

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie, Département de Génie Electrique

MEMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER

Domaine : Génie Electrique Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commande Electrique

thème

**Etude et simulation d'une carte de commande à base d'un
microcontrôleur PIC 16f877 pour ponts redresseurs MLI**

Présenté par :

**Mr. Djermoune moussa
Melle. Smiel sara**

Dirigé par :

Mr. Fella boualem

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- à 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 toute au long de mon cursus scolaire et universitaire ;
- à mes frères mokhtar, madani, et malik , et à mes sœurs et leurs enfants mohamed, lounes, abderazek, youba ;
- à toute la famille djermoune ;
- à mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire ;
- à tous les membres de ma promotion du Master Electrotechnique, option "Commande électrique" ;
- à mes chers amis juba et hakim ;
- à tous mes voisins et mes amis.

Djermoune Moussa

Je dédie ce travail :

- à 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 toute au long de mon cursus scolaire et universitaire ;
- à mes frères salim, sofiane, et à mes sœurs souad ,sonia et sabrina;
- à mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire ;
- à tous les membres de ma promotion du Master Electrotechnique, option "Commande électrique" ;
- à mes chers amis sofia,aicha et sabiha ;
- à tous mes voisins et mes amis.

Smiel Sara

Remerciements

Remerciements

A l'issue de cette fin de travail nous adressons nos remerciements premièrement à **ALLAH** tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a données durant toutes ces longues années d'études. Nos remerciements s'adressent à notre encadreur **M. Fella Boualem** pour avoir proposé et dirigé ce travail et pour ses continuel suivis tout le long de la réalisation et la correction de ce mémoire.

Nous remercions nos enseignants, Ils nous ont présenté un excellent exemple de la compétence scientifique et disponibilité. Nous remercions également tous les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous tenons à remercier vivement toute personne qui nous a aidé de près ou de loin pour afin ce travail.

Djermoune Moussa et Smiel Sara

BEJAIA, le 15 septembre 2020

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

Chapitre I : Convertisseurs statiques AC-DC

I.1 Introduction.....	2
I.2 Interrupteurs de l'électronique de puissance	2
I.2.1 La diode	2
I.2.1.1 Principe de fonctionnement	2
I.2.1.2 Caractéristique statique d'une diode.....	2
I.2.2 Thyristor	3
I.2.2.1 Principe de fonctionnement.....	3
I.2.2.2 Caractéristique statique d'un thyristor.....	3
I.2.3 Thyristor GTO	4
I.2.3.1 Principe de fonctionnement	4
I.2.3.2 Caractéristique statique d'un thyristor GTO	5
I.2.4 Transistor bipolaire	5
I.2.4.1 Caractéristiques du transistor bipolaire	6
I.2.5 Le Transistor MOSFET.....	6
I.2.5.1 Principe de fonctionnement.....	7
I.2.5.2 Caractéristiques du transistor MOSFET	7
I.2.6 Transistor IGBT	8
I.2.6.1 Principe de fonctionnement	8
I.2.6.2 Caractéristiques du transistor IGBT	8
I.3 Redresseurs commandés.....	9
I.3.1 Redresseurs monophasés commandés	9
I.3.2 Redresseurs triphasés commandés.....	13
I.4 Redresseurs à MLI.....	15
I.4.1 Structure générale du redresseur à MLI.....	15
I.4.2 Principe de fonctionnement en redresseur MLI.....	16
I.4.3 Redresseur à MLI de courant.....	16
I.4.4 Redresseur à MLI de tension.....	17
I.5 Conclusion.....	18

Chapitre II : Conception de la commande numérique et de l'interface galvanique

Sommaire

II.1 Introduction.....	19
II.2 Schéma synoptique du projet.....	19
II.3 Commande linéaire en "arc cos"	20
II.3.1 Principe de la commande en "arc cos"	20
II.3.2 Synoptique de la commande en "arc cos"	21
II.4 Image de la tension réseau et détection du passage par zéro.....	22
II.5 Amplification et isolation galvanique	23
II.5.1 Buffer	23
II.5.2 L'opto-coupleur	24
II.5.3 Driver	25
II.6 Afficheur LCD.....	25
II.7 Alimentations.....	29
II.8 Conclusion.....	30

Chapitre III : Microcontrôleur pic 16f877 et simulation du projet par proteus

III.1 Introduction	31
III.2 Microcontrôleur.....	31
III.2.1 Qu'est ce qu'un microcontrôleur.....	31
III.2.2 Avantage du microcontrôleur	32
III.3 Microcontrôleur PIC16F877	32
III.3.1 Structure interne	32
III.3.2 Structure externe	34
III.3.3 Le convertisseur analogique numérique.....	36
III.4 logiciel de programmation et de simulation	37
III.4.1 Compilateur C « MIKRO C » pour pic.....	38
III.4.2 Présentation de proteus	38
III.5 organigramme du fonctionnement de la commande	39
III.6 Schéma global du système monophasé	41
III.6.1 Simulation du système par le logiciel ISIS	41
III.7 Schéma global du système triphasé.....	43
III.7.1 Simulation du système par le logiciel ISIS	43
III.7.1.1 Simulation du détecteur du passage par zéro	43
III.7.1.2 les signaux de la MLI	44
III.7.1.3 Simulation du pont sur une charge inductive	45
III.7.1.4 Résultats de simulation de variation de potentiomètre	46
III.8 Difficultés rencontrées	47

Sommaire

III.9 Conclusion	47
Conclusion générale	48
Bibliographie	
Annexes	
Résumé /Abstract	

Liste des figures

Figure I.1	Représentation symbolique d'une diode	2
Figure I.2	Caractéristique d'une diode.	3
Figure I.3	Représentation symbolique d'un thyristor.	3
Figure I.4	Caractéristique d'un thyristor.	4
Figure I.5	Représentation symbolique d'un thyristor GTO.	4
Figure I.6	Représentation symbolique d'un transistor bipolaire.	5
Figure I.7	Représentation symbolique d'un transistor bipolaire.	6
Figure I.8	Caractéristique d'un transistor bipolaire	6
Figure I.9	Représentation symbolique d'un transistor MOSFET	7
Figure I.10	Caractéristique d'un thyristor.	7
Figure I.11	Représentation symbolique d'un transistor IGBT	8
Figure I.12	Caractéristique d'un transistor IGBT	9
Figure I.13	Redresseur simple alternance commandé charge R.	9
Figure I.14	Allures de tension et de courant.	10
Figure I.15	Redresseur simple alternance totalement commandé.	11
Figure I.16	Allures de tension et de courant.	11
Figure I.17	Redresseur double alternance commandé charge RL.	12
Figure I.18	Allures de tension et de courant.	12
Figure I.19	Redresseur monophasé double alternance semi commandé.	13
Figure I.20	Allures de tension et de courant.	13
Figure I.21	Redresseur triphasé simple alternance charge RL.	14
Figure I.22	Allures de tension et de courant.	14
Figure I.23	Redresseur triphasé en pont charge RL.	15
Figure I.24	Allures de tension et de courant.	15
Figure I.25	Topologie de base d'un redresseur de tension	16
Figure I.26	Redresseur à MLI triphasé de structure tension.	17
Figure I.27	Topologie d'un redresseur à MLI triphasé de courant	17
Figure I.28	Topologie d'un redresseur à MLI triphasé de tension	18
Figure II.1	Schéma Synoptique de la carte du redresseur	19
Figure II.2	redresseur simple alternance commandé	20
Figure II.3	Chronogramme de la tension obtenue aux bornes de la charge	21
Figure II.4	Synoptique général de la commande en "arc cos".	21
Figure II.5	Circuit détecteur de passage par zéro	23
Figure II.6	Schéma d'un buffer	24
Figure II.7	Opto-coupleur	24
Figure II.8	Driver IR2112	25
Figure II.9	Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères	26
Figure II.10	Schéma fonctionnel d'un afficheur LCD	26
Figure II.11	Synoptique de l'alimentation stabilisée.	29
Figure II.12	Montage de l'alimentation proposée	30
Figure II.13	Montage de l'alimentation.	30
Figure III.1	PIC 16F877	32
Figure III.2	Architecture interne du PIC 16F877	34
Figure III.3	Brochage du PIC 16F877	35
Figure III.4	Schéma fonctionnel analogique numérique.	37
Figure III.5	Compilateur de MIKRO C	38
Figure III.6	Photo du logiciel de simulation ISIS	39
Figure III.7	Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande	40

Liste des figures

Figure III.8	Schéma global du système pour un redresseur monophasé	41
Figure III.9	Signal de sortie du redresseur	42
Figure III.10	Signal de la MLI du système monophasé	42
Figure III.11	Schéma global du redresseur triphasé	43
Figure III.12	Signaux des détecteurs de passage par zéro	44
Figure III.13	Signaux de la MLI	44
Figure III.14	Signal de sortie du redresseur triphasé	45
Figure III.15	Signal de sortie après la variation de 50% du potentiomètre	46
Figure III.16	Signal de sortie après la variation de 20% du potentiomètre	46
Figure A.1	Structure interne d'un microcontrôleur	ix
Figure A.2	Schéma bloc d'un PIC	ix
Figure A.3	Brochage du 16f877	x
Figure A.4	Datasheet des PIC(s) 16f87X	x
Figure A.5	Datasheet de l'afficheur LCD	xi

Liste des tableaux

Tableau III.1	Broches du PIC	36
----------------------	----------------	----

Introduction Générale

La conversion AC-DC ou redressement est très utilisée en pratique dans de larges et diverses applications : Alimentation continu dans les poste de commande dans les industries, chargeur de batterie, alimentation et commande du moteur à courant continu, ...etc.

Dans ce mémoire, nous décrivons les principaux composants et circuits utiliser dans la conception d'une carte à base d'un microcontrôleur de type PIC 16f877 pour une commande numérique dédiée à différents ponts redresseurs à thyristors.

Ce projet consiste donc à simuler une carte numérique basé sur un microcontrôleur PIC 16f877, qui permet l'amorçage des thyristors d'un convertisseur alternatif-continu, et ainsi servir de générateur d'impulsions synchronisés sur le réseau pour le déclenchement des thyristors d'un pont redresseur triphasé à six thyristors, mais aussi pour :

- un pont redresseur triphasé à trois thyristors ;
- un pont redresseur monophasé à quatre thyristors ;
- un pont redresseur monophasé mixte à deux thyristors et deux diodes (symétrique ou asymétrique) ;

Nous avons divisé notre projet en deux modules principaux.

Le premier concerne la carte de commande construite autour du microcontrôleur PIC 16F877, elle doit remplir les fonctions suivantes :

- Détection des passages par zéro des tensions puis émission d'impulsions pour la commande des thyristors ;
- Variation avec le potentiomètre de l'angle de retard a l'amorçage.
- Affichage sur écran LCD la valeur de la tension.

Le second module (Interface Amplification/Isolation galvanique), reçoit le signal formé d'impulsions (train d'impulsion) de la carte de commande et doit remplir la fonction d'amplificateur des impulsions et la séparation galvanique avec les circuits de gâchette des thyristors du montage de puissance envisagé. La programmation du microcontrôleur se fera en langage C et devra être simple pour l'utilisateur.

Ce travail est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre fait l'étude du redressement commandé des différents montages utilisés
- Le deuxième chapitre aborde l'étude de la partie commande des thyristors.
- Le troisième chapitre décrit la structure du microcontrôleur choisi ainsi que sa programmation, et la simulation du système sur proteus.

Enfin, une conclusion résume l'ensemble du travail présenté et des perspectives pour de futurs travaux sont suggérées.

Chapitre I :

**Convertisseurs
statiques**

AC-DC

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.

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 utilisés dans le redressement. Puis, nous passons à présentées les montages des circuits dédiés aux redressements commandés et leurs performances pour des charges résistive et inductives.

I.2 Interrupteurs de l'électronique de puissance

I.2.1 La diode

La diode est un élément redresseur non commandé constitué d'une jonction PN ; elle ne laisse passer le courant que dans un sens et uniquement si la tension qui lui est appliquée est positive.[1]

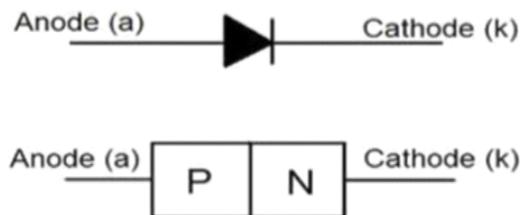


Figure I.1 Représentation symbolique d'une diode

I.2.1.1 Principe de fonctionnement

Une diode conduit le courant dans le sens anode (A) - cathode (K), tandis qu'elle est bloquée dans l'autre sens. Dans le cas d'une caractéristique parfaite, on suppose que la chute de tension entre (A) et (K) est nulle dans le sens de la conduction et que le courant est nul dans le sens du blocage.[1]

I.2.1.2 Caractéristiques statique d'une diode

La diode possède les caractéristiques principales suivantes :

- **à l'état passant**
 - une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne,
 - un courant maximum permanent admissible (ordre de grandeur, jusqu'à 5 000 A RMS pour les composants les plus puissants) ;
- **à l'état bloqué**
 - une tension maximale admissible qui peut dépasser 5 000 V crête.[3]

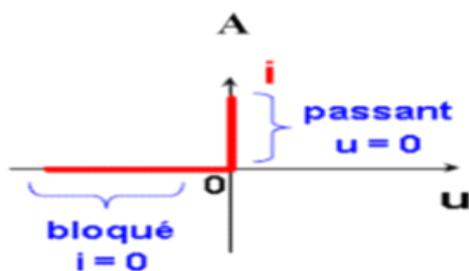


Figure I.2 Caractéristique idéal d'une diode.

I.2.2 Thyristor :

Le thyristor est un semi-conducteur de structure PNPN assimilable à un ensemble de trois jonctions ; il constitue un interrupteur unidirectionnel à fermeture commandée.[1]

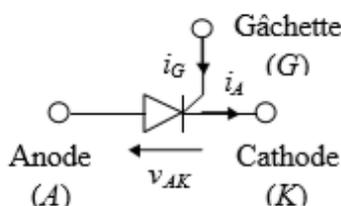


Figure I.3 Représentation symbolique d'un thyristor.

I.2.2.1 Principe de fonctionnement

➤ Pour amorcer un thyristor

Il faut :

- Que la tension V_{AK} soit positive ;
- Que le courant I_G soit suffisant et maintenu jusqu'à ce que le courant I_A est dépassé une valeur I_L appelée courant d'accrochage.

➤ Pour bloquer un thyristor

- Il faut annuler le courant I_A . Le désamorçages a lieu au moment ou I_A devient inférieur à une valeur I_H appelée courant de maintien.[2]

I.2.2.2 Caractéristiques statique d'un thyristor

Le thyristor possède les caractéristiques principales suivantes

➤ à l'état passant :

- une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne,
- un courant maximum permanent admissible (ordre de grandeur, jusqu'à 5 000 A RMS pour les composants les plus puissants).

➤ à l'état bloqué :

- une tension inverse et directe maximale admissible, (pouvant dépasser 5 000 V crête). En général les tensions directes et inverses sont identiques.
- un temps de recouvrement qui est le temps minimal pendant lequel une tension anode cathode positive ne peut être appliquée au composant sous peine de le voir se réamorcer spontanément.
- un courant de gâchette permettant l'allumage du composant.[3]

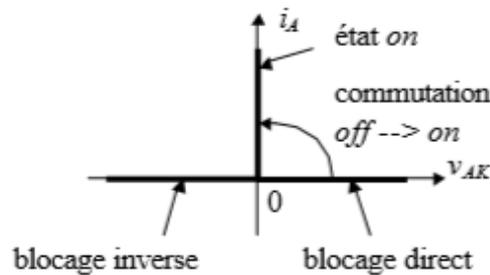


Figure I.4 Caractéristique d'un thyristor.

I.2.3 Thyristor GTO

Le GTO est thyristor blocable; c'est un interrupteur unidirectionnel.

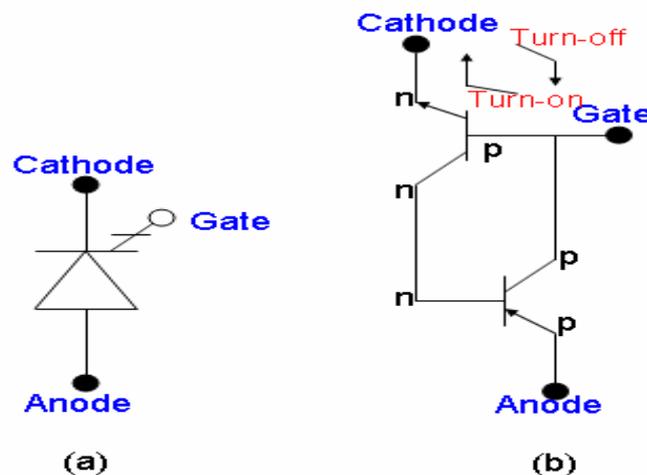


Figure I.5 Représentation symbolique d'un thyristor GTO.

I.2.3.1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement est comparable à celui d'un thyristor, sauf que, grâce à quelques détails de construction interne, la gâchette permet d'amorcer mais aussi de bloquer le GTO.

➤ Pour amorcer un GTO

- Le courant de gâchette doit être positif.

➤ Pour bloquer un GTO

- On applique une tension négative entre la gâchette et la cathode.[2]

I.2.3.2 Caractéristique statique d'un thyristor GTO

Le thyristor GTO possède les caractéristiques principales suivantes :

➤ à l'état passant

- une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne,
- un courant de maintien destiné à réduire la chute de tension directe,
- un courant maximum permanent admissible,
- un courant de blocage pour provoquer l'interruption du courant ;

➤ à l'état bloqué

- des tensions inverse et directe maximales admissibles, souvent dissymétriques comme avec les thyristors rapides et pour les mêmes raisons,
- un temps de recouvrement qui est le temps minimal pendant lequel le courant d'extinction doit être maintenu sous peine de le voir se réamorcer spontanément,
- un courant de gâchette permettant l'allumage du composant.

Les GTO peuvent fonctionner à des fréquences de quelques kilo Hertz.[3]

I.2.4 transistor bipolaire

C'est un semi-conducteur bipolaire contrôlé constitué de trois régions alternées P-N-P ou N-P-N. Il ne laisse passer le courant que dans un seul sens : de l'émetteur vers le collecteur en technologie P-N-P, du collecteur vers l'émetteur en technologie N-P-N.[3]

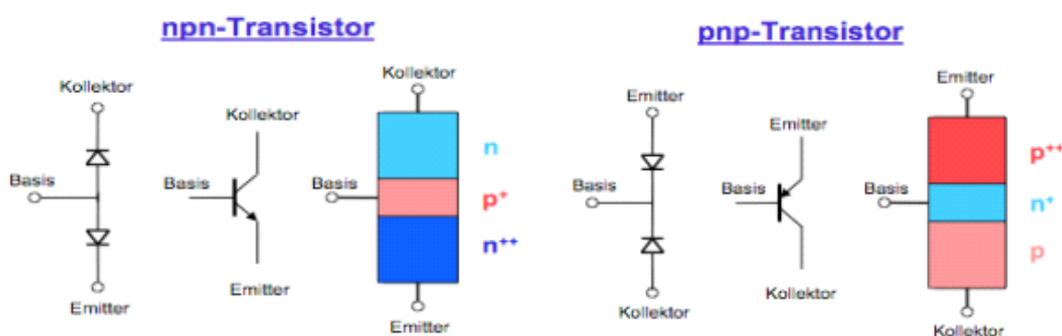


Figure. I.6 : Représentation symbolique d'un transistor bipolaire.

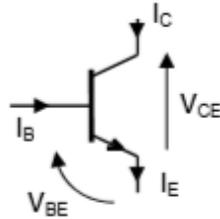


Figure. I.7 : Représentation symbolique d'un transistor bipolaire.

