

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° : 2019/ ESEM /



DOMAINE : Sciences et Technologies
FILIERE : Électronique
OPTION : Electronique du Système Embarqué

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Par: BENHAMIDA Oussama

et

BOUCHAALA Houcine

Intitulé

**Réalisation et commande du
redresseur triphasé semi-commandé
par un microcontrôleur PIC18F4550**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. BENAHCENE Madani
Pr. MEZACHE Amar
Dr. OUDIRA Houcine
Dr. Zorig Abd Elmalek

Université de M'SILA
Université de M'SILA
Université de M'SILA
Université de M'SILA

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

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. MEZACHE Amar et Dr. OUDIRA Houcine, pour leurs conseils avisés.

Nous avons appréciée 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



Ce qui sont les plus chers au monde, mes parents que Allah les garde et les procure santé, bonheur, prospérité et longue vie :

À mon père, pour m'avoir soutenu moralement, matériellement et financier jusqu'à ce jour. Père, ce travail est le tien.

À ma mère, voici l'aboutissement de tes nombreuses nuits de prières de ta sagesse et ta générosité pour votre petit fils. Chère mère, ce travail est le fruit de tes efforts.

À mes frère Farid , Salim et Lamine le chemin est dur et encore long, il faudrait du courage et beaucoup de chance, que dieu vous garde.

Je n'oublie jamais la générosité illimitée de mes sœurs, Leurs soutien moral et financier, sans lesquels je n'aurais pu continuer mes études dans de bonnes conditions, tous simplement je voudrais leurs dire je les aime de tout mon cœur.

À mes neveux et nièces : Iyad , Tarek . Je vous souhaite beaucoup de chance. J'espère que vous allez suivre le pas de votre oncle, que Dieu vous protège.

À tous mes voisins et mes amis qui étaient présents toujours auprès de moi.

À tous ceux qui j'aime et qui essaient de créer ce milieu dans lequel je vis,

À toute la famille BOUCHAALA et TALEB.

À tous mes enseignants.

À tous les membres de ma promotion du Master Electronique, option "System embarquée ".

BOUCHAALA Houcine



Dédicace

Je dédie ce travail :

*A ma mère pour ses sacrifices en témoignage de tout mon
affection au long de mes études.*

*À mon cher grand père, que ALLAH le garde
et le procure santé, bonheur, prospérité et longue vie.*

A ma chