

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° : 2021/ ESEM

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Électronique

OPTION : Electronique du Système Embarqué

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Par : GOMRI sara

et

OUMHANI amal

Intitulé

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

**Soutenu devant le jury composé de :**

Dr. GAREH Massoud

Université de M'SILA

Président

Pr. OUDIRA Houcine

Université de M'SILA

Encadreur

Pr. MEZACHE Amar

Université de M'SILA

Co-encadreur

Foudil malika

Université de M'SILA

Examineur

**Année universitaire : 2020 /2021**



## *Remerciements*

*En préambule à ce mémoire Nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience, la force et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Très sincères remerciements :*

*A nos encadreurs Pr. OUDIRA Houcine  
et Pr. MEZACHE Amar*

*leurs conseils avisés. Nous avons apprécié leur patience, leurs efforts, leurs conseils et leur disponibilité tout au long de la réalisation de ce projet. Nous tenons à remercier tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur de jury ce projet.*

*En fin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce projet.*



## 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 OUMHANI; 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 2021*

*OUMHANI AMAL*



## *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'encourager et de me soutenir tout au long de mon cursus scolaire et universitaire.*
- A toute la famille GOMRI ; 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 2021*

*GOMRI SARA*

## Table des matières

Remerciements .....	i
Dédicace.....	ii
Dédicace.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des abréviations.....	viii
Liste des symboles.....	ix
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures.....	xi
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I: Généralités sur les redresseurs</b>	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Caractéristiques des composants électroniques.....	4
I.2.1. Les diodes.....	4
I.2.1.1. Principales utilisations.....	5
I.2.1.2. Caractéristique d'une diode .....	5
I.2.2. Le thyristor .....	5
I.2.2.1. Caractéristique et fonctionnement .....	6
I.3. Les redresseurs monophasés non commandés.....	6
I.3.1. Redresseur monophasé simple alternance nom commandé.....	6
I.3.1.1. Schéma de principe.....	6
I.3.1.2. Allures de tension et de courant.....	7
I.3.1.3. Simulations par Matlab .....	7
I.3.1.4. La valeur moyenne de la tension de sortie.....	8
I.3.2. Redresseur monophasé simple alternance nom commandé avec diode de roue libre : 8	
I.3.2.1. Schéma de principe.....	8
I.3.2.2. Allures de tension et de courant.....	9
I.3.2.3. Simulations par Matlab .....	9
I.3.2.4. La valeur moyenne de la tension de sortie.....	10
I.3.3. Redresseur monophasé double alternance non Commandé.....	10
I.3.3.1. Schéma de principe.....	10
I.3.3.2. Allures de tension et de courant.....	11

---

I.3.3.3. Simulations par Matlab .....	11
I.3.3.4. La valeur moyenne de la tension de sortie .....	12
I.4. Les redresseurs commandés.....	12
I.4.1. Redresseur monophasé simple alternance totalement commandé.....	12
I.4.1.1. Schéma de principe.....	12
I.4.1.2. Allures de tension et de courant.....	13
I.4.1.3. Simulations par Matlab .....	13
I.4.1.4. La valeur moyenne de la tension de sortie .....	14
I.4.2. Redresseur monophasé simple alternance semi commandé.....	14
I.4.2.1. Schéma de principe.....	14
I.4.2.2. Allures de tension et de courant.....	15
I.4.2.3. Simulations Matlab.....	15
I.4.2.4. La valeur moyenne de la tension de sortie .....	16
I.4.3. Redresseur monophasé double alternance totalement commandé.....	16
I.4.3.1. Schéma de principe.....	16
I.4.3.2. Allures de tension et de courant.....	17
I.4.3.3. Simulations Matlab.....	17
I.4.3.4. La valeur moyenne de la tension de sortie .....	18
I.4.4. Redresseur monophasé double alternance semi-commandé.....	18
I.4.4.1. Schéma de principe.....	18
I.4.4.2. Allures de tension et de courant.....	19
I.4.4.3. Simulations Matlab.....	19
I.4.4.4. La valeur moyenne de la tension de sortie .....	20
I.5. Redresseur triphasé.....	20
I.6. Conclusion .....	21

## **Chapitre II: Microcontrôleur et simulations par Proteus**

II.1. Introduction .....	23
II.2. Microcontrôleur.....	23
II.2.1. Qu'est ce qu'un microcontrôleur.....	23
II.2.2. Intérêt des microcontrôleurs .....	23
II.2.3. Classification des PICs de Microchip .....	24
II.2.4. Identification des PIC.....	24
II.2.5. Choix d'un PIC.....	24
II.2.6. DESCRIPTION GENERALE DU PIC 16F877A.....	25
II.2.7. Architecture externe .....	25

II.2.8. Architecture interne.....	26
II.2.9. Les ports d'entré sorties.....	27
II.2.9.1. Le port d'E/S PORTA .....	27
II.2.9.2. Le port d'E/S PORTB.....	27
II.2.9.4. Le port d'E/S PORT D/E.....	28
II.2.10. Organisation de la mémoire.....	29
III.2.11. Les registres du PIC 16F877A .....	29
II.2.12. Les timers du pic 16F877A .....	29
II.2.12.1. Le timer 0 « 8 bits » .....	29
II.2.12.2. Le timer 1 « 16 bits » .....	30
II.2.12.3. Le timer 2 « 8 bits » .....	31
II.2.13. Les interruptions.....	31
II.2.14. Le convertisseur analogique numérique .....	32
II.3 Conception de la carte de commande et de puissance par Proteus .....	32
II.3.1. Partie logicielle (outils de développement utilisés) .....	32
II.3.2 Schéma structurel de la carte par Proteus .....	33
II.3.3 Le fonctionnement.....	34
II.3.4. L'organigramme de fonctionnement.....	34
II.3.5 Simulations par Proteus .....	36
II .3.5.1. Redresseur double alternance – commande analogique ‘Mode#0’ .....	36
II .3.5.1.1 Commande analogique avec un angle d’amorçage $\alpha=20\%$ .....	36
II .3.5.1.2. Commande analogique avec un angle d’amorçage $\alpha=80\%$ .....	37
II .3.5.2. Redresseur double alternance – commande numérique ‘Mode#1’ .....	38
II.3.5.2.2. Commande numérique avec un angle d’amorçage $\alpha=82\%$ .....	39
II.4 Conclusion .....	41

**Chapitre III: Réalisation pratique**

III.1. Introduction .....	43
III.2. Réalisation de la carte électronique .....	43
III.2.1. Câblage par Proteus .....	43
III.2.2. Description des parties essentielles de la réalisation .....	44
III.2.2.1 L'alimentation .....	46
III.2.2.2 Transformateur d'impulsions .....	46
III.2.2.3 Circuit de synchronisation et de couplage optique .....	47
III.2.2.4 Afficheur LCD .....	48
III.2.2.5 Module RF.....	49

III.2.2.5.1 la fonction principale d'un module RF .....	50
III.2.2.5.2 Applications typiques d'un module RF.....	50
III.2.3. Routage de schéma électrique .....	50
III.2.3.1 Les étapes de fabrication du circuit imprimé .....	52
III.2.3.1.1 L'impression du typon.....	52
III.2.3.1.2 L'insolation .....	52
III.2.3.1.3 La révélation.....	53
III.2.3.1.4. Gravure de circuit imprimé .....	53
III.2.3.1.5. Test du circuit imprimé .....	54
III.2.3.1.6. La mise en place et la soudure des composants .....	54
III.3. Les problèmes rencontrés .....	56
III.4. Résultats expérimentaux.....	56
III.4.1. Signal d'entrée .....	56
III.4.2. Signal de synchronisation et de commande des gâchettes du thyristor T1 et T4 pour le mode double.....	56
III.4.3. Signal de sortie pour une charge inductive .....	57
III.4.3.1. Redresseur double alternance totalement commandé.....	57
a) Commande analogique avec un angle d'amorçage $\alpha=20\%$ .....	57
b) Commande analogique avec un angle d'amorçage $\alpha=80\%$ .....	58
c) Commande numérique avec un angle d'amorçage $\alpha=22\%$ .....	59
d) Commande numérique avec un angle d'amorçage $\alpha=88\%$ .....	59
III.4.5. Influence de la charge sur le signal de sortie .....	59
III.5. Conclusion.....	60
Conclusion Générale .....	62
Bibliographié .....	63
Résumé: .....	64

**Liste des abréviations :**

<b>Abréviations</b>	<b>Notations</b>
<b>AC</b>	<b>Courant alternatif</b>
<b>DC</b>	<b>Courant continue</b>
<b>D</b>	<b>Diode</b>
<b>DRL, DL</b>	<b>Diode de roue libre</b>
<b>A</b>	<b>Anode</b>
<b>K</b>	<b>Cathode</b>
<b>T</b>	<b>Thyristor</b>
<b>R</b>	<b>Résistance</b>
<b>L</b>	<b>Inductance</b>
<b>G</b>	<b>Gâchette du thyristor</b>

Liste des symboles :

Notations	Symboles
Tension d'entrée	$U_{\alpha}, U_{\beta}$
Tension maximale	$U_{\alpha}$
Tension moyenne	$U_{\alpha}, U_{\beta}$
Courant de la gâchette du thyristor	$I_{\alpha}$
Courant	$I_{\alpha}, I_{\beta}, I_{\gamma}, I_{\delta}$
Tension au borne de l'inductance	$U_{\alpha}, U_{\beta}$
Période	<b>T</b>
Pulsation	<b>W</b>
Angle d'amorçage du thyristor	$\alpha$

## Liste des tableaux :

**Tableau II. 1 :** Broches du PIC ..... 25

**Tableau III. 1:** Liste des composants pour la réalisation du convertisseur AC-DC totalement commandé..... 44

**Liste des figures :**

Figure III. 1 : schéma synoptique de circuit réalisé .....	44
Figure III. 2: Câblage pour le circuit imprimé de l'étage de commande par le logiciel Proteus. .....	45
Figure III. 3 : Câblage pour le circuit imprimé de l'étage de puissance par le logiciel Proteus. .....	45
Figure III. 4 : Montage de l'alimentation 5 V. ....	46
Figure III. 5 : Montage de l'alimentation symétrique +12 V. ....	46
Figure III. 6 : Schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.....	47
Figure III. 7 : Le circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique .....	47
Figure III. 8 : Principe de fonctionnement d'un opto-coupleur.....	48
Figure III. 9 : Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères. ....	48
Figure III. 10 : Fréquence radio.....	50
Figure III. 11 : Schéma routé de la carte de commande .....	51
Figure III. 12 : Schéma routé de la carte de puissance.....	51
Figure III. 13 : Typon de la carte de commande .....	52
Figure III. 14 : Typon de la carte de puissance .....	52
Figure III. 15 : Circuit imprimé de la carte de commande .....	53
Figure III. 16 : Circuit imprimé de la carte de puissance.....	53
Figure III. 17 : Carte de commande finalisée (côté pistes).....	54
Figure III. 18 : Carte de puissance finalisée (côté pistes).....	54
Figure III. 19 : Carte de commande finalisée (côté composants).....	55
Figure III. 20 : Carte de puissance finalisée (côté composants).....	55
Figure III. 21 : Carte finalisée (côté composants).....	55
Figure III. 22 : Allure de la tension d'entrée .....	56
Figure III. 23 : Les impulsions de la commande du thyristor T1 et T4 pour le mode double alternance .....	57
Figure III. 24 : allures de la tension et le courant de sortie.....	57
Figure III. 25 : Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 20\%$ .....	58
Figure III. 26 : Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 80\%$ .....	58

Figure III. 27 : Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d’amorçage  $\alpha = 22\%$  ..... 59

Figure III. 28 : Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d’amorçage  $\alpha = 88\%$  ..... 59

Figure III. 29 : 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  $\alpha = 36\%$  ..... 60



***Introduction  
générale***

## Introduction générale :

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 [ I,II ].

- ✓ Le redresseur à diodes est équivalent à la commutatrice.
- ✓ Les redresseurs contrôlés sont analogues à un groupe moteur asynchrone génératrice à courant continu.
- ✓ Les gradateurs remplacent les autotransformateurs à prise variable ou à curseur.
- ✓ L'onduleur autonome était réalisé par l'ensemble moteur à courant continu couplé à un alternateur.
- ✓ L'hacheur exécute en petite puissance avec des relais vibreurs, peut maintenant être exécuté en très forte puissance avec des thyristors.

L'électronique de puissance travaille presque toujours en commutation, c'est l'une de ses caractéristiques principales, et cela permet d'obtenir un bon rendement.

Les signaux de commandes sont aujourd'hui générés par des systèmes à micro-ordinateur en logiques programmé qui remplacent de plus en plus la commande analogique faite par des A.O.P [5].

L'énergie électrique est disponible soit sous forme alternative (réseau de distribution industriel) soit sous forme continue (batteries d'accumulateurs). Quant à la charge, suivant sa nature, elle nécessite une énergie sous forme alternative ou continue. On définit donc quatre classes de convertisseurs transformant directement l'énergie électrique : alternatif-continu, continu-continu, continu – alternatif et alternatif – alternatif. Ce sont les fonctions de base des convertisseurs statiques.

Quand il s'agit de conversion d'énergie, la notion de sens de conversion est importante. Elle permet de qualifier la réversibilité du convertisseur. On dit alors qu'un convertisseur est réversible lorsque l'énergie peut y transiter de manière bidirectionnelle [4].

### ❖ 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 PIC16F877A pour une commande dédiée aux 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 totalement commandé, pour non seulement effectuer de nombreux travaux pratiques, mais également afin de servir de variateur de vitesse pour moteur à courant continu.

### ❖ Organisation du mémoire :

Le travail de ce mémoire englobe les étapes de réalisation suivantes :

- ✓ Simulations des redresseurs monophasés (totalement commandé) par le logiciel Matlab " Simulink".
- ✓ Conception 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 des 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 taches réalisées.



***CHAPITRE I***  
***GENERALITES 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 de valeur moyenne commandable ou réglable. [1]. Ce type est un convertisseur statique destiné à alimenter une charge par une tension ou un courant continu à partir d'une source alternative. L'alimentation est, la plupart du temps, un générateur de tension.

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. Les diodes :

La diode est un composant dit actif, qui fait partie (comme le transistor) de la famille des semi-conducteurs. Par définition, une diode fait référence à tout composant électronique doté de deux électrodes. Il s'agit d'un composant polarisé qui possède donc deux électrodes, une appelée anode et l'autre appelée cathode. La cathode (parfois appelée K, pour Kathode) est localisée par un anneau de repérage [2].

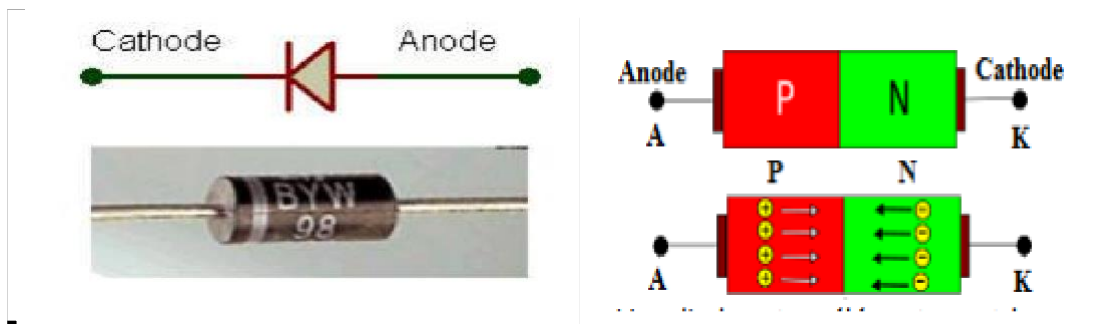


Figure I. 1: Représentation symbolique d'une diode [2].

### I.2.1.1. Principales utilisations :

Les diodes sont principalement utilisées dans les circuits selon trois groupes de fonction différents :

- Les circuits de redressement :

Qui permettent la conversion d'une tension alternative en une tension continue.

- Les circuits d'écrêtage, ou circuits de limitation :

Qui permettent d'empêcher un signal de dépasser une valeur (amplitude) choisie.

- Les circuits de commutation :

Qui permettent la commande ou le changement de normes, ou encore pour circuits logiques [3].

### I.2.1.2. Caractéristique d'une diode :

Le comportement de même que la fonction d'une diode peut se déduire de sa caractéristique graphique courant-tension.  $I_D = f(U_D)$ .

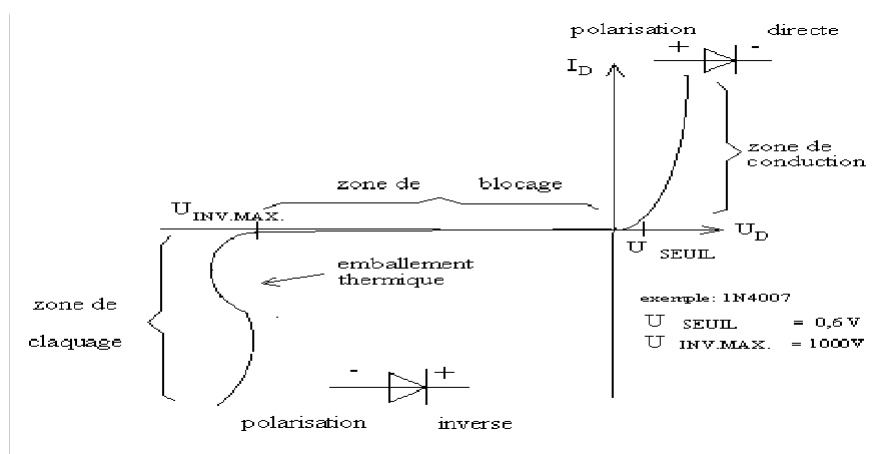


Figure I. 2 : Caractéristique d'une diode [3].

### I.2.2. Le thyristor :

Le thyristor est un redresseur au silicium comme une diode, mais composé de quatre couches de silicium (contre deux pour la diode), et dont la conduction dans le sens direct est commandée par une électrode supplémentaire appelée "Gâchettes". Ce composant comporte trois électrodes : la cathode, l'anode et la gâchette. Contrairement au Triac, le thyristor est unidirectionnel, il ne peut laisser passer le courant que dans un seul sens [4].

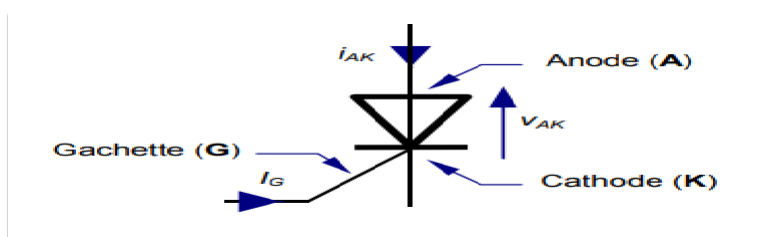


Figure I. 3 : Symbole du thyristor [4].

### I.2.2.1. Caractéristique et fonctionnement :

Le composant est bloqué (OFF) si le courant  $i_{AK}$  est nul (quelque soit la tension  $v_{AK}$ ). Si la tension  $v_{AK}$  est positive, le thyristor est amorçable.

L'amorçage (A) est obtenu par un courant de gâchette  $i_g$  positif d'amplitude suffisante alors que la tension  $v_{AK}$  est positive.

L'état passant (ON) est caractérisé par une tension  $v_{AK}$  nulle et un courant  $i_{AK}$  positif.

Le blocage (B) apparaît dès annulation du courant  $i_{AK}$ . On ne peut pas commander ce changement, mais on en distingue deux types : La commutation naturelle par annulation du courant  $i_{AK}$  ou la commutation forcée par inversion de la tension  $v_{AK}$  [4].

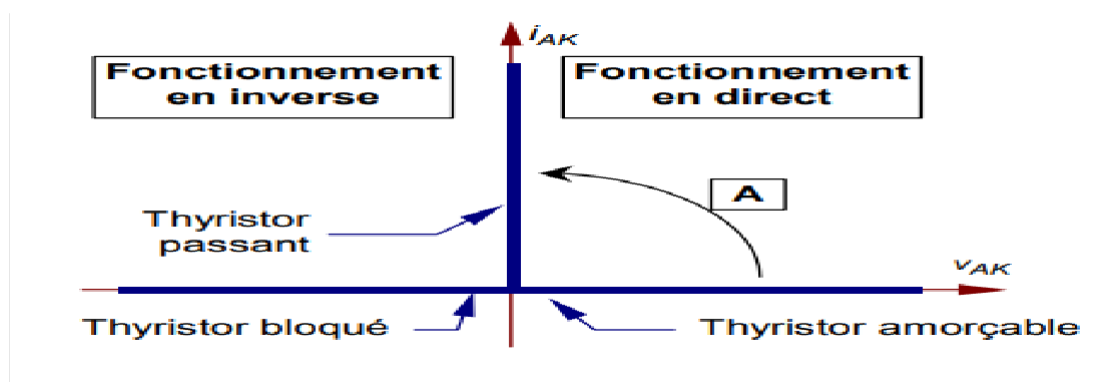


Figure I. 4 : Caractéristique du thyristor [4].

## I.3. Les redresseurs monophasés non commandés :

### I.3.1. Redresseur monophasé simple alternance non commandé :

Un redresseur simple alternance monophasé est un redresseur supprimant les alternances négatives et conservant les alternances positives d'une entrée monophasée. La fréquence en sortie du redresseur est alors égale à la fréquence d'entrée.

#### I.3.1.1. Schéma de principe :

Le montage redresseur monophasé simple alternance non commandé donné par la figure I.5 est caractérisé par :

- Une diode de redressement : D.
- Une charge constituée par une résistance et une inductance [5].

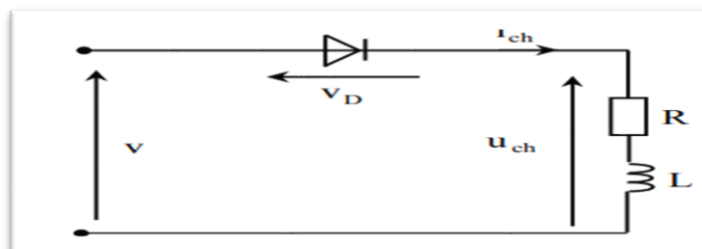
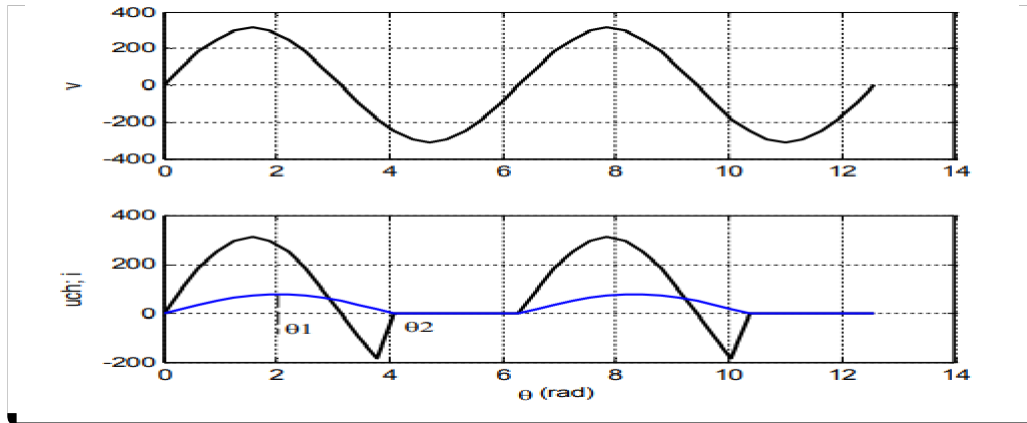


Figure I. 5 : Redresseur monophasé simple alternance non commandé [5].

La tension d'alimentation est  $v(t) = V_m \sin(\omega t)$  de  $V(t)$ .....(I.1).

**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.



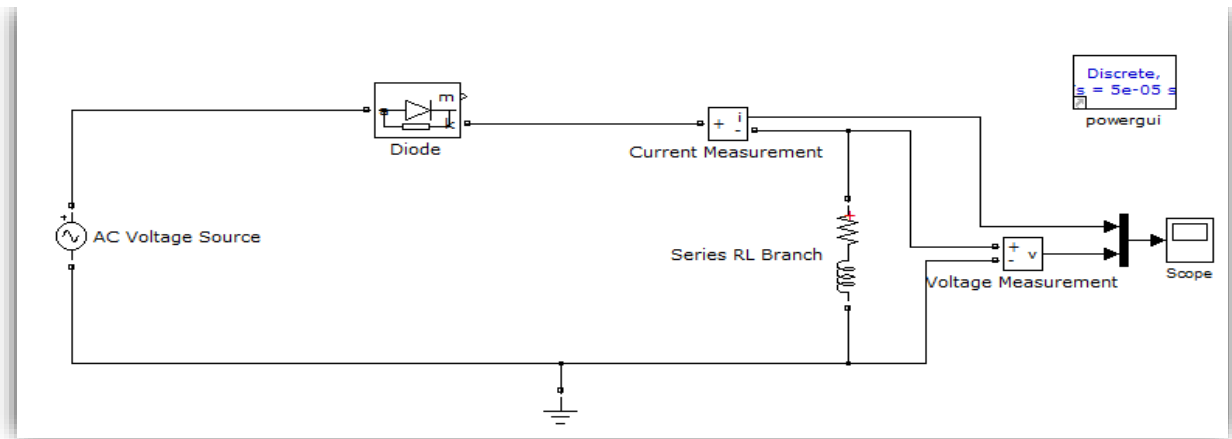
**Figure I. 6 :** Allures de  $v$ ,  $u_{ch}$  et  $i_{ch}$  [5].

L'inductance est un élément de stockage de l'énergie sous forme de courant, en effet l'énergie emmagasinée évite la variation brusque dans un circuit électrique, donc c'est aussi un élément lisseur du courant. c.a.d, 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

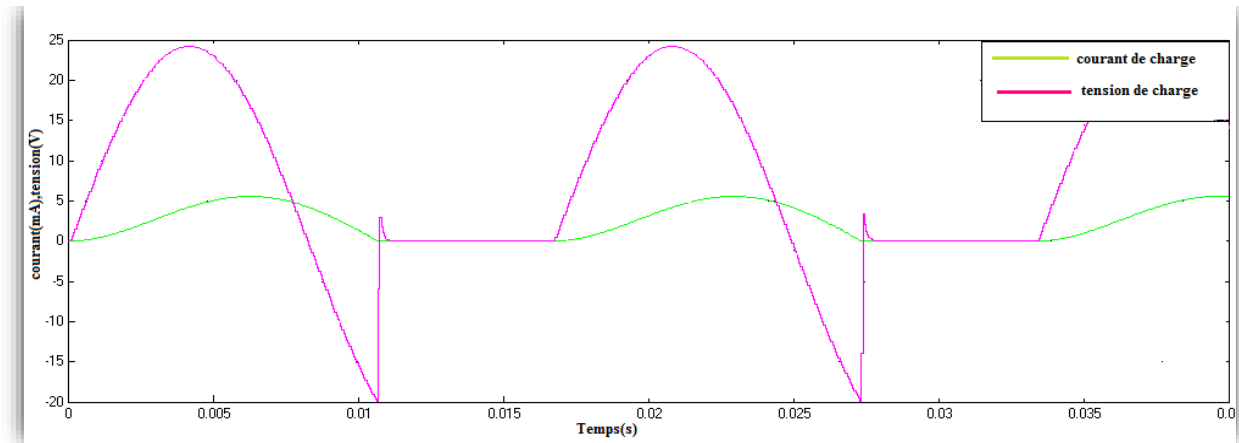
Quand la diode (D) est bloquée, le courant de charge est nul et la tension  $u_D$  aux bornes de la diode est égale à  $v$ , cet état se maintient tant que la tension  $v$  reste négative. Pour  $t=0$  la tension ( $v$ ) devient positive et la diode sera conductrice [5].

**I.3.1.3. Simulations par Matlab :**

Le schéma block qui réalise 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 :**

$$U_{ch} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{ch}(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (1 - \cos(\alpha)) d\alpha \dots \dots \dots (I.2)$$

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

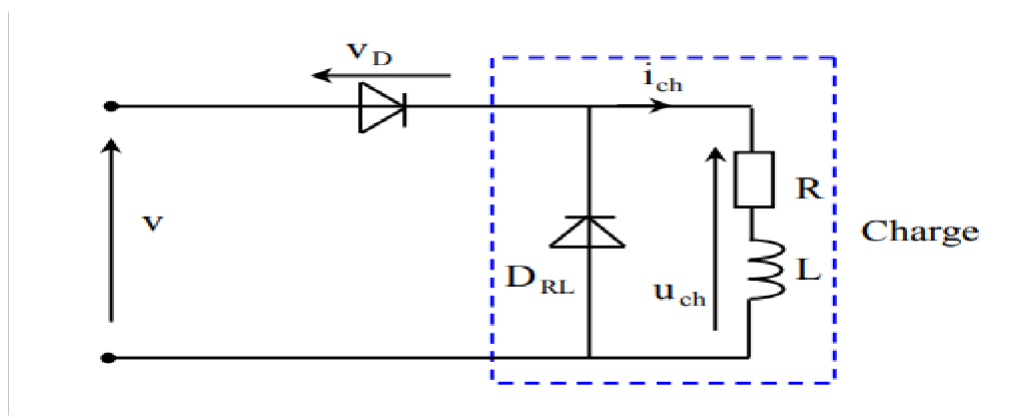
**I.3.2.1. Schéma de principe :**

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

Le montage redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre, donné par la figure I.9 est caractérisé par :

- Une diode de redressement : D.
- Une diode de roue libre (récupération d'énergie) : D<sub>RL</sub>.
- Une résistance et une inductance.

La charge est constituée par l'ensemble (R, L et D<sub>RL</sub>) On ajoute à la charge (R, L) une diode de roue libre D<sub>RL</sub>, pour remédier à l'inconvénient présenté par l'inductance (pas d'ouverture sur un circuit inductif) [5].



**Figure I. 9 :** Redresseur non commandé avec diode de roue libre [5].

I.3.2.2. Allures de tension et de courant :

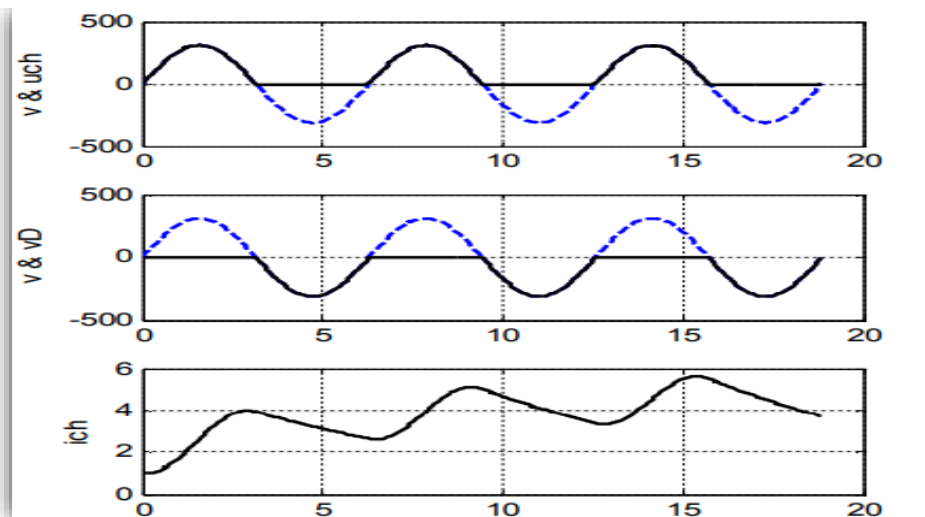


Figure I. 10 : Simple alternance - Courant ich lissé - Conduction ininterrompue [5].

Lorsque la charge comporte une résistance et une inductance, le montage d'une diode montée en inverse permet lorsque la diode D ne conduit pas, à l'énergie emmagasinée par cette diode de circuler dans le circuit ( R ,L,  $\square\square$  ) et d'y provoquer un lissage du courant .

La tension du charge ne peut plus devenir négative, car la diode de roue libre (récupération) assure la condition du courant [5].

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.

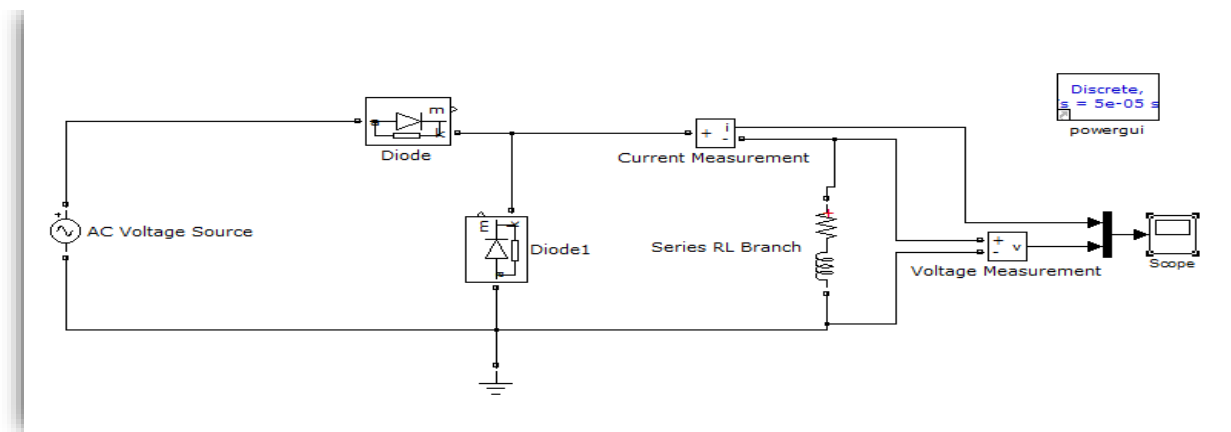
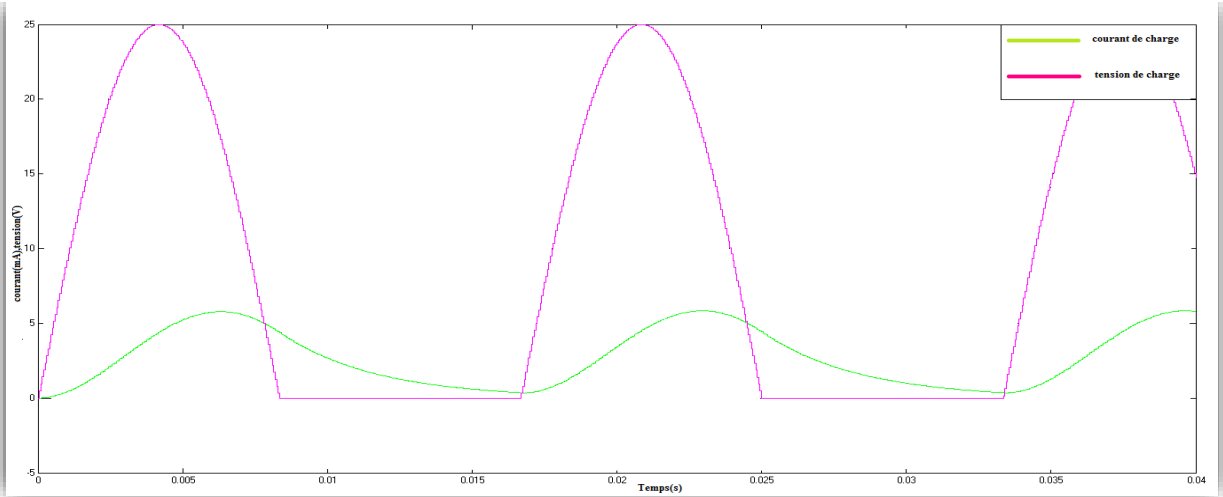


Figure I. 11 : Schéma block d'un redresseur monophasé simple alternance non commandé avec diode de roue libre (Simulink-Matlab).

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.

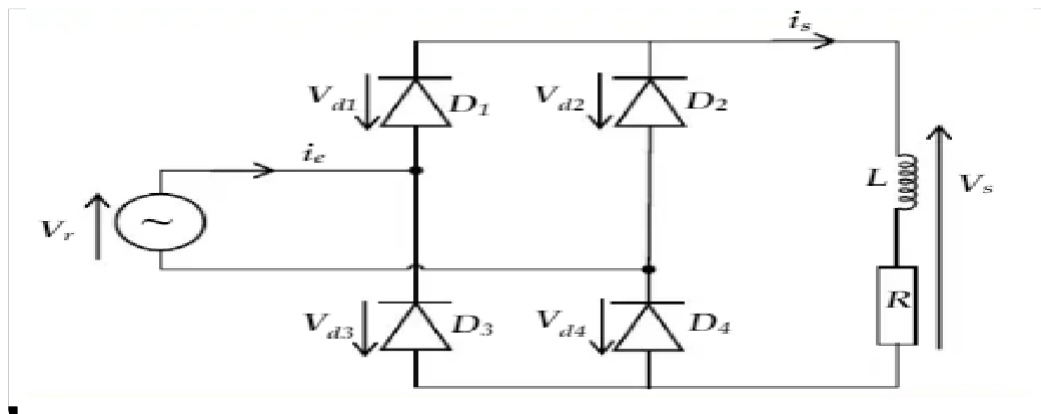
**I.3.2.4. La valeur moyenne de la tension de sortie :**

$$\begin{aligned}
 (V_{oh})_{\text{red}} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \\
 &= \frac{V_m}{2\pi} [ -\cos(\omega t) ]_0^{\pi} \\
 &= V_m / \pi \dots\dots\dots(I.3)
 \end{aligned}$$

**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 [6].

Durant l'alternance positive de la source, les diodes D1 et D4 conduisent car elles sont polarisées en directe ( $V_s = V_r$ ). Pendant l'alternance négative, D2 et D3 conduisent qui donnent  $V_s = -V_r$  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 [6].

I.3.3.2. Allures de tension et de courant :

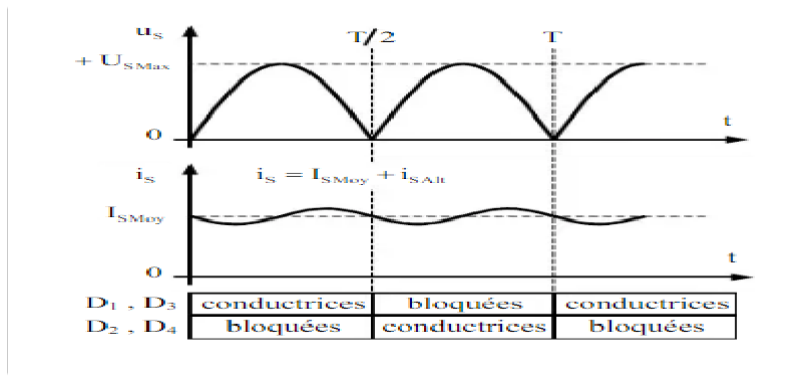


Figure I. 14 : Allures théoriques de tension et de courant [6].

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.

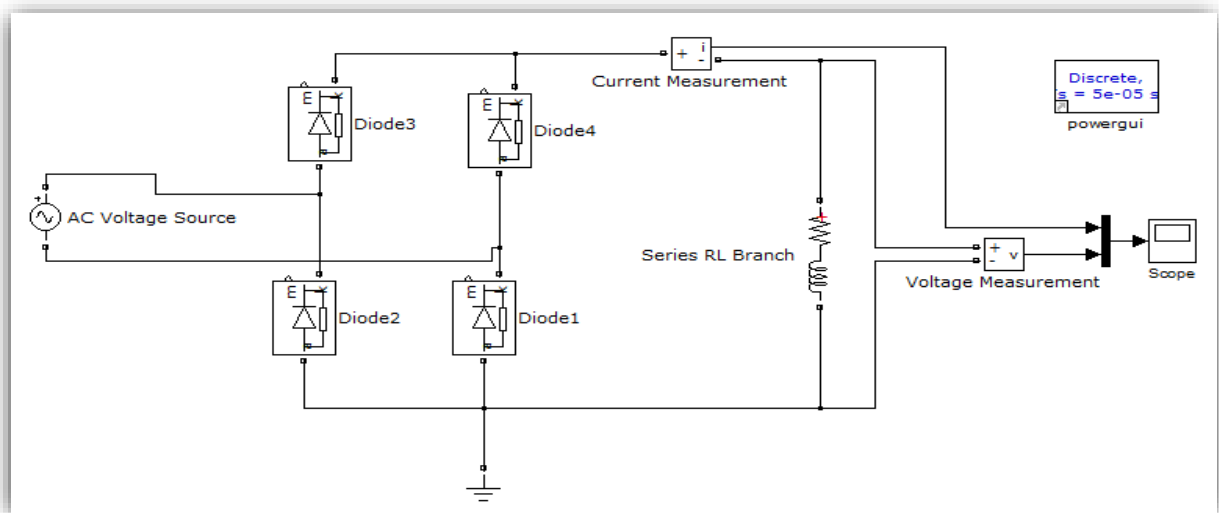


Figure I. 15 : Schéma block d'un redresseur monophasé double alternance non commandé (Simulink-Matlab).

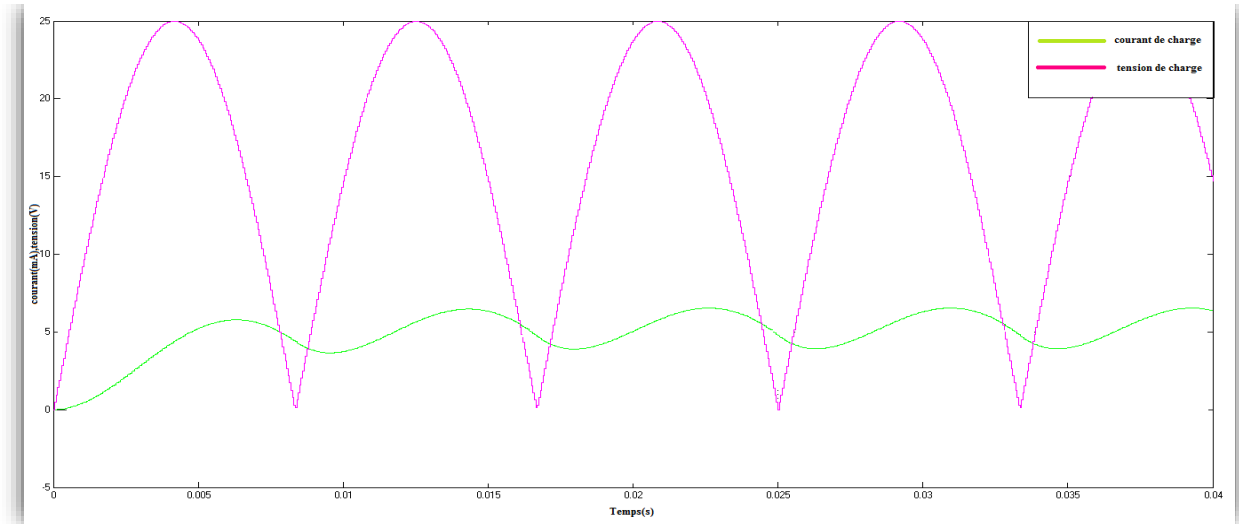


Figure I. 16 : Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé double alternance non commandé.

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

$$\begin{aligned}
 U_{\text{moy}} &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \\
 &= (2U_m) / \pi \approx 0,63 U_m \dots\dots\dots (I.4)
 \end{aligned}$$

**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

**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 [7].

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

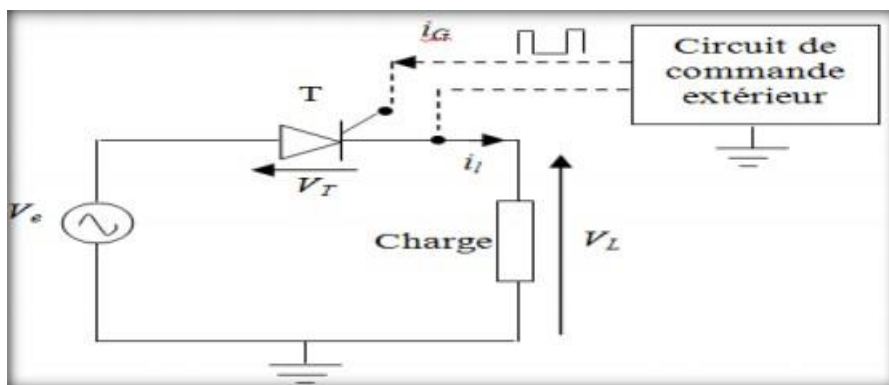


Figure I. 17 : Redresseur simple alternance totalement commandé [7].



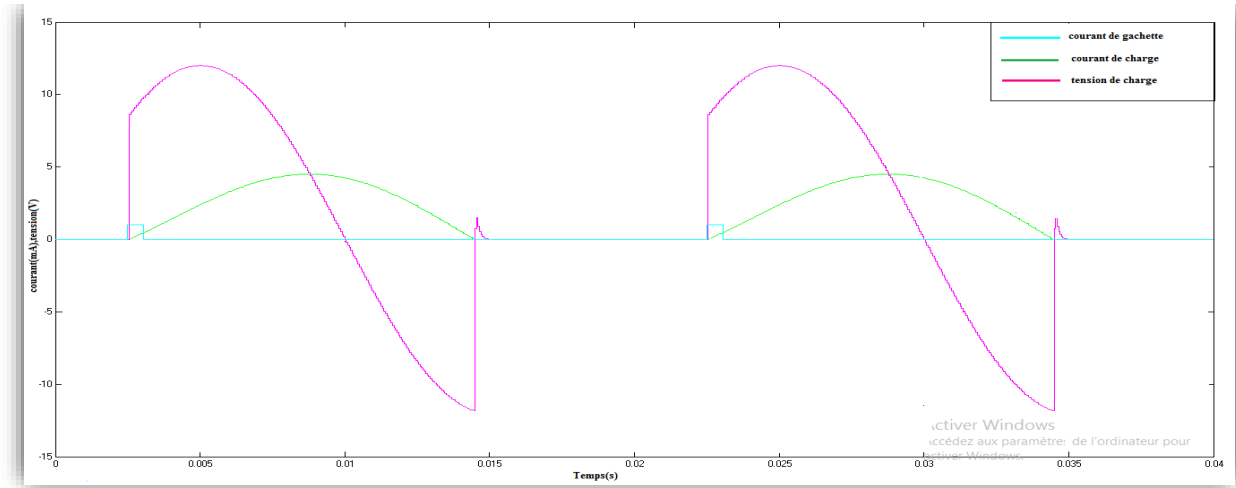


Figure I. 20 : Allures de tension, de courant et de signal de commande du thyristor d'un redresseur monophasé simple alternance totalement commandé (Simulink -Matlab).

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

$$U_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\alpha) d\alpha \dots \dots \dots (I.5)$$

**I.4.2. Redresseur monophasé simple alternance semi commandé :**

**I.4.2.1. Schéma de principe :**

La conduction discontinue est peu utilisée dans la pratique car les chutes de tension sont importantes. Toute-fois, pour obtenir ce résultat avec une alimentation monophasée, il faut un équipement assez complexe (transformateur à point milieu ou pont à quatre diodes). On peut éviter cet inconvénient en utilisant une diode de roue libre.

Dans ce cas, on place une diode de roue libre  $D_{RL}$  en parallèle avec 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  $u_{AKI}$  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 [6].

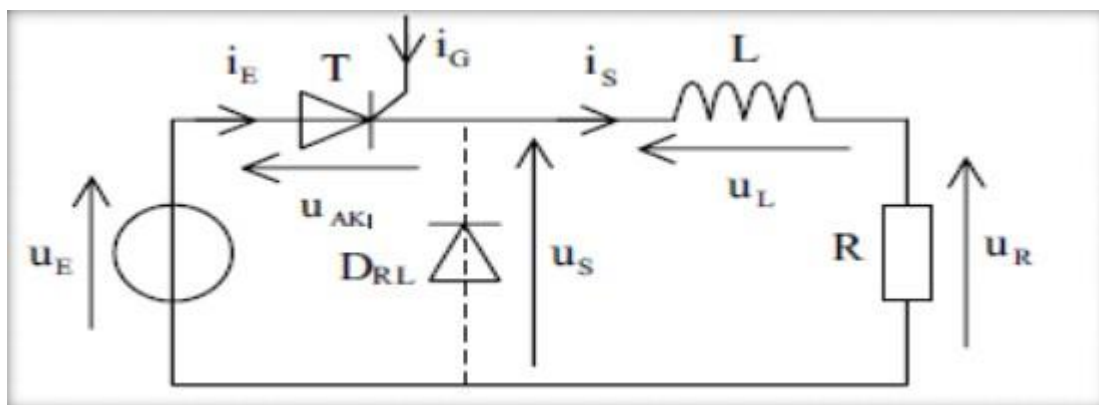


Figure I. 21 : Redressement simple alternance semi-commandé [6].