I.2.4.1 Caractéristiques du transistor bipolaire

Le transistor bipolaire possède les caractéristiques principales suivantes :

➤ **l'état passant**

- une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne,
- un courant maximum permanent admissible,
- un gain en courant (pour maintenir le transistor saturé, le courant injecté dans la base doit être supérieur au courant qui circule dans le composant, divisé par le gain),

➤ **l'état bloqué**

- une tension directe maximale admissible,

Les transistors de puissance utilisés en variation de vitesse peuvent fonctionner à des fréquences de quelques kilohertz.[3]

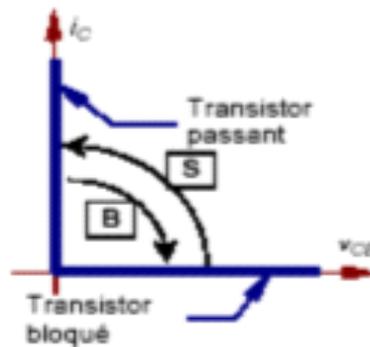


Figure I.8 : Caractéristique d'un transistor bipolaire

I.2.5 Le Transistor MOSFET

Le transistor MOS de puissance est un transistor à effet de champ en technologie MOS. Soit, schématiquement, une résistance variable commandée par une tension, d'où l'absence d'effet redresseur lorsqu'il conduit. Comparé au bipolaire le mosfet présente de nombreux

avantages : impédance d'entrée qui autorise une commande sans fournir ni courant, ni puissance; vitesse de commutation dix fois plus, il fonctionne à 250 kHz sans difficulté. Les équipements sont moins lourds, donc moins encombrants. Au chapitre inconvénient le mosfet présente des tensions de déchet plus fortes et il utilise plus de silicium que le transistor bipolaire.

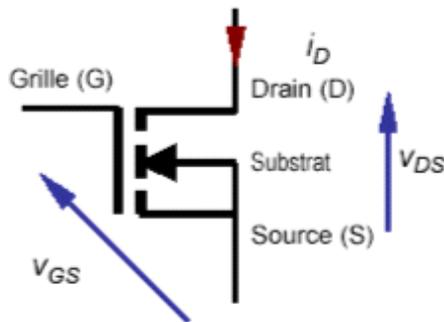


Figure. I.9 : Représentation symbolique d'un transistor MOSFET

I.2.5.1 Principe de fonctionnement

Transistor ouvert (O) : état obtenu en annulant la tension V_{GS} de commande, procurant une impédance drain source très élevée, ce qui annule le courant de drain I_D . La tension V_{DS} est fixée par le circuit extérieur. L'équivalent est un commutateur ouvert.

Transistor saturé (F) : une tension V_{GS} positive rend R_{DS} très faible et permet au courant I_D de croître. L'équivalent est un commutateur fermé.

I.2.5.2 Caractéristiques du transistor MOSFET

Le transistor MOS possède les caractéristiques principales suivantes :

- une tension de commande permettant la mise en conduction et le blocage du composant ;
- **l'état passant**
 - une résistance interne,
 - un courant maximum permanent admissible ;
- **à l'état bloqué**
 - une tension directe maximale admissible (pouvant dépasser 1000v).[3]

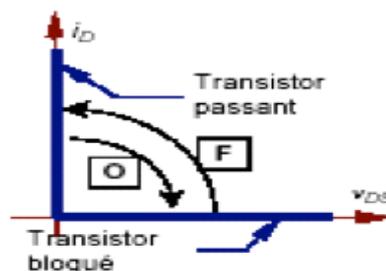


Figure I.10 : Caractéristique d'un thyristor.

I.2.6 Transistor IGBT

Le transistor IGBT est un interrupteur électronique unidirectionnel ; il est surtout utilisé en électronique de puissance. Il est constitué d'un transistor bipolaire T2 et d'un transistor à effet de champ(MOSFET) T1.[2]

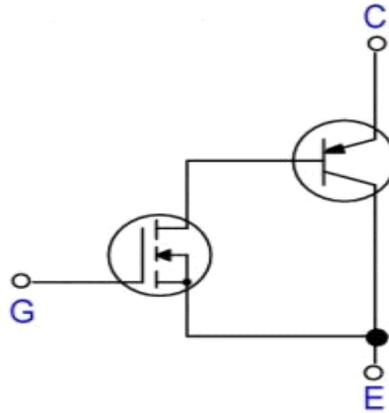


Figure. I.11 : Représentation symbolique d'un transistor IGBT

I.2.6.1 Principe de fonctionnement

La mise en conduction du transistor T1 permet au courant de base de T2 de circuler ; le transistor T2 devient alors conducteur. le blocage de T1 entraîne le blocage de T2, le courant I s'annule. L'ensemble se comporte comme un interrupteur électronique dont le courant de commande est nul.

Le transistor IGBT est surtout utilisé dans les cas de commandes à moyenne et forte puissance.[2]

I.2.6.2 Caractéristiques du transistor IGBT

Le transistor IGBT possède les caractéristiques principales suivantes :

- une tension de commande permettant la mise en conduction et le blocage du composant ;
- **à l'état passant**
 - une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne,
 - un courant maximum permanent admissible.
- **à l'état bloqué**
 - une tension directe maximale admissible.

Les transistors IGBT utilisés en variation de vitesse peuvent fonctionner à des fréquences de quelques dizaines de kilo Hertz.[3]

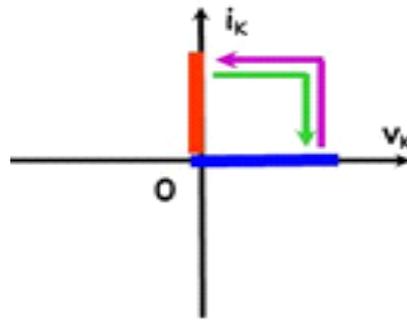


Figure I.12 : Caractéristique d'un transistor IGBT

I.3 Redresseurs commandés

I.3.1 Redresseurs monophasés commandés

➤ Redresseur monophasé simple alternance charge R

Le retard à l'amorçage est imposé par un générateur de commande. Dès que le thyristor est amorcé, il se comporte comme une diode. Notons α le retard à l'amorçage du thyristor.

Le thyristor est passant à partir de $\omega t = \alpha$ et jusqu'à ce que le courant qui le traverse s'annule pour $t=T/2$ (à partir de cet instant, le thyristor est bloqué). Pour que le thyristor ne soit pas bloqué en permanence, il faut donc $\alpha < \pi$.

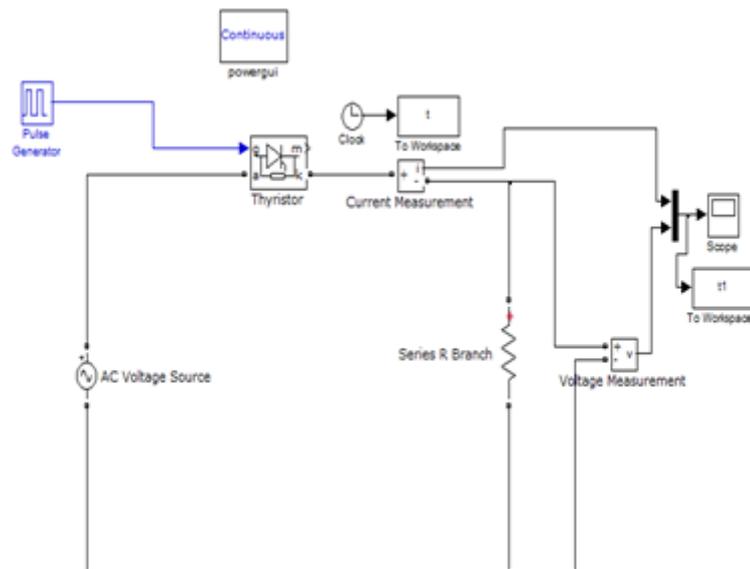


Figure I.13 : Redresseur simple alternance commandé charge R.

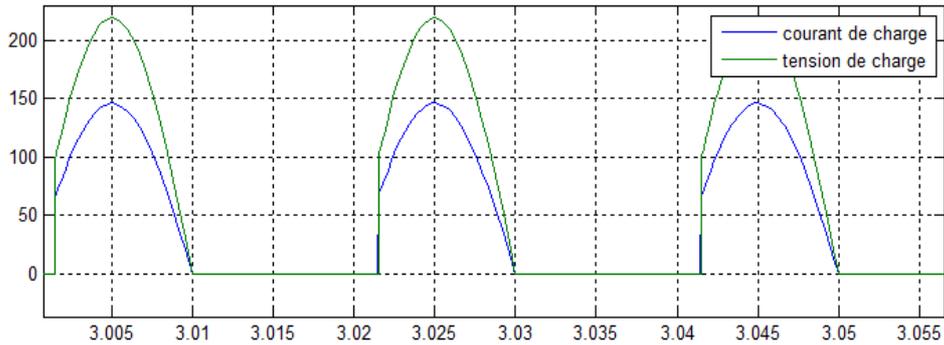


Figure I.14 : Allures de tension et de courant.

➤ Redresseur monophasé simple alternance charge RL

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

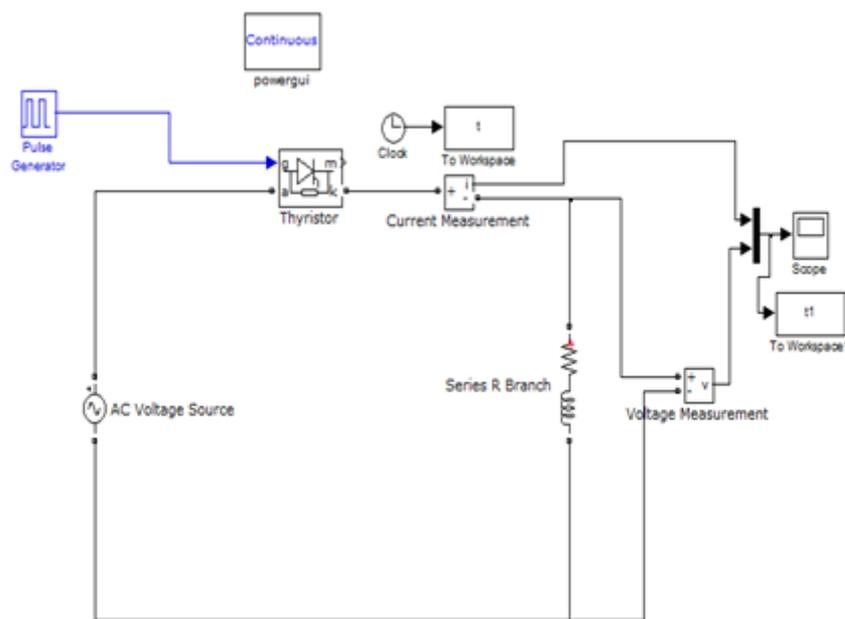


Figure I.15: Redresseur simple alternance totalement commandé.

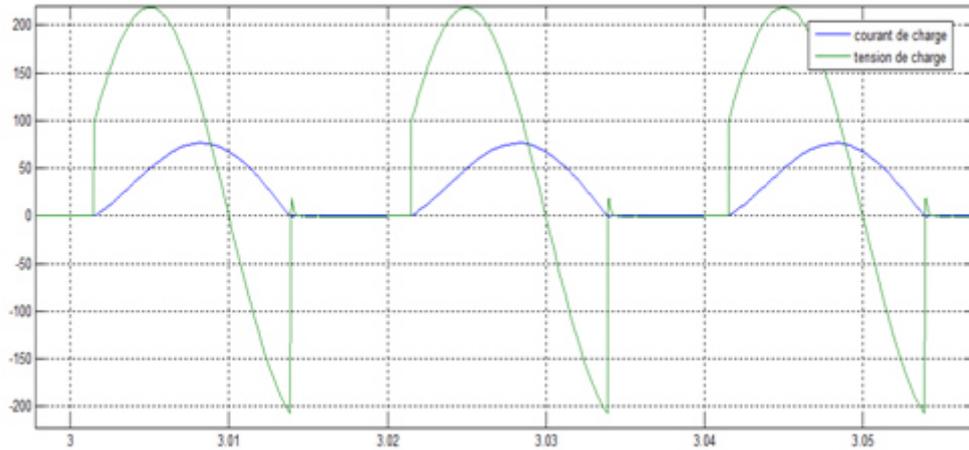


Figure I.16: Allures de tension et de courant.

➤ Redresseur monophasé double alternance charge RL

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 T4 simultanément ainsi T3 et T2 dans l'alternance suivante. Pour que l'amorçage soit simultané, un même circuit amorce deux thyristors.

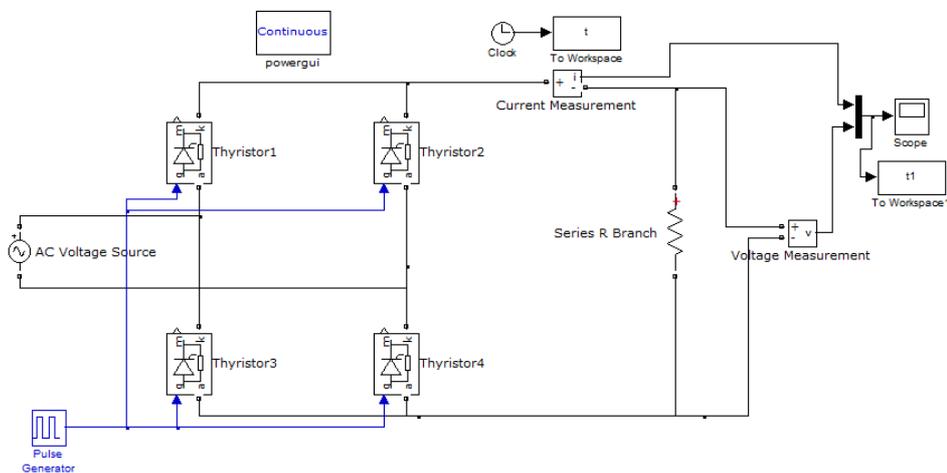


Figure I.17 : Redresseur double alternance commandé charge RL.

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

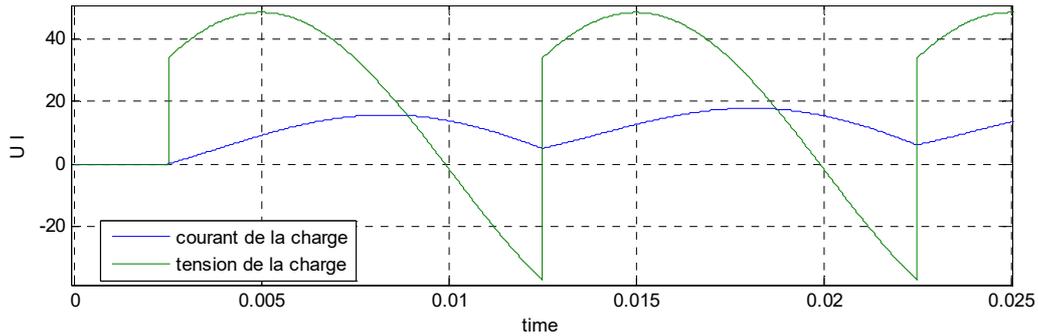


Figure I.18: Allures de tension et de courant.

➤ Redresseur monophasé double alternance semi-commandé

Deux thyristors et deux diodes permettent de commander la tension redressée moyenne (le circuit de principe est donné dans la Figure I.19). 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.[7]

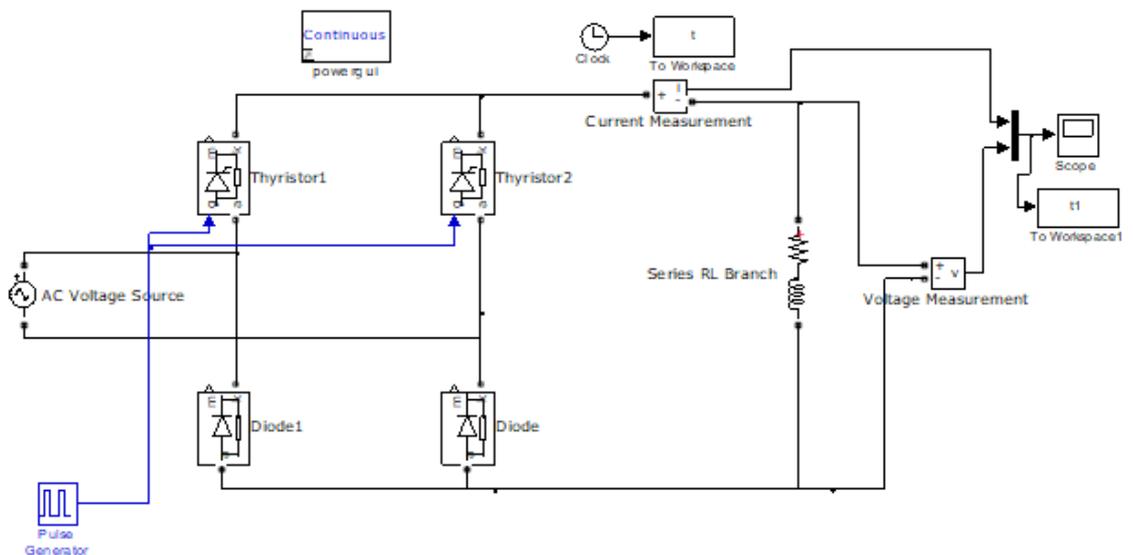


Figure I.19 : Redresseur monophasé double alternance semi commandé.

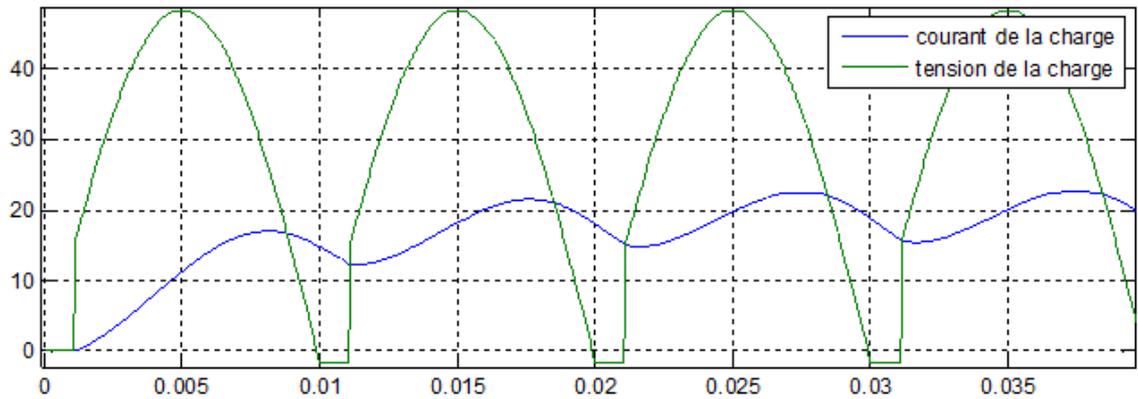


Figure I.20: Allures de tension et de courant.

