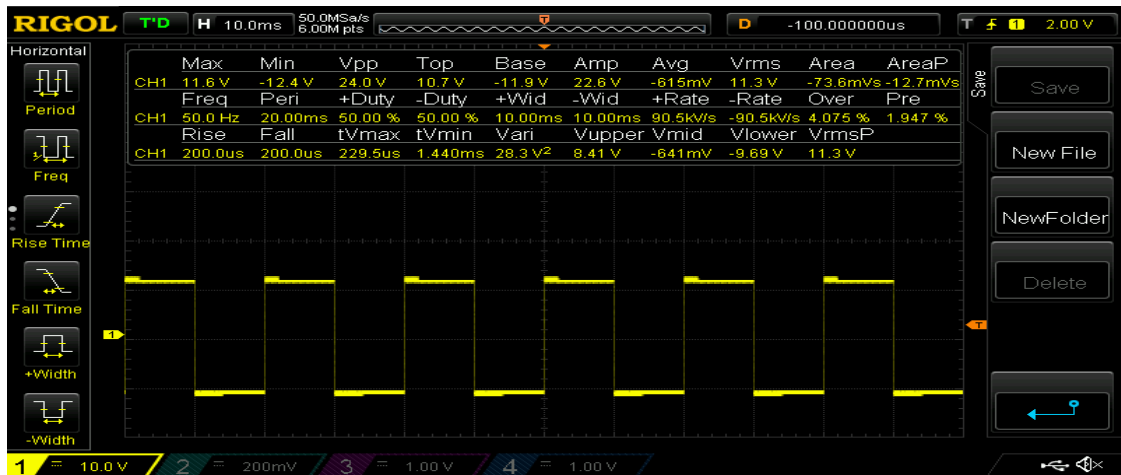


Figure III.7 Allure du signal issu d'amplificateur opérationnel.

L'opto-coupleur est considéré comme un élément de transfert de signal dont l'entrée et la sortie sont électriquement isolées l'une de l'autre par un couplage optique. Comme principe en général, l'entrée est composée d'une diode électroluminescente « LED » opérante dans l'infrarouge, la sortie est un photo-détecteur c'est-à-dire une photodiode, phototransistor ou éventuellement un photo-thyristor. La LED et le photo-détecteur sont reliés optiquement, mais sont isolés électriquement dans un même boîtier (Figure III.8).

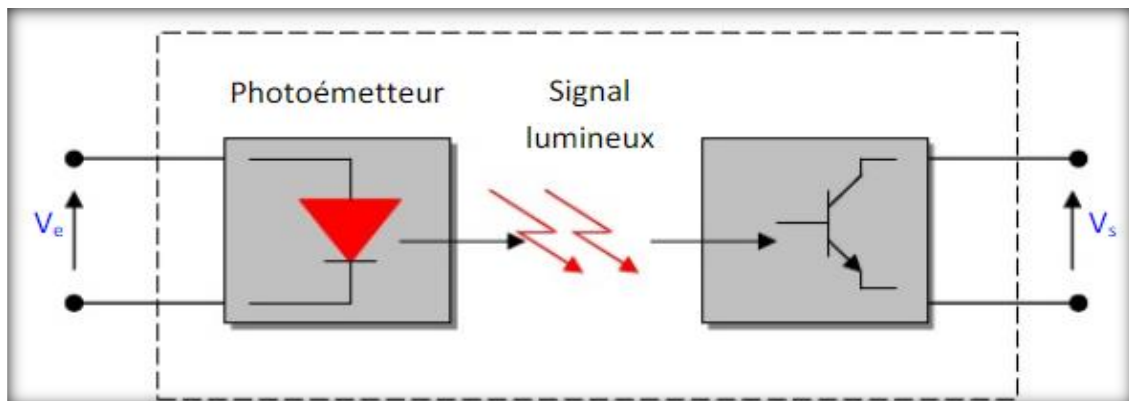


Figure III.8 Principe de fonctionnement d'un opto-coupleur.

- Si la sortie de l'amplificateur est saturée négativement (pendant l'alternance négative du signal de secteur) la diode électroluminescente de l'opto-coupleur sera éteinte, le phototransistor est équivalent à un circuit ouvert donc $V_s=5\text{Volt}$.

- Si la sortie de l'amplificateur est saturée positivement (pendant l'alternance positive du signal de secteur) la diode électroluminescente de l'opto-coupeur sera allumée, le phototransistor est équivalent à un circuit fermé donc $V_s=0$ Volt (Figure III.9).



Figure III.9 Signal de la sortie de l'opto-coupleur .

III.2.2.4 Afficheur LCD :

a) Présentation :

Les afficheurs à cristaux liquides sont des modules compacts intelligents et nécessitant peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et sont différents les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA) [6].



Figure III.10 Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères.

b) Principe de fonctionnement :

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de d'écrire ses propres caractères [6].

Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7, broches 7 à 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions tels que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne2, le sens de défilement du curseur.

c) La commande :

Après avoir alimenté le LCD, il faudra envoyer une série de commande pour l'initialisation. Si la phase de l'initialisation est terminée, on peut envoyer directement des codes ASCII pour que le LCD les affiche [6].

III.2.1.3. Routage de schéma électrique :

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 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). Et aussi d'étudier comment les composants vont s'organiser physiquement sur la future carte électronique tout en respectant une logique bien définie comme par exemple dans notre travail, les entrées soient à gauche et la sortie à droite.

Les boutons de la commande en haut et la partie puissance en bas. Pour nous aider dans notre tâche et après le placement des composants, nous avons utilisé le logiciel de développement ISIS/ARES qui permet justement de créer le typon en partant du schéma électronique (Figure III.1) afin d'obtenir le circuit imprimé final.