I.4.2.2. Allures de tension et de courant :

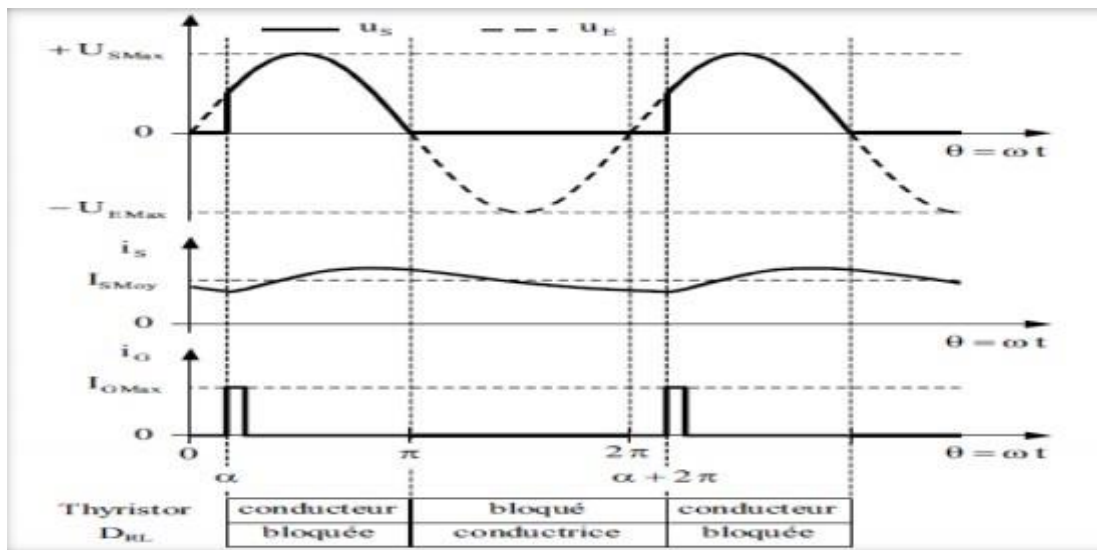


Figure I. 22 : Simple alternance – Charge inductive et diode de roue libre Conduction ininterrompue du courant dans la charge [6].

I.4.2.3. Simulations Matlab :

La Figure I.23 représente le schéma block d’un redresseur monophasé simple alternance semi commandé, par la simulation de ce montage on peut obtenir les courbes de la Figure I.24.

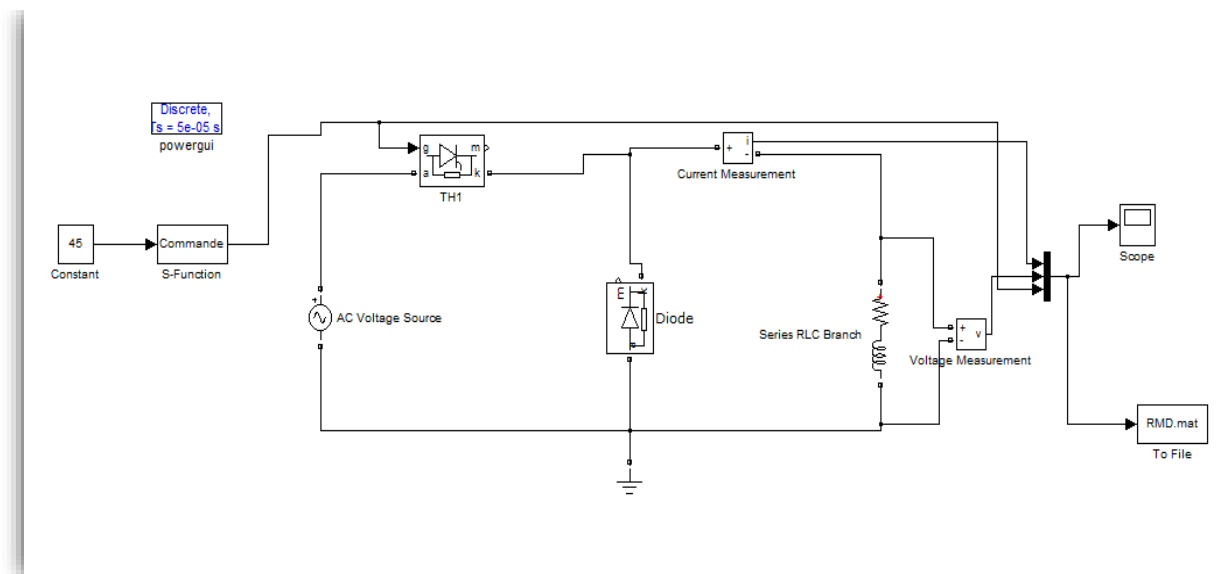


Figure I. 23 : Schéma block d’un redresseur monophasé simple alternance semi commandé (Simulink-Matlab).

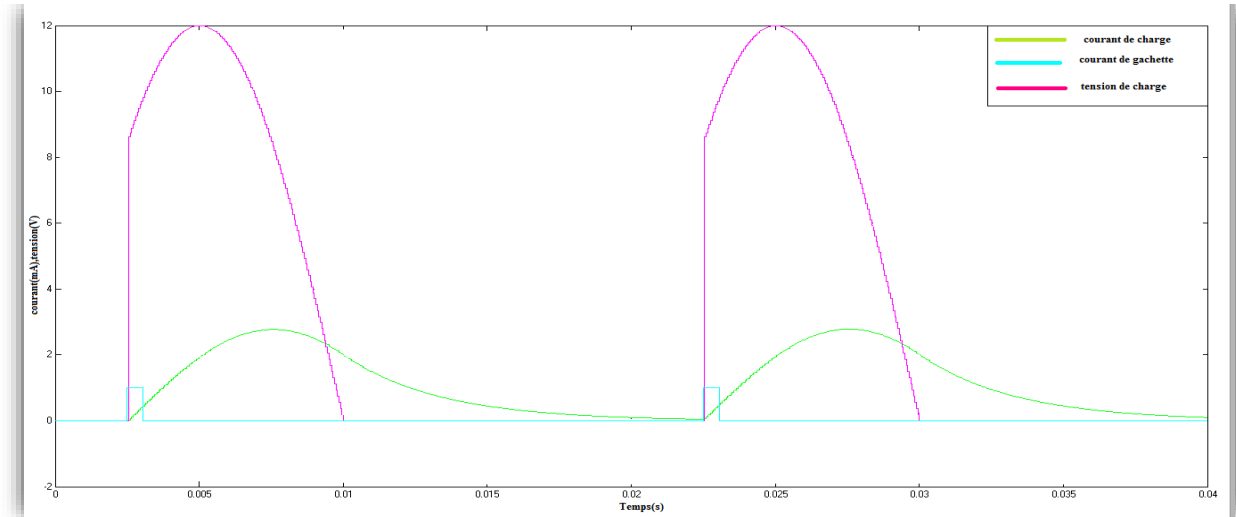


Figure I. 24 : Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé simple alternance semi commandé (Simulink-Matlab).

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

L'expression de la tension de sortie moyenne est donnée par la formule suivante :

$$V_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2\pi} (1 + \cos(\alpha)) \dots \dots \dots (I.6)$$

**I.4.3. Redresseur monophasé double alternance totalement commandé :**

Ce montage est utilisé pour alimenter les machines à courant continu (DC). Il permet la récupération de l'énergie électrique en cas de fonctionnement de la machine en mode génératrice. C'est à dire le transfert de l'énergie s'effectue de la machine vers le réseau. Dans notre réalisation, on s'intéresse a ce type de redresseur.

**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

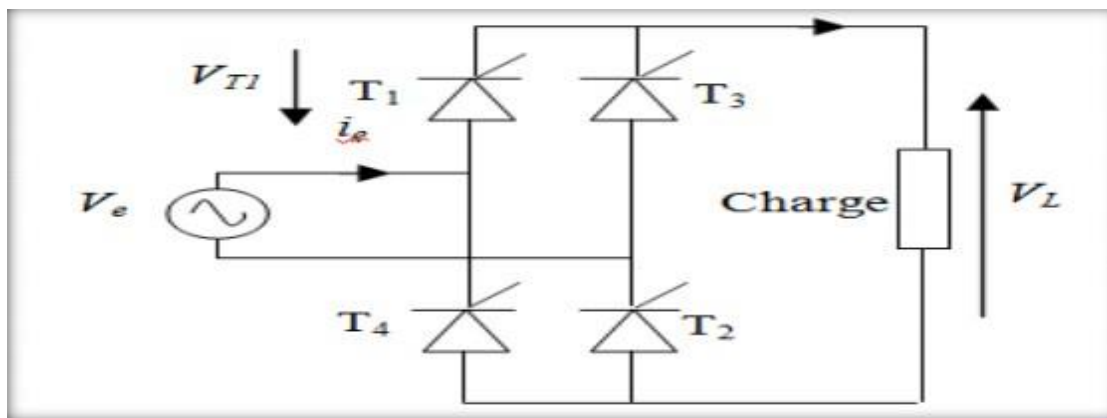


Figure I. 25 : Redresseur monophasé double alternance totalement commandé [7].

En électronique de puissance (commande de moteurs), les intensités sont élevées tandis que les tensions d'alimentation sont relativement faibles. Aussi, est-il plus intéressant

d'assurer le filtrage par des inductances en série avec la charge, plutôt que par des capacités en parallèle avec la charge. C'est pourquoi, on insère habituellement en série avec la charge une inductance élevée que l'on suppose de valeur infinie. Cette inductance encore appelée inductance de lissage n'est pas forcément nécessaire quand l'inductance de la charge est elle-même importante (commande d'un moteur série à courant continu...).

### I.4.3.2. Allures de tension et de courant :

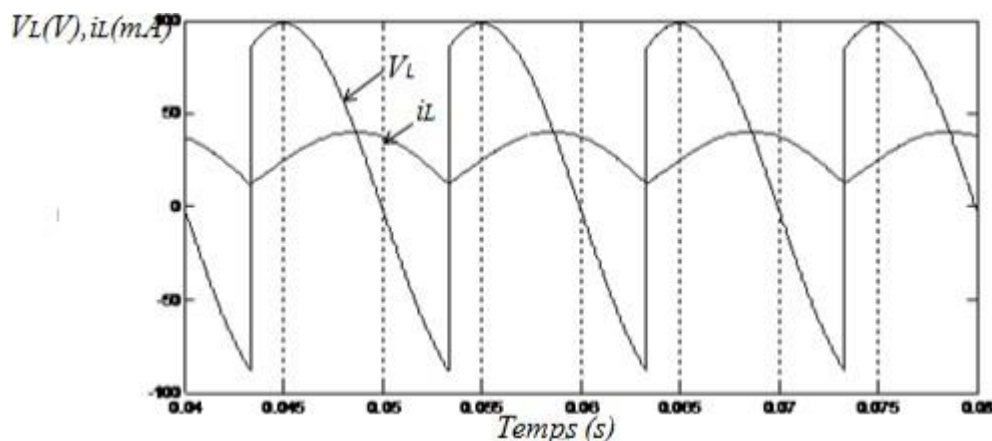


Figure I. 26 : Les formes d'ondes de la tension et du courant du redresseur monophasé double alternance totalement commandé [7].

### 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.

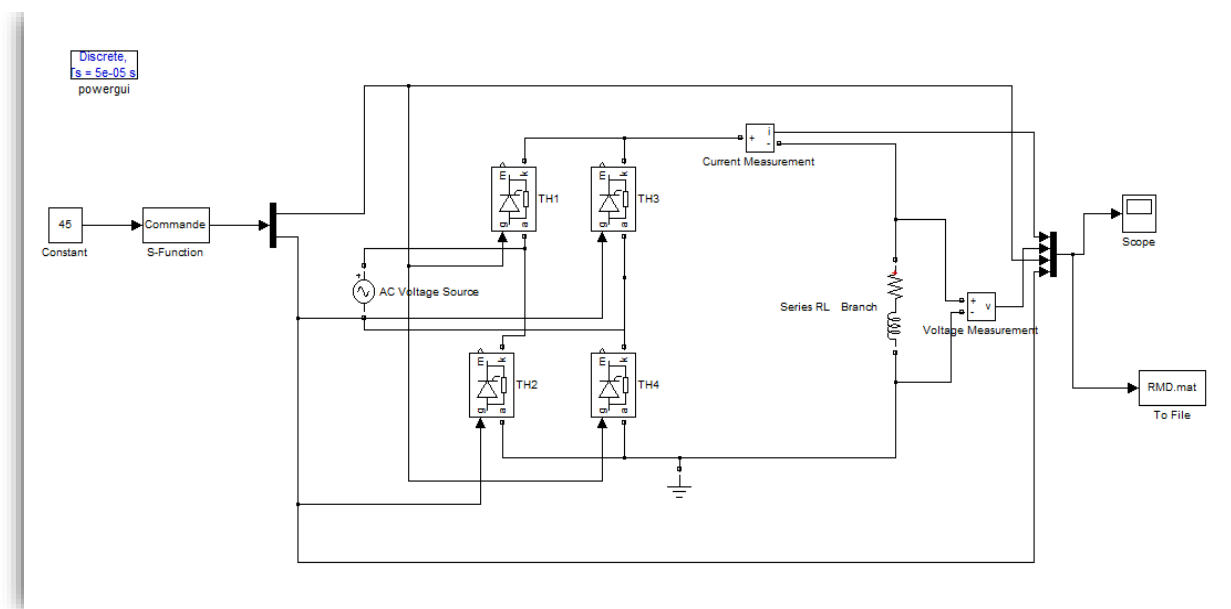
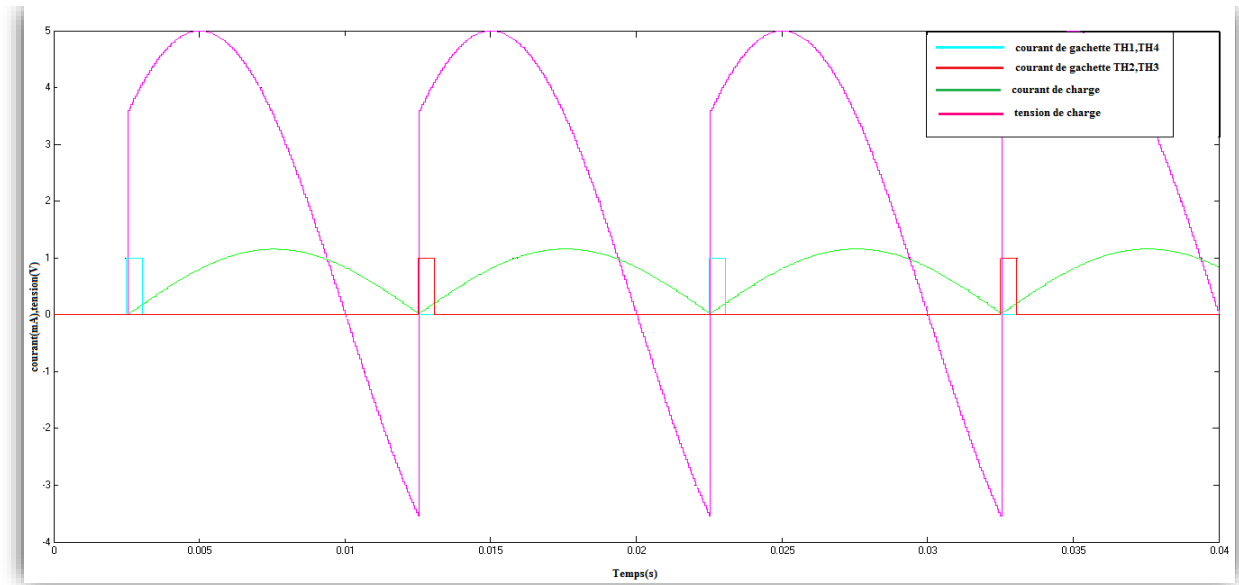


Figure I. 27 : Schéma de block d'un redresseur monophasé double alternance totalement commandé (Simulink-Matlab).

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



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

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

$$\begin{aligned}
 U_{\text{moy}} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin(\omega t) \alpha \, d\omega t \\
 &= \frac{2U_m}{\pi} \cos(\alpha) = 0,637 U_m \cos(\alpha) \dots\dots\dots (I.7)
 \end{aligned}$$

**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 comme le montre le circuit de principe donné par la Figure I.10. 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 ne devient jamais négative même sans DL. DL 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. DL permet donc au thyristor de repasser à l'état bloqué [7].

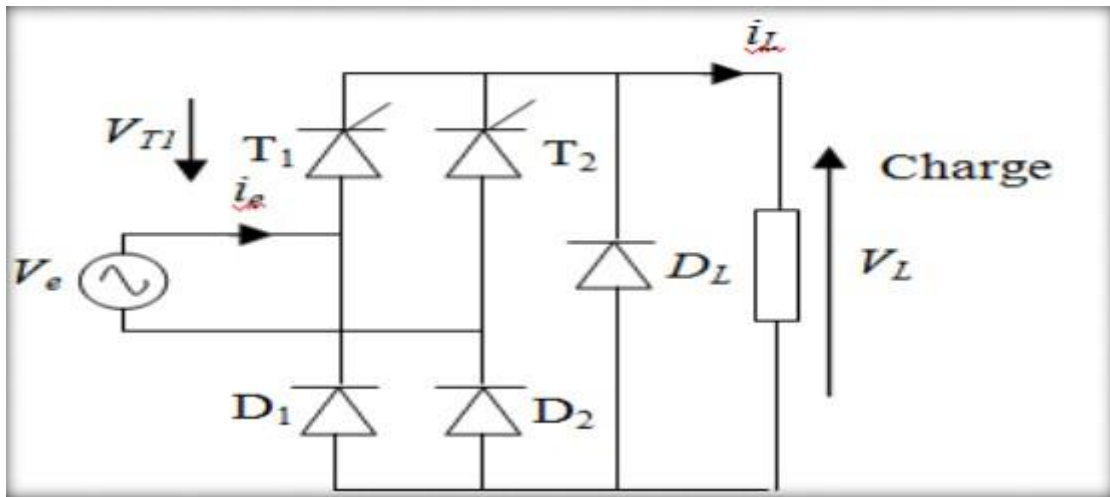


Figure I. 29 : Redresseur monophasé double alternance semi commandé [7].

**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.

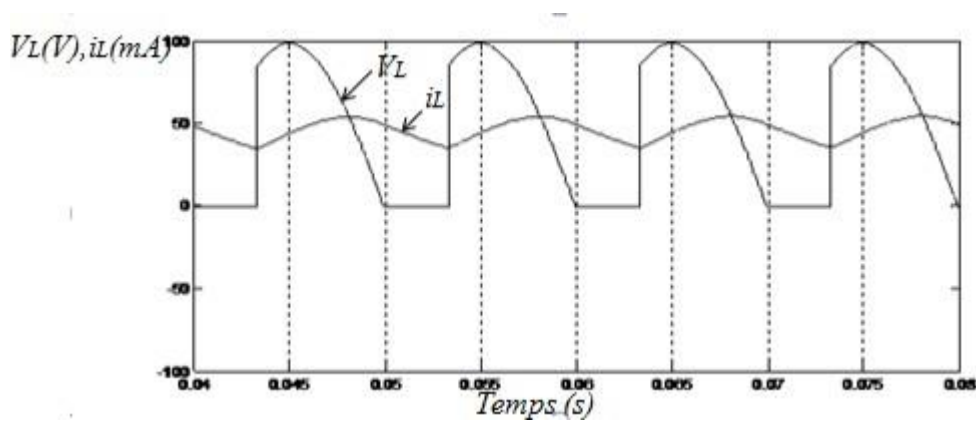


Figure I. 30 : Forme d’ondes du courant et de la tension du redresseur monophasé double alternance semi commandé [7].

**I.4.4.3. Simulations Matlab :**

La Figure I.31 représente le schéma block d’un redresseur monophasé double alternance semi commandé, par la simulation de ce montage on peut obtenir les courbes de la Figure I.32.

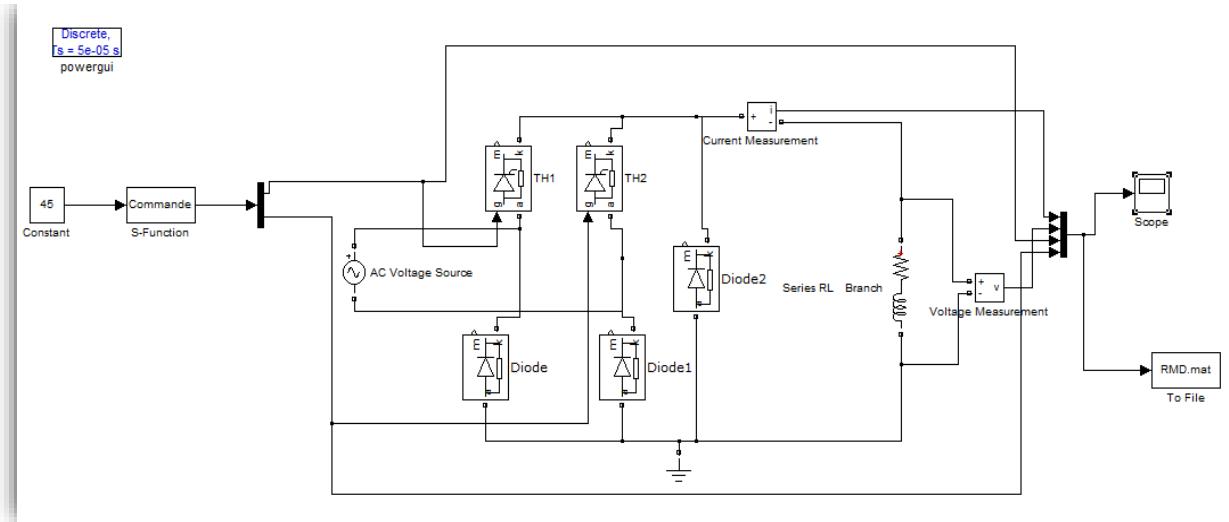


Figure I. 31 : Schéma block d'un redresseur monophasé double alternance semi commandé (Simulink-Matlab)

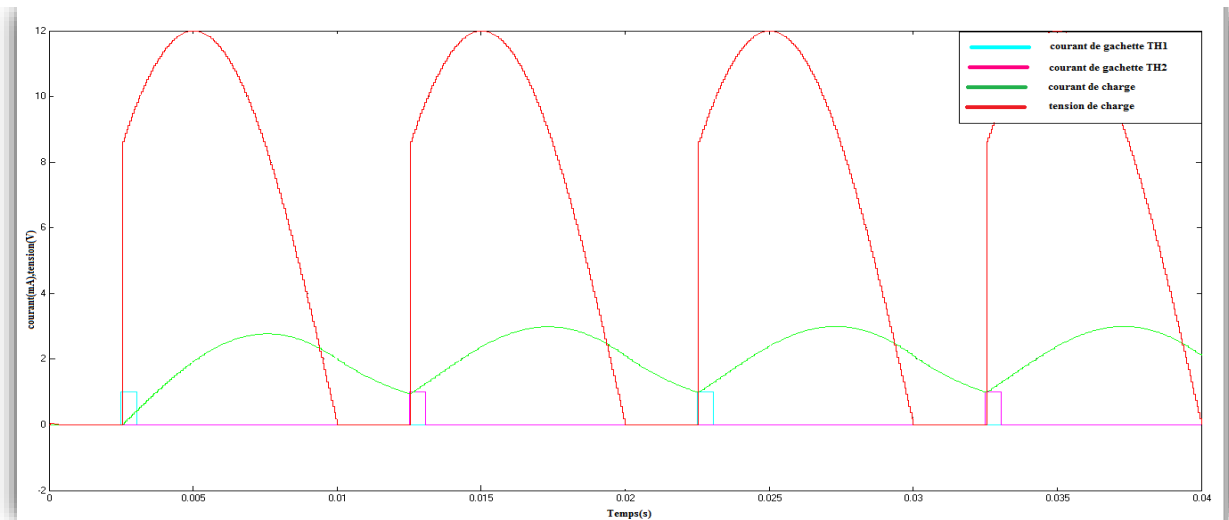


Figure I. 32 : Allures de tension et de courant d'un redresseur monophasé double alternance semi commandé (Simulink -Matlab).