I.3.2 Les redresseurs triphasés commandés

➤ redresseur triphasé simple alternance charge RL

Les thyristors sont amorcés avec un retard d'angle α , les impulsions sont donc envoyées sur les gâchettes des thyristors respectivement aux angles suivants [6]

- pour T1 : $\omega t = (\pi/6 + \alpha) + 2k\pi$
- pour T2 : $\omega t = (5\pi/6 + \alpha) + 2k\pi$
- pour T3 : $\omega t = (3\pi/2 + \alpha) + 2k\pi$

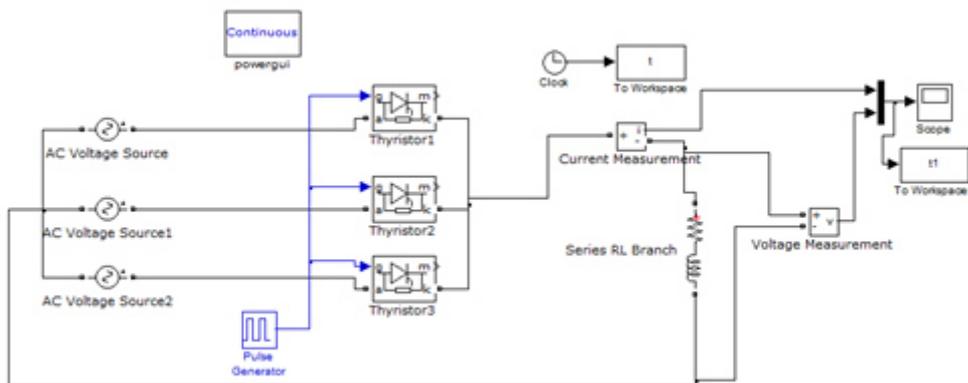


Figure I.21 : redresseur triphasé simple alternance charge RL.

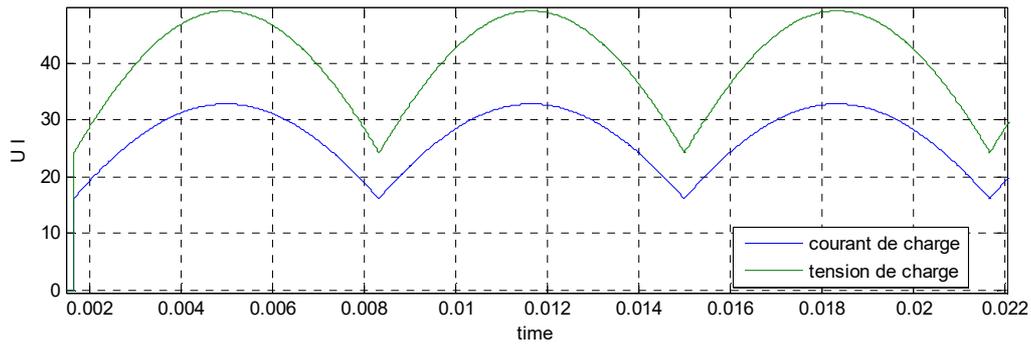


Figure I.22: Allures de tension et de courant.

➤ Redresseur triphasé double alternance charge RL

Le pont PD3 à 6 thyristors est alimenté par une source triphasée sinusoïdale équilibrée. Les thyristors fonctionnent avec un retard à l'amorçage d'angle α . Il y a en permanence un et un seul thyristor conducteur parmi T1, T2 et T3 d'une part, et un seul parmi T4, T5 et T6 redresseur triphasé double alternance charge RL : [6]

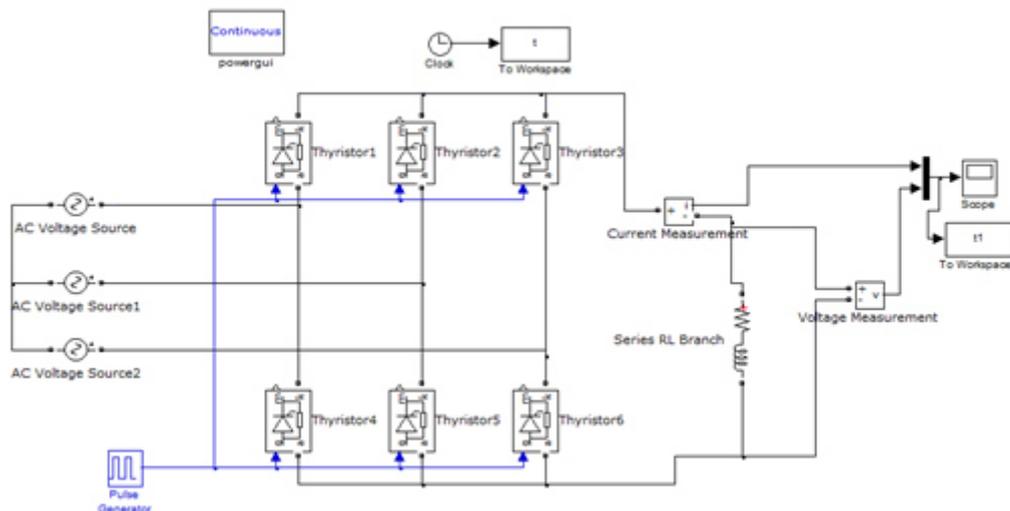


Figure I.23 : redresseur triphasé en pont charge RL.

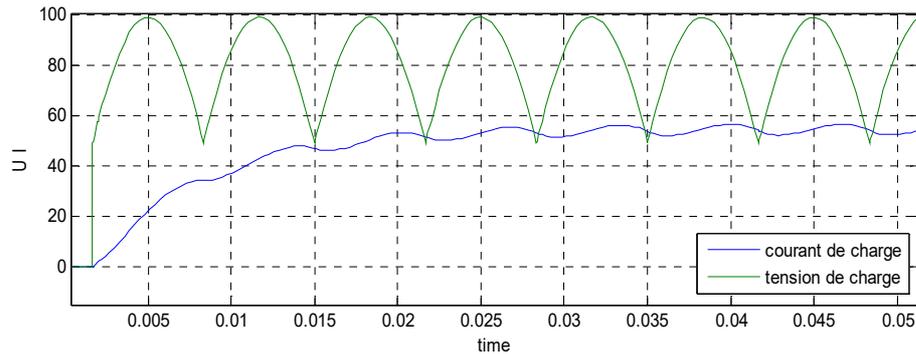


Figure I.24 : Allures de tension et de courant.

I.4 Redresseurs à MLI

Contrairement aux redresseurs classiques, les redresseurs MLI sont réalisés à l'aide de semi-conducteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture grâce à la boucle de contrôle figure I.25. La possibilité de commande à l'ouverture permet un contrôle total du convertisseur, parce que, les interrupteurs peuvent être commutés, selon les besoins, aussi bien à la fermeture qu'à l'ouverture avec une fréquence assez élevée. Il y a deux manières de mettre en application des redresseurs MLI ; comme redresseur à source de courant, et redresseur à source de tension.[4]

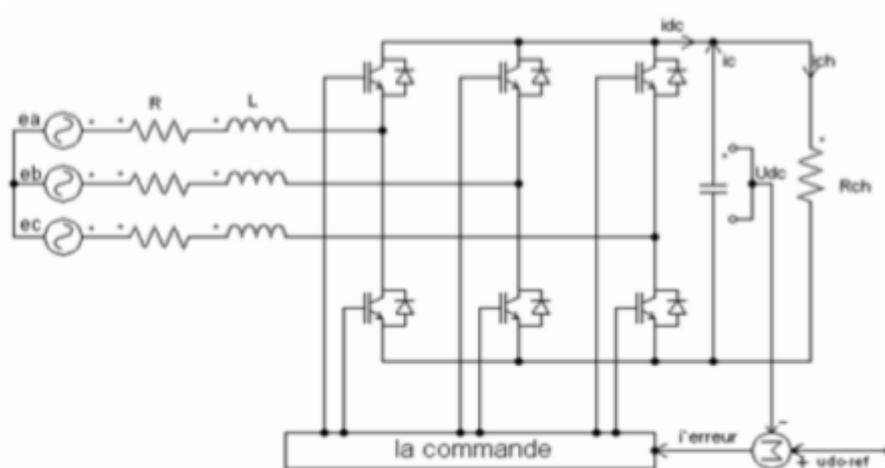


Figure I.25 : Topologie de base d'un redresseur de tension

I.4.1 Structure générale du redresseur à MLI

La réversibilité en courant de l'onduleur de tension autorise son fonctionnement en redresseur à MLI. La structure de ce dernier associé à un filtre L d'entrée, illustrée sur la figure I.26, est alors celle de l'onduleur de tension où le côté continu, constitué par un condensateur, est équivalent à une source de tension. Afin de respecter les règles d'interconnexion des sources, l'entrée est une source de courant car ce convertisseur n'est

constitué que d'interrupteurs semi conducteurs. De plus, la présence des inductances de couplage est indispensable pour assurer le contrôle des courants absorbés par le redresseur.

En effet, quel que soit la technique utilisée pour générer les ordres de commande (S_a , S_b et S_c), le redresseur peut imposer, de manière indirecte, la forme du courant dans ces inductances en contrôlant les tensions $V_a(t)$, $V_b(t)$ et $V_c(t)$ mesurées par rapport au neutre du réseau.

En d'autres termes, la variation du courant prélevé définie par di/dt , en considérant la résistance série interne "r" négligeable, est imposée par la tension appliquée aux bornes des inductances qui est la différence entre la tension réseau et celle à l'entrée du redresseur comme le montre la figure I.26. Les inductances se comportent aussi comme un filtre passe bas et limitent l'ondulation du courant à la fréquence de commutation. [4]

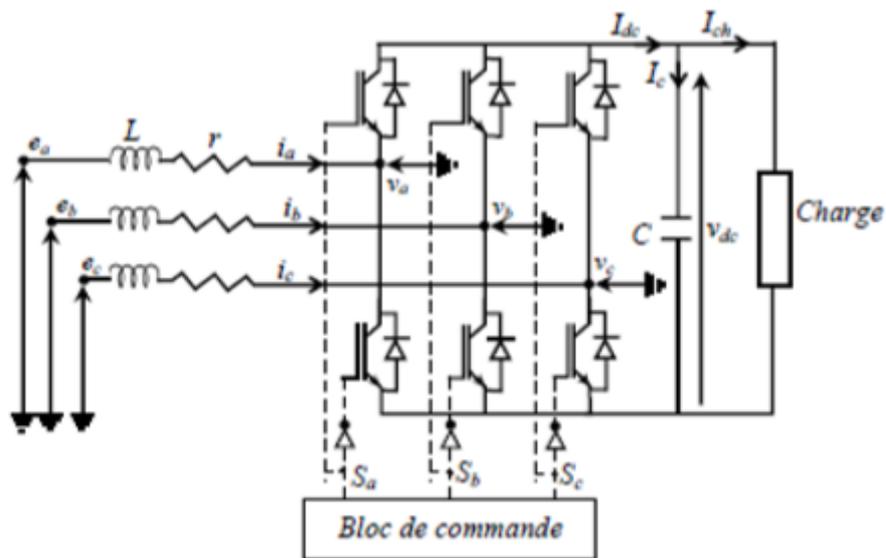


Figure I.26 : Redresseur à MLI triphasé de structure tension.

I.4.2 Principe de fonctionnement en redresseur MLI

La réversibilité en courant de l'onduleur MLI de tension autorise son fonctionnement en redresseur MLI de courant. Il s'agit alors d'alimenter une charge (passive ou active) en continu à partir d'un réseau alternatif, le courant prélevé sur ce réseau étant sinusoïdale et éventuellement, en phase avec la tension. On peut donc, avec un redresseur MLI, obtenir un facteur de puissance très proche de l'unité. On peut aussi régler, par le contrôle l'énergie réactive absorbée ou fournie. Toutefois, ce redresseur peut être à structure courant ou à structure tension.[5]

I.4.3 Redresseur à MLI de courant

La topologie du redresseur à MLI de courant est illustrée sur la figure I.27. Il assure la conversion d'énergie entre une source de tension alternative et un récepteur de courant continu. Les interrupteurs sont unidirectionnels en courant mais bidirectionnels en tension.

L'utilisation des techniques MLI conduit à un courant coté alternatif ayant une pollution harmonique contrôlée. Cette structure est souvent dotée d'un filtre de second ordre LC du côté Alternatif. [5]

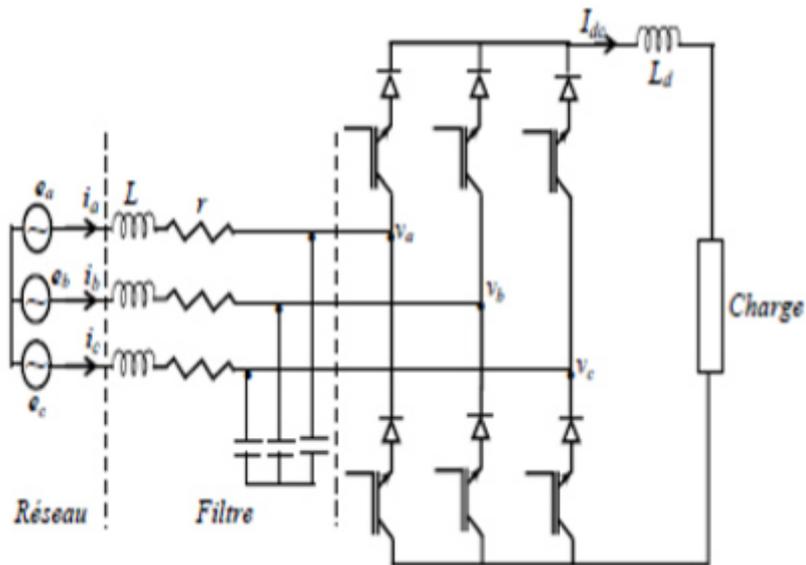


Figure I.27 : Topologie d'un redresseur à MLI triphasé de courant

I.4.4 Redresseur à MLI de tension

Le redresseur à MLI de tension est basé sur une structure d'ondeur de tension représenté sur la figure I.28. Chaque interrupteur est constitué d'un composant semi-conducteur de puissance bicommandable et d'une diode en antiparallèle. Cet interrupteur est unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant.

Ainsi, ce convertisseur, de part sa structure, est réversible en courant. Il peut donc contrôler de façon instantanée la forme d'onde des courants prélevés sur le réseau. Il alimente alors une charge (active ou passive) en continu à partir d'un réseau alternatif, le courant absorbé étant sinusoïdal et éventuellement en phase avec la tension réseau correspondante.

Ce redresseur à MLI permet d'atteindre un facteur de puissance très proche de l'unité et régler, via la commande, la direction du flux de l'énergie réactive : absorbée ou fournie.[5]

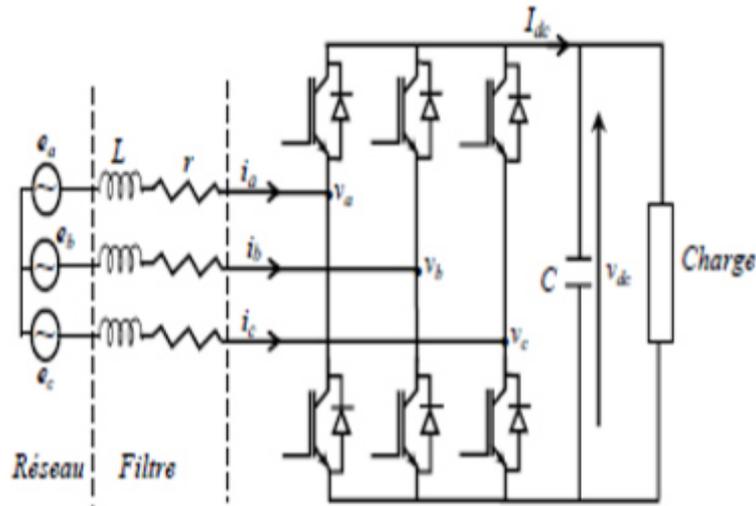


Figure I.28 : Topologie d'un redresseur à MLI triphasé de tension

I.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré aux principales généralités sur les semi-conducteurs de puissance. Une classification des principaux convertisseurs de puissance a été donnée. Enfin, des simulations par le logiciel Matlab ont été illustrées qui représente les montages dédiés aux convertisseurs alternatif-continu les plus utilisés en ' électronique de puissance.

Dans le chapitre qui se suit, on va présenter des aspects matériels de notre projet, des différents circuits utilisés.

Chapitre II :

Conception de la commande numérique et de l'interface galvanique

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

II.1 Introduction

L'objectif 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 synchronisés sur le réseau pour le déclenchement des thyristors d'un dispositif redresseur à thyristors.

Nous avons à cet effet privilégié une loi de commande linéaire de type "arc cos". En effet la plupart des convertisseurs alimentés par un réseau à courant alternatif nécessitent des dispositifs de commande synchrones à ce réseau. En particulier, dans les convertisseurs alternatif-continu et alternatif-alternatif, l'élément de puissance est constitué par un ou plusieurs thyristors alimentant une charge à partir du réseau.

Le projet à réaliser consiste donc en un système de commande qui confère au convertisseur statique une transmutante linéaire, c'est-à-dire le cas où la valeur de la tension aux bornes de la charge est une fonction linéaire de la tension de contrôle.

Le chapitre présent concerne l'étude et la conception des différents circuits nécessaire à la réalisation de la carte de commande à base du microcontrôleur PIC 16f877 et celle de l'"Interface Amplification/Isolation galvanique".

II.2 Schéma synoptique du projet

Le schéma synoptique de la carte du redresseur est montré sur la figure 1:

Pour le fonctionnement de cette carte il faut :

- prendre l'image de la tension du réseau;
- détecter le passage par zéro de la tension du réseau;
- alimentation de pic ;
- afficher les valeurs des angles de retard à l'amorçage;
- adapter les impulsions (amplification);
- séparer la partie puissance de la partie commande (isolation galvanique).

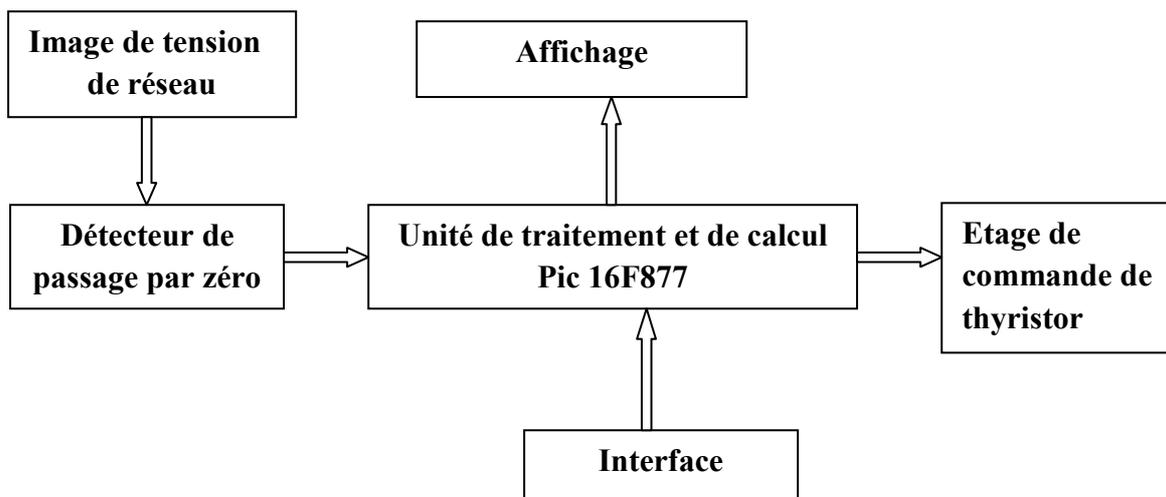


Figure II.1 : Schéma Synoptique de la carte du redresseur

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

II.3 Commande linéaire en "arc cos"

Le but est d'obtenir une tension redressée dont la valeur moyenne U_0 varie linéairement avec la tension de commande U_c ; les tensions alternatives du circuit de puissance étant imposées par le réseau et un transformateur d'entrée éventuellement.

L'intérêt de la commande linéaire est que la fonction de transfert du montage redresseur se réduit en régime permanent à une constante, ce qui facilite la modélisation d'un asservissement et permet de prédéterminer le gain de boucle ; ceci reste vrai si les fluctuations de U_c sont de constante de temps élevée devant la période du secteur. [8]

II.3.1 Principe de la commande en "arc cos"

Nous étudions le cas d'un redresseur simple alternance et de son système de commande.