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. Dans notre cas, on a utilisé le routage manuel afin de minimiser autant que possible le nombre de straps. (Figure III.11)

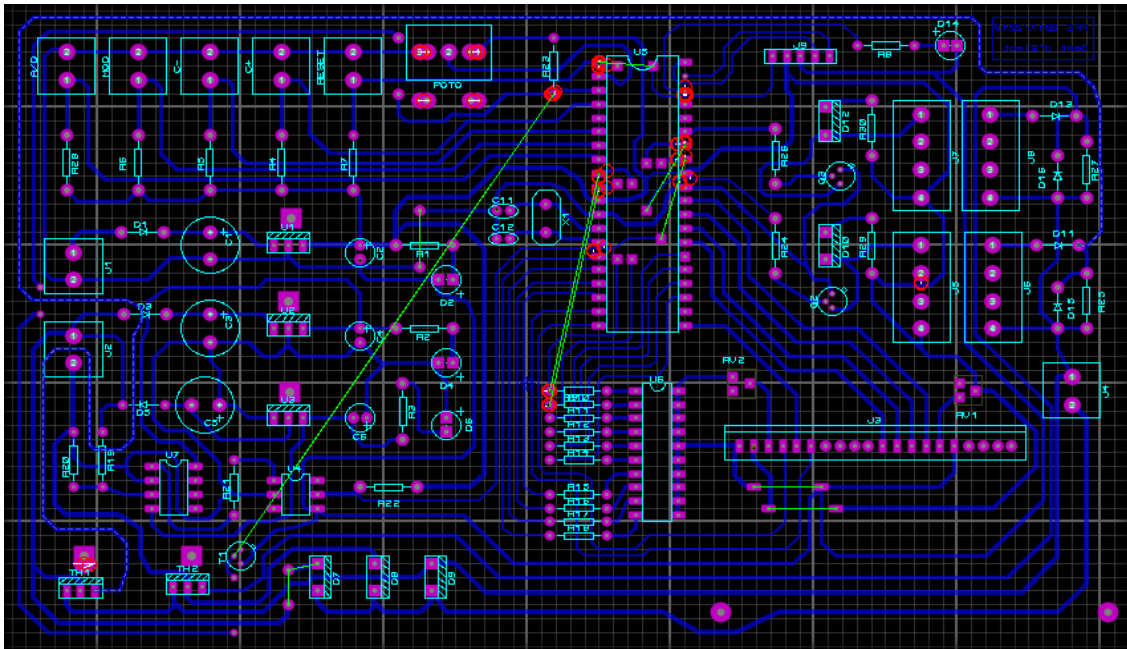


Figure III.11 Schéma routé de notre carte électronique.

Les lignes vertes apparaissent dans la Figure III.11 sont remplacées par les straps dans le circuit imprimé.

III.2.2. Les étapes de fabrication du circuit imprimé :

La fabrication du circuit imprimé se passe par plusieurs étapes:

III.2.2.1. L'impression du typon :

Le typon est le tracé du schéma de la Figure III.11 sur un film transparent (la Figure III.12), le typon sera utilisé donc pour réaliser le circuit imprimé.

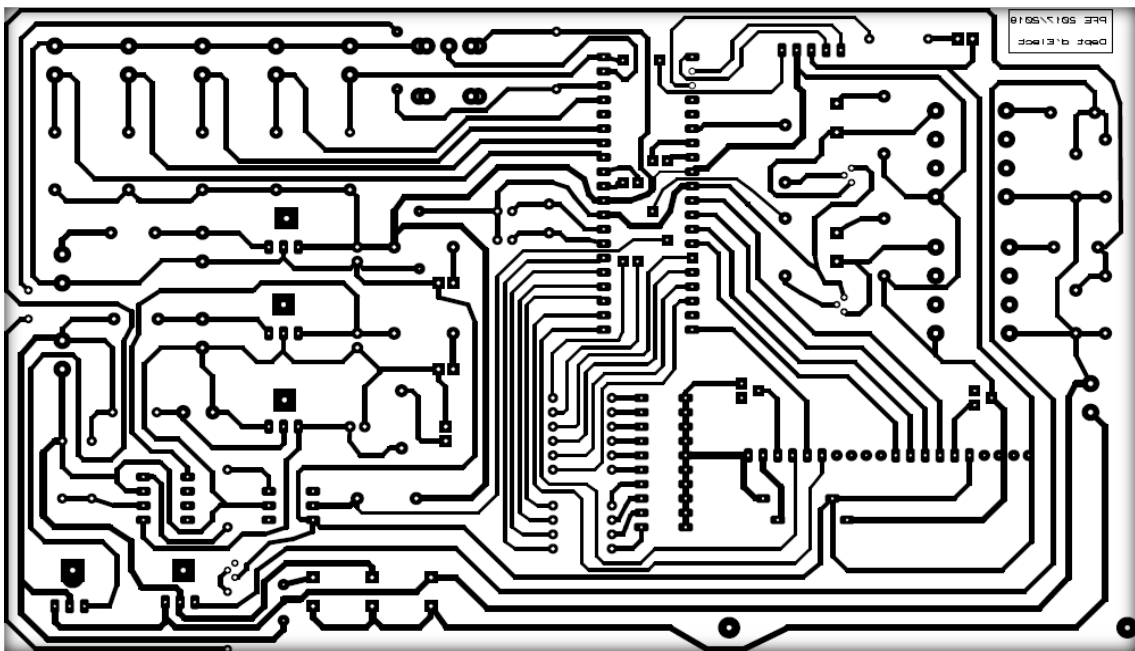


Figure III.12 Le typon de la carte.

III.2.2.2. L'insolation :

Après avoir retiré le film protecteur de la plaque époxy, on trouve la résine à pour propriété de se modifier lorsqu'elle est exposée aux rayonnements UV, elle est dite photosensible. Donc on positionne le typon dans la bonne position puis on expose à l'UV pendant 3 minutes en utilisant une insoleuse.

III.2.2.3. La révélation :

Le révélateur est un produit chimique comme l'hydroxyde de sodium (NaOH). On doit maintenant placer la plaque dans un bac contenant le révélateur, le révélateur va dissoudre les zones de la résine qui ont été détruites pendant l'insolation. La couche de cuivre va progressivement apparaître autour des pistes qui sont encore protégées par la résine. Une fois que la plaque est révélée, elle est sortie du bac et rincée à l'eau.