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

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha} U_m \sin(\omega t) dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin(\omega t) dt + \dots \dots \dots (I.8)$$

**I.5. Redresseur triphasé :**

L'utilisation des redresseurs triphasés pour la conversion alternatif-continu de l'énergie électrique est actuellement en pleine croissance. Bien que ces dispositifs soient très performants en termes de qualité d'onde du réseau et de régulation de tension côté continu. Contrairement aux alimentations à faible puissance qui utilisent le plus souvent des réseaux monophasés, les alimentations de puissance utilisent généralement des réseaux triphasés. De plus, comme les transformateurs à point milieu sont des appareils coûteux et fragiles, ceux-ci ne sont utilisés que pour des alimentations monophasées de faible puissance. Ainsi peut-on conclure : en électronique de puissance, le montage le plus utilisé est le pont de Graëtz

alimenté en triphasé. enfin que, si l'usage d'un transformateur n'est pas nécessaire avec un pont de Graëtz, il est utile d'une part pour adopter la tension du secteur à la valeur souhaitée pour l'alimentation en courant continu, d'autre part pour assurer une meilleure séparation du secteur alternatif et du réseau continu [8].

## **I.6. Conclusion :**

Ce chapitre est dévolu à l'étude des principaux types des convertisseurs alternatifs-continus monophasés commandés et non commandés pour des charges RL. 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. 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.



***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 :

Un microcontrôleur (en notation abrégée  $\mu c$ , ou uc ou encore MCU en anglais) est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte et mémoire vive), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus haute (de quelques mégahertz jusqu'à plus d'un gigahertz) et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels. Les microcontrôleurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes embarqués, comme les contrôleurs des moteurs automobiles, les télécommandes, les appareils de bureau, l'électroménager, les jouets, la téléphonie mobile, etc.

Il y en a trois grandes familles de PICs :

- La famille **Base Line**, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.
- La famille **Mid-Range**, qui utilise des mots de 14 bits.
- La famille **High-End**, qui utilise des mots de 16 bits.

Pour identifier une PIC, on utilise simplement son numéro :

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

Ensuite, on trouve :

- ✓ **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 [9]**.

### II.2.2. Intérêt des microcontrôleurs :

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

On peut encore préciser :

- Les performances sont identiques voir 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 [9].

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. Classification des PICs de Microchip :**

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

- Base-line : les instructions sont codées sur 12 bits.
- Mid-line : les instructions sont codées sur 14 bits.
- High-End : les instructions sont codées sur 16 bits [9].

### **II.2.4. Identification des PIC :**

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

- xx(L)XXyy-zz Xx : famille du composant, actuellement « 12, 14, 16, 17 et 18 ».
- L : tolérance plus importante de la plage de tension.
- XX : type de programme (C : EPROM ou EEPROM, F : flash).
- Yy : identificateur.
- Zz : vitesse maximale du quartz de pilotage [9].

### **II.2.5. Choix d'un PIC :**

Le choix d'un PIC est directement lié à l'application envisagée :

- Il faut dans un premier temps déterminer le nombre d'entrées \ sorties nécessaires pour l'application.
- Ce nombre d'entrées \ sorties nous donne une idée sur la famille du PIC.
- Il faut ensuite déterminer si l'application nécessite un convertisseur Analogique \ Numérique ce qui va faut un peu plus vers le choix du PIC.
- La rapidité d'exécution est un élément important, il faut consulter les DATA-BOOK pour vérifier la compatibilité entre la vitesse maximale du PIC choisi et la vitesse max nécessaire au montage.
- La taille de la RAM interne et la présence ou nom d'une EEPROM pour mémoriser des données est également pour l'application souhaitée.

- La longueur de programme de l'application détermine la taille de la mémoire programme du PIC recherché [9].

Afin de choisir un PIC adéquat à notre projet, nous avons pensé à l'utilisation du PIC16F877A car il possède aussi des modules comme le convertisseur analogique/numérique et le Timer0 pour la génération de l'interruption interne qui nous aide à déterminer l'angle de retard souhaité pour la commande des convertisseurs cités dans le chapitre I.

## II.2.6. DESCRIPTION GENERALE DU PIC 16F877A :

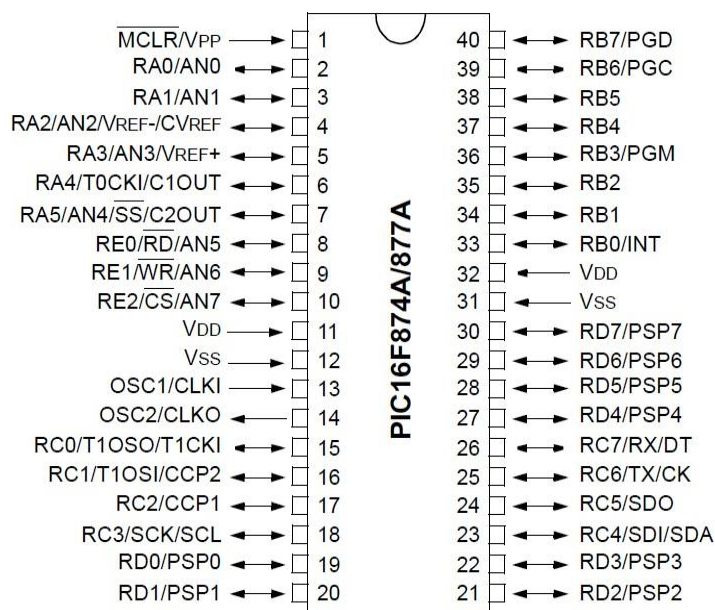


Figure II. 1 : Boitier du PIC 16F877A [10].

## II.2.7. 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 [11].

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 appliqués 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 **1µA** 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.
- ✓ **EXTERNAL RESET « mis à l'état de MCLR »**.
- ✓ **WDT** : chien de garde.
- ✓ **BOR** : baisse de l'alimentation [11].

## II.2.8. 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 [11].

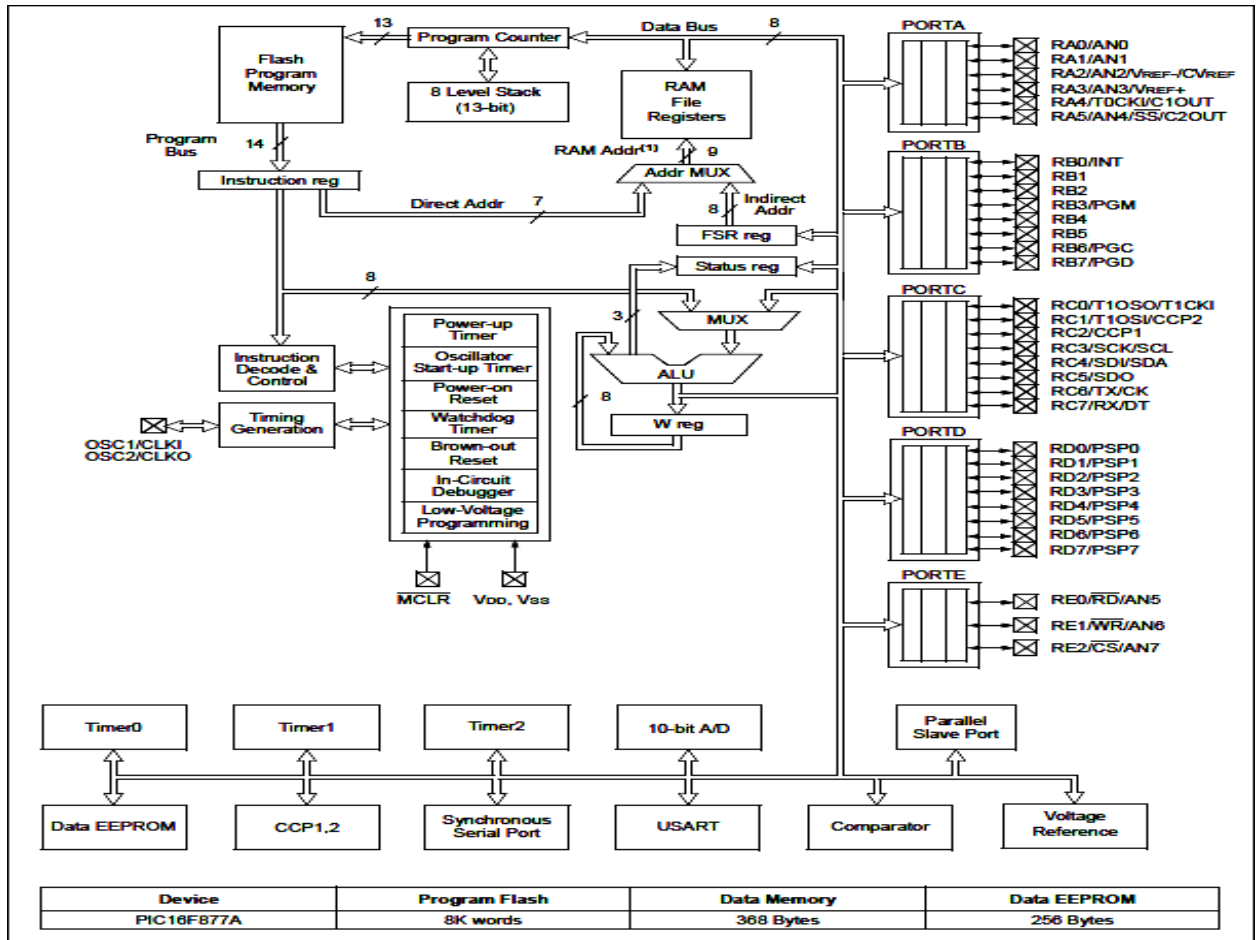


Figure II. 2 : Architecture interne du pic 16F877A [10].

## II.2.9. Les ports d'entré sorties :

### II.2.9.1. Le port d'E/S PORTA :

- Le port A désigné par PORTA est un port de 6 bits (RA0 à RA5).
- La configuration de direction se fait à l'aide du registre TRISA, positionner un bit de TRISA à "1" configure la broche correspondante de PORTA en entrée et inversement. Au départ toutes les broches sont configurées en entrée.
- En entrée, la broche RA4 peut être utilisée soit comme E/S numérique normale, soit comme entrée horloge pour le Timer TMR0.
- En sortie, RA4 est une E/S à drain ouvert, pour l'utiliser comme sortie logique, il faut ajouter une résistance de pull-up externe.
- Les autres broches (RA0, RA1, RA2, RA3 et RA5) peuvent être utilisées soit comme E/S numériques soit comme entrées analogiques. Au RESET, ces E/S sont configurées en entrées analogiques.

### II.2.9.2. Le port d'E/S PORTB :

- Le port B désigné par PORTB est un port bidirectionnel de 8 bits (RB0 à RB7). Toutes les broches sont compatibles TTL.
- La configuration de direction se fait à l'aide du registre TRISB, positionner un bit de TRISB à "1" configure la broche correspondante de PORTB en entrée et inversement. Au départ toutes les broches sont configurées en entrée.

- En entrée, la ligne RB0 appelée aussi INT peut déclencher l'interruption externe INT.
- En entrée, une quelconque des lignes RB4 à RB7 peut déclencher l'interruption RBI.

### II.2.9.3. Le port d'E/S PORTC :

- Le port C désigné par PORTC est un port bidirectionnel de 8 bits (RC0 à RC7).
- Toutes les broches sont compatibles TTL.
- La configuration de direction se fait à l'aide du registre TRISC, positionner un bit de TRISC à "1" configure la broche correspondante de PORTC en entrée et inversement. Au départ toutes les broches sont configurées en entrée.
- Toutes les broches du port C peuvent être utilisées soit comme E/S normales soit comme des broches d'accès à différents modes les comme le TIMER1.les modules de comparaison et de capture CCP1/2, le timer 2, le port I2C ou le port série, ceci sera précise au moment de l'étude de chacun de ces périphériques.
- Pour l'utilisation d'une broche du port C comme E/S normale, il faut s'assurer qu'elle n'a pas été affectée aux autres modules. Par exemple, si TIMER1 est valide, il peut utiliser les broches RC0 et RC1 selon sa configuration [11].

### II.2.9.4. Le port d'E/S PORT D/E :

- En plus de leur utilisation comme PORTS E/S les ports D et E, permettent au microcontrôleur de travailler en mode PSP (Parallel Slave Port) c'est-à-dire, qu'il peut être interfacé avec un autre microprocesseur. Dans ce cas le PORTD représente le bus de données et le PORTE les signaux de contrôle (RD\, WR\ et CS\).
- Le PORTE peut être aussi, configuré en mode analogique pour former avec le PORTA les 8entrées du convertisseur analogique numérique.
- Le PORTE « 3 bits » I/Oce port n'est présent que sur les PIC 16F877. Il ne comporte que 3 pins RE0à 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 [11].

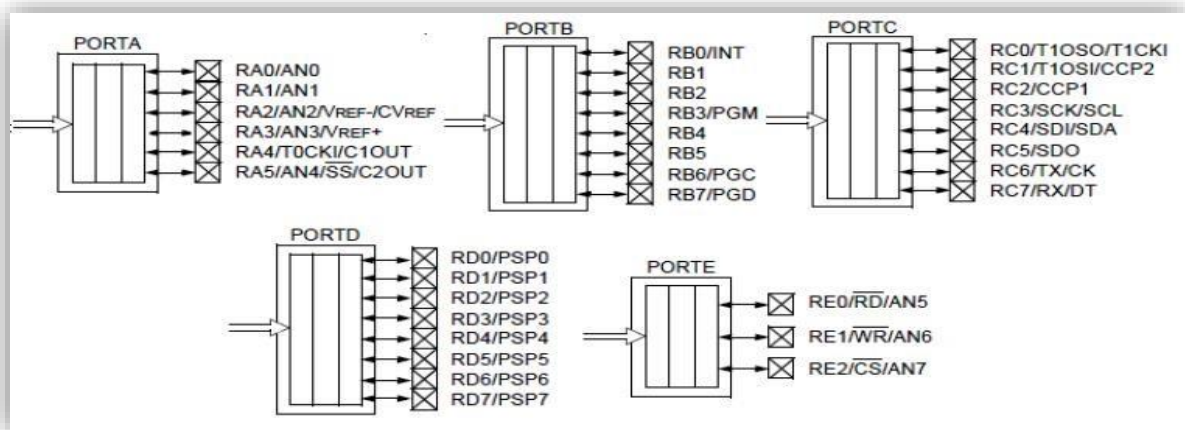


Figure II. 3 : Les différents PORT de PIC16F877A [10].

### II.2.10. Organisation de la mémoire :

La mémoire du PIC18F4550 est divisée en 2 parties :

- **La mémoire de programme** : La mémoire de programme est constituée de 24k 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.
- **Mémoire de données** : Elle se décompose en deux parties de RAM et une zone EEPROM.

La première contient les SFRs (SpecialFunctionRegisters) qui permettent de contrôler les opérations sur le circuit. La seconde contient des registres généraux, libres pour l'utilisateur.

- ✓ **La mémoire RAM** : 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 EEPROM** : La mémoire EEPROM « Electrical Erasable Programmable Read Only Memory », est constitués de 256 octets, ces octets sont conservés après une coupure du courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi-permanents [9].

### III.2.11. Les registres du PIC 16F877A :

La mémoire RAM est organisée en 4 banques pour le 16F8777A. 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 opérands, 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 14bits, utilisé pour les opérations avec l'UAL, ce n'est pas un registre adressable. Elle « UAL » est composée :

- ✓ D'un accumulateur 8bits W : WORKING « travail », c'est lui qui effectue toutes les opérations arithmétiques et logiques.
- ✓ Un registre d'état 8 bits STATUS [9].

### II.2.12. Les timers du pic 16F877A :

Les Pics 16F877A disposent 3 timers :

#### II.2.12.1. Le timer 0 « 8 bits » :

C'est un compteur à 8 bits ayant les caractéristiques suivantes :

- Il est incrémenté en permanence soit par l'horloge interne  $F_{osc}/4$  (mode timer) soit par une horloge externe appliquée à la broche RA4 du port A (mode compteur). Le choix de l'horloge se fait à l'aide du bit T0CS du registre OPTION\_REG.
- T0CS = 0 horloge interne.

- $T_{OCS} = 1$  horloge externe appliquée à RA4.
- Dans le cas de l'horloge externe, Le bit  $T_{OSE}$  du registre `OPTION_REG` permet de choisir le front sur lequel le `TIMER` s'incrémente.
- $T_{OSE} = 0$  incrémentation sur fronts montants.
- $T_{OSE} = 1$  incrémentation sur fronts descendants.
- Quelle que soit l'horloge choisie, on peut la passer dans un diviseur de fréquence programmable (Prescaler) dont le rapport  $DIV$  est fixé par les bits  $PS_0$ ,  $PS_1$  et  $PS_2$  du registre `OPTION_REG`. L'affectation ou non du pré diviseur se fait à l'aide du bit  $PSA$  du registre `OPTION_REG`.
- $PSA = 0$  on utilise le prédiviseur.
- $PSA = 1$  pas de prédiviseur (affecté au chien de garde).
- Le contenu du timer `TMR0` est accessible par le registre qui porte le même nom. Il peut être lu ou écrit à n'importe quel moment. Après une écriture, le timer ne compte pas pendant deux cycles machine [9].
- Au débordement de `TMR0` (`FF 00`), le drapeau `INTCON.T0IF` est placé à "1". Ceci peut déclencher l'interruption `T0I` si celle-ci est validée. La (figure II.4) représente le fonctionnement du Timer :

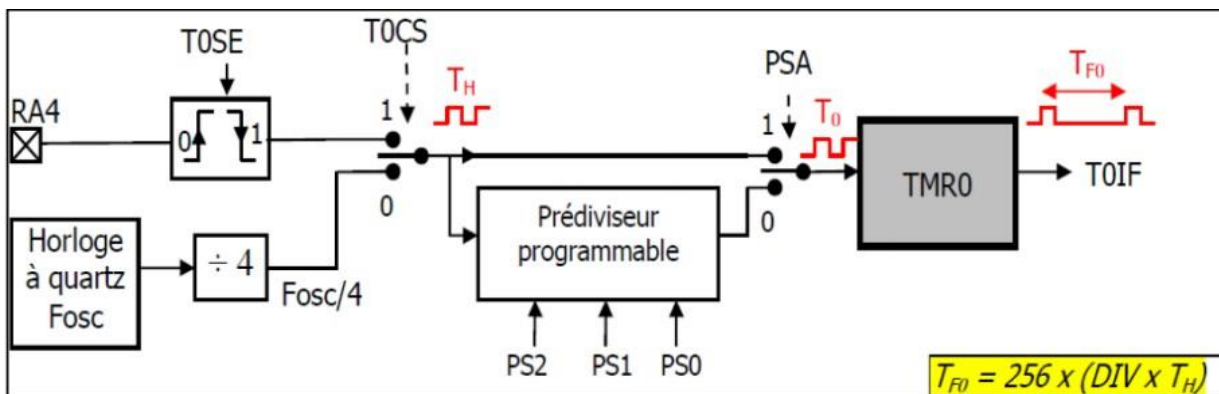


Figure II. 4 : Schéma du Timer 0 [12].

**II.2.12.2. 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`.

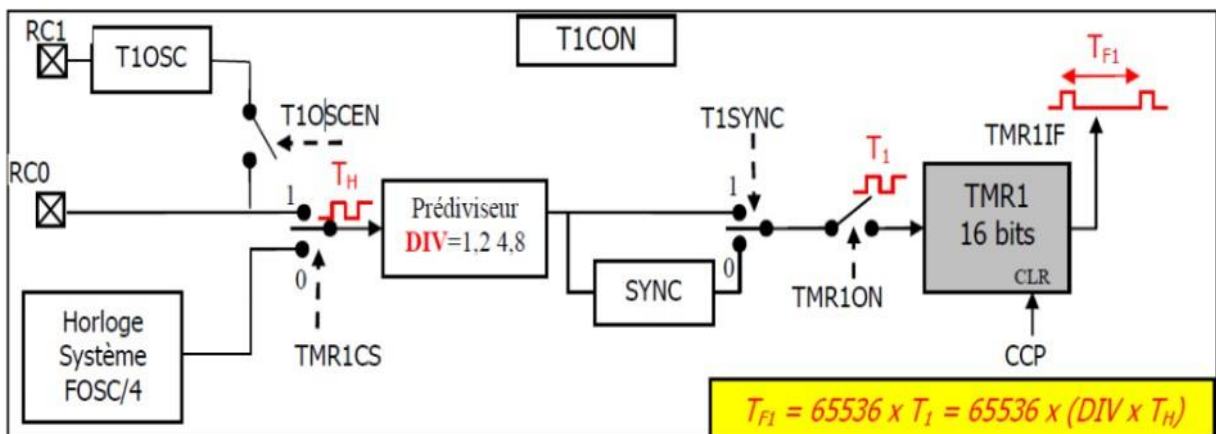


Figure II. 5 : Schéma du timer 1 [12].

**II.2.12.3. 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.

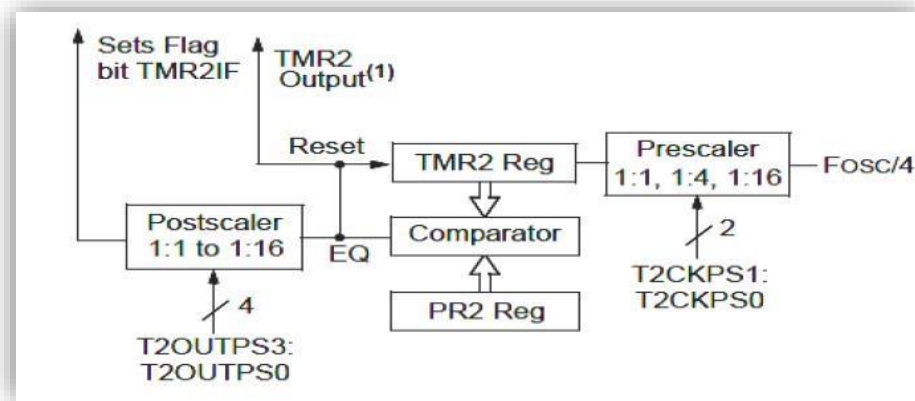


Figure II. 6 : Schéma du Timer 2 [10].

### II.2.13. Les interruptions :

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

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

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

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 / I<sup>2</sup>C
- ✓ **CCP1I**: Capture / Compare / PWM
- ✓ **CCP2I** : Capture / Compare / PWM
- ✓ **EI** : Ecriture dans EEPROM
- ✓ **CMI** : Comparateur
- ✓ **BCLI** : Collision sur Bus [11].

### II.2.14. 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.

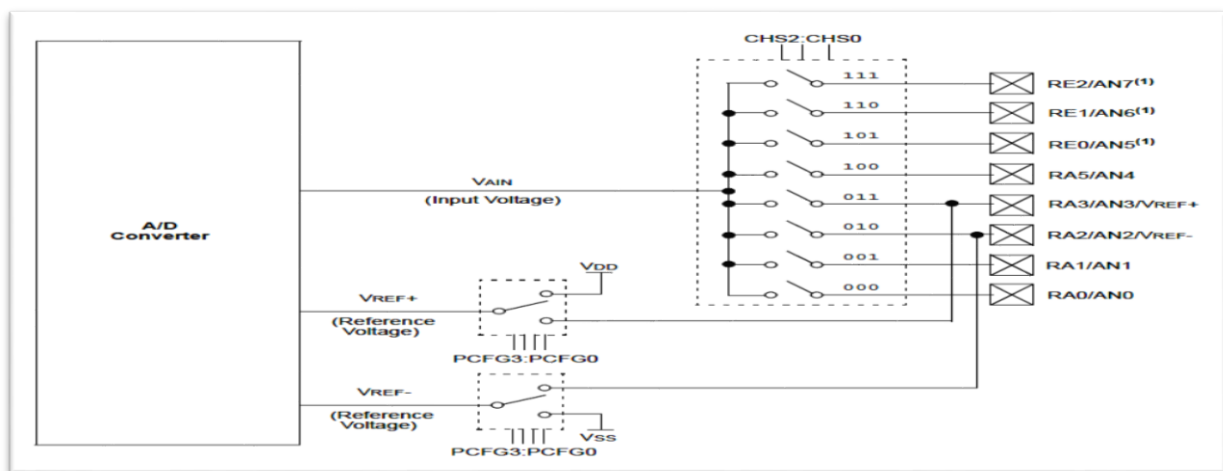


Figure II. 7 : Schéma fonctionnel analogique numérique [10]

## 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 fonctionnelle 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.



### **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 est composé de deux modules principaux :

- L'éditeur de schéma ISIS
- L'outil de conception de circuit imprimé ARES

ISIS produit d'une part, une liste d'équipotentiels qui peut être utilisée par le simulateur LISA et l'outil de conception de circuit imprimé ARES, d'autre part, une liste de matériel et des rapports de contrôle des règles électriques.

ARES est un module de conception de circuit imprimé compatible avec Windows, 98 2000 et XP...etc. Il permet le placement des composants en mode automatique, manuel ou semi-automatique et le routage des liaisons sur plusieurs couches en mode automatique manuel ou semi-automatique [13].