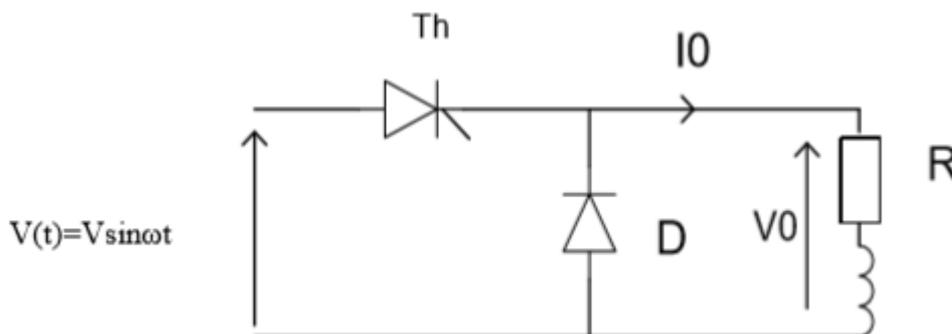


Figure II.2 : redresseur simple alternance commandé

$V_0(t)$ aux bornes de la charge est une fonction linéaire de la tension de contrôle V_C
on suppose que la charge est totalement inductive
le courant I_0 est continu.

Dans la majorité des cas d'asservissement il est souhaitable que les éléments de la chaîne soit linéaire, c'est à dire la valeur de $V_0(t)$ aux bornes de la charge est une fonction linéaire de la tension de contrôle V_C

On suppose que la charge est totalement inductive c'est à dire le débit du courant I_0 est continu $V_0(t)$. [9]

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

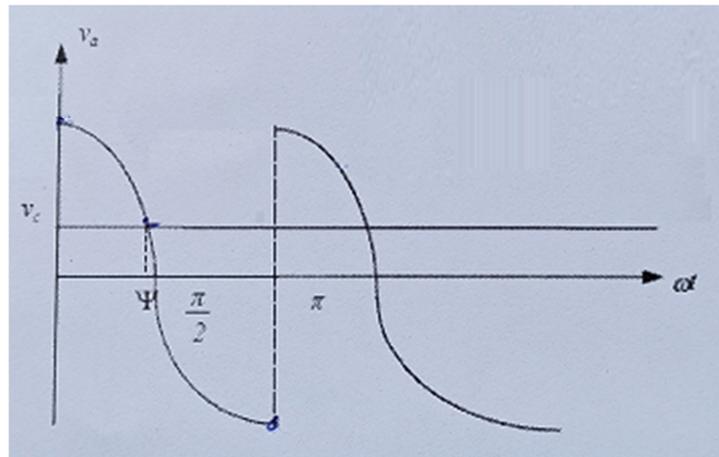


Figure II.3 : Chronogramme de la tension obtenue aux bornes de la charge

Ou β est l'angle de retard à l'amorçage qui est nécessairement borné

$\beta \in [0 ; \pi]$ on obtient $V_0 = (1 + \cos \beta)$

La valeur moyenne de V_0 contient un terme en $\cos \beta$

V_0 il faut que $\cos \beta = K \cdot V_c$

$\beta = \arccos (K \cdot V_0)$

$V_0 = \sqrt{2\pi} (1 + \cos (\arccos (K \cdot V_0))) = \sqrt{2\pi} (1 + K \cdot V_0)$

$KV_0 \in [-1, 1]$

V_0 varie entre 0 et v/π

II.3.2 Synoptique de la commande en "arc cos"

Le schéma synoptique du montage permettant une commande linéaire en "arc cos" est représenté figure II.4.

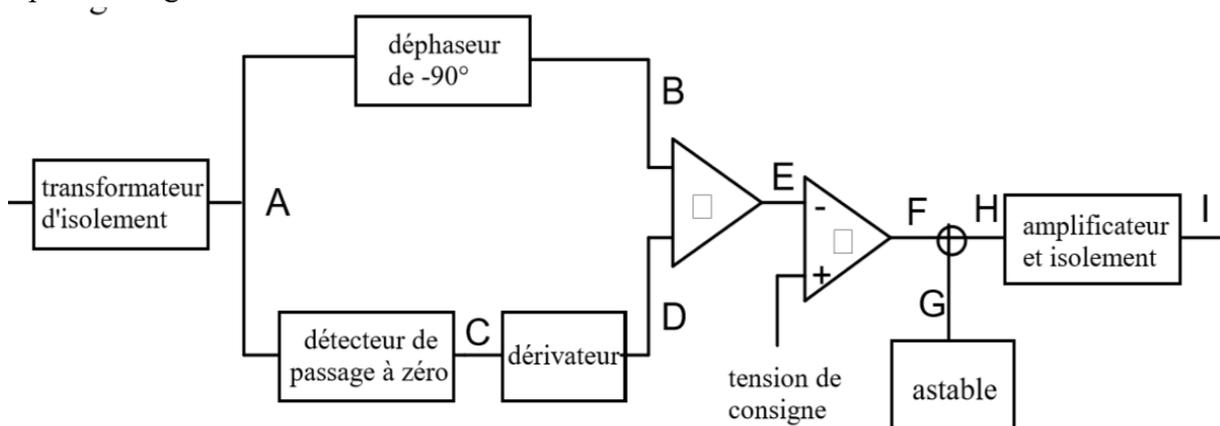


Figure II.4 : Synoptique général de la commande en "arc cos".

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

On distingue tout d'abord un transformateur d'isolement abaisseur qui permet de fournir au circuit électronique une basse tension (A) compatible en phase avec la tension du réseau : $V(t) = \hat{V} \sin \omega t$.

Le circuit déphaseur de $\pi/2$ permet d'obtenir à partir de la tension réseau $a\hat{V} \sin \omega t$, une tension (B) cosinusoidale du type $b\hat{V} \cos \omega t$. Pour des raisons de normalisation de la dynamique de réglage, on choisit $b\hat{V} = 10V$.

Un circuit annexe est destiné à borner la commande de façon à éviter la perte de contrôle du dispositif, lorsque la tension de commande V_c dépasse la valeur $b\hat{V}$. Ce circuit est constitué d'un détecteur de passage à zéro qui transforme la tension sinusoïdale en tension carrée du type $c \operatorname{sgn}(a\hat{V} \sin \omega t)$ et d'un différentiateur adapté (D).

La sortie du différentiateur est ajoutée à la tension $b\hat{V} \cos \omega t$ de manière à borner la somme à une tension (E) inférieure ou égale en module à la tension d'alimentation de l'électronique de commande ($\pm 15 V$).

La cosinusoidale ainsi bornée est comparée à la tension d'entrée V_c donnant ainsi une tension (F) du type $d \operatorname{sgn}(V_c - b\hat{V} \cos \omega t)$ dont le changement de signe est bien situé à un instant β/ω tel que $\beta = \arccos(k.V_c)$.

Le déclenchement d'un thyristor débitant sur charge inductive nécessite la mise en œuvre de train d'impulsions pour diverses raisons :

- Transmission du courant de gâchette par transformateur d'isolement de petite taille.
- Certitude d'un amorçage même sous très faible intensité du circuit de puissance.

On utilise donc un circuit astable à fréquence de sortie f_s déterminée, mélangée à la tension de référence (F), de manière à fournir à l'amplificateur d'isolement un train d'impulsions (H) aux instants de déclenchement convenables.

L'amplificateur d'isolement fournit alors au circuit gâchette -cathode du thyristor de puissance un courant impulsionnel (I).[10]

II.4 Image de la tension réseau et détection du passage par zéro

L'image de la tension du réseau, prélevée par le transformateur d'isolement TR4, sert de référence pour calculer le retard à l'amorçage des thyristors et afin de synchroniser les impulsions générées par le système déclencheur avec la tension du secteur. et l'image du réseau qui est donnée par le transformateur va être appliquée aux bornes de l'AOP qui fonctionne en boucle fermée, on sortit il donne une tension de $+V_{cc}$.

La figure II.5 représente le circuit détecteur de passage par zéro.

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

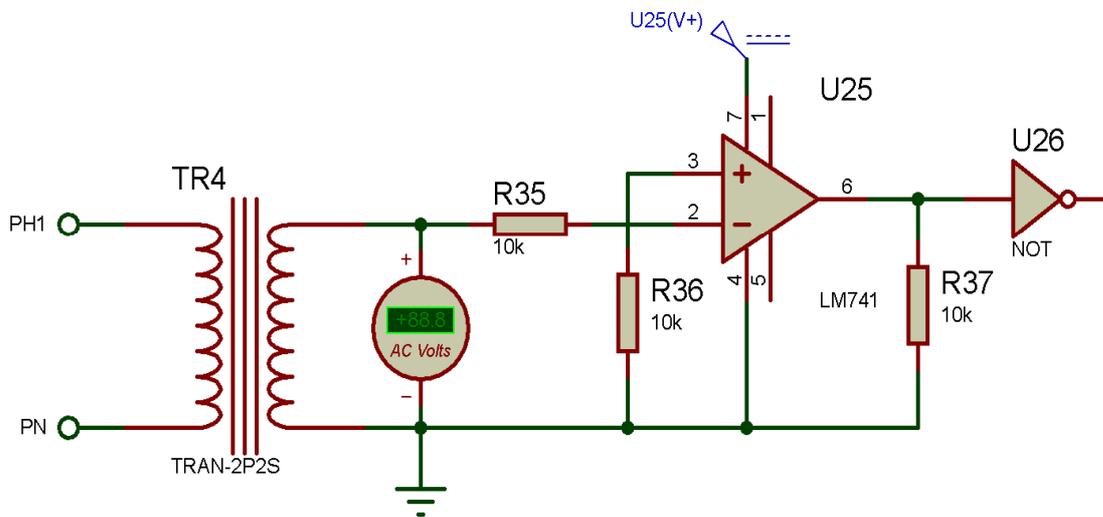


Figure II.5 : Circuit détecteur de passage par zéro.

II.5 Amplification et isolation galvanique

II.5.1 Buffer

Le buffer est un convertisseur CMOS/TTL de bus conçu pour adapter un signal logique à un étage suivant du circuit en effectuant une mise en forme électrique. Ceci améliore l'immunité au bruit et sauvegarde l'intégrité du signal logique d'entrée et permet aussi de conserver les données que deux étages du circuit ne traitent pas au même rythme (rôle de mémoire tampon). Le CD4503BMS est un buffer hexadécimal non inverseur à 3 états sorties ayant une capacité élevée de courant absorbée et de source. Deux commandes de désactivation sont fournies, dont l'une commande quatre tampons et l'autre contrôle les deux tampons restants.[11]

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

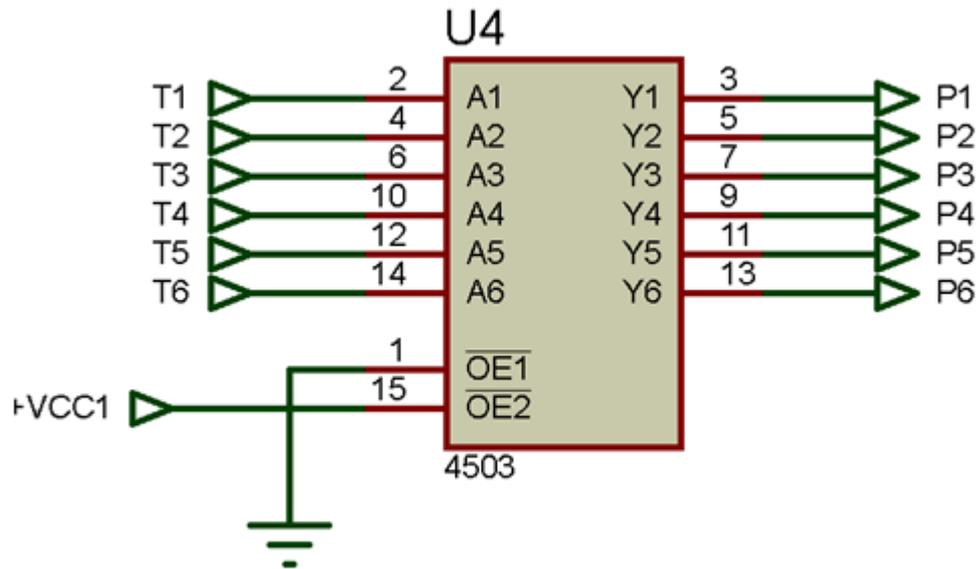


Figure II.6: Schéma d'un buffer

II.5.2 Opto-coupleur

Il contribue à la bonne isolation entre l'axe de puissance et celui de commande, il assure une grande isolation opto électrique entre les deux parties, donc une protection est offerte pour la partie analogique et aussi au PIC et ses périphériques, il intervient également pour amplifier le signal qui vient de l'organe de commande.

L'opto-coupleur NPN est l'opto-coupleur utilisé dans notre carte d'interface, il offre une isolation de 1500V, il a deux parties, une pour la puissance d'une tension d'alimentation de 15V à 30V, l'autre de commande d'amplitude de 5V, réalisée par des alimentations stabilisées de 15V et 5V.[12]

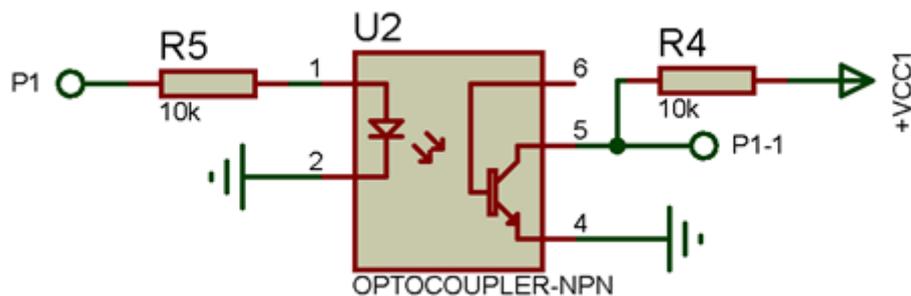


Figure II.7: Opto-coupleur

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

II.5.3 Driver

Il vient après l'opto-coupleur un circuit intégré (IR2112 de international rectifier) prévu pour le pilotage des thyristor monte sur le même bras d'un pont, qui permet en premier lieu d'amplifier le signal une seconde fois avant d'être appliqué aux thyristor, en seconde lieu de créer une masse flottante dans un bras pour faire face à une charge déséquilibrée, de plus le fait que ce driver peut créer lui-même les temps morts pour chaque bras afin d'éviter un court-circuit.[12]

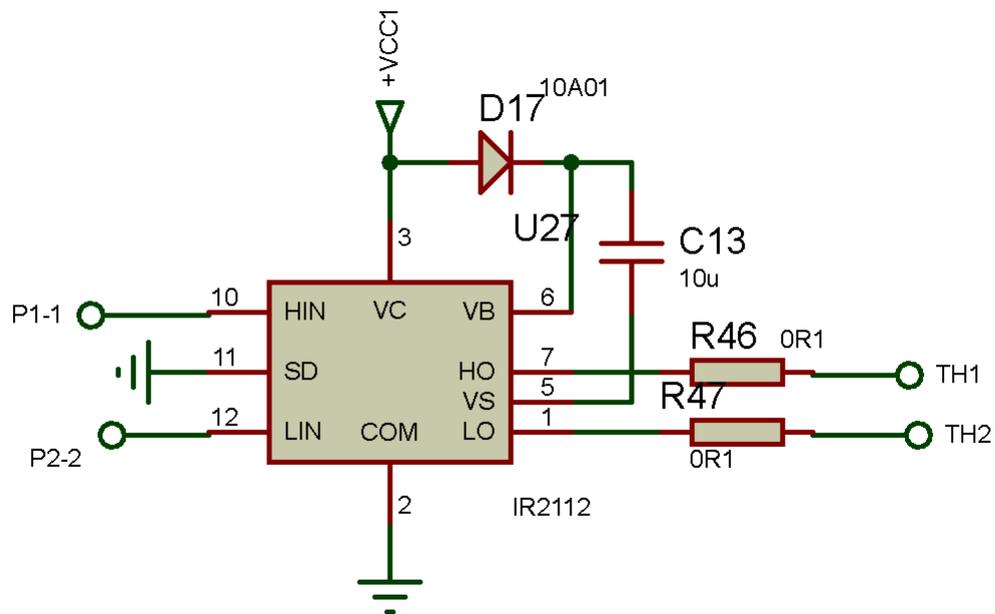


Figure II.8: Driver IR2112

II.6 Afficheur LCD

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité.

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro-éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA).

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

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 y afficher les valeurs de différentes variables.[13]



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

➤ Principe de fonctionnement d'un afficheur LCD

• Schéma fonctionnel : [13]

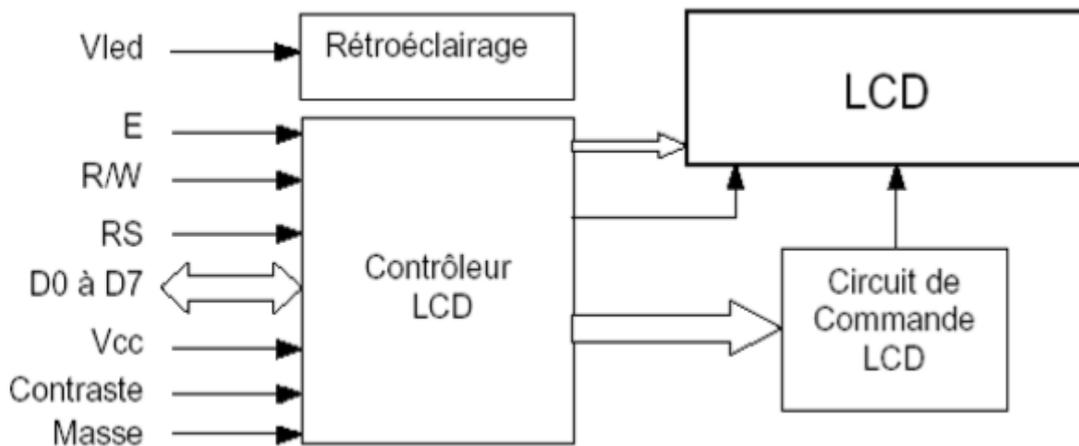


Figure II.10 : Schéma fonctionnel d'un afficheur LCD

• Rôle des différentes broches de l'afficheur LCD

VCC, Masse : alimentation de l'afficheur LCD. Un afficheur LCD s'alimente en **0V5V**.

Contraste : entrée permettant de régler le contraste de l'afficheur LCD. Il faut appliquer une tension continue réglable (entre **0V** et **5V**) à l'aide d'un potentiomètre.

Vled : différence de potentiel permettant de commander le rétro éclairage.

E : entrée de validation (**ENABLE**), elle permet de valider les données sur un **front descendant**. Lorsque $E=0$ alors le bus de données est à l'état haute impédance.

RS : Register Select cette entrée permet d'indiquer à l'afficheur si l'on souhaite réaliser une commande ($RS=0$) par des instructions spécifiques ou écrire une donnée (envoi du code du caractère à afficher) sur le bus ($RS=1$).

R/W : entrée de lecture ($R/W=1$) et d'écriture ($R/W=0$). Lorsqu'on commande l'afficheur LCD il faut se placer en écriture.