III.2.2.4. Gravure de circuit imprimé :

Notre plaque est plongée dans un bac à graver qui contient un acide (Perchlorure de fer FeCl_3). on l'utilise pour graver le circuit imprimé car il a la particularité de détruire tout le cuivre qui n'est pas recouvert de résine. Une fois le circuit est gravé, il reste d'enlever les traces de résine qui subsistent sur les pistes protégées. Le but est d'obtenir un circuit avec des pistes bien nettes et sans aspérités.

Après la réalisation de ces étapes, on obtient le circuit imprimé représenté dans la Figure III.13.

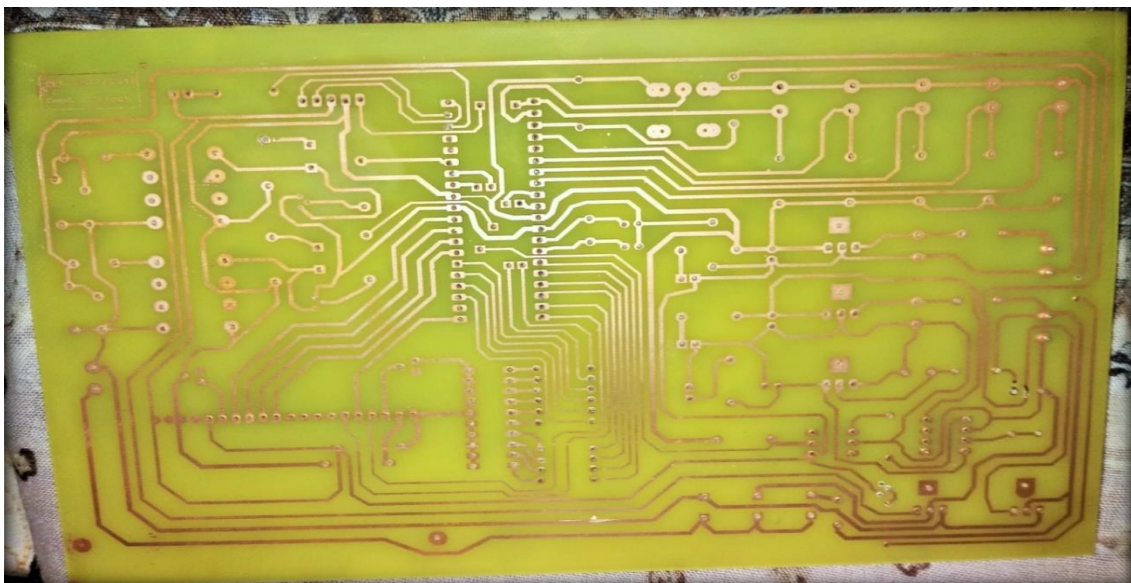


Figure III.13 Circuit imprimé de la carte.

III.2.2.5. Test du circuit imprimé:

On utilise un ohmmètre ou un testeur de continuité pour vérifier:

- La continuité des pistes.
- L'absence du court-circuit.

III.2.3. La mise en place et la soudure des composants :

Avant de souder les composants, il faut percer les pastilles, ces trous correspondant à l'emplacement des pattes des composants.

De préférence de commencer par les straps puisque ils sont soudés sous les composants, puis les pièces les moins encombrantes en premier lieu comme les résistances, les diodes, les interrupteurs, les transistors et les condensateurs..., nous finirons par les supports des circuits intégrés (PIC, opto-coupler...).

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 des courts-circuits par un multimètre est très importante.

Finalement, on obtient la carte imprimée comme représentée par les Figures III.14 et III.15.

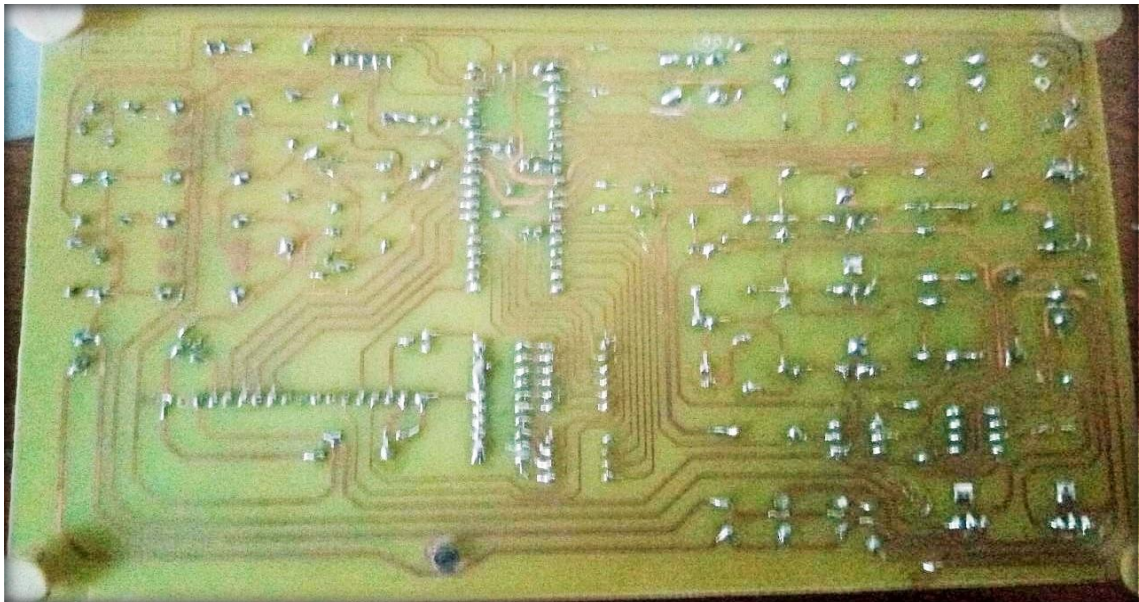


Figure III.14 Carte finalisée (côté pistes).



Figure III.15 Carte finalisée (côté composants) .