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

Dans circuits de notre travail, on voit que le pic représente l'organe principal dans la réalisation, on trouvé aussi les boutons poussoirs pour faire la commande non seulement pour le réglage du consigne (analogique/digital/ à distance), mais aussi pour spécifier le mode de fonctionnement (redressement double-alternance analogique /numérique/ à distance).

On a aussi utilisé aussi le LCD (2X16) comme un composant d’affichage, En utilisant aussi les oscilloscopes pour afficher les courbes des courants et des tension

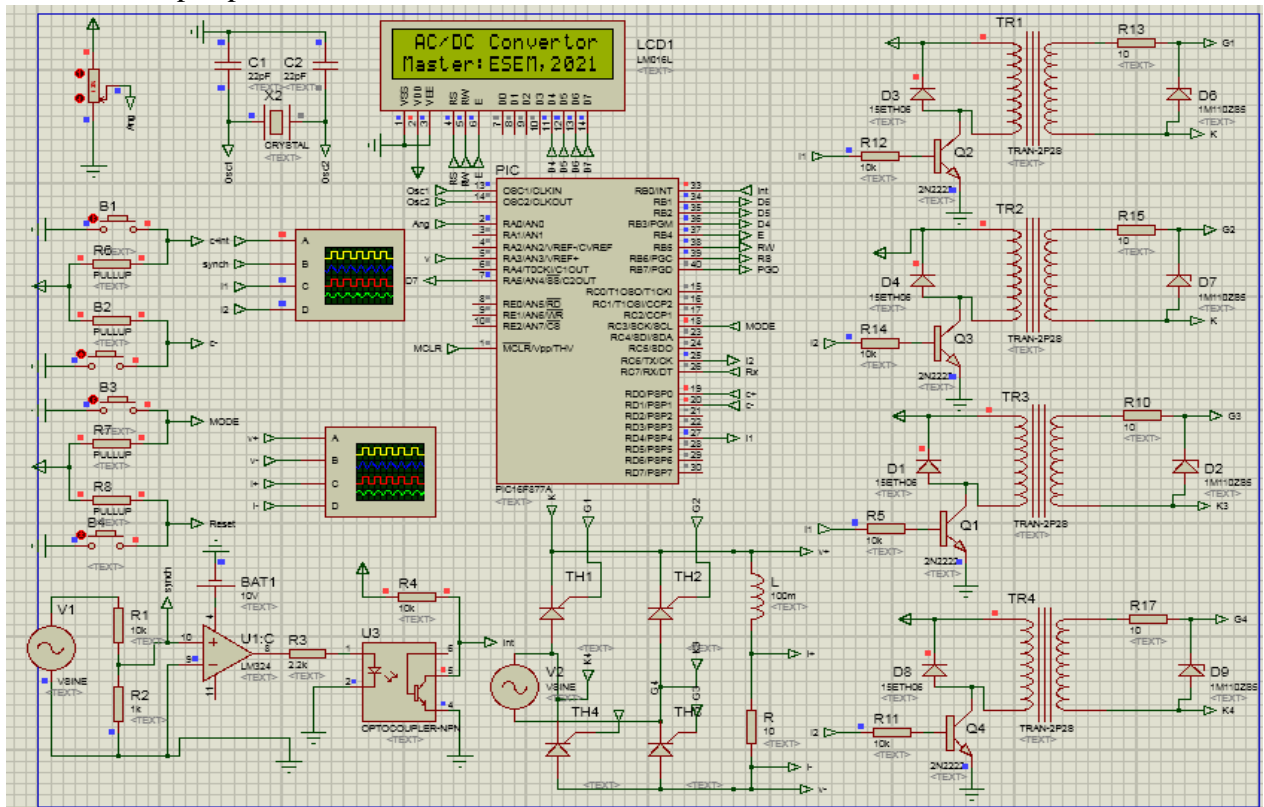


Figure II. 8 : Schéma structurel de la carte 'ISIS'.

### II.3.3 Le fonctionnement :

Ce circuit fonctionne de manière que le pic attend l’interruption externe qui est un signal carré varié entre 0 et 5 volts issue d’un amplificateur opérationnel après de passé par un opto-coupleur. Ce signal est injecté au pin RB0/INT.

Un programme principal est exécuté en utilisant la consigne analogique à partir du potentiomètre, ou bien numérique à partir du bouton poussoir, pour fournir les commandes nécessaires aux gâchâtes 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 commandes correspondant aux différents modes redresseurs envisagés

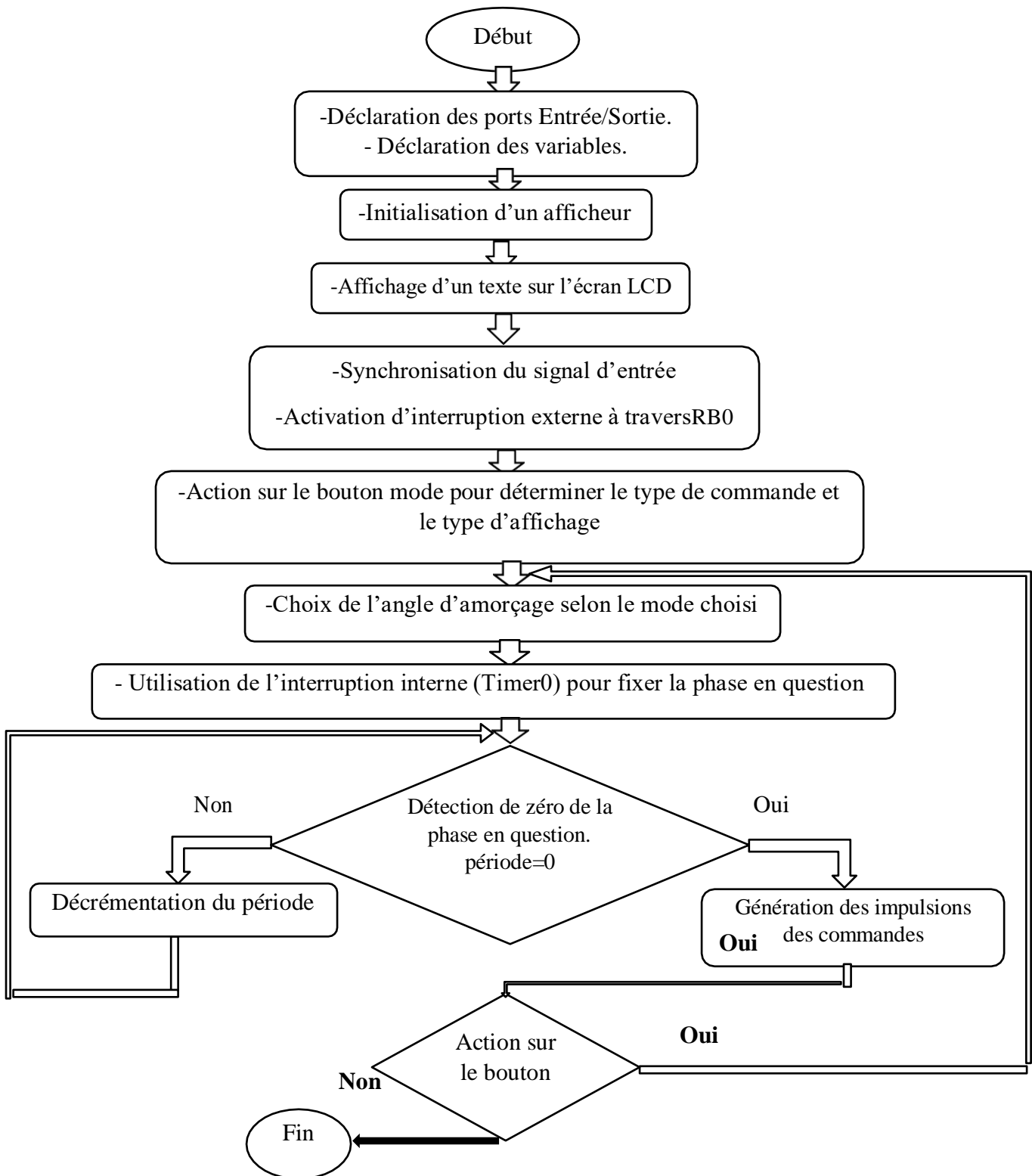


Figure II. 9 : Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande.

### II.3.5 Simulations par Proteus :

Après la compilation de notre code dans le compilateur CCS PICC, on va charger le PIC par le fichier Hex résultant. On lance la simulation, les figures selon le mode choisi sont obtenues comme suit :

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

Dans ce cas on garde la commande de la consigne et on change le mode de fonctionnement (double alternance). Les figures (II.10, II.11 et II.12) présentent le schéma de simulation par Proteus et les différentes formes d’ondes obtenues.

##### II.3.5.1.1 Commande analogique avec un angle d’amorçage $\alpha=20\%$ :

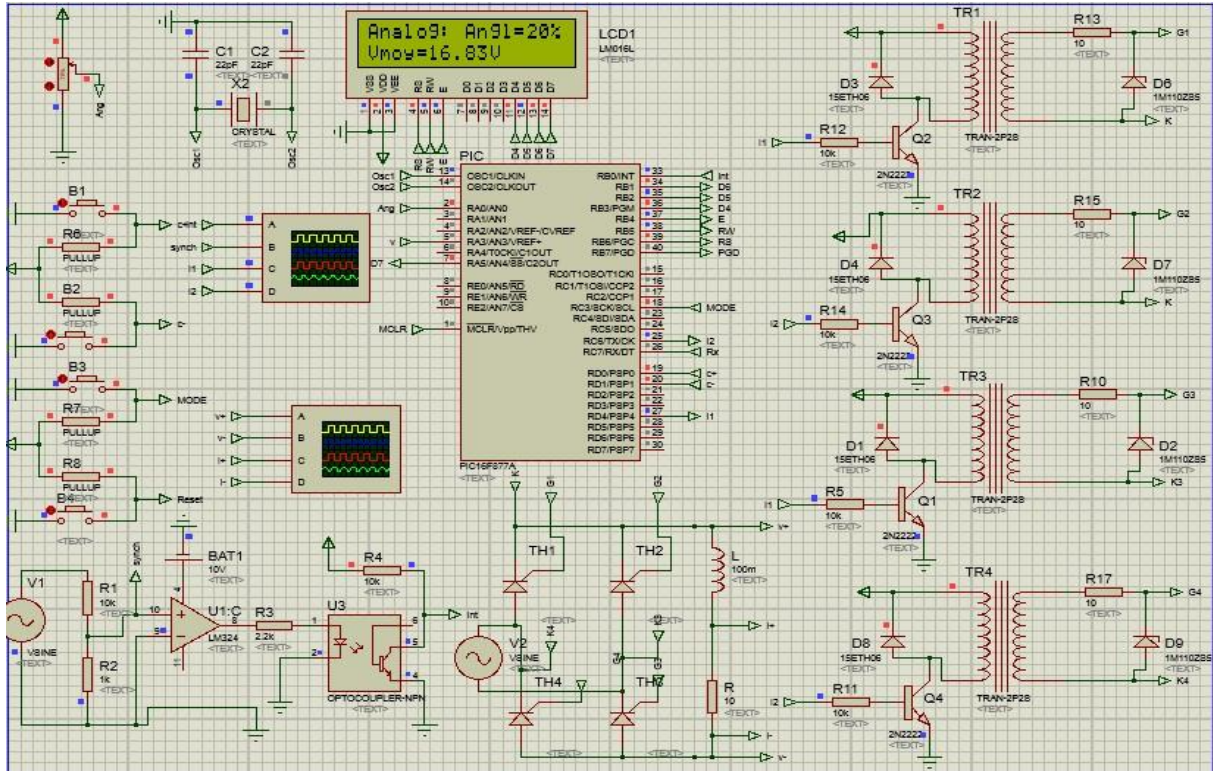


Figure II. 10 : Schéma de simulation par Proteus pour le mode#0.



Figure II. 11 : Allures des signaux d’entrée, de synchronisation et de commande pour mode#0.

D'après la Figure II.11 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 et T3 et T4, mais pendant l'alternance positive, T1 et T3 va s'amorcer tandis que l'autre ne s'amorce pas malgré la présence de la commande parce qu'il est polarisé en inverse.

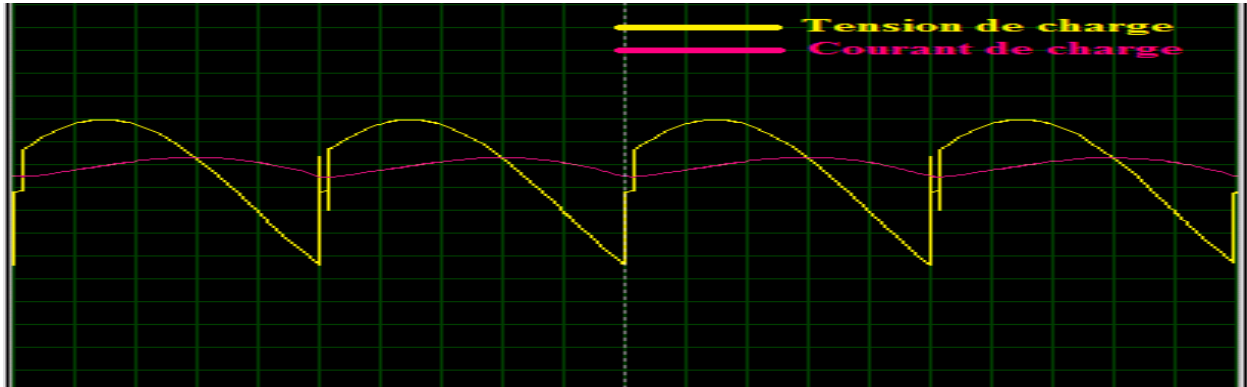


Figure II. 12 : Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#0.

A partir de Figure II.12 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.3.5.1.2. Commande analogique avec un angle d'amorçage $\alpha=80\%$ :

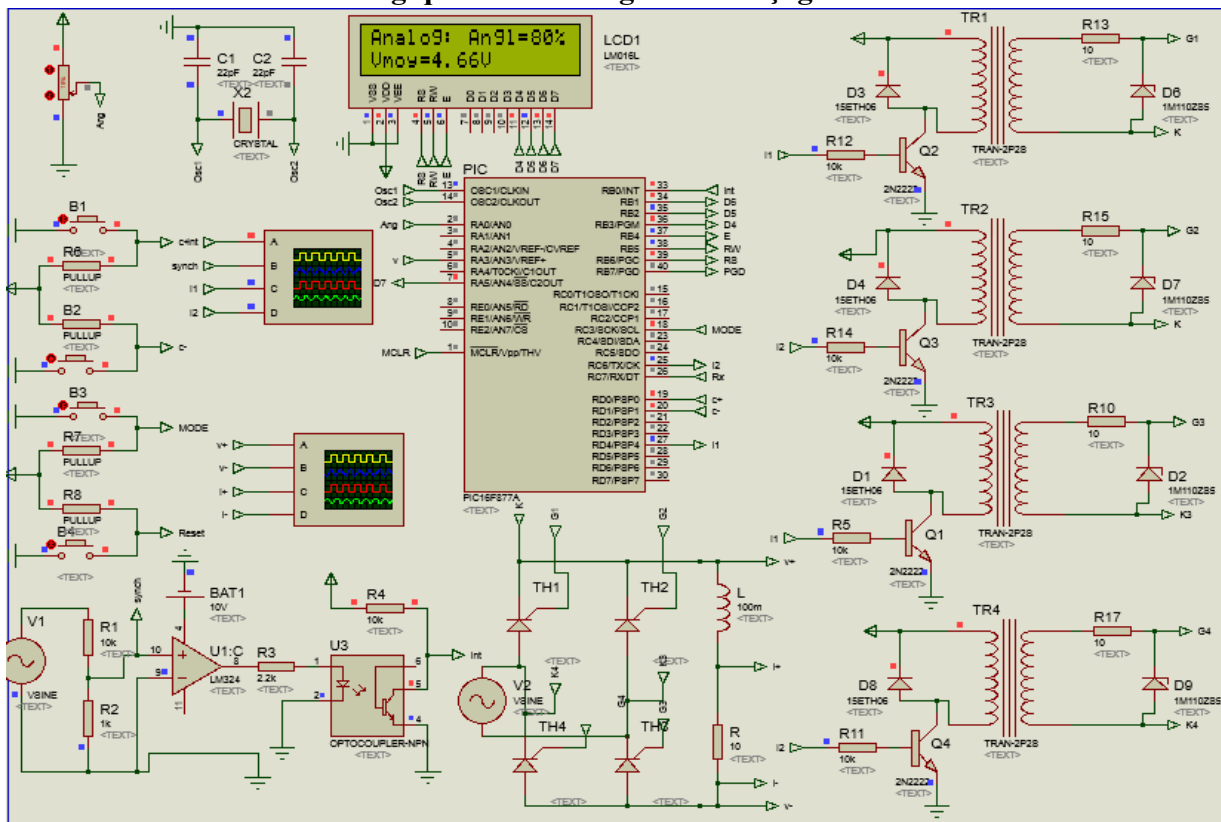


Figure II. 13 : Schéma de simulation par Proteus pour le mode#0.

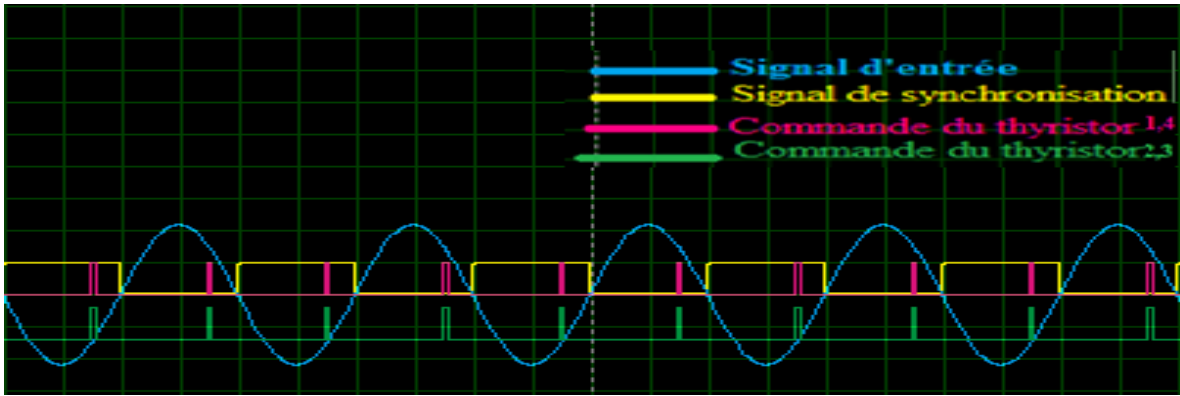


Figure II. 14 : Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour mode#0.

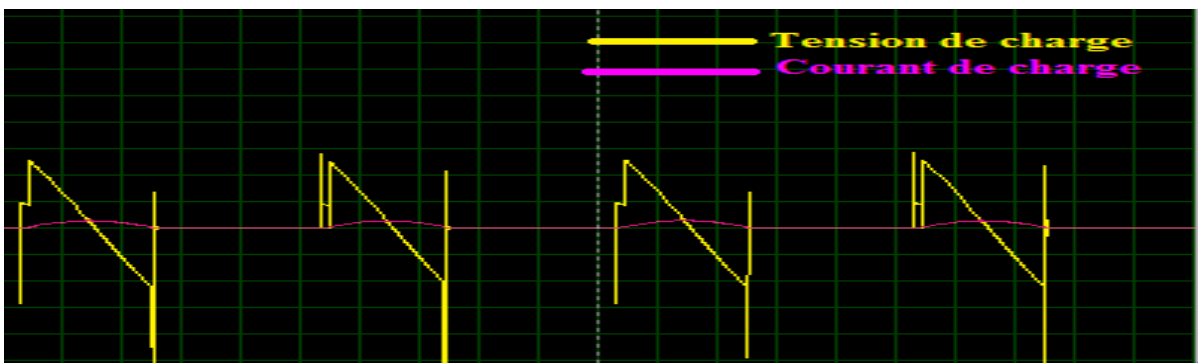


Figure II. 15 : Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#0.

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

Dans ce cas on garde la commande da la consigne et on change le mode de fonctionnement (commande numérique). Les Figures (II.16, II.17et II.18) présentent le schéma de simulation par Proteus et les différentes formes d’ondes obtenues.

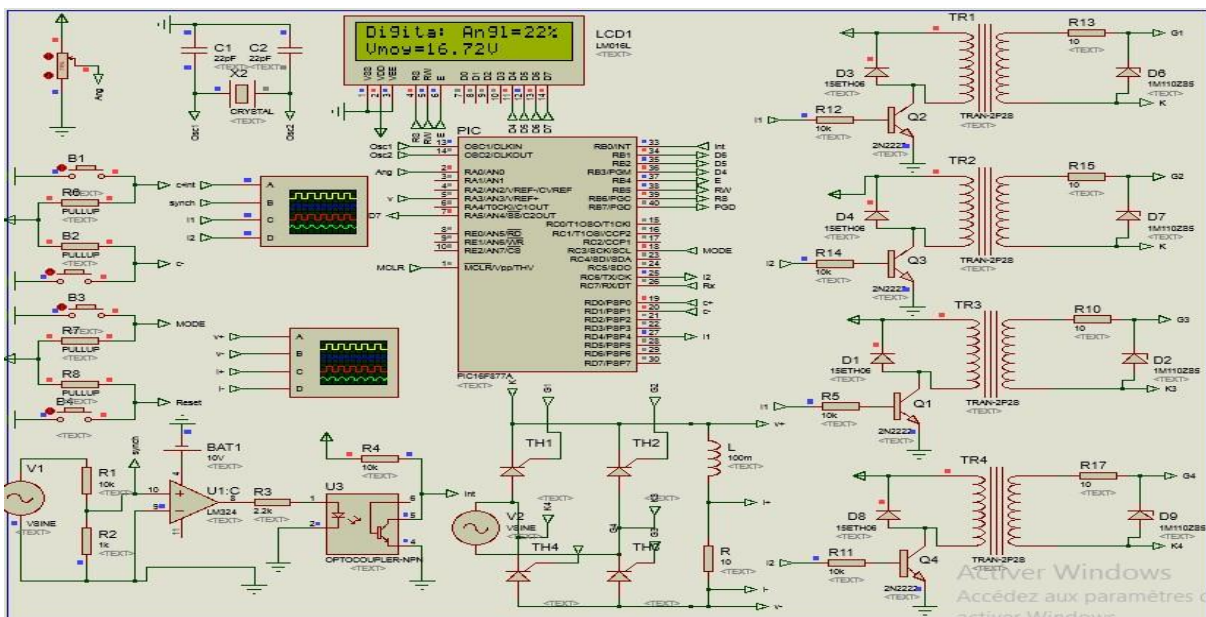


Figure II. 16 : Schéma de simulation par Proteus pour le mode#1.



Figure II. 17 : Allures des signaux d'entée, de synchronisation et de commande pour le mode#1.

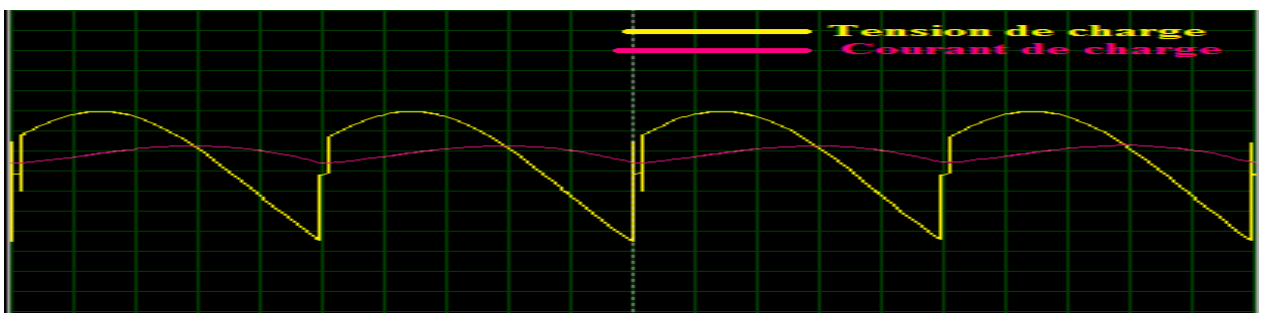


Figure II. 18 : Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#1.