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

D7...D0 : bus de données bidirectionnels, il permet de transférer les instructions ou les données à l'afficheur LCD.[14]

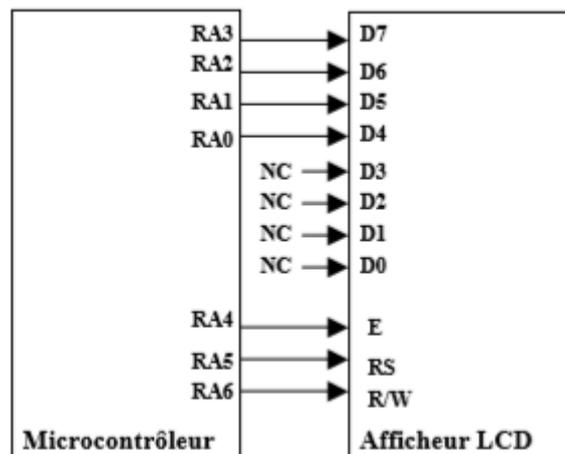
- **Mise en œuvre matérielle d'un afficheur LCD**

Un afficheur LCD sera commandé par un microcontrôleur. Il faut donc penser aux mises en œuvre :

- **matérielle** : connexion des broches du microcontrôleur à l'afficheur LCD,
- **logicielle** : utilisation de sous programmes permettant de commander l'afficheur LCD (initialisation, effacement de l'afficheur, affichage d'un caractère, affichage d'une variable,...).

En fonction du mode de commande choisis de l'afficheur LCD la mise en œuvre matérielle sera différente. Il existe deux modes de commande d'un afficheur LCD :[13]

- commande en 4 bits,
 - commande en 8 bits.
- **Mise en œuvre matérielle pour la commande en 4 bits :**

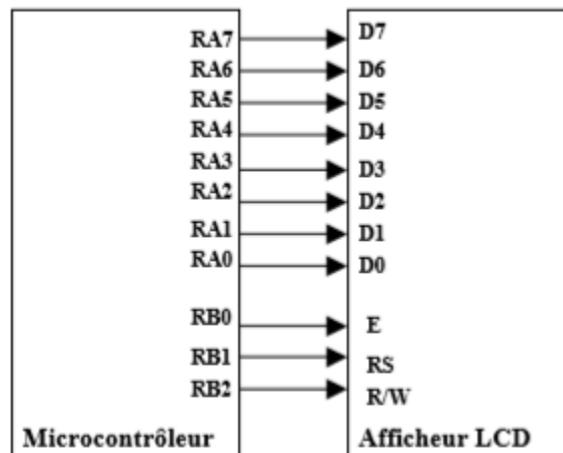


En mode de commande 4 bits l'intérêt est de limiter le nombre de broches du microcontrôleur.

Il faut utiliser 7 broches des ports d'entrées/sorties du microcontrôleur (configurées en sorties) de manière à commander l'afficheur.[14]

- **Mise en œuvre matérielle pour la commande en 8 bits**

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique



En mode de commande 8 bits on utilise plus de broches du microcontrôleur. Il faut utiliser 11 broches des ports d'entrées/sorties du microcontrôleur (configurées en sorties) de manière à commander l'afficheur.[14]

• Commande d'un afficheur LCD

Deux modes de fonctionnement de l'afficheur sont disponibles, le mode 4 bits et le mode 8 bits

○ Mode 8 bits

Dans ce mode 8 bits, les données sont envoyées à l'afficheur sur les broches D0 à D7. On place la ligne RS à 0 ou à 1 selon que l'on désire transmettre une commande ou une donnée. Il faut aussi placer la ligne R/W à 0 pour indiquer à l'afficheur que l'on désire effectuer une écriture. Il reste à envoyer une impulsion d'au moins 450 ns sur l'entrée E, pour indiquer que des données valides sont présentes sur les broches D0 à D7. L'afficheur lira la donnée sur le front descendant de cette entrée.

Si on désire au contraire effectuer une lecture, la procédure est identique, mais on place cette fois la ligne R/W à 1 pour demander une lecture. Les données seront valide sur les lignes D0 à D7 lors de l'état haut de la ligne E. [13]

○ Mode 4 bits

Il peut, dans certains cas, être nécessaire de diminuer le nombre de fils utilisés pour commander l'afficheur, comme, par exemple lorsqu'on dispose de très peu de broches d'entrées sorties disponibles sur un microcontrôleur. Dans ce cas, on peut utiliser le mode quatre bits de l'afficheur LCD. Dans ce mode, seuls les 4 bits de poids fort (D4 à D7) de l'afficheur sont utilisées pour transmettre les données et les lire. Les 4 bits de poids faible (D0 à D3) sont alors connectés à la masse. On a donc besoin, hors alimentation de sept fils pour commander l'afficheur. Les données sont alors écrites ou lues en envoyant séquentiellement les quatres bits de poids fort suivi des quatres bits de poids faible. Une impulsion positive d'au moins 450 ns doit être envoyée sur la ligne E pour valider chaque demi-octet ou nibble.

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

Dans les deux modes, on peut, après chaque action sur l'afficheur, vérifier que celui-ci est en mesure de traiter l'information suivante. Pour cela, il faut demander une lecture en mode commande, et tester le flag Busy BF. Lorsque BF=0, l'afficheur est prêt à recevoir une nouvelle commande ou donnée.

Il se peut qu'on dispose encore de moins de broches disponibles dans l'application envisagée. Dans ce cas, on peut alors relier la ligne R/W à la masse de façon à forcer l'afficheur en écriture. On a alors besoin, hors alimentation de seulement six fils en mode 4 bits, et dix fils en mode 8 bits, pour commander l'afficheur, mais on ne peut alors plus relire l'afficheur. Ceci n'est pas gênant dans la mesure où on sait ce qu'on a écrit sur l'afficheur, mais on ne peut alors plus relire le flag Busy. Il faut alors utiliser des temporisations après chaque écriture sur l'afficheur. On perd alors un peu en temps d'affichage, mais on gagne une broche d'entrée sortie.[13]

II.7 Alimentations

La grande majorité de l'équipement électrique ont besoin d'une source de courant continu. Le rôle d'une alimentation continu est de fournir la tension et le courant nécessaire au fonctionnement du circuit électronique.

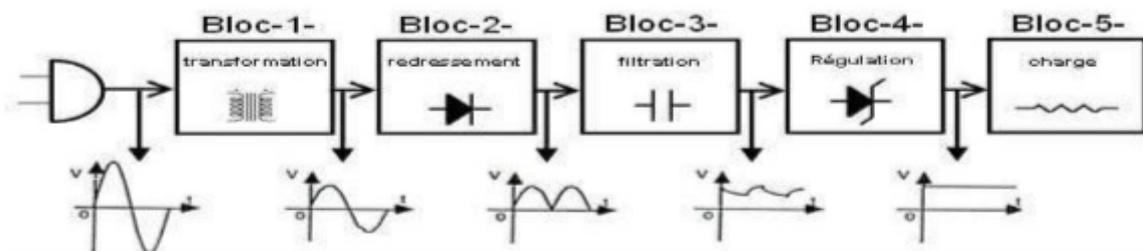


Figure II.11: Synoptique de l'alimentation stabilisée.

Le transformateur fournit une tension de 5v qui est redressée par le pont à diodes et filtrée par le condensateur C1. ensuite cette tension est régulée par un régulateur de tension intégré est un composant à semi-conducteur dont le rôle consiste à stabiliser une tension qui présente une ondulation et à rendre quasi continue sa valeur, ou on a utiliser un régulateurs de tension de sortie positive(7805) pour avoir +5v .

L'alimentation de la carte de commande sera ainsi prise sur la sortie +5 V.

Des condensateurs de filtrage seront ajoutés en entrée et en sortie de régulateur pour éliminer les bruits et les parasites.

Chapitre II : Conception de la Commande numérique et de l'Interface galvanique

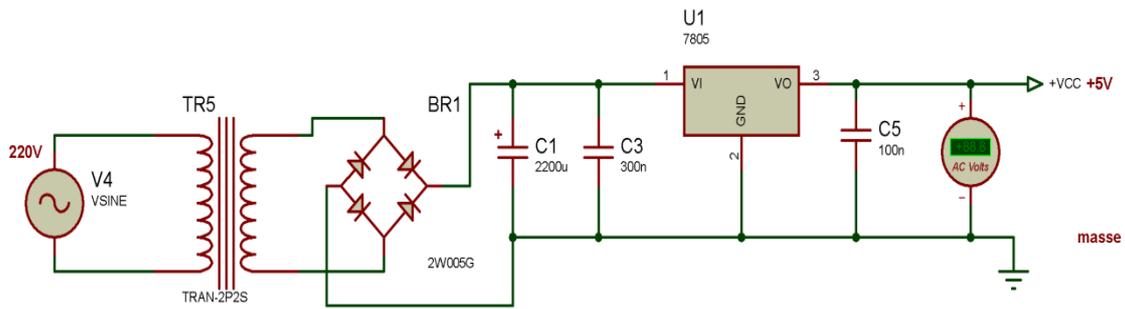


Figure II.12: Montage de l'alimentation proposée

Et en plus une alimentation de 15V qui est présentée dans la figure II.13, pour alimenter le driver et l'opto-coupleur, en outre pour protéger le microcontrôleur.

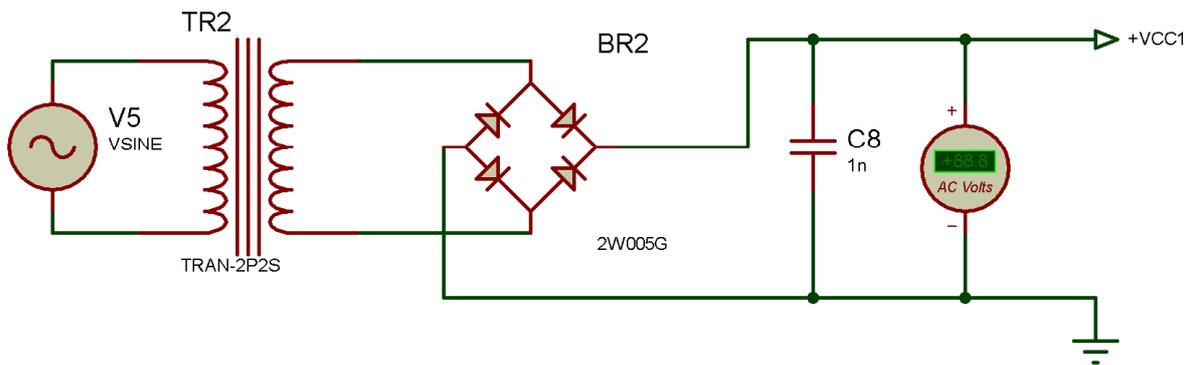


Figure II.13 : montage de l'alimentation.

II.8 Conclusion

Nous avons traité dans ce chapitre l'aspect matériel de notre projet. Aussi les différents circuits utilisés ont été présentés et étudiés. Le prochain chapitre est consacré à la programmation des microcontrôleurs 16f877, et à la simulation des montages redresseurs retenus.

Chapitre III :

**Microcontrôleur pic
16f877 et simulation du
projet par proteus**

Chapitre III : Microcontrôleur PIC 16f877 et simulation du projet par proteus

III.1 Introduction

Ce chapitre présente brièvement l'architecture générale et les caractéristiques du microcontrôleur PIC 16F877 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.

III.2 Microcontrôleur

III.2.1 Qu'est ce qu'un microcontrôleur

C'est un ordinateur monté dans un circuit intégré. Les avancées technologiques en matière d'intégration, ont permis d'implanter sur une puce de silicium de quelques millimètres carrés la totalité des composants qui forment la structure de base d'un ordinateur. Comme tout ordinateur, on peut décomposer la structure interne d'un microprocesseur en trois parties :

- Les mémoires
- Le processeur
- Les périphériques

Les PICs sont des composants RISC (**R**educe **I**nstructions **C**onstruction **S**et), ou encore composant à jeu d'instructions réduit. L'avantage est que plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide en est le décodage, et plus vite le composant fonctionne.

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

- Les 2 premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC, **16** indique un PIC Mid-Range.
- Vient ensuite parfois une lettre **L**, celle-ci indique que le PIC peut fonctionner avec une plage de tension beaucoup plus tolérante.
- Vient en suite une ou deux lettres pour indiquer le type de mémoire programme :
 - C indique que la mémoire programme est une EPROM ou plus rarement une EEPROM.
 - CR pour indiquer une mémoire de type ROM.
 - F pour indiquer une mémoire de type FLASH.
- On trouve ensuite un nombre qui constitue la référence du PIC.

On trouve ensuite un tiret suivi de deux chiffres indiquant la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir.[7]

Chapitre III : Microcontrôleur PIC 16f877 et simulation du projet par proteus

III.2.2 Avantage du microcontrôleur

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts et bien réels. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années. Nous allons voir que le nombre d'entre eux découle du simple sens.

- Tout d'abord, un microcontrôleur intègre dans un seul et même boîtier ce qui, avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé.
- Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresses et de donnée d'un composant à un autre.
- L'augmentation de la fiabilité du système puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimer diminue.
- Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux
 - Moins cher que les autres composants qu'il remplace.
 - Diminuer les coûts de main d'œuvre. [15]

III.3 Microcontrôleur PIC16F877

Le pic 16F877 est un circuit intègre contenu dans un boîtier nommé «DIL 40», il présente 40 broches, 20 de chaque côté. Les broches sont virtuellement numérotées de 1 à 40. La 1ere broche est placé dans le coin situé à gauche de l'encoche de repérage.



Figure III.1 : PIC 16F877

Dans la suite du chapitre, on va présenter la structure interne et externe du PIC 16F877. Les éléments essentiels du PIC 16F877 sont :

III.3.1 Structure interne

➤ Caractéristiques de la CPU :

- CPU à architecture RISC (8 bits)
- Mémoire programme de 8 K mots de 14 bits (Flash),
- Mémoire donnée de 368 Octets,
- EEPROM donnée de 256 Octets,

Chapitre III : Microcontrôleur PIC 16f877 et simulation du projet par proteus

- 14 sources interruptions
- Générateur d'horloge de type RC ou quartz (jusqu'à 20 MHz)
- 05 ports d'entrée sortie
- Fonctionnement en mode sleep pour réduction de la consommation,
- Programmation par mode ICSP (In Circuit Serial Programming) 12V ou 5V,
- Possibilité aux applications utilisateur d'accéder à la mémoire programme

➤ Caractéristiques des périphériques :

- Timer0 : Timer/Compteur 8 bits avec un prédiviseur 8 bits
- Timer1 : Timer/Compteur 16 bits avec une prédivision de 1, 2, 4, ou 8 ; il peut être incrémenté en mode veille (Sleep), via une horloge externe,
- Timer2 : Timer 8 bits avec deux diviseurs (pré et post diviseur)
- Deux modules « Capture, Compare et PWM » :

Module capture 16 bits avec une résolution max. 12,5 ns,
Module Compare 16 bits avec une résolution max. 200 ns,
Module PWM avec une résolution max. 10 bits,

- Convertisseur Analogiques numériques multi-canal (8 voies) avec une conversion sur 10 bits,

Synchronous Serial Port (SSP) SSP, Port série synchrone en mode I2C (mode maître/esclave),

- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART) : Port série universel, mode asynchrone (RS232) et mode synchrone. [16]

Chapitre III : Microcontrôleur PIC 16F877 et simulation du projet par proteus

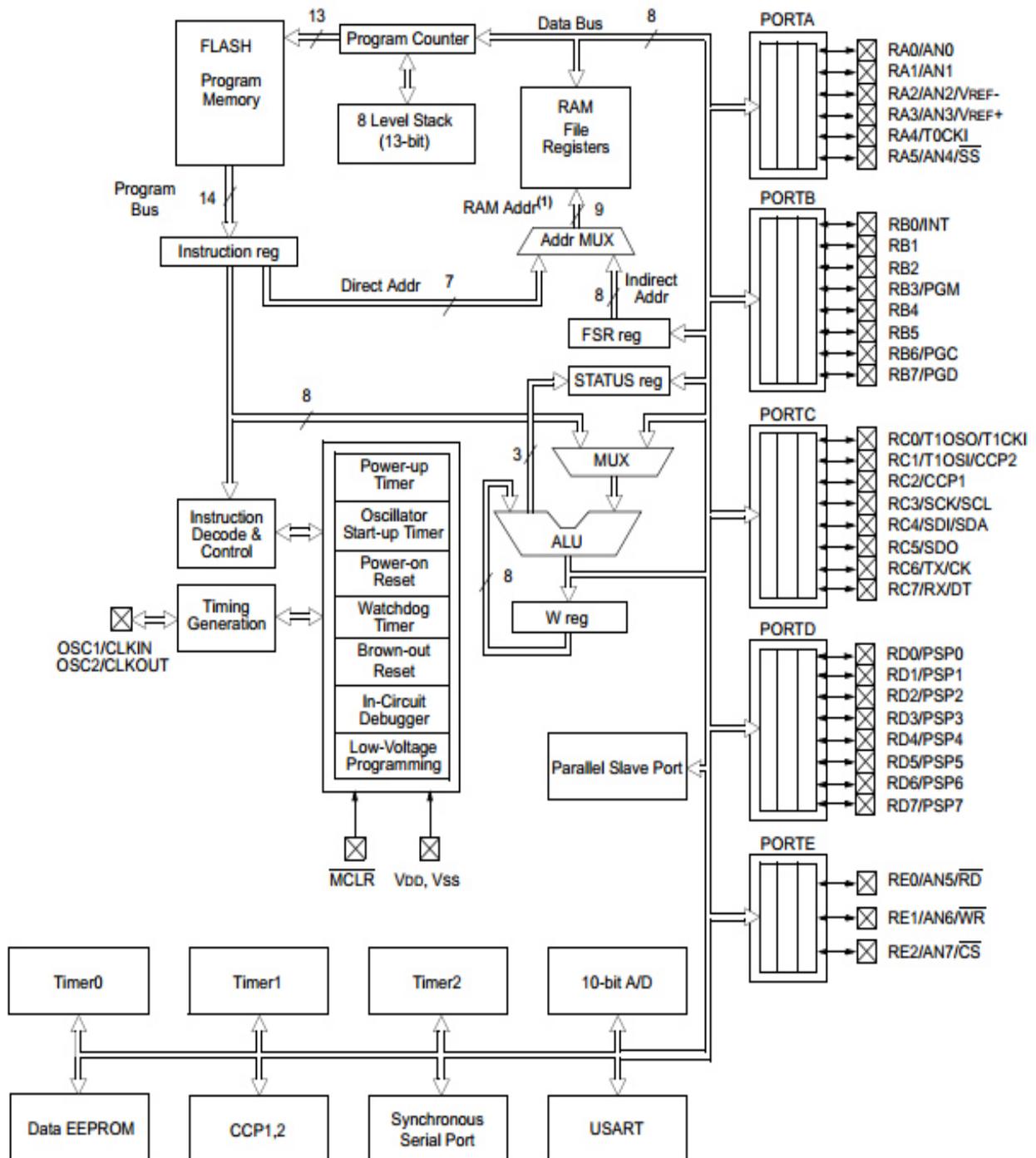


Figure III.2 : Architecture interne du PIC 16F877.