III.3. Les problèmes rencontrés :

Lors de la réalisation de notre projet, nous avons rencontré plusieurs problèmes, dont les principaux sont :

- Dans un premier temps, on a fait la synchronisation du signal du secteur par passage par zéro et on a fait le traitement comme le signal issu de l'alimentation est parfait (fréquence constante et la durée de l'alternance positive et négative sont égaux). Par contre dans la réalité et à cause des perturbations du signal d'entrée, ces considérations ne sont pas correctes et peuvent poser des problèmes. Pour surmonter ce genre des problèmes, on a utilisé l'interruption externe à travers le pin RB0/INT et la synchronisation a été faite par l'utilisation du front montant ou descendant du signal issu de l'opto-coupleur.
- Dans notre programme, pour déterminer la durée de l'angle de retard on a utilisé l'instruction 'delay', à ce temps le pic est cessé de fonctionner et la durée de traitement augmente. Ce problème est résolu en faisant appel à l'interruption interne pour déterminer l'angle de retard en question.
- L'utilisation du transformateur d'impulsions pour faire l'isolement entre la

partie de commande et la partie de puissance donne naissance à un autre type de problème. Ce dernier a une relation avec l'amorçage du thyristor comme nous avons déjà expliqué dans le paragraphe III.2.2.2. Pour le corriger, on a utilisé un train d'impulsions à son entrée au lieu d'une seule.

- On a utilisé le capteur de température LM35 pour protéger les thyristors contre l'échauffement, la partie simulation ça marche bien mais on a trouvé des problèmes dans la réalisation, ça peut être revenir à la mauvaise qualité du composant.

Pour conclure, ces difficultés ont été surmontées, cependant nous a demandé du temps et quelques inquiétudes. Ainsi que nous a permis de nous confronter à la réalité de la pratique.

III.4. Résultats expérimentaux :

Cette section concerne les résultats pratiques relevés lors des essais réalisés. Malgré les problèmes rencontrés, notre projet a abouti en respectant le cahier des charges.

III.4.1. Signal d'entrée :

La Figure III.16 représente le signal d'entrée, qu'un signal sinusoïdal.

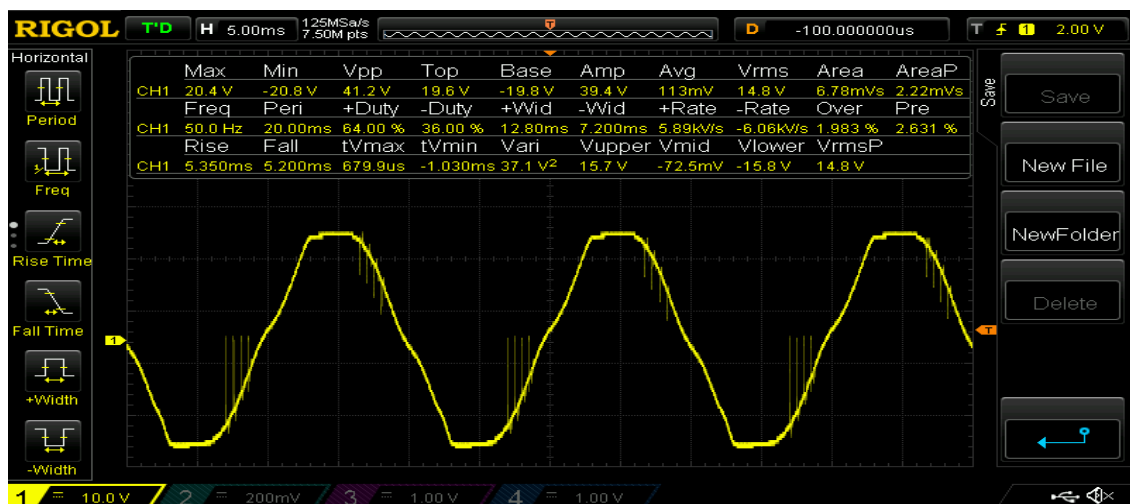


Figure III.16 Allure de la tension d'entrée.

III.4.2. Signal de la gâchette du thyristor T1 pour le mode simple alternance:

Dans ce mode, un seul thyristor (T1) s'amorce, la Figure III.17 représente le signal de commande du thyristor 1 pour le mode simple alternance. On constate que la commande est générée sous forme d'un train d'impulsions parce que le transformateur d'impulsions donne à la sortie un pic, si on injecte à son entrée une seule impulsion. Ce pic ne permet pas d'amorcer le thyristor.

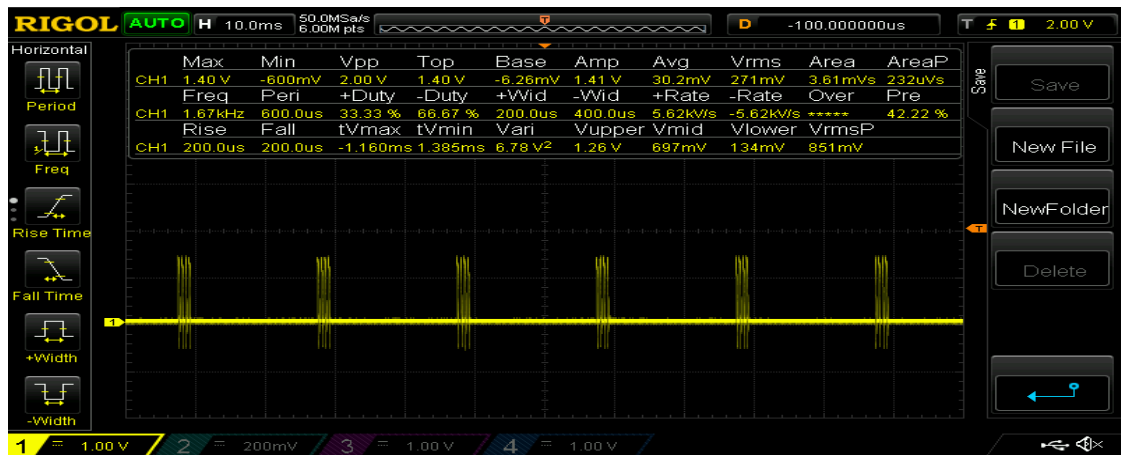


Figure III.17 Les impulsions de la commande du thyristor T1 pour le mode simple alternance.