II.3.5.2.2. Commande numérique avec un angle d'amorçage  $\alpha=82\%$  :

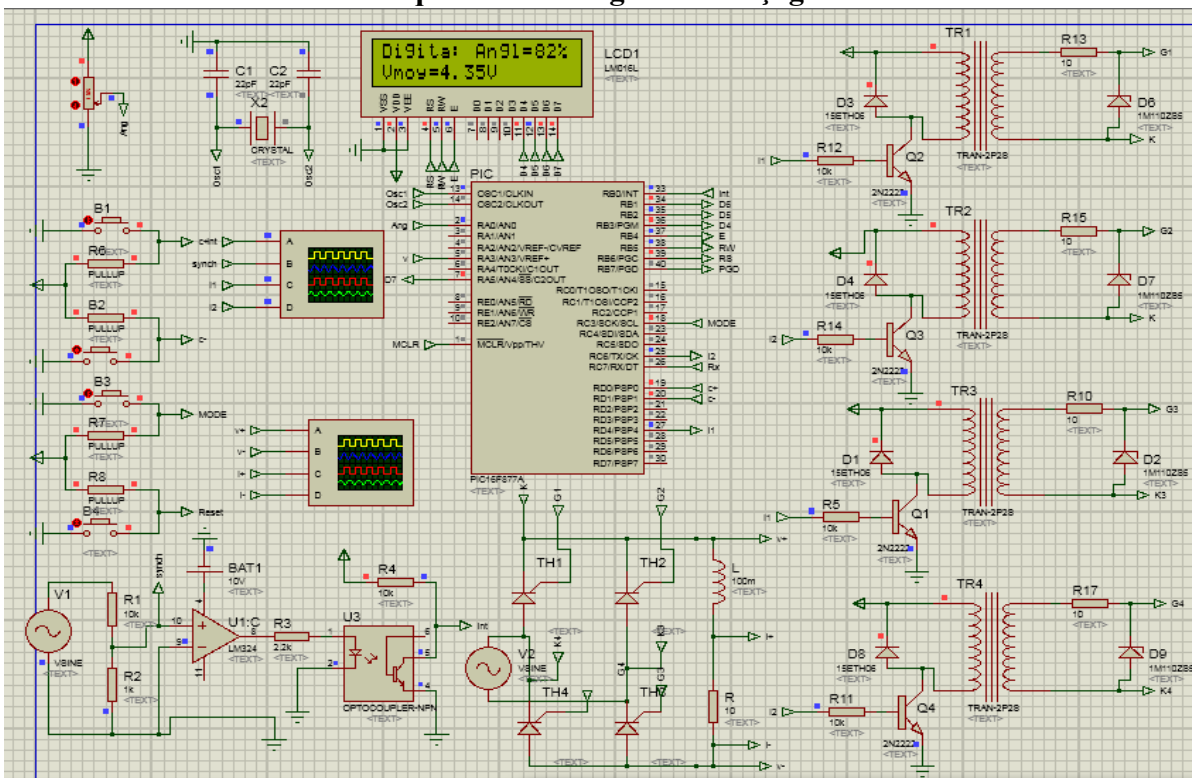


Figure II. 16 : Schéma de simulation par Proteus pour le mode#1.

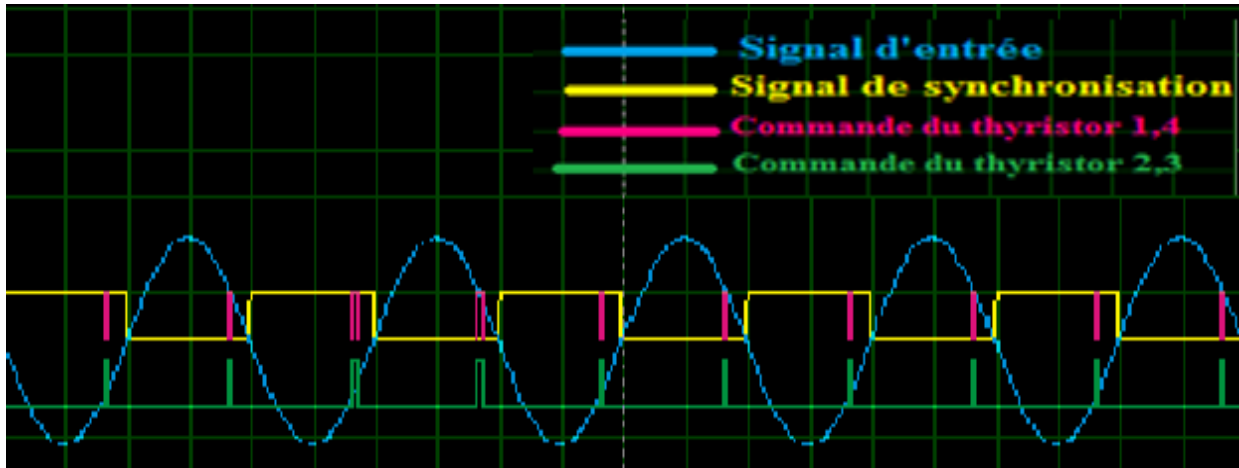


Figure II. 20 : Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour le mode#1

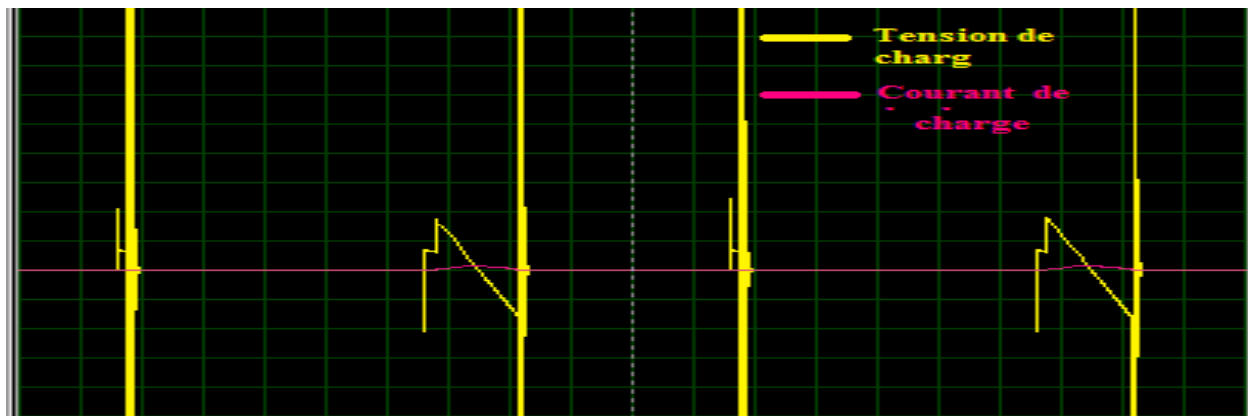


Figure II. 21 : Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus pour le mode#1.

D'après la simulation, la tension et le courant ont le même comportement et quand l'angle de retard augmente, la valeur de tension moyenne et le courant diminue.

A partir de figures précédentes, 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. Bref, La simulation Matlab et la simulation Proteus offrent des résultats quasiment similaires, ce qui nous confirme que notre code CCS développé est correct.

## **II.4 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux parties essentielles dans la conception de notre carte électronique : la partie matérielle (le microcontrôleur) et la partie logicielle (CCS PIC et Proteus). En particulier, nous avons choisi le microcontrôleur PIC16F877A comme un outil de commande numérique, car les caractéristiques et les modules internes que dispose ce dernier s'adaptent mieux à notre projet.

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.



***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 totalement commandé.

Ce travail a été divisé en deux parties, la réalisation de la maquette matérielle et les résultats obtenus sur le système réel via un oscilloscope selon les 2 modes de fonctionnement considérés.

### III.2. Réalisation de la carte électronique :

#### III.2.1. Câblage par Proteus :

Il faut faire d'abord les câblages nécessaires entre les différents éléments de la carte comme présente dans les figures III.1, III.2 et III.3 avant de réaliser le circuit imprimé global (alimentations, circuit de commande et circuit de puissance) par l'outil ARES du logiciel Proteus. La liste des composants utilisés pour cette réalisation est donnée 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	Capteur radio		01	500
04	Quartz	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	Transformateur d'impulsion		04	500*4
10	Potentiomètre pour LCD		02	70*2
11	Potentiomètre de réglage	10K	01	100
12	Leds		04	10*2
13	Boutons poussoir		04	35*4
14	Condensateur (chimique)	470uF/16V	02	20*2
15	Condensateur (chimique)	470uF/50V	02	20*2
16	Transistor	2N2222	04	50*4
17	Diode 3A		02	50*2
18	Diode	1N222	12	20*12
19	Condensateurs céramique	22pF	02	30*2
20	Résistance	1K	11	5*11

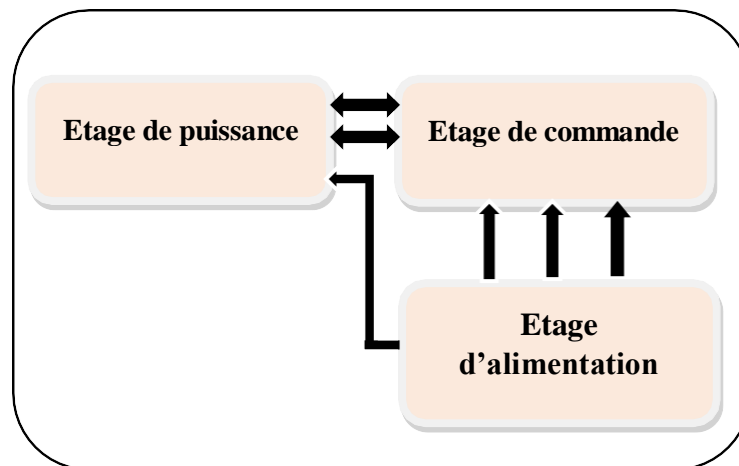
21	Résistance	2.2K	05	3*5
22	Résistance	4.7K	05	3*5
23	Thyristors		04	3*100
24	Radiateur de refroidissement		04	20*4
25	Support de PIC	20/2	01	50
26	Support Amp-Op	4/2	01	30
27	Support Opt-coupleur	3/2	01	20
28	Support LCD	16/1	01	35
29	Tblock 2pin		02	70*2
30	Connecteur 4pin		01	70
			<b>Total :</b>	6150

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

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

Le dispositif réalisé qui est un convertisseur AC/DC 12V/220V à 50Hz, est représenté par un schéma synoptique constitué de trois étages de base, figure (III.1) :

- Etage d'alimentation.
- Etage de puissance.
- Etage de commande.



**Figure III. 1 :** schéma synoptique de circuit réalisé.

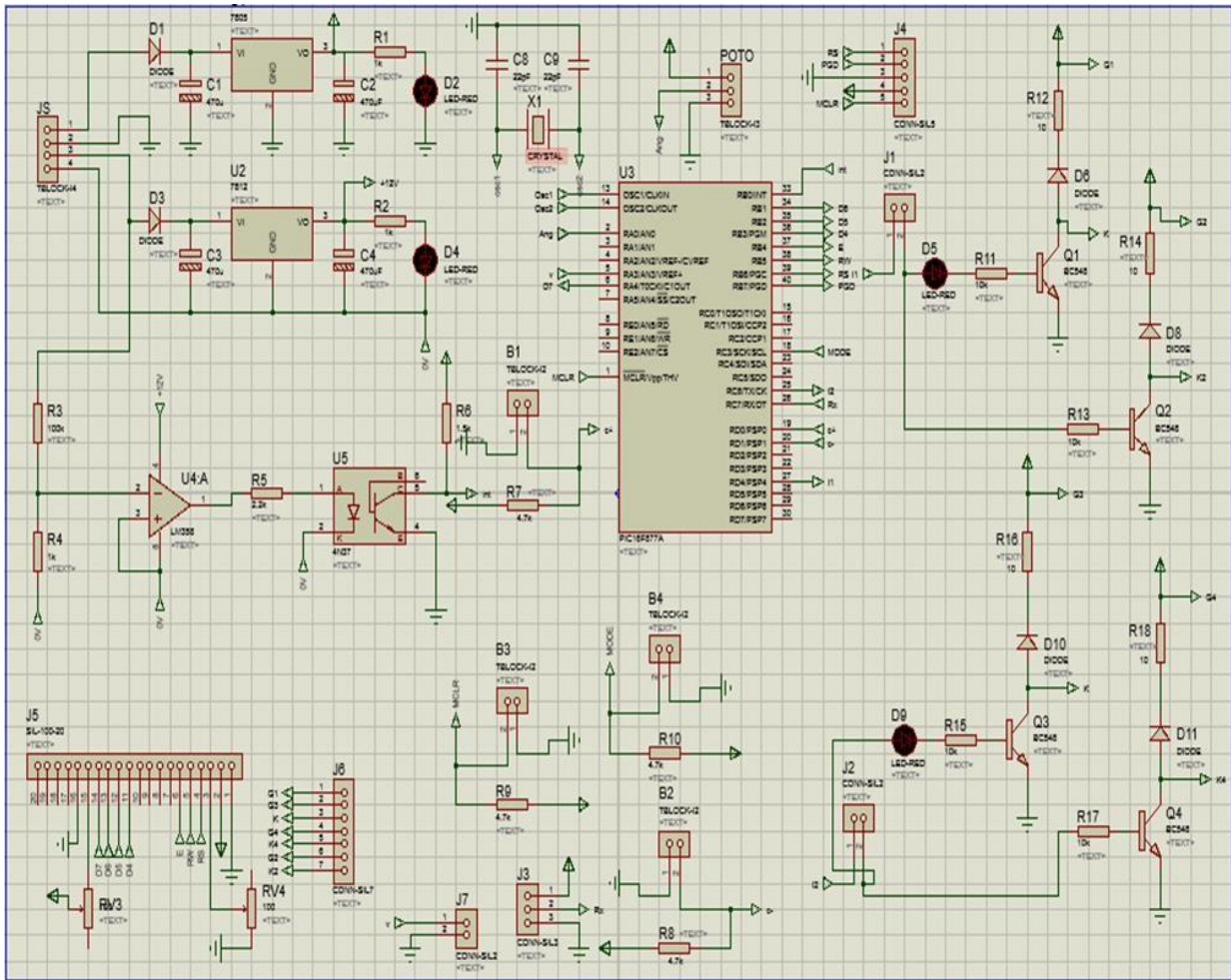


Figure III. 2: Câblage pour le circuit imprimé de l'étage de commande par le logiciel Proteus.

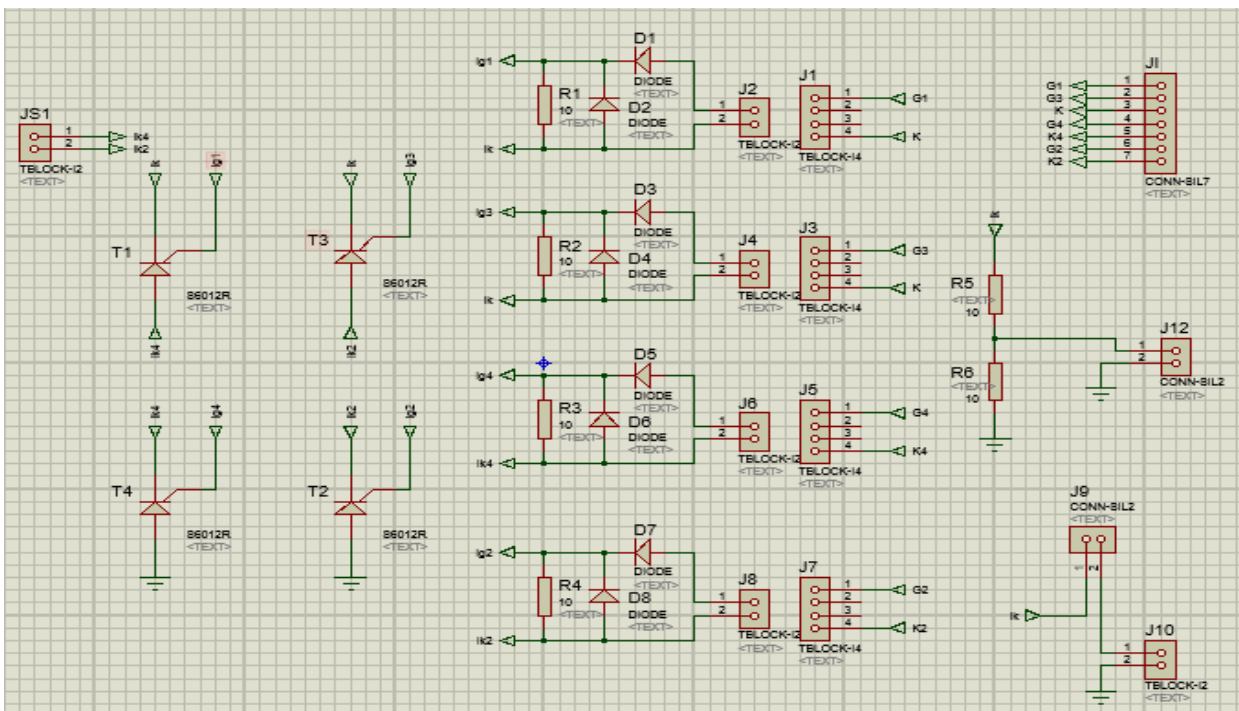


Figure III. 3 : Câblage pour le circuit imprimé de l'étage de puissance par le logiciel Proteus.

### III.2.2.1 L'alimentation :

On désire réaliser, dans notre réalisation, une alimentation stabilisée pour alimenter d'une part la carte de commande, l'opto-coupleur et le transformateur d'impulsion en +5 Volts continu (figure III.4), et d'autre part une alimentation de +12/0 Volts pour polariser l'amplificateur opérationnels (figure III.5).

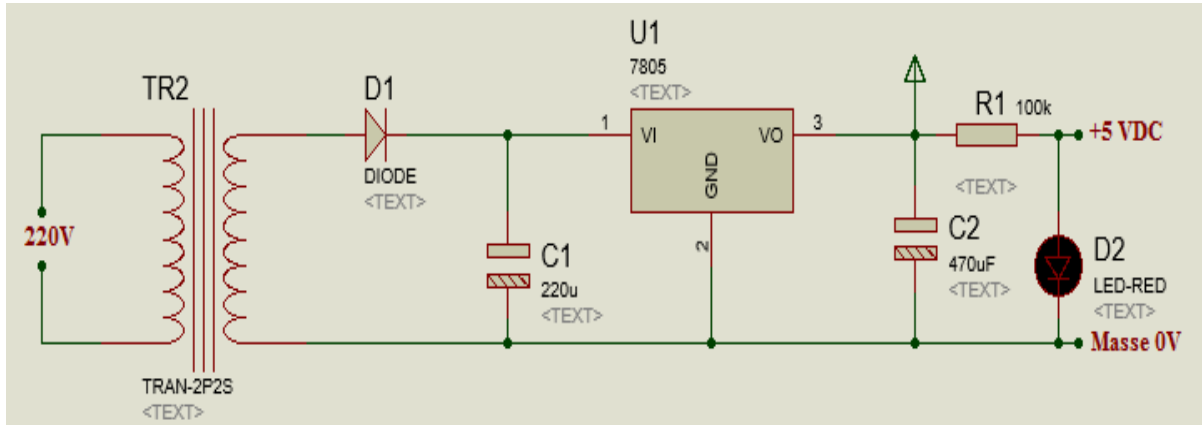


Figure III. 4 : Montage de l'alimentation 5 V.

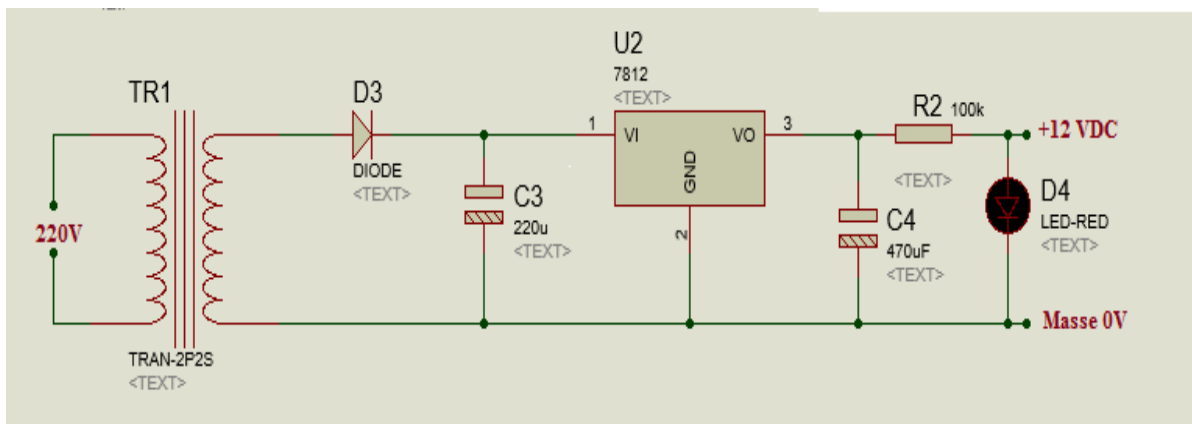


Figure III. 5 : Montage de l'alimentation symétrique +12 V.

Chaque alimentation comporte un transformateur qui baisse la tension sinusoïdale d'entrée (220V AC / 7V AC). Puis on l'a fait passer par la diode et le condensateur qui feront le redressement, ensuite, et le filtrage respectivement. Enfin, on utilise le régulateur L7805 pour obtenir une tension de 5V DC ou les régulateurs L7812 pour avoir des tensions 12V DC.

### 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) de l'autre unité. On a utilisé dans cette application un transformateur d'impulsions (représenté dans la Figure III.6) pour faire l'isolation galvanique entre les deux circuits.

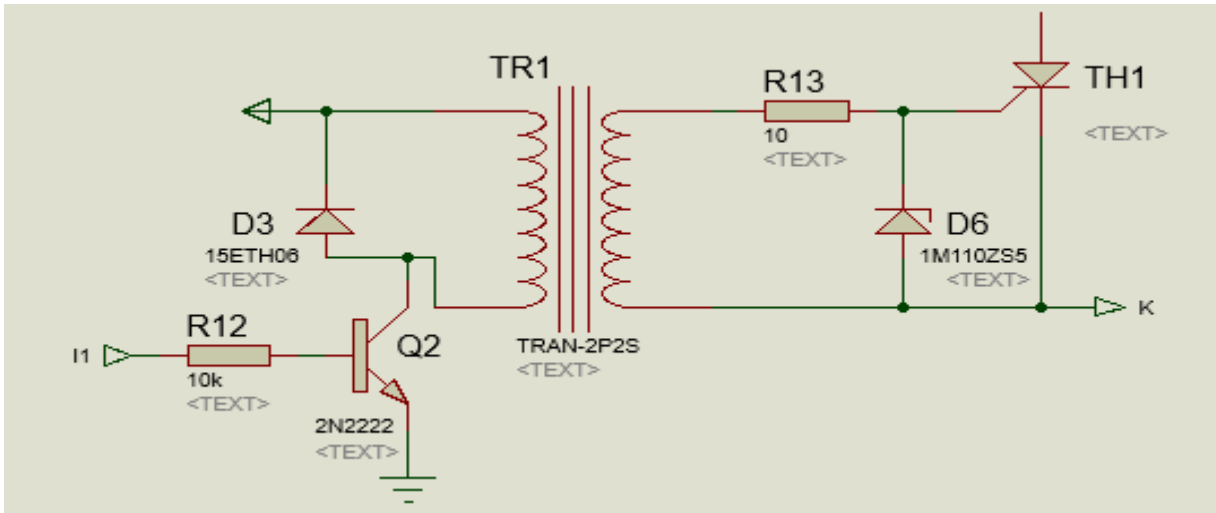


Figure III. 6 : Schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.