III.3.2 Structure externe

Le PIC16F877 est un circuit intégré de 40 broches :

Chapitre III : Microcontrôleur PIC 16f877 et simulation du projet par proteus

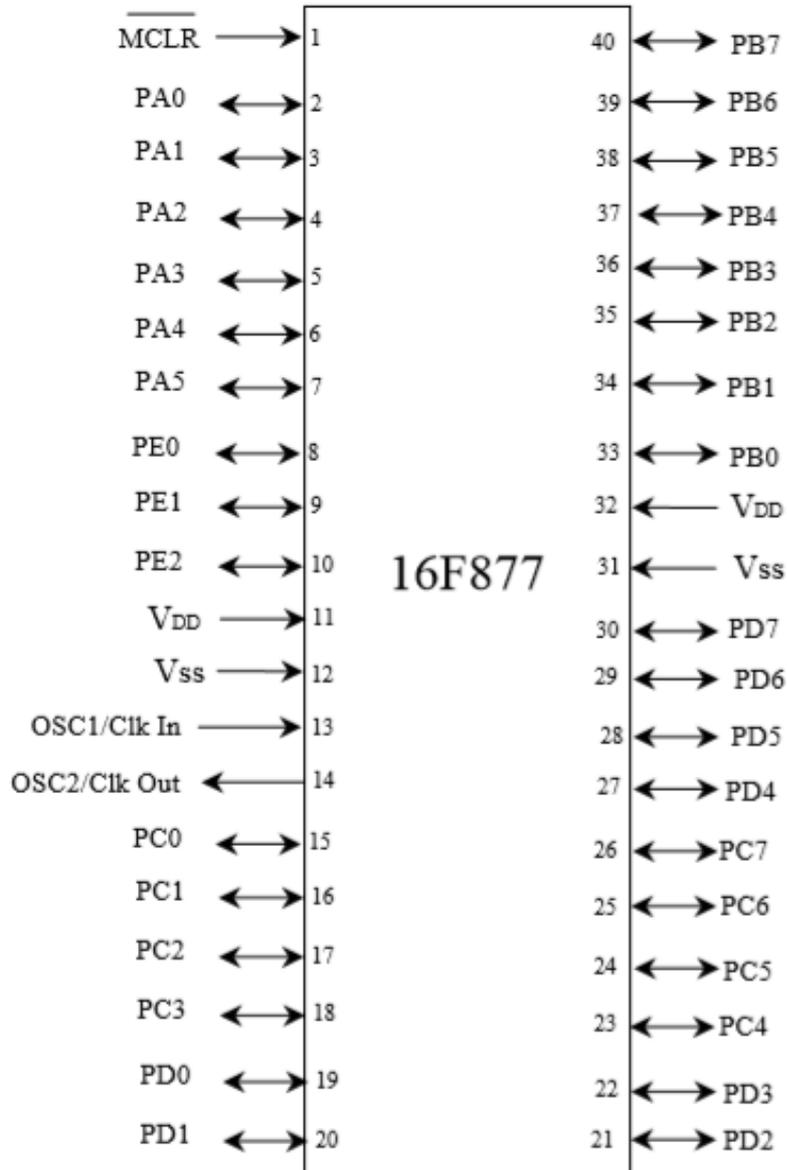


Figure III.3 : Brochage du PIC 16F877

- Le boîtier du PIC 16F877 décrit par la figure III.3 comprend 40 pins : 33 pins d'entrées/sorties, 4 pins pour l'alimentation, 2 pins pour l'oscillateur et un pin pour le **Reset (MCLR)**.
- La broche MCLR sert à initialiser le µC en cas de la mise sous tension, de remise à zéro externe, de chien de garde et en cas de la baisse de tension d'alimentation.
- Les broches VDD et VSS servent à alimenter le PIC.[17]
- **L'horloge :**
Deux pattes **13** et **14** sont présentées sur le boîtier du **PIC 16F877**.
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

Chapitre III : Microcontrôleur PIC 16f877 et simulation du projet par proteus

l'horloge employée:

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**. [7]

On remarque qu'on a 2 connections "VDD" et 2 connections "VSS". La présence de ces 2 pins s'expliquent pour une raison de dissipation thermique. Les courants véhiculés dans le pic sont loin d'être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles. [17]

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 III.1 : Broches du PIC. [7]

III.3.3 Le convertisseur analogique numérique

Notre 16F877 travaille avec un convertisseur analogique/numérique qui permet un échantillonnage sur 10 bits. Il se compose de :

- Un multiplexeur analogique 5 voies « PIC 16F877 ».
- Un échantillonneur bloqueur. Un convertisseur analogique numérique de 10 bits.[7]

Chapitre III : Microcontrôleur PIC 16f877 et simulation du projet par proteus

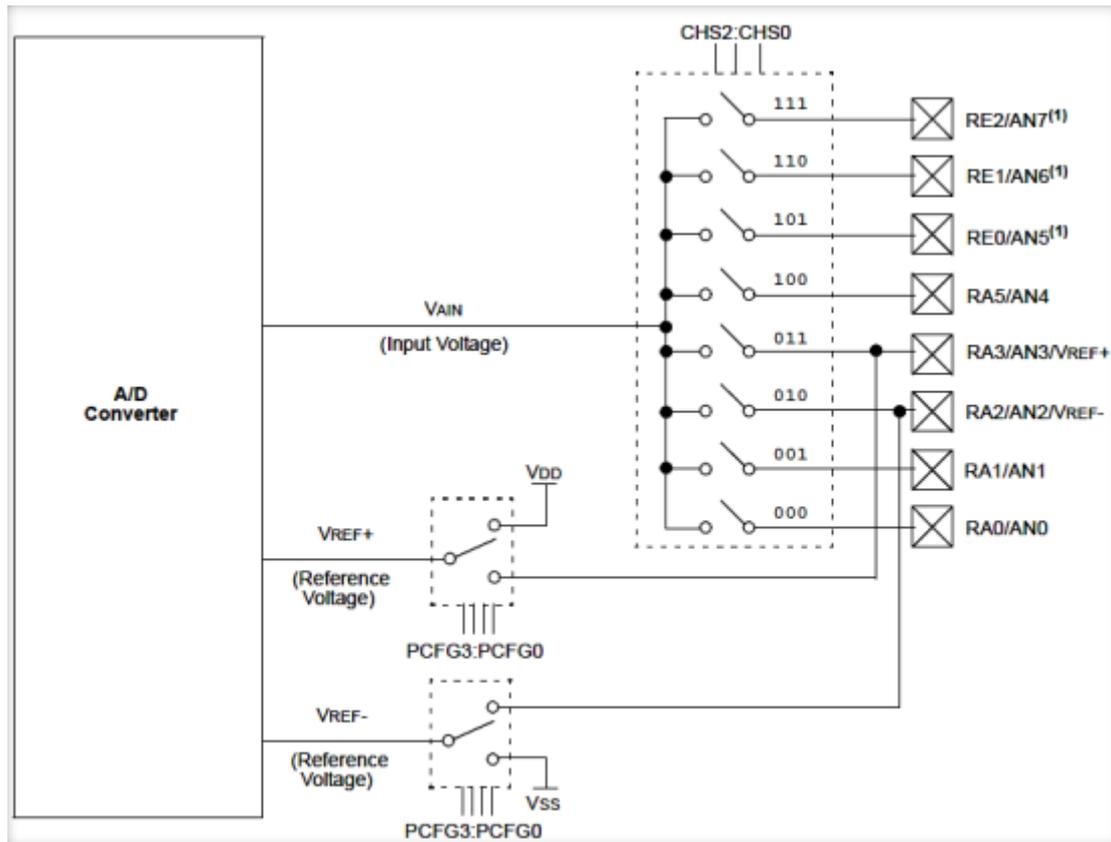


Figure III.4 : Schéma fonctionnel analogique numérique. [7]

III.4 logiciel de programmation et de simulation

Le pic 16f877 peut être programmé par divers langages et pour chaque langage il ya plusieurs compilateurs, nous avons choisi le langage C et on utilise le compilateur MIkRO C. [18]

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

III.4.1 Compilateur C « MIKRO C » pour pic

Conçu par la société MICROELECTRONIKA, le compilateur C nouvelle génération “MICRO C “ pour microcontrôleur pic bénéficie d’une prise en main très intuitive et d’une ergonomie sans faille .ces très nombreux outils intégrés (mode simulateur, terminal de communication ; gestionnaire7segment, analyseur statique, correcteur d’erreur, explorateur de code) associe à sa capacité à pouvoir gérer la plupart des périphérique rencontrés dans l’industrie (Bus I2CTM. 1WireTM. SPITM .RS485.BUS.CANTM.cartes compact flash, signaux PWM, afficheurs LCD et 7 segment.....)[MIKRO C 8.2]. [18]

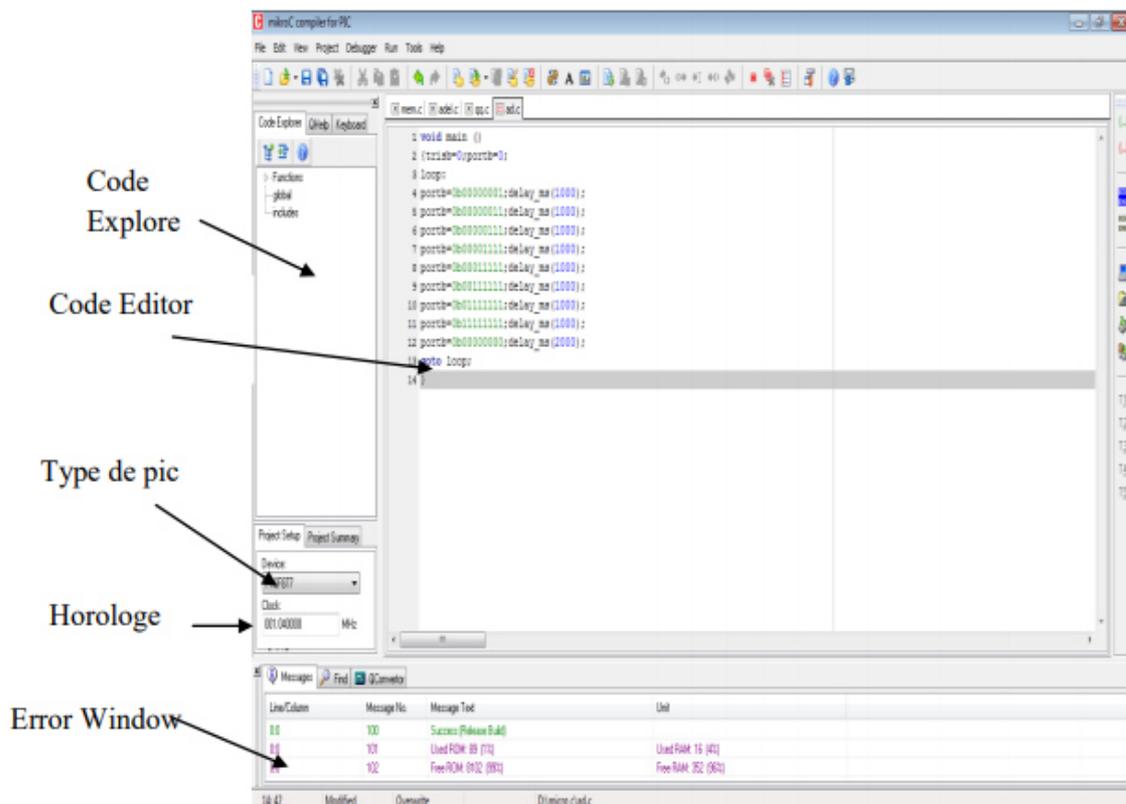


Figure III.5 : Compilateur de MIKRO C

III.4.2 Présentation de proteus

Le Logiciel de simulation des circuits électronique est un logiciel qui dessine un circuit par les composants et les circuits intégrés et permet de voir les résultats de la réalisation pratique. Il existe plusieurs simulateurs. Dans notre cas, on a utilisé le logiciel Proteus. Le logiciel Proteus se compose de deux parties: le logiciel ISIS pour la simulation des circuits électroniques, et le logiciel ARES pour dessiner les circuits imprimés.[7]

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

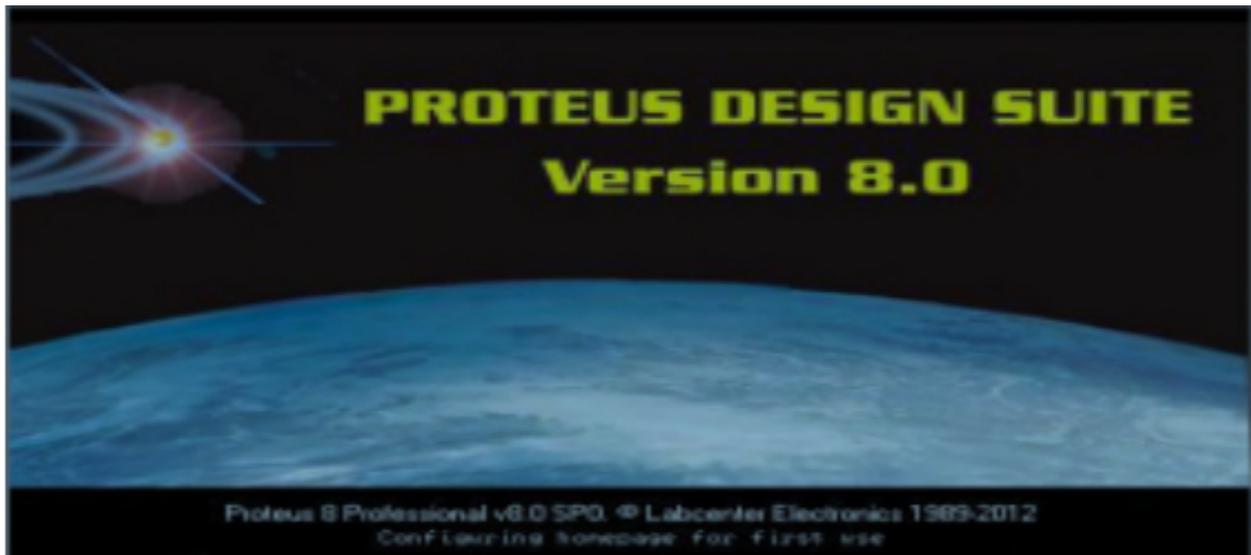


Figure III.6 : Photo du logiciel de simulation ISIS.

III.5 Organigramme du fonctionnement de la commande

La figure III.7 : représente un organigramme général pour la programmation de la carte de commande. Il pourra servir pour générer les codes correspondant aux différents montages redresseurs envisagés, tels que les redresseurs monophasés ou triphasés selon le besoin.

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

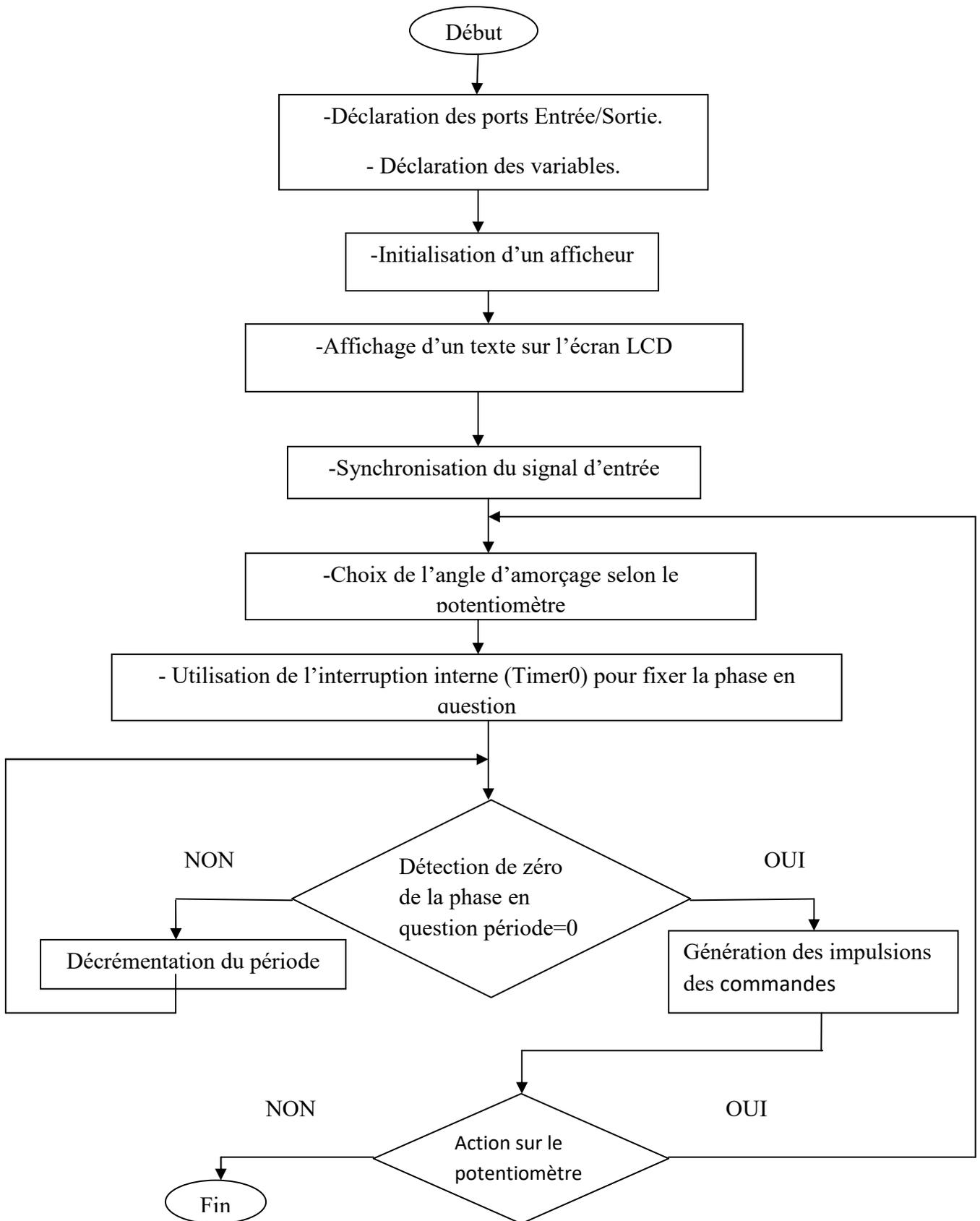


Figure III.7 : Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande.