III.4.3. Signal de la gâchette du thyristor T1 pour mode double alternance:

La Figure III.18 représente le signal de commande du thyristor 1 pour le mode double alternance, on constate que la commande est générée dans les deux demies périodes, cependant le thyristor T1 est amorcé seulement dans la demie période où il est polarisé en direct.

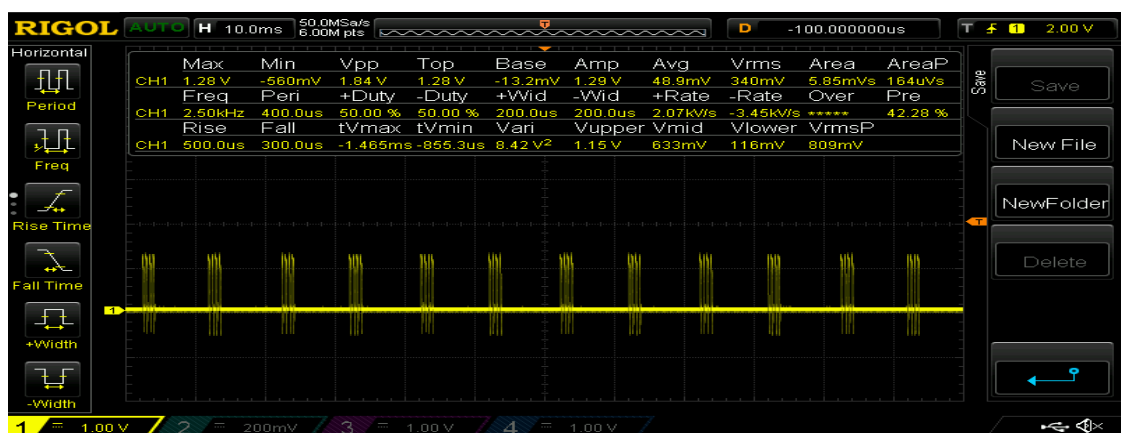


Figure III.18 Les impulsions de la commande du thyristor T1 pour le mode double alternance.

III.4.4. Signal de la sortie pour une charge de 3 inductances en série avec une résistance :

Les résultats suivant pour une charge de trois inductances en sérié avec une résistance, Comme montre la Figure III.19.



Figure III.19 Trois inductances en série avec une résistance.

Comme montre la Figure III.19, on a utilisé les enroulements primaires des transformateurs comme des charges inductives .

III.4.4.1. Redresseur mono alternance :

a) Commande analogique avec un angle d'amorçage $\alpha=59\%$:

La Figure III.20 représente notre carte électronique et l'allures de la tension et du courant de la charge RL pour le mode simple alternance et un angle d'amorçage $\alpha=59\%$.

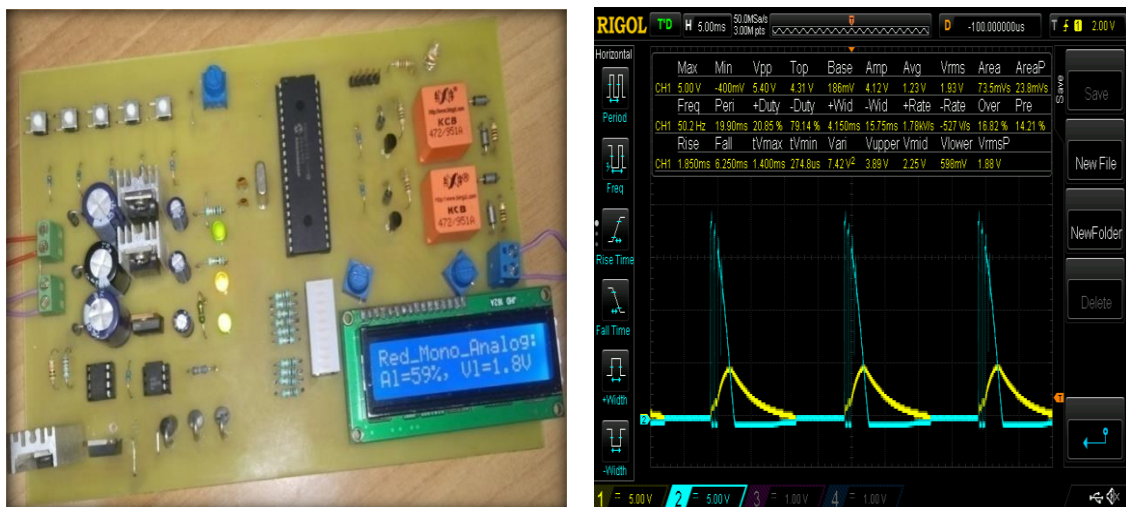


Figure III.20 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 59\%$.

b) Commande numérique avec un angle d'amorçage $\alpha=16\%$:

La Figure III.21 représente notre carte électronique et l'allures de la tension et du courant de la charge RL pour le mode simple alternance et un angle d'amorçage $\alpha=16\%$