### III.2.2.3 Circuit de synchronisation et de couplage optique :

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 l'alimentation (figure III.7), on utilise l'amplificateur opérationnel dans notre travail comme un circuit détecteur de passage par zéro

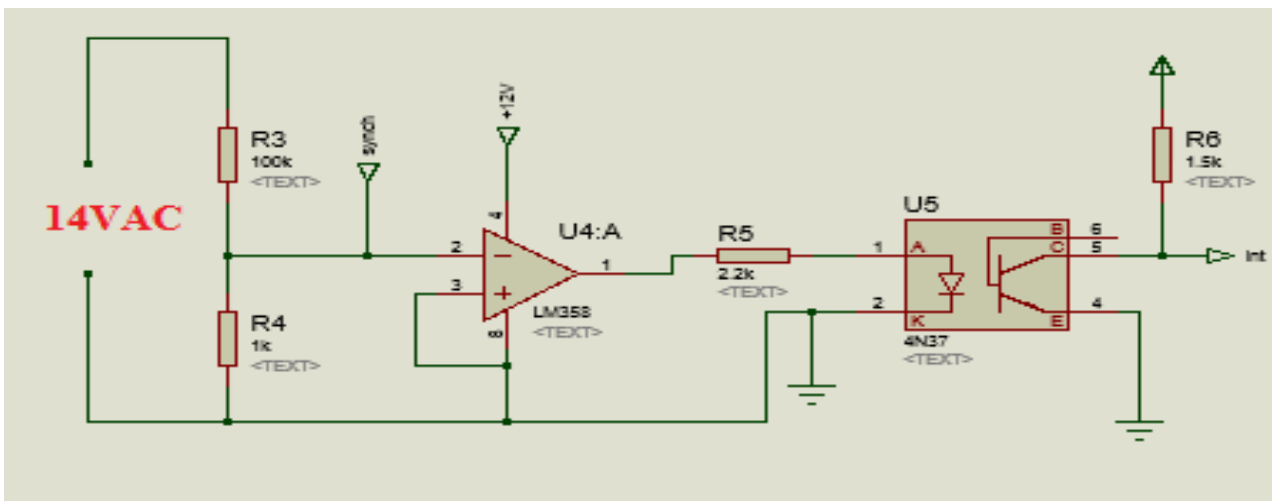


Figure III. 7 : Le circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique.

L'amplificateur opérationnel travaille en commutation pour jouer le rôle d'un comparateur qui compare la tension d'entrée inverseuse (signal sinusoïdal) avec la tension d'entrée non inverseuse (tension de référence 0 V). Après cette étape, on obtient un signal inversé par rapport au signal d'entrée

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 photodétecteur sont reliés optiquement, mais sont isolés électriquement dans un même boîtier (Figure III.8).

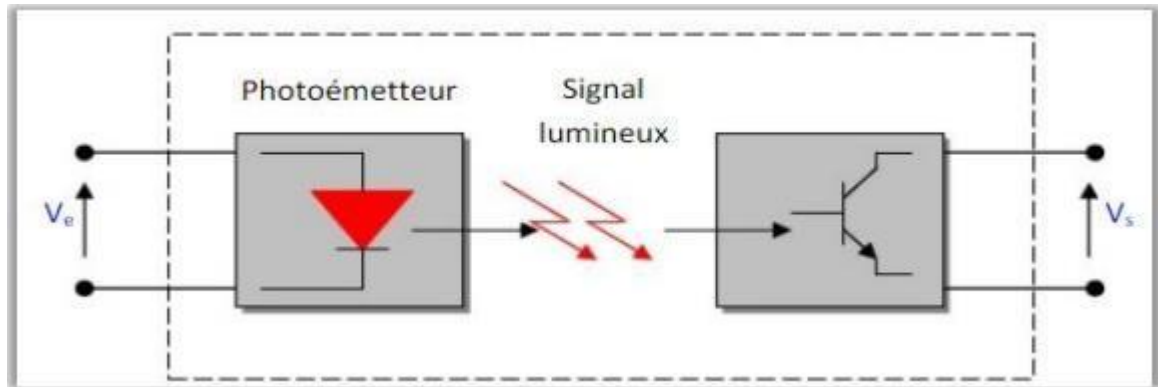


Figure III. 8 : Principe de fonctionnement d'un opto-coupleur.

- 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-coupleur sera allumée, le phototransistor est équivalent à un circuit fermé donc  $V_s=0\text{ Volt}$ . (C'est le deuxième inversement du signal).
- En réalité, on a inversé le signal d'entrée deux fois, pour avoir une synchronisation correcte avec le signal issue de l'opto-coupleur.

### III.2.2.4 Afficheur LCD :

- **Présentation :**

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (LiquidCrystal Display), sont devenues incontournables dans toutes applications qui demandent la visualisation de paramètres, il s'agit donc d'une interface Homme/Machine. Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement afficher les valeurs de différentes variables [14].

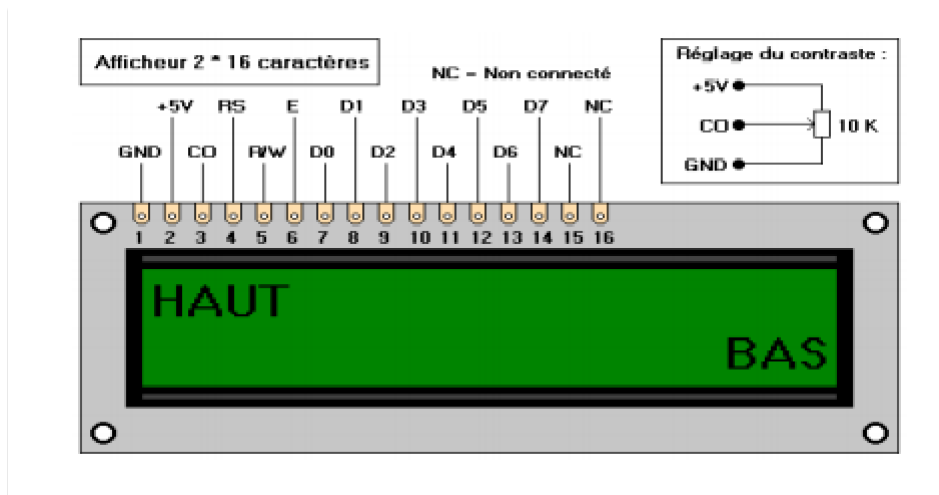


Figure III. 9 : Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères.

- **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 créer ses propres caractères [14].

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 telles que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur.

- **Description :**

- ✓ **Connexion de l'afficheur :**

Pour utiliser le LCD il faut bien sur l'alimenter par 5V et la masse. Ensuite il va falloir relier les ports RS, R/W et E au PIC (pin RA0, RA1 et RA2) puis les ports D0 à D7.

- ✓ **Utilisation des ports pour envoyer une instruction :**

Pour envoyer une instruction à l'afficheur il faut régler le bit READ/WRITE (généralement à WRITE) spécifier le bit RS (si c'est une commande ou une donnée), mettre les bits du poids fort de la commande ou la donnée en question sur les bits D7 à D0 et enfin valider pour que l'afficheur en tienne compte.

La validation se fait en mettant le bit E à 1 puis en le remettant à 0. Il y a tout de même des contraintes de temps à respecter (il faut un certain temps aux LCD pour comprendre et exécuter une commande).

- ✓ **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.

Le programme n'est ni gourmand en taille mémoire (moins de 270 instructions, en comptant les timers), ni en RAM. L'exécution est préalablement plus longue mais le coût de l'affichage se fait à temps court [14].

### III.2.2.5 Module RF :

Un module RF est communément appelé un module de "fréquence radio". Il s'agit d'un petit dispositif électronique utilisé pour transmettre et recevoir des signaux radio entre deux dispositifs. Un module RF est généralement utilisé avec une paire d'encodeur/décodeur. L'encodeur est utilisé pour l'encodage de données parallèles pour la transmission, tandis que la réception est décodée par un décodeur.



Figure III. 10 : Fréquence radio.

#### III.2.2.5.1 la fonction principale d'un module RF :

Les modules de fréquence radio sont le plus grand facilitateur de la communication sans fil, car il ne requiert aucune ligne de visibilité. Contrairement à son alternative habituelle, l'infrarouge, qui fonctionne principalement en mode de visibilité directe. La plage est de 3 kHz à 300 GHz, avec le spectre inférieur utilisé dans les applications, telles que les sous-marins et les stations radio, et le spectre plus élevé utilisé dans les applications GPS, Wi-Fi, de diffusion Bluetooth et TV. Certaines des fonctions principales d'un module RF sont les suivantes :

- Action similaire à un émetteur de signaux.
- Solution de détection de signaux radio.
- Pontage des communications entre deux dispositifs.
- Extension de la communication entre les applications grâce aux fréquences radio.

#### III.2.2.5.2 Applications typiques d'un module RF :

- Systèmes d'alarme automobile.
- Télécommandes.
- Rapports de capteur.
- Systèmes d'automatisation

#### III.2.3. 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.2 et III.3) 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 composante 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 (La liaison rouge). (Figure III.11, III.12).

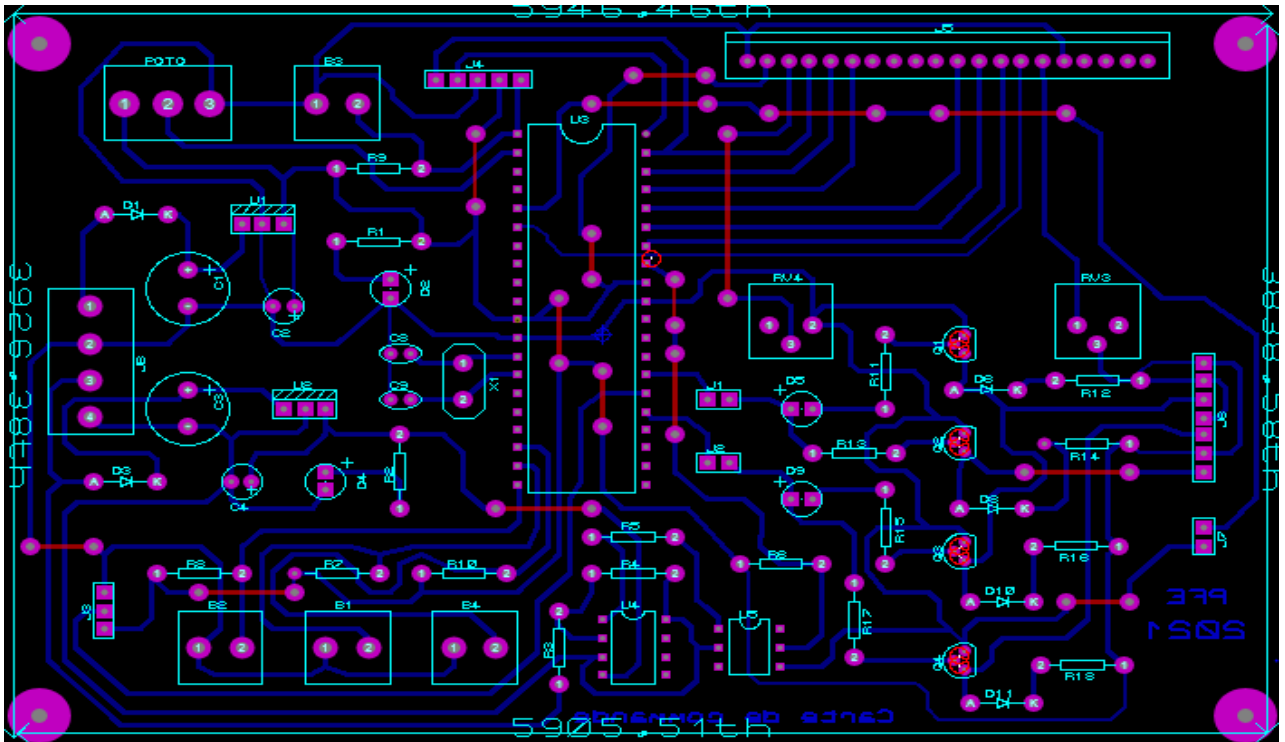


Figure III. 11 : Schéma routé de la carte de commande.

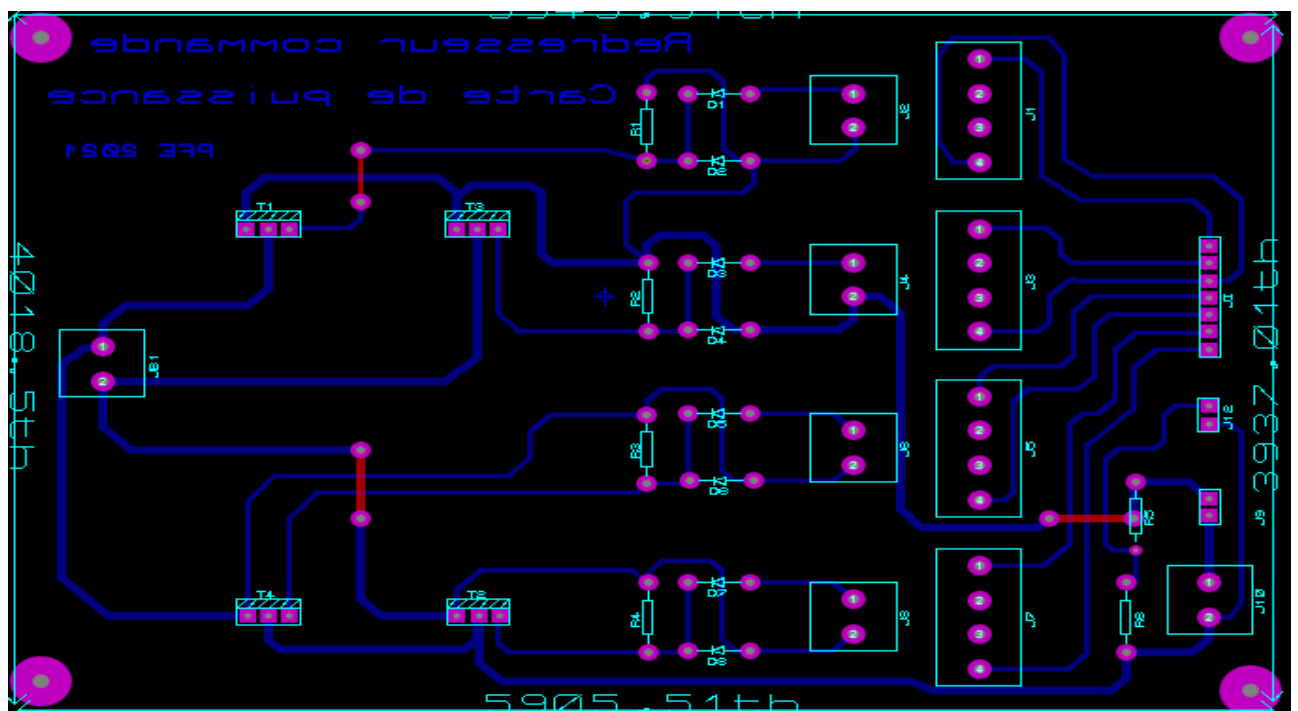


Figure III. 12 : Schéma routé de la carte de puissance.

Les lignes rouges apparaissent dans la Figure III.11,III.12 sont remplacées par des jumpers dans le circuit imprimé.

### III.2.3.1 Les étapes de fabrication du circuit imprimé :

La fabrication du circuit imprimé se passe par plusieurs étapes :

#### III.2.3.1.1 L'impression du typon :

Le typon est le tracé du schéma de la Figure III.11, III.12 sur un film transparent (la Figure III.13, III.14), le typon sera utilisé donc pour réaliser le circuit imprimé.

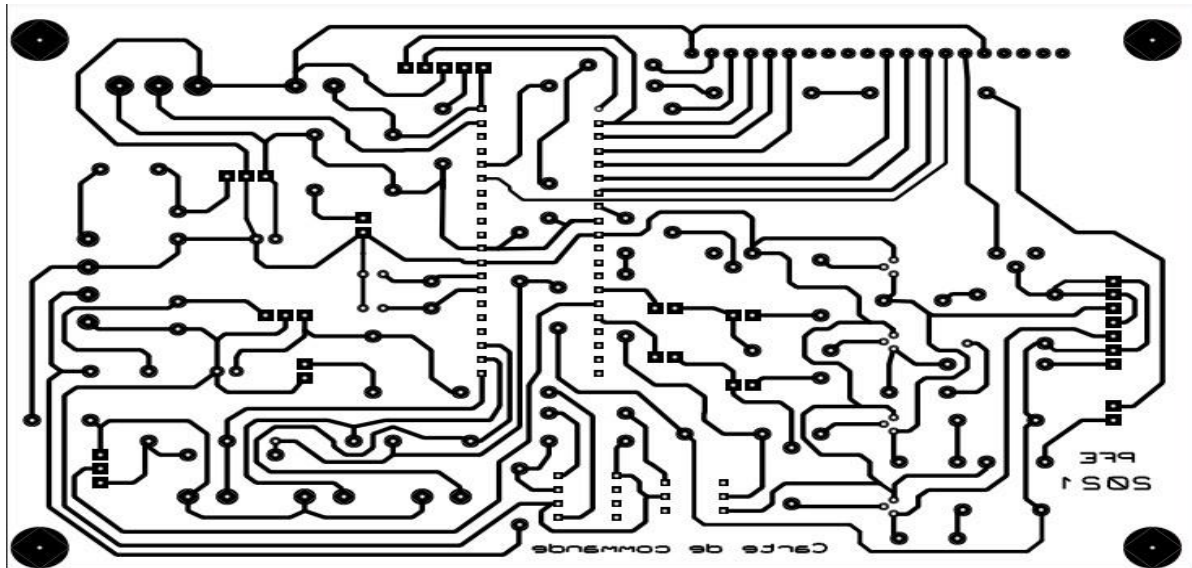


Figure III. 13 : Typon de la carte de commande.

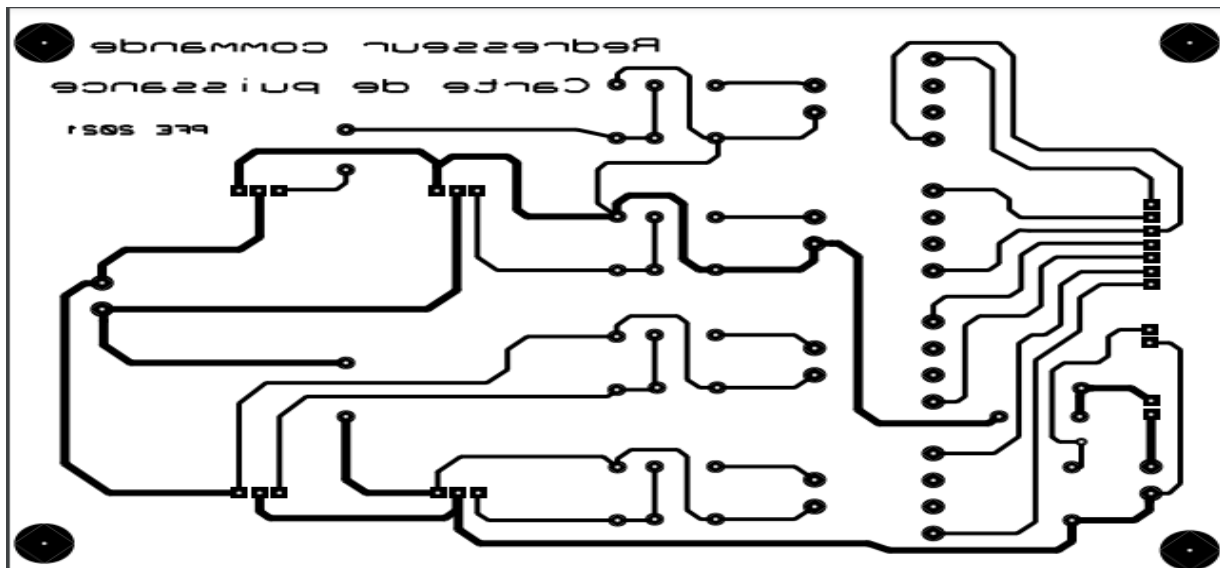


Figure III. 14 : Typon de la carte de puissance.

#### III.2.3.1.2 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.2.3.1.3 La révélation :

C'est l'étape qui suit l'étape de l'insolation. Le produit nécessaire pour cette étape est un produit chimique assez dangereux, qui impose le port de gants. 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.2.3.1.4. Gravure de circuit imprimé :

La gravure consiste à plonger le circuit dans un bain d'acide (perchlorure de fer).

Le cuivre mis à nu lors de la révélation sera éliminé. Seules les pistes protégées par la résine resteront. 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.15, III.16.

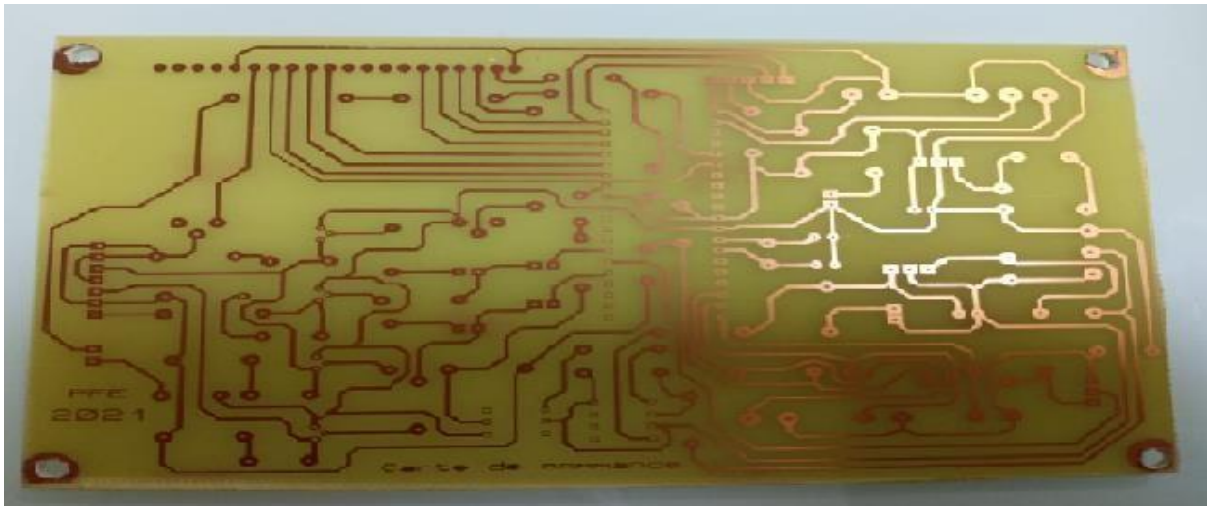


Figure III. 15 : Circuit imprimé de la carte de commande.

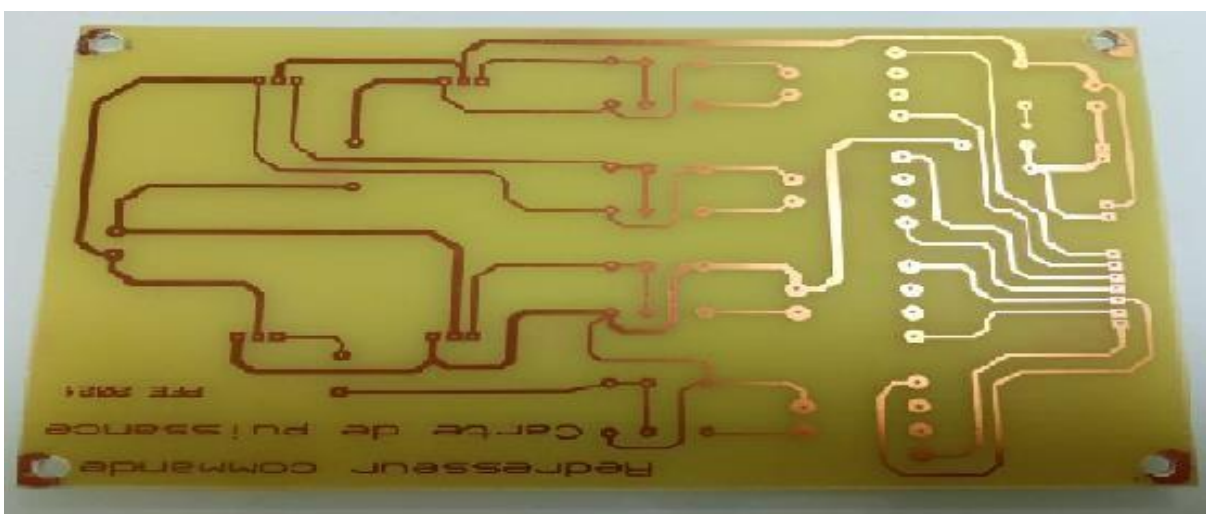


Figure III. 16 : Circuit imprimé de la carte de puissance.

### III.2.3.1.5. 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.2.3.1.6. 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 puis qu'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 les cartes imprimées comme représentée par les Figures III.17, III.18, III.19, III.20.

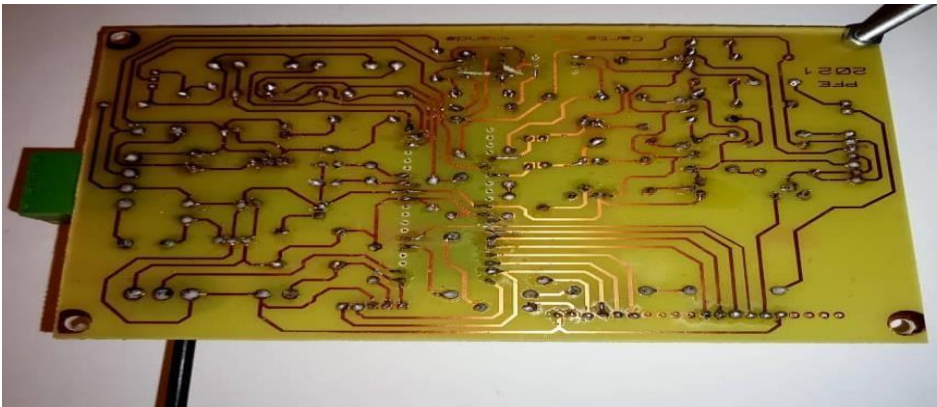


Figure III. 17 : Carte de commande finalisée (côté pistes).