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

III.6 Schéma global du système monophasé

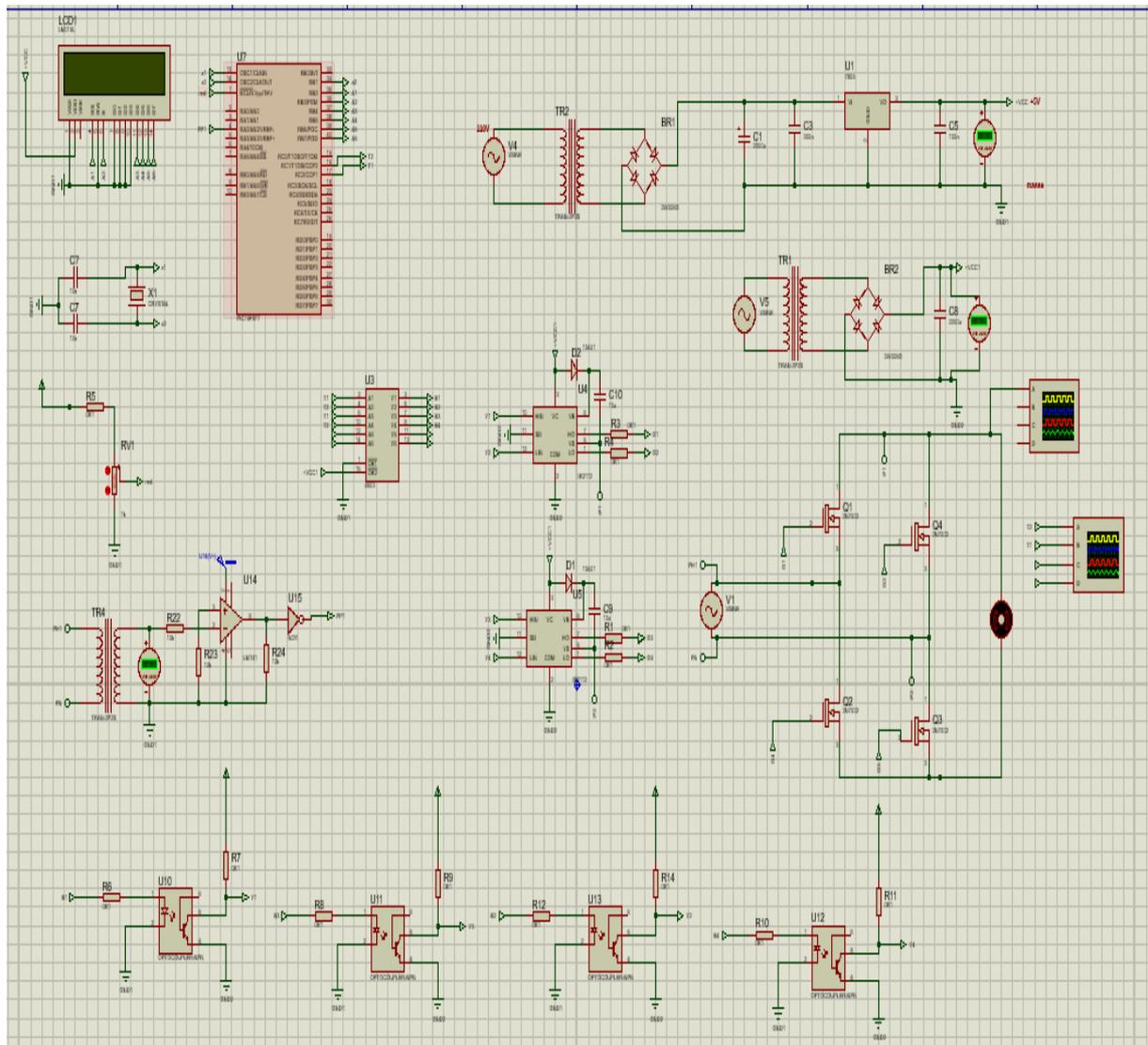


Figure III.8 : Schéma global du système pour un redresseur monophasé

III.6.1 Simulation du système par le logiciel ISIS

- signale de sortie :

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

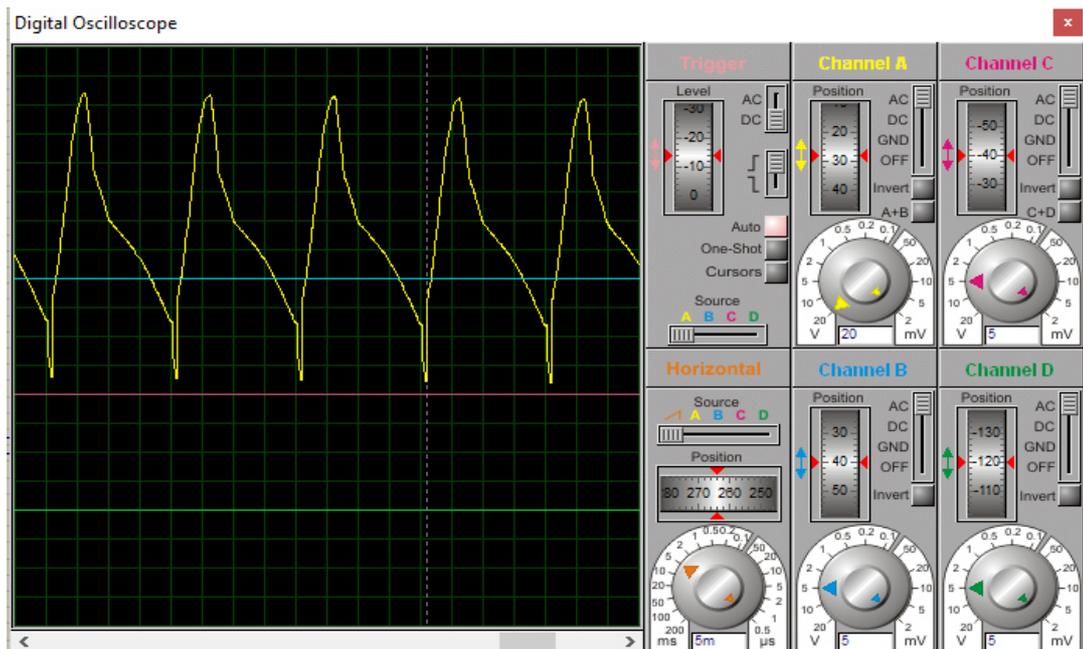


Figure III.9: Signale de sortie du redresseur.

➤ Signale de La MLI :

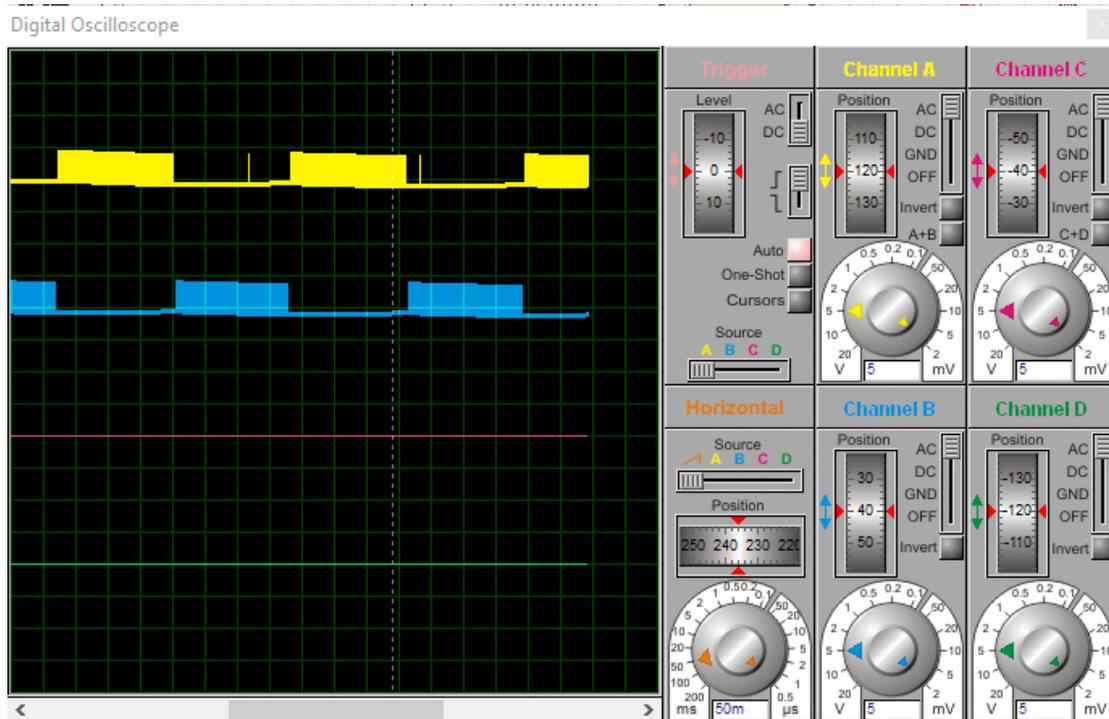


Figure III.10 : Signale de la MLI du système monophasé.

Remarque :

La largeur de l'impulsion peut être élargie ou rétrécie en modifiant le programme implanté dans le microcontrôleur pour s'adapter à différents type de MOSFET ou IGBT.

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

III.7 Schéma global du système triphasé

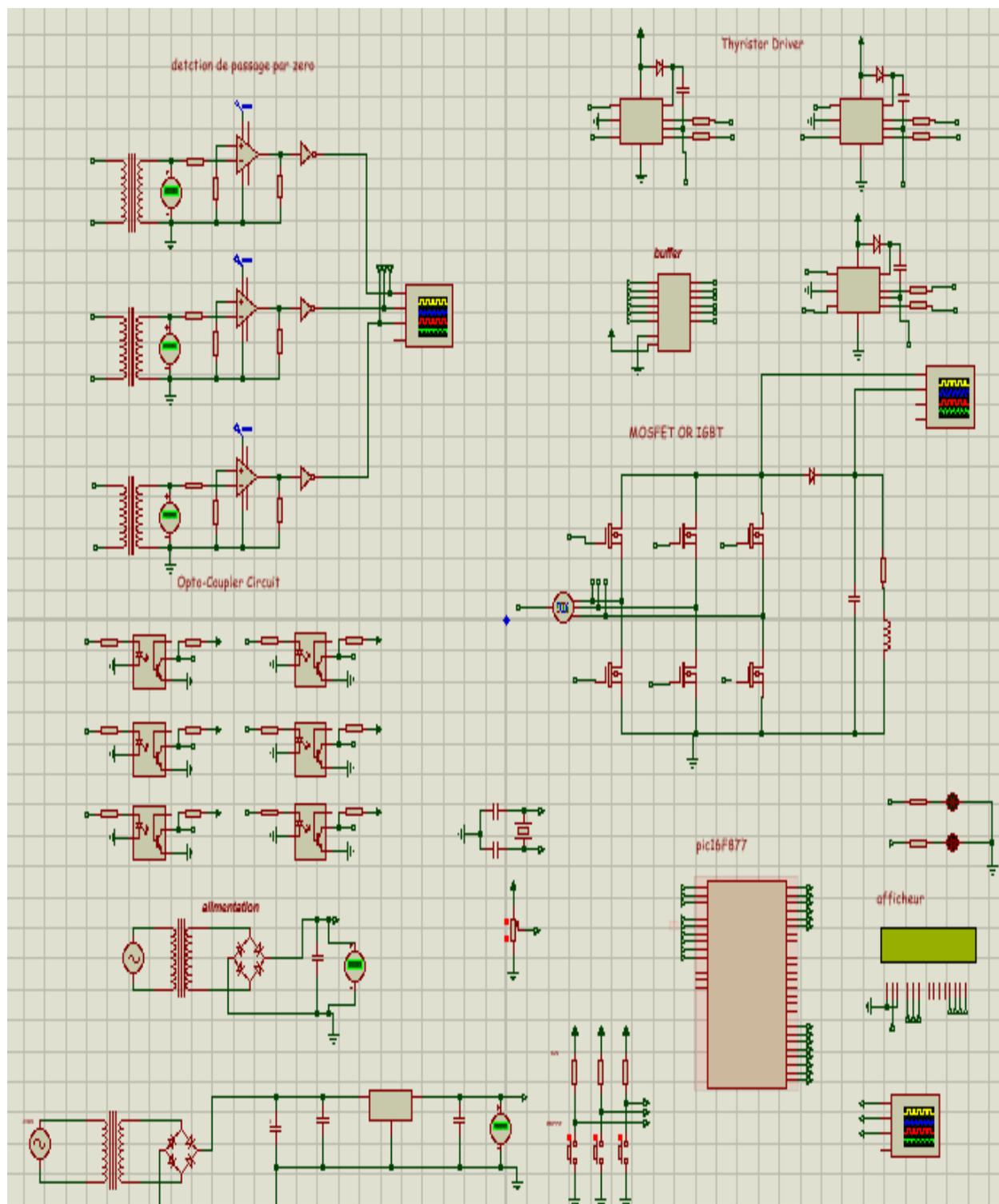


Figure III.11 : Schéma global du redresseur triphasé.

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

III.7.1 Simulation du système par le logiciel ISIS

III.7.1.1 Simulation du détecteur du passage par zéro

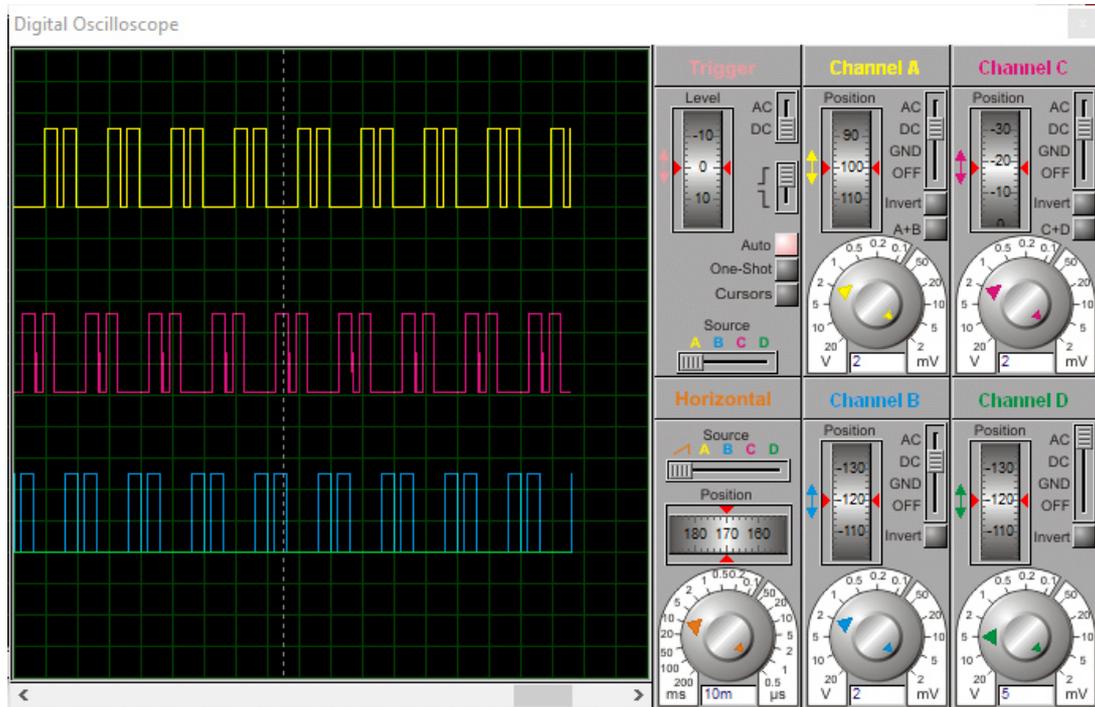


Figure III.12 : Les signales des détecteurs de passage par zéro.

III.7.1.2 les signaux MLI

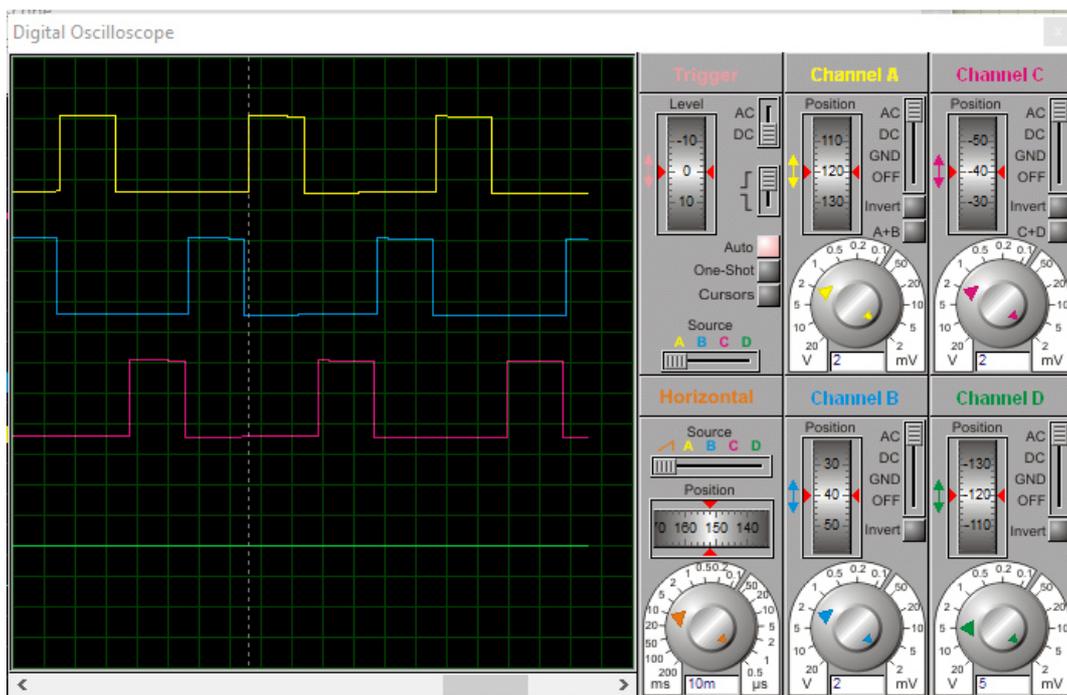


Figure III.13 : Les signaux MLI.

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

III.7.1.3 Simulation du pont sur une charge inductive

➤ signale de sortie :

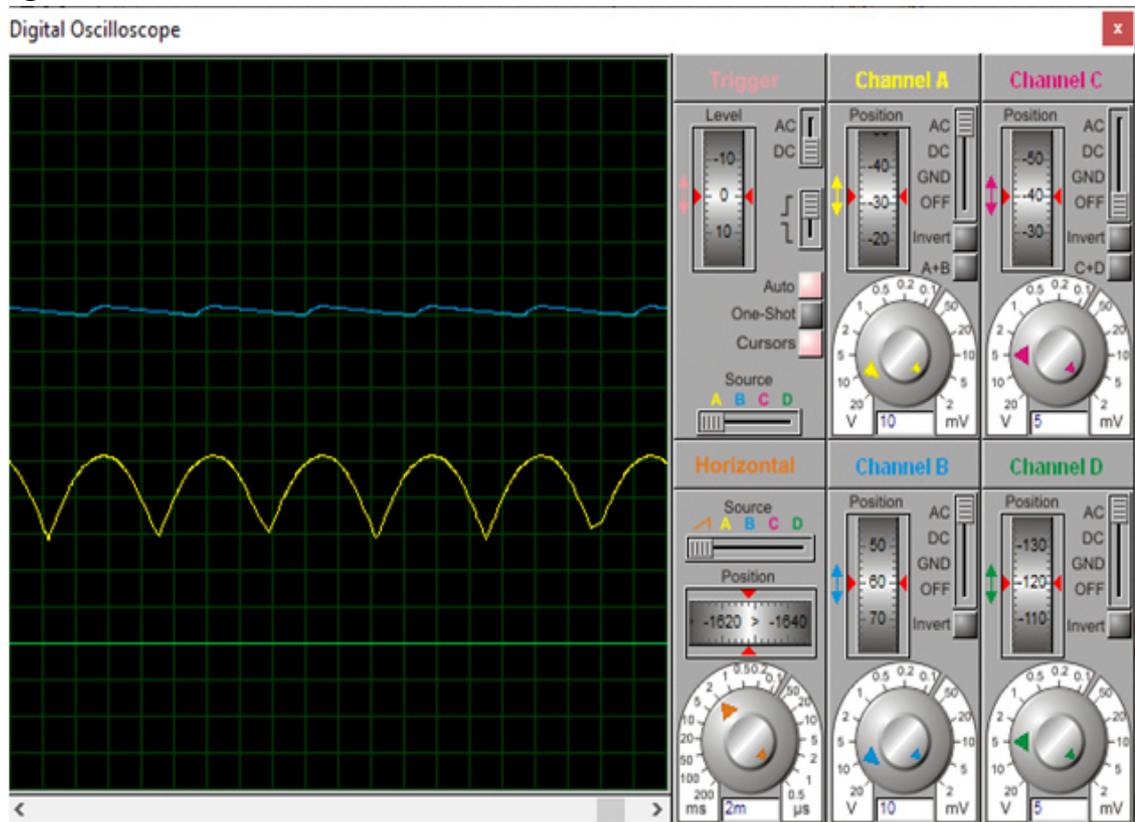


Figure III.14 : signal de sortie du redresseur triphasé à $\alpha=0$.