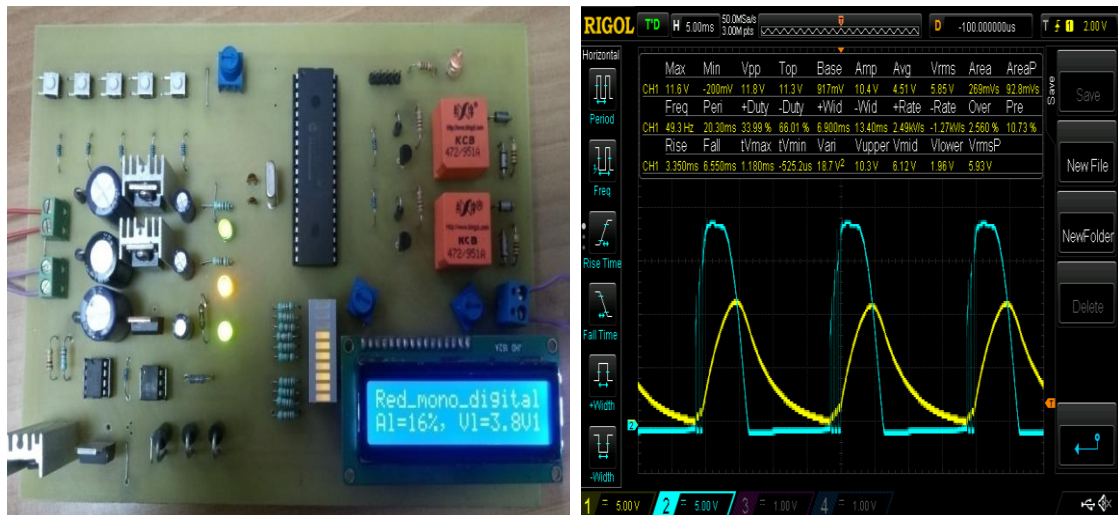


Figure III.21 Représentation de notre carte et l'allure de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 16\%$.

On constate que les formes d'ondes de tension et du courant confirment bien les signaux étudiés en théorie et les simulations trouvées dans le chapitre I par le logiciel Matlab et dans le chapitre II par le logiciel Proteus.

III.4.4.2. Redresseur double alternance :

a) Commande analogique avec un angle d'amorçage $\alpha=45\%$:

La Figure III.22 représente notre carte électronique et l'allures de la tension et du courant de la charge RL pour le mode double alternance et un angle d'amorçage $\alpha=45\%$.

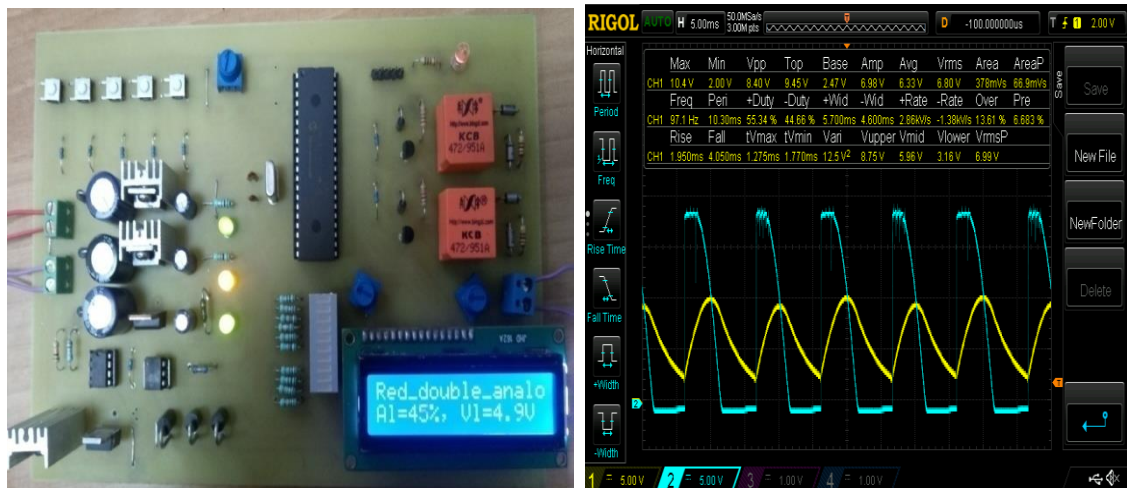


Figure III.22 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=45\%$.

b) Commande analogique avec un angle d'amorçage $\alpha=16\%$:

La Figure III.23 représente notre carte électronique et l'allures de tension et du courant de la charge RL pour le mode double alternance et un angle d'amorçage $\alpha=16\%$.

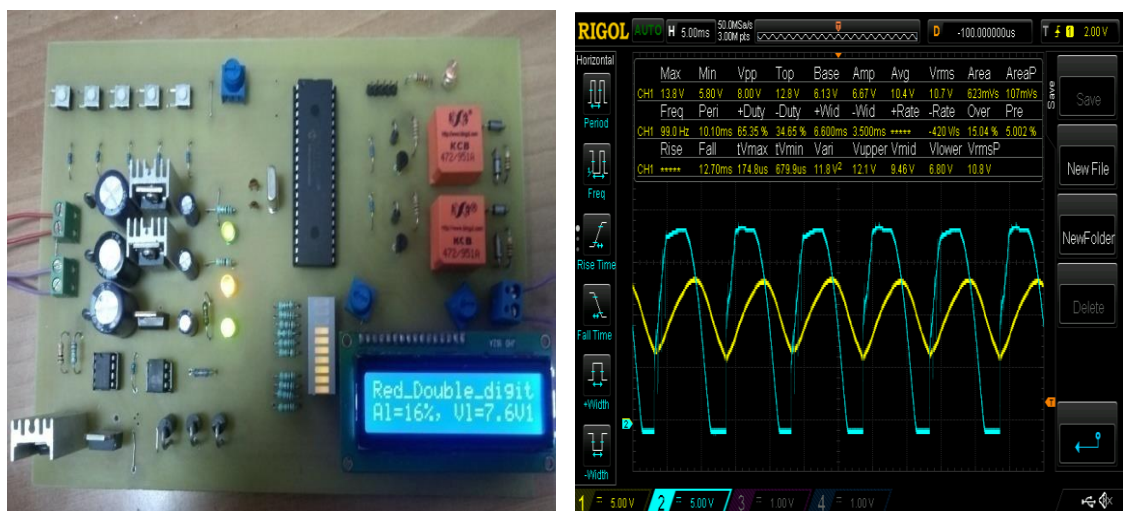


Figure III.23 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 16\%$.

D'après les Figure III.24 et III.25, V_{Lmoy} égale le double à celle du montage redresseur monophasée simple alternance parce que dans ce mode les deux alternances sera redressées.

Remarque :

On constate que les formes d'ondes de tension et du courant sont identiques à celles obtenues en théorie, en simulation Matlab dans le chapitre I et par simulation Proteus dans le chapitre II.