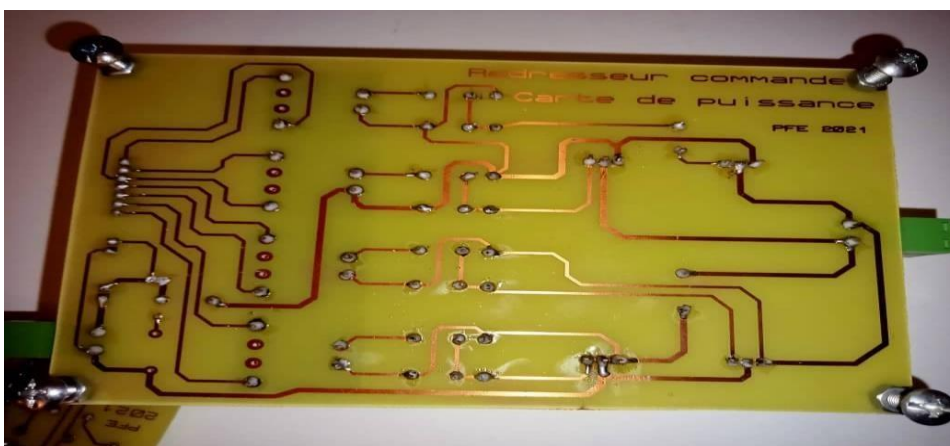


Figure III. 18 : Carte de puissance finalisée (côté pistes).



Figure III. 19 : Carte de commande finalisée (côté composants).

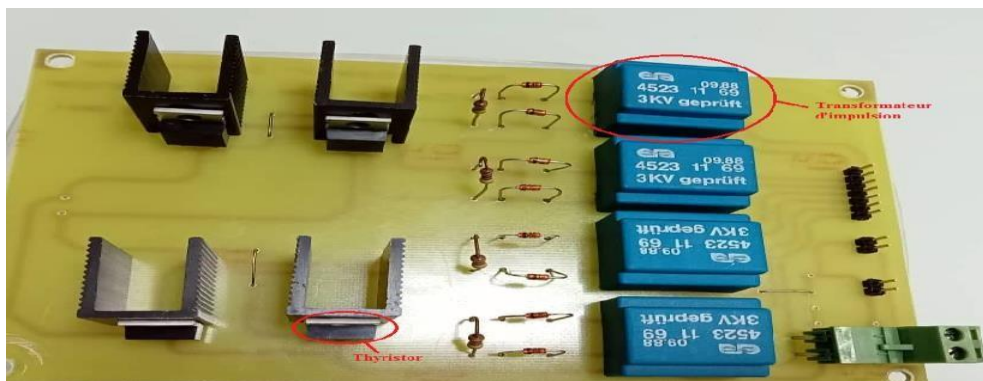


Figure III. 20 : Carte de puissance finalisée (côté composants).

#### III.2.3.1.7. Assemblage des cartes réalisées :

Notre projet est finalement assemblé, le PIC16F877A est programmé et la charge est connectée comme donné dans la Figure III.21 Par la suite, nous prenons des mesures des allures de la tension et du courant de sortie en jouant sur les positions angulaires des angles de retards en question. Ces mesures sont comparées à celles obtenues en simulations Matlab et Proteus présentées dans les chapitres précédents.



Figure III. 21 : 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 :

- Le choix des composants électroniques nécessaire à la réalisation de notre système nous a aussi causé quelques tracas, surtout en ce qui concerne les résistances et les diodes, les condensateurs. Nos choix se sont basés essentiellement sur la disponibilité du matériel dans le magasin.
- Programmation de PIC : quand utilise le programmeur pour programmer le PIC16F877A, nous avons des problèmes parfois quand essayer de programmer le PIC dans MPLAB.
- Parmi les problèmes rencontrés pendant la réalisation de carte des fissures de piste, et par conséquent nous avons été dans l'obligation de les refaire plusieurs fois.

Pour conclure, ces difficultés ont été surmonté, mais nous demandé du temps et quelques inquiétudes. Mais cela nous a permis de nous confronter à la réalité de la pratique.

### III.4. Résultats expérimentaux :

Dans cette partie, on va représenter les résultats pratiques relevés lors des essais réalisés.

#### III.4.1. Signal d'entrée :

La Figure III.22 représente le signal d'entrée, qu'un signal sinusoïdal.



Figure III. 22 : Allure de la tension d'entrée.

#### III.4.2. Signal de synchronisation et de commande des gâchettes du thyristor T1 et T4 pour le mode double :

La Figure III.23 représente le signal de commande du thyristor T1 et T4 pour le mode double alternance, on constate que la commande est générée dans les deux demies périodes, cependant le thyristor T1 et T4 est amorcé seulement dans la demie période où il est polarisé en direct.

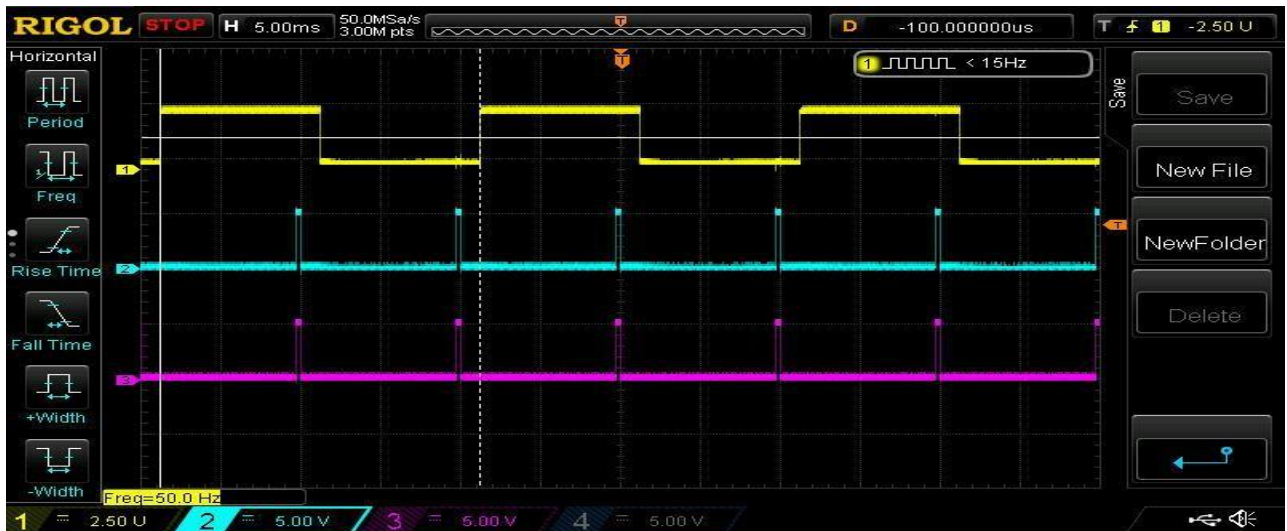


Figure III. 23 : Les impulsions de la commande du thyristor T1 et T4 pour le mode double alternance.

### III.4.3. Signal de sortie pour une charge inductive :

Les résultats obtenus pour une charge inductive sont montrés par la Figure III.24.

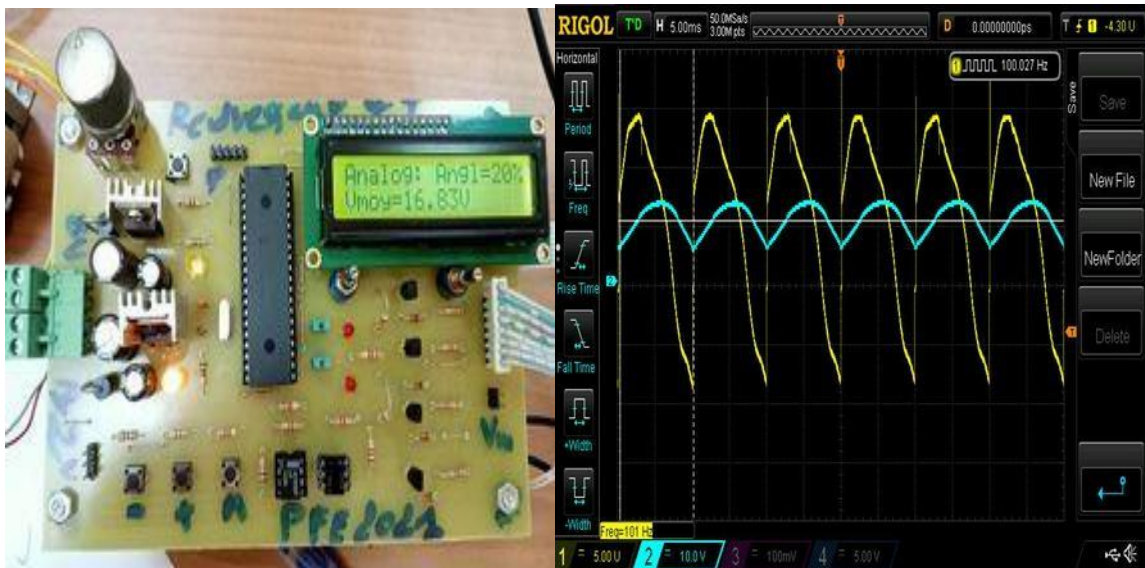


Figure III. 24 : allures de la tension et le courant de sortie

#### III.4.3.1. Redresseur double alternance totalement commandé :

##### a) Commande analogique avec un angle d'amorçage $\alpha=20\%$ :

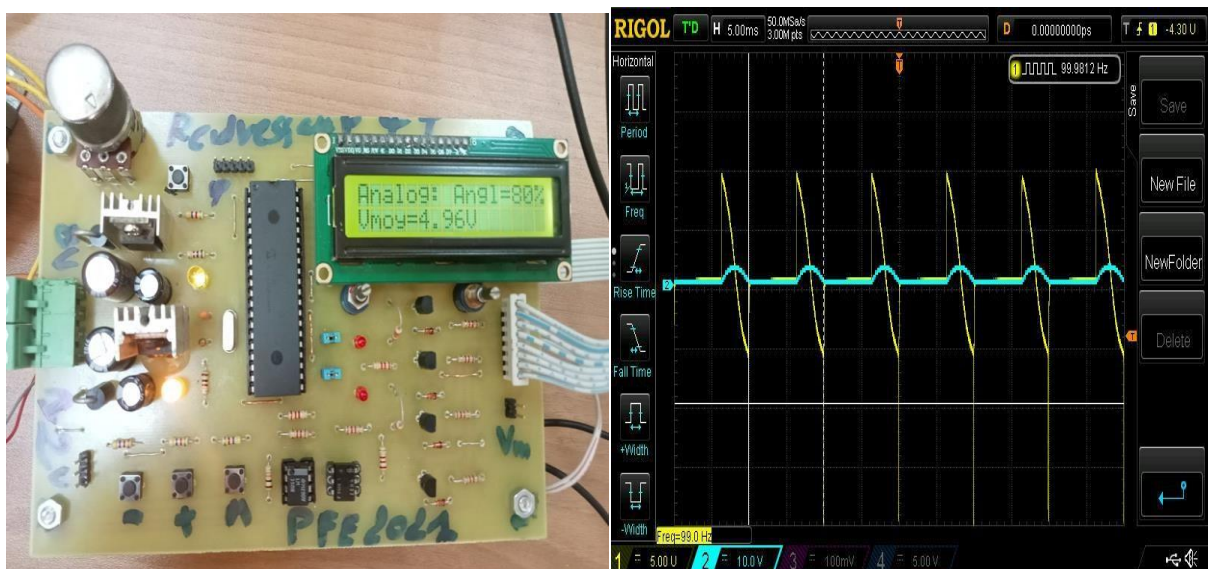
La Figure III.25 représente notre carte électronique et les allures de la tension et du courant de la charge RL pour le mode double alternance et un angle d'amorçage  $\alpha= 20\%$ .



**Figure III. 25 :** Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d’amorçage  $\alpha = 20\%$ .

**b) Commande analogique avec un angle d’amorçage  $\alpha = 80\%$  :**

La Figure III.26 représente notre carte électronique et les allures de tension et du courant de la charge RL pour le mode double alternance et un angle d’amorçage  $\alpha = 80\%$ .



**Figure III. 26 :** Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d’amorçage  $\alpha = 80\%$ .

c) Commande numérique avec un angle d'amorçage  $\alpha=22\%$  :

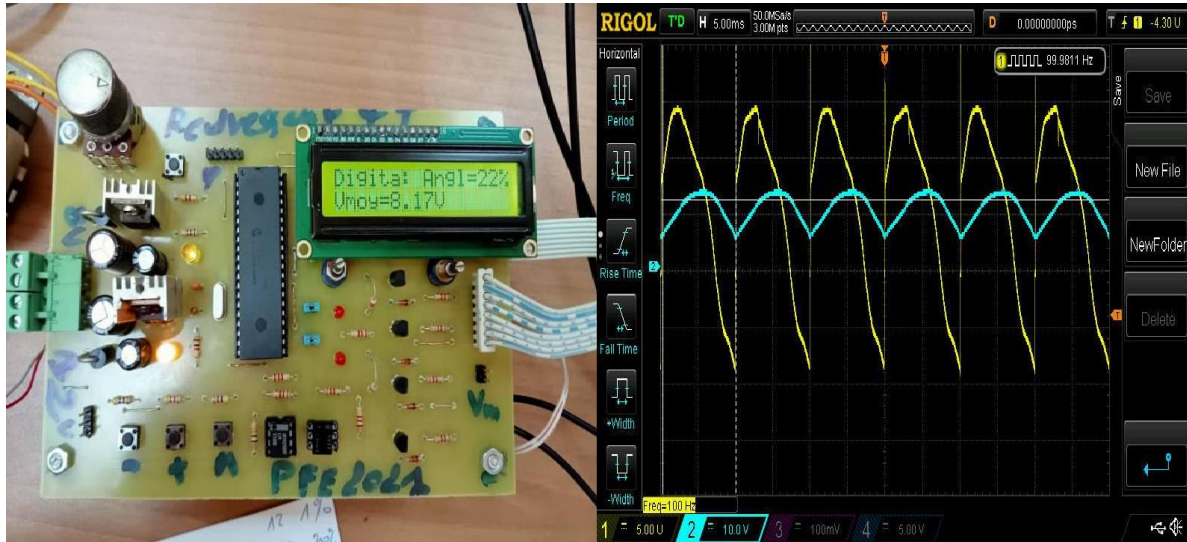


Figure III. 27 : Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage  $\alpha=22\%$ .

d) Commande numérique avec un angle d'amorçage  $\alpha=88\%$  :

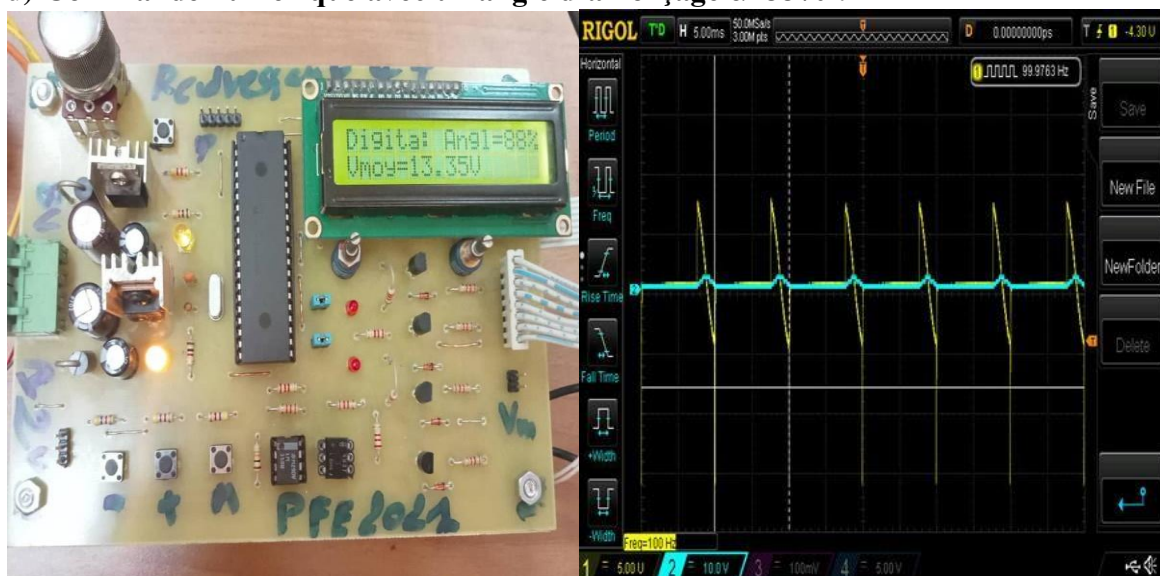


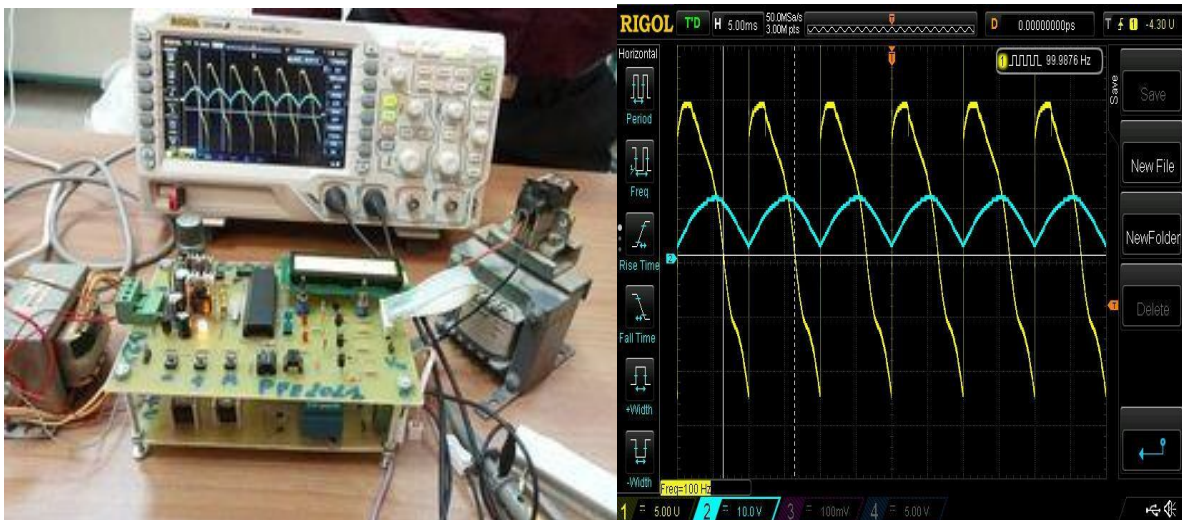
Figure III. 28 : Représentation de notre carte et les allures de la tension et du courant obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage  $\alpha=88\%$ .

Remarque :

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

La Figure III.29 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  $\alpha=36\%$ .



**Figure III. 29 :** 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  $\alpha = 36\%$ .


D'après cette Figure 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.

Dans ce chapitre, nous abordons les difficultés que nous avons rencontrées lors de cette période de réalisation de notre projet.

Des résultats expérimentaux montrent des performances du déclencheur et son bon fonctionnement. Les résultats obtenus sont très satisfaisants et conforme au cahier des charges imposé.



***Conclusion  
Générale***

## **Conclusion Générale :**

En conclusion, les travaux présentés dans ce mémoire concernent l'étude et la réalisation pratique d'un convertisseur monophasé 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 monophasé et ainsi sert comme un générateur d'impulsions synchronisés sur le réseau pour déterminer l'angle de retard en question, par une commande analogique et numérique, que ce soit le mode choisi.

- ✓ Le premier chapitre est concentré sur la partie théorique, dans laquelle on a présenté un ensemble d'informations théoriques nécessaires pour prendre une vue générale sur ce travail. Ensuite nous avons étudié par simulations matlab les différents montages des convertisseurs monophasés dans le but de mettre une référence de comparaison avec les résultats expérimentaux obtenus par le circuit réalisé.
- ✓ Dans le deuxième chapitre on a expliqué qu'est-ce que le microcontrôleur PIC16F877A en détail. On a présenté aussi 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 contient la partie de la réalisation pratique de notre carte : la description des quelques composants, les étapes de fabrication de la carte électronique, et la prise des résultats expérimentaux.

A travers toutes les œuvres mentionnées précédemment en plus les tests expérimentaux, nous avons pu obtenir des résultats similaires avec celle de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab.

En conclusion à titre personnel, ce projet de fin d'étude nous a permis de nous enrichir dans les domaines de l'informatique et de la programmation des microcontrôleurs en découvrant des logiciels tels que le logiciel PROTEUS (ISIS et ARES), et le logiciel CCS PIC C. il nous a donné aussi une idée sur la complémentarité entre la théorie et la pratique et nous a permis de nous confronter à la réalité et aux difficultés de la pratique.

## **Bibliographié :**

- [I] Glaise. C, « Introduction à l'Électrotechnique et à l'Électronique de puissance », Collection médiathèque, L'IUT de Nîmes, 9 septembre 2002.
- [II] Jean. L, « Caractérisation et modélisation de composants IGBT et diode pin dans leur environnement thermique sévère lié aux applications aéronautiques », Thèse de doctorat, Université de TOULOUSE, 2010.
- [1] Guy, S. Francis, L. Philippe, D. 'Électronique de puissance structure, commande, application' (10eme ed). Paris, 2015.
- [2] << Electronique Les diodes >> <http://www.zpag.net>.
- [3] <https://www.epsic.ch/cours/electronique/techn99/elnthcomp/CMPHTHINTRO.html>.
- [4] INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE BIZERTE Département Génie Electrique Electronique de Puissance Préparé par : Manel KHATERCHI.
- [5] Cours Electronique de Puissance, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul Département Génie Electrique.
- [6] Guy, Ch. Daniel, B. Michel, B. jacques, V. Daniel, V. Manuel de Génie Electrique Rappel des cours, méthodes, exemples et exercices corrigés. Dunod, Paris, 2006.
- [7] Pinard, M. 'Convertisseurs et électronique de puissance : Commande, Description, Mise en œuvre' Dunod, paris, 2007.
- [8] Kanaan, H. (2002). Contribution à la modélisation et au réglage des redresseurs triphasés non polluants unidirectionnels de type élévateur et à fréquence de commutation fixe (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).
- [9] Tourchine, V. Microcontrôleur de la famille Pic. Université de boumerdes, 2009.
- [10] « PIC16F87XA Data Sheet », <http://www.microchip.com>.
- [11] 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.
- [12] <http://www.oumnad.123.fr/Microcontrolleurs/PIC16F877.pdf>.
- [13] « Proteus (ISIS et ARES) », <http://www.labcenter.com>.
- [14] 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-BekrBelkaïd Tlemcen, Mémoire de Master, 2014.

## **Résumé:**

Le travail présenté dans ce mémoire montre 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 laquelle, 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 16F877A, 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 ceux de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab.

**Mots clés :** Redresseur, Réalisation, Commande, PIC, 16F877A, CCS PICC, Matlab, Proteus.

## **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 16F877A 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:** Rectifier, Realization, Control, PIC, 16F877A, CCS PICC, Matlab, Proteus.

## ملخص:

العمل المقدم في هذه المذكرة يظهر مجموعة من المهام بهدف تصميم و انجاز محولات تيار متناوب /تيار مستمر ذات المراقب الدقيق ( PIC16877A ) من اجل تغيير سرعة محركات ذات التيار المستمر .هذا التغيير يتطلب التحكم في مركبات الاستطاعة بإشارة على شكل نبضات متأخرة بزاوية مقارنة بالتوتر المتناوب للمدخل .هذا الانجاز لها عدة مراحل يبدأ بدراسة نظرية أين جمعنا مجموعة من المعلومات النظرية و المرفقة بمحاكاة برنامج Matlab Simulink ثم دراسة مفصلة حول هندسة و خصائص المراقب الدقيق (PIC16877A) , 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 و PROTEUS.

**كلمات مفتاحية :** مقوم ، تحقيق ، تحكم ، PIC16877A ، CCS PICC , Matlab, Proteus.