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

III.7.1.4 résultats de simulation de variation de potentiomètre

➤ variation à 50% :

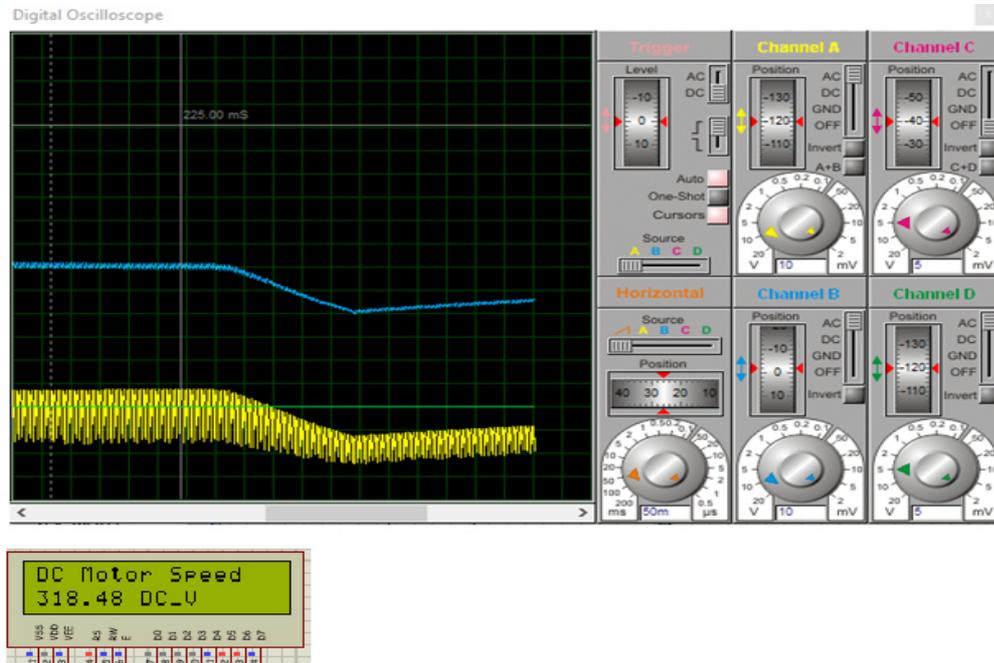


Figure III.15 : signal de sortie après la variation de 50% du potentiomètre.

➤ Variation a 20% :

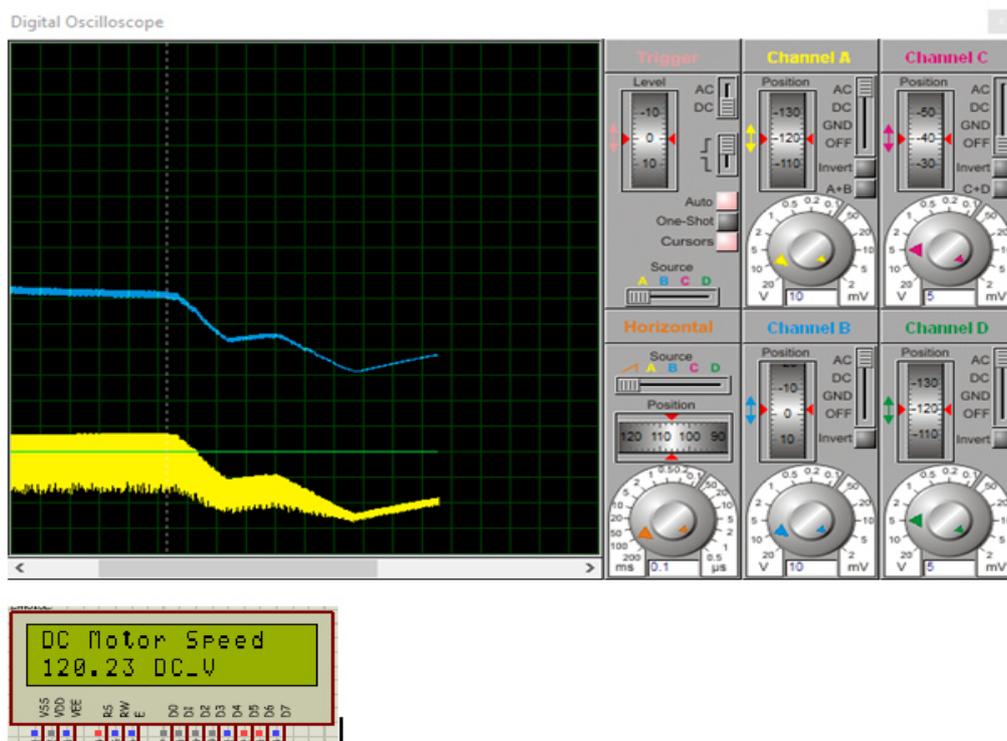


Figure III.16 : signal de sortie après la variation de 20% du potentiomètre.

Chapitre III : Microcontrôleur PIC16f877 et simulation du projet par proteus

Remarque :

Après avoir fait les deux variations de 50% et 20% on remarque que la tension de sortie avec filtrage (signale bleu) et sans filtrage (signale jaune) diminue de plus en plus en diminuant le pourcentage de variation de potentiomètre.

III.8 Difficultés rencontrées

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

- Nous avons rencontrée des difficultés de communication entre binôme à cause de pandémie de cette année.
- La programmation du pic, nous a aussi causé quelques problèmes que nous avons pu résoudre avec le temps et beaucoup de recherches.
- Nous avons rencontré des difficultés pour trouver la documentation en ligne pour notre travail.

III.9 conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux parties essentielles pour la conception de notre carte électronique : la partie matérielle (PIC16F877) et la partie logicielle (CCS PIC et Proteus).

La programmation du microcontrôleur a été faite selon un organigramme donné, et des résultats de simulation par Proteus pour des cas choisis sont présentés montrant le bon fonctionnement du convertisseur AC/DC.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but de notre travail concernait l'étude et la conception d'une commande numérique à base d'un microcontrôleur PIC 16f877 pour convertisseurs alternatif-continu à thyristors. Ce système devant permettre de générer des impulsions synchronisées sur le réseau pour le déclenchement des thyristors pour divers ponts redresseurs monophasés ou triphasés.

- Dans le premier chapitre nous avons passé en revue les aspects théoriques de notre travail et les différents montages utilisés dans les convertisseurs alternatif-continu commandés. Une illustration par une simulation Simulink-Matlab a été donnée.
- Le deuxième chapitre était consacré à la conception de la commande numérique avec les différents étages la constituant, une description des composants essentiels et leurs rôles est donnée.
- Dans le dernier chapitre, nous avons décrit la structure du microcontrôleur PIC16F877 et ses caractéristiques pour faciliter la manipulation avec ses différentes broches. Un algorithme général pour la programmation de la carte de commande pour les redresseurs monophasé ou triphasé à thyristors a été élaboré. Ensuite une simulation par Proteus expose les résultats obtenus validant le bon fonctionnement en comparaison avec les résultats de simulations de Matlab.

Les perspectives pour de prochains travaux découlant de ce travail concerne essentiellement l'amélioration de ce système déclencheur, soit :

- l'utilisation d'une commande avec variation à distance au lieu du potentiomètre pour le déclenchement.
- l'utilisation d'un afficheur LCD plus détaillé pour afficher tous les grandeurs (tension, vitesse,)
- L'intégration du déclencheur réalisée dans une commande numérique de vitesse ou de position pour un moteur à courant continu, avec les boucles de régulation correspondante.

En conclusion, ce projet nous a permis d'enrichir nos connaissances dans les domaines de l'électronique en étudiant de nouveaux composants (opto-coupleur, driver, etc....) ainsi que la programmation des microcontrôleurs en maîtrisant des logiciels tels que "PROTEUS" (ISIS), Mikro C.

Bibliographie

- [1] : **GUY SÉGUIER**.les convertisseurs de l'électronique de puissance, Tec & Doc, 1993.
- [2] : **PIERRE AGATI**. Electricité, Electronique de commande de puissance, Electrotechnique, Dunod, paris, 1997.
- [3] : **D.CLENET** .Démarreurs et variateurs de vitesse électroniques, Cahier Technique Schneider Electric n° 208, édition novembre 2003.
- [4] : **BENSALAH WASSILA, BOUTALEB NOUR EL HOUDA**. Etude de la commande des redresseurs MLI, Université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2016.
- [5] : **BELHAOUCHET NOURI**. Fonctionnement à Fréquence de Commutation Constante des Convertisseurs de Puissance en Utilisant des Techniques de Commande Avancées, Université Ferhat Abbas- Sétif, 2011.
- [6] : **GOUMAT BAYA**. Etude harmonique des convertisseurs de puissance, 1995.
- [7] : **CHAKI AZZEDINE, GHOUZROUM ANOUAR**. Conception et Réalisation des Convertisseurs AC/DC à Base du Microcontrôleur PIC16F877A, Université de M'SILA, 2018.
- [8] : **HIDRI IMED**. Support de cours d'électronique de commande des convertisseurs, ISET de Nabeul.
- [9] : **TILILI KAIS**. Support de cours Electronique de commande, Institut supérieure des études technologique, Tunisie ,2016.
- [10] : **J. REDOUTEY**. Circuit de commande en électronique de puissance.
- [11] : **INTERSIL**, FN3335 Rev 0.00 December 1992.
- [12] : **DEBBOU MUSTAPHA, OUATMANI RIAD**.etude et réalisation d'un onduleur de tension triphasé, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, 2008.
- [13] : **AURELIEN JARNO**. Les afficheurs à cristaux liquides, 1998 2008.
- [14] : **G. BERTHOME**. L'afficheur LCD (Light Control Display), Lycée Mireille GRENET.
- [15] : **MEFTAH ABDELJALIL**. Etude et réalisation d'un Capacimètre et Voltmètre à base de PIC 16F877, Université larbi ben m'hidi de Oum el Bouaghi, 2015.
- [16] : **Y. RKHISSI KAMMOUN**. Cours microcontrôleurs, Iset Nabeul.
- [17] : **RABIR AHMED**. Etude et réalisation d'un fréquencemètre numérique a base de microcontrôleur pic16f877, Université Larbi Ben M'hidi d'Oum el Bouaghi, 2016.
- [18] : **ARCHOUCHE ADEL, BOUSSID SIHEM**. Etude et réalisation d'une Commande automatique de l'éclairage publique à base de microcontrôleur pic16f877, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2011.

Annexe

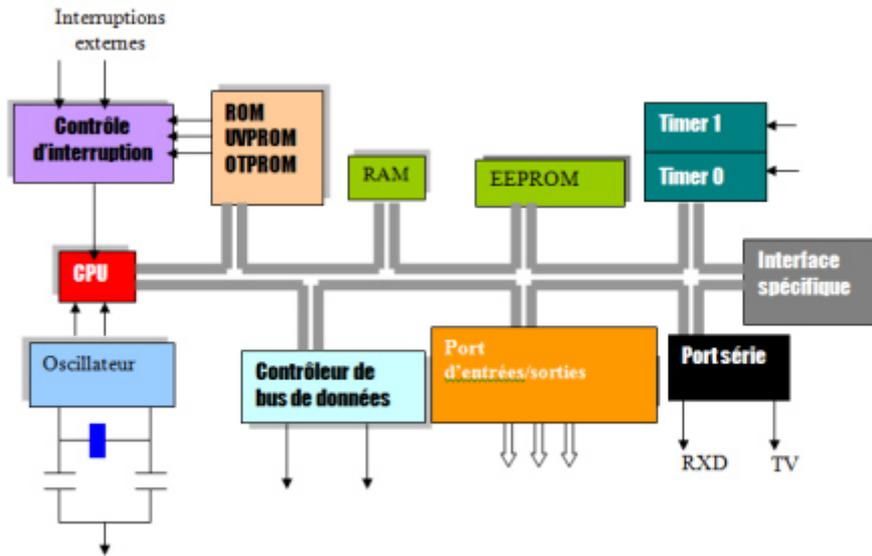


Figure A.1 : Structure interne d'un microcontrôleur.

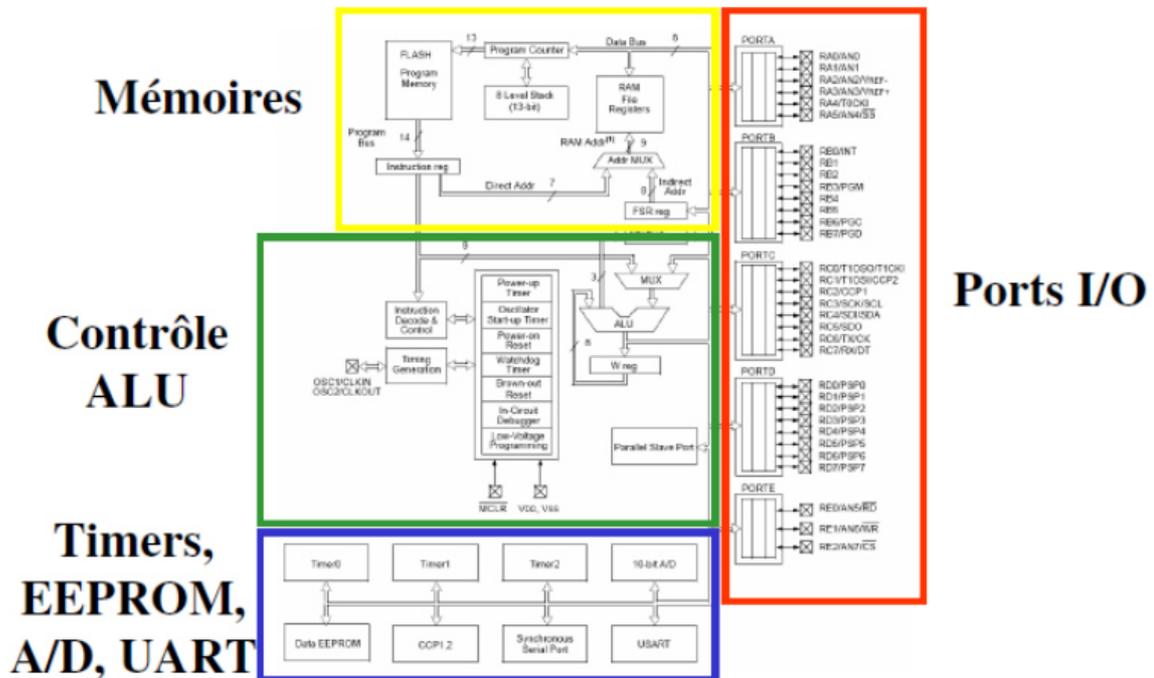


Figure A.2 : Schéma bloc d'un PIC.

Annexe

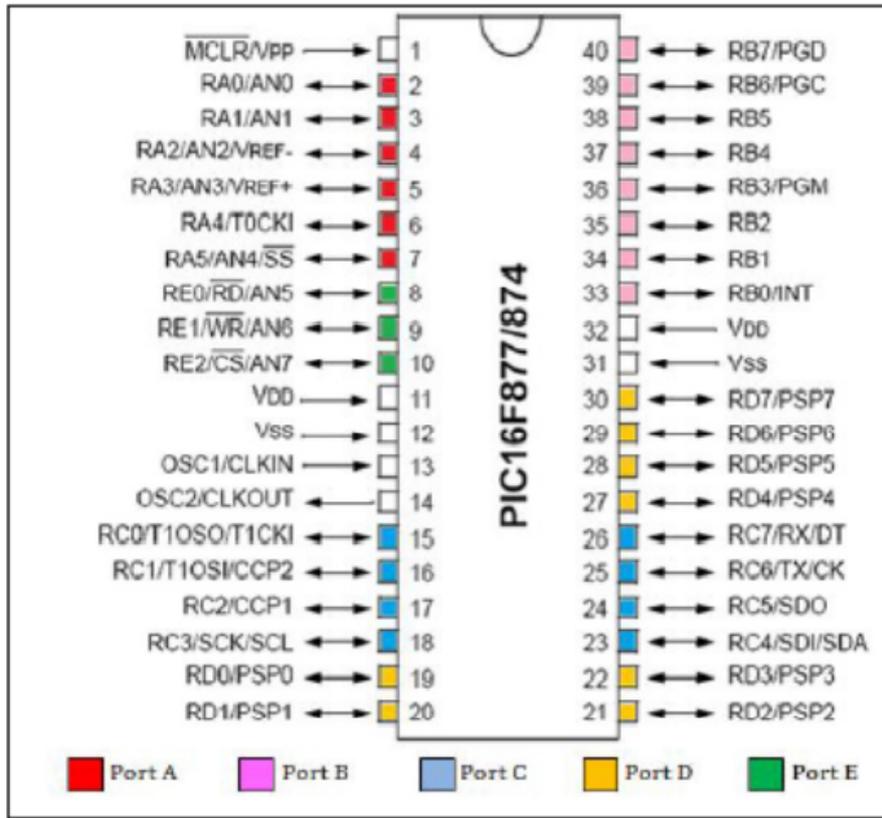


Figure A.3 : Brochage du 16f877.

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS3023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz			
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions

Figure A.4 : Datasheet des PIC(s) 16f87X.

Annexe

PIN NO	Symbol	Fuction
1	VSS	GND
2	VDD	+5V
3	V0	Contrast adjustment
4	RS	H/L Register select signal
5	R/W	H/L Read/Write signal
6	E	H/L Enable signal
7	DB0	H/L Data bus line
8	DB1	H/L Data bus line
9	DB2	H/L Data bus line
10	DB3	H/L Data bus line
11	DB4	H/L Data bus line
12	DB5	H/L Data bus line
13	DB6	H/L Data bus line
14	DB7	H/L Data bus line
15	A	+4.2V for LED
16	K	Power supply for BKL(0V)

Absolute Maximum Rating					
Item	Symbol	Standard			Unit
		Min	Typ	Max	
Power supply	VDD-VSS	-0.3	-----	5.5	V
Input voltage	VI	-0.3	-----	VDD	

Electronical characteristics						
Item	Symbol	Condition	Standard			Unit
			Min	Typ	Max	
Input voltage	VDD	+5V	4.7	5.0	5.5	V
		+3.3V	2.7	3.0	5.3	
Supply current	I _{DD}	VDD=5V	-----	1.5	4	mA
Recommended LCD riling voltage for normal temp version module	VDD-V0	-20°C	-----	-----	-----	
		0 °C	4.7	5.0	5.5	
		25°C	4.3	4.5	4.7	
		50°C	4.1	4.3	4.5	
LED forward voltage	V _F	25°C	-----	4.2	4.6	V
LED forward current	I _F	25°C	-----	120	160	mA
EL power supply current	I _{EL}	V _{in} =110V AC 400Hz	-----	-----	-----	

Display character address code:

Display position

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM address	00	01	02	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0FH
DDRAM address	40	41	42	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4FH

Figure A.5 : Datasheet de l'afficheur LCD.

Résumé / Abstract

Résumé :

Ce travail consiste à effectuer l'étude et la simulation d'un dispositif de commande à base d'un microcontrôleur PIC 16f877 dédié à la commande de différents convertisseurs alternatif-continu commandés, monophasé ou triphasés. Les différents montages redresseurs sont passés en revue, puis la solution technologique retenue, consistant en une commande linéaire dite "arc cos", permettant de synchroniser les impulsions délivrées sur le réseau électrique, est présentée. La conception du déclencheur réalisé, la description détaillée des différents étages et des composants mis en œuvre est abordée. Un exemple d'organigramme général pour la programmation du microcontrôleur est également exposé. Ensuite, les difficultés rencontrées lors des différentes étapes de la réalisation sont énumérées et des résultats de simulation viennent valider le bon fonctionnement et les performances du déclencheur. Enfin, une conclusion résume l'ensemble des travaux présentés et des perspectives pour de futurs travaux sont proposés.

Mots clés :

Conversion AC-DC, microcontrôleur, PIC 16f877, thyristors, circuit d'amorçage.

Abstract :

This work consists of studying and simulating a control device based on a PIC 16f877 microcontroller dedicated to the control of various controlled AC-DC converters, single-phase or three-phase. The various rectifier assemblies are reviewed, Then the technological solution adopted consisting of a linear control called « arc cos », Making it possible to synchronize the pulses delivered to the electrical network, is presented. The design of the trigger produced, the detailed description of the various stages and of the components implemented are discussed. An example of a general flowchart for programming the microcontroller is also shown. Then, the difficulties encountered during the various Stages of production are listed and simulation results validate the correct operation and performance of the trip unit. Finally, a conclusion summarizes all the work presented and prospects for future work are proposed.

Keywords:

AC-DC conversion, microcontrôleur, PIC 16f877, Silicon Controlled Rectifier (SCR), starting circuit.