III.4.5. Influence de la charge sur le signal de sortie:

La Figure III.24 représente notre carte électronique et l'allures de la tension et du courant de la charge RL pour le mode mono alternance et un angle d'amorçage $\alpha = 59\%$.

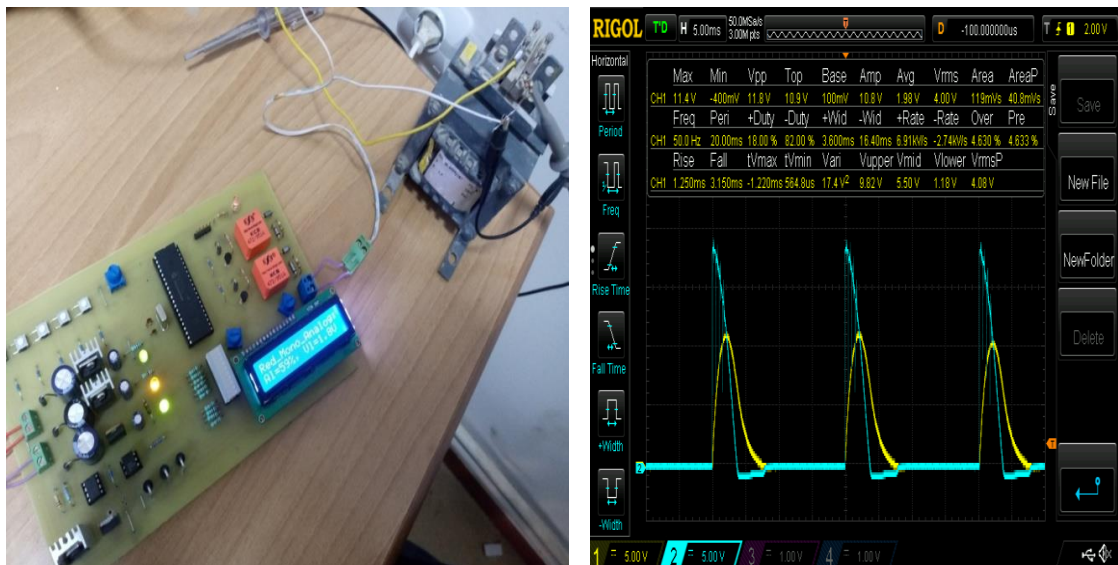


Figure III.26 Représentation de notre carte et l'allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 59\%$.

Remarque :

Si on fait une comparaison avec les allures obtenues par la Figure III.20, on constate que si la valeur de l'inductance augmente le courant devient bien lissé, et cette remarque confirme bien les notions prises dans le cours d'électronique de puissance.

III.4.6. Moteur DC comme une charge à la sortie:

Dans ce cas, on place à la sortie un moteur DC et on visualise la tension entre ses bornes qui est représentée dans la Figure III.25.

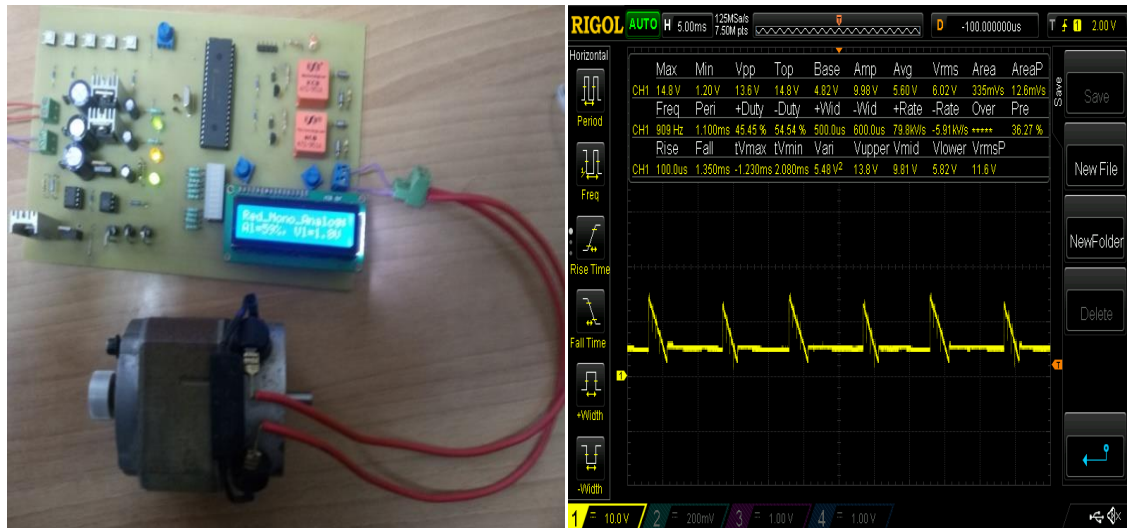



Figure III. 27 L'allure de la tension obtenue aux bornes du moteur DC pour un angle d'amorçage $\alpha = 59\%$.

D'après la Figure III.25, on constate que la tension aux bornes de la machine ne sera pas nulle à cause de la force électromotrice de la machine. Quand on amorce le thyristor, l'énergie se transformera du générateur vers la machine donc la tension aux bornes de la machine sera égale à celle de l'entrée. Si la tension de l'entrée est inférieure à la force électromotrice de la machine, cette dernière sera celle qui fournit l'énergie.

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la réalisation matérielle de notre travail. 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 du 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 quatre modes de fonctionnement.

A decorative horizontal scroll graphic with a black outline and rounded ends. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

***Conclusion
Générale***

Conclusion générale

Le but principal de notre travail concerne l'étude et la réalisation pratique d'un redresseur monophasé semi-commandé à base d'un microcontrôleur PIC 16F877A en respectant un cahier de charge imposé.

Ce système nous permet l'amorçage des thyristors d'un convertisseur alternatif-continu, et ainsi sert de générateur d'impulsions synchronisés sur le réseau pour le déclenchement des thyristors, par une commande analogique ou numérique.

- Dans un premier chapitre, on a essayé de réunir un ensemble d'informations théoriques nécessaires qui constituent 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.
- Le deuxième chapitre donne une description détaillée du microcontrôleur PIC16F877A et leurs caractéristiques pour faciliter la manipulation avec ses différentes broches, un organigramme qui explique le fonctionnement de notre carte. En fin les résultats de simulation par Proteus sont illustrés pour chaque mode étudié qui sont en forte coordination avec les simulations Matlab.
- Le dernier chapitre est consacré à la réalisation pratique de notre carte : la description des quelques composants, les étapes de fabrication de la carte électronique, les problèmes rencontrés lors du travail et la prise des résultats expérimentaux.

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 représentent les formes de courant et de tension de charge.

- **Les perspectives :**

Dans ce travail, on a donné la base ou la plateforme pour les prochains travaux dans ce domaine. Pour une extension de notre travail, ils peuvent réaliser un redresseur triphasé ou gradateur monophasé dans lequel, il suffit de modifier le circuit de puissance et en remplaçant le thyristor par le triac.

Bibliographié :

- [1] Guy, S. Francis, L. Philippe, D. 'Électronique de puissance structures, commande, applications' (10^{ème} ed). Paris, 2015.
- [2] Pinard, M. 'Convertisseurs et électronique de puissance : Commande, Description, Mise en œuvre' Dunod, paris, 2007.
- [3] Dechoucha, S. Bourezg, O. ' Conception des techniques MLI dédiées à la commande des convertisseurs DC/DC et DC/AC à base du microcontrôleur PIC18F4431', Mémoire de Master, Université de M'sila, 2017.
- [4] Jean. L . ' Caractérisation et modélisation de composants IGBT et diode pin dans leur environnement thermique sévère lié aux applications aéronautiques ', Thèse doctorat, Université de Toulouse, 2010.
- [5] Mandray, S . 'Optimisation des convertisseurs d'électronique de puissance selon des critères thermiques', Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, 2009
- [6] Brahimi, A. Guezouli, H. 'Etude et réalisation d'une carte de commande à base d'un microcontrôleur PIC 16f877 pour ponts redresseurs triphasés à thyristors', Université de Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen, Mémoire de Master, 2014.
- [7] Guy, Ch. Daniel, B. Michel, B. jacques, V. Daniel, V. Manuel de genie électrique Rappels de cours, méthodes, exemples et exercices corrigés. Dunod, Paris, 2006 .
- [8] Tourtchine, V. Microcontrôleur de la famille Pic. Université de boumerdes, 2009.
- [9] Saadi, R. Salhi, N . : ' Réalisation de carte à microcontrôleur pour le contrôle de bras manipulateur via un pc',mémoire de Master, Université Mohamed Khider, Biskra, 2010.
- [10] « PIC16F87XA Data Sheet », <http://www.microchip.com>.
- [11] « Proteus (ISIS et ARES) », <http://www.labcenter.com>.

Résumé :

Les travaux présentés dans ce mémoire montrent un ensemble des tâches pour la conception et la réalisation des convertisseurs AC/DC à base du microcontrôleur pic16F877A pour la variation de la vitesse des machines à courant continu. Ce changement exige la commande des dispositifs de puissance par un signal sous forme d'un train d'impulsions retardé avec un angle par rapport à la tension alternative d'entrée. Cette réalisation possède plusieurs étapes commençant par une étude théorique dans la quelle, on a réuni un ensemble d'information théorique illustrée par une simulation Simulink-Matlab. Puis une étude détaillée sur l'architecture et les caractéristiques du microcontrôleur PIC16F877A, ainsi que la simulation par les logiciels MPLAB, CCS PICC et Proteus. La dernière étape est consacrée à la réalisation pratique: explication des parties essentielles de la réalisation, la fabrication de notre carte électronique, les problèmes rencontrés lors du travail et la prise des résultats expérimentaux.

Les tests expérimentaux ont montré des résultats similaires à celle de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab.

Mots clés : Réalisation, Redresseur, Commande, PIC16F877A, code CCS PICC.

Abstract:

The work presented in this thesis presents a set of tasks for the design and realization of AC / DC converters based on the pic16F877A microcontroller for varying the DC machines speed. This change in speed requires power devices control by a signal in the form of a delayed pulse train to the input AC voltage. This realization has several stages starting with a theoretical study in which, we gathered a set of theoretical information illustrated by Simulink-Matlab simulation. Then a detailed study on the microcontroller PIC16F877A architecture, as well as the simulation by the software MPLAB, CCS PICC and Proteus. The last step is devoted to the practical realization: explanation of the essential parts of the realization, the manufacture of our electronic card, the problems met during the work and the taking of the experimental results.

The experimental tests showed similar results to those of the theoretical study and by Matlab and Proteus simulation.

Keywords: Realization, Rectifier, Control, PIC16F877A, CCS PICC code.

ملخص:

الأعمال المقدمة في هذه المذكرة تظهر مجموعة من المهام بهدف تصميم و انجاز محولات تيار متناوب/ تيار مستمر ذات المراقب الدقيق (PIC 16F877A) من اجل تغيير سرعة محركات ذات التيار المستمر.

هذا التغيير يتطلب التحكم في مركبات الاستطاعة بإشارة على شكل نبضات متأخرة بزواوية مقارنة بالتوتر المتناوب للمدخل.

هذا الانجاز له عدة مراحل يبدأ بدراسة نظرية أين جمعنا مجموعة من المعلومات النظرية و المرفقة بمحاكاة برنامج Similink Matlab, ثم دراسة مفصلة حول هندسة و خصائص المراقب الدقيق (PIC 16F877A) , يشمل أيضا محاكاة باستعمال برنامج MPLAB ,CCSPICC و PROTEUS. المرحلة الأخيرة خصصت للانجاز التطبيقي, شرح الأجزاء الأساسية للمشروع, انجاز البطاقة الالكترونية, المشاكل المعترضة أثناء العمل و اخذ النتائج التجريبية.

الاختبارات التجريبية أكدت نتائج مماثلة للدراسة النظرية ونتائج المحاكاة لبرنامج Matlab وPROTEUS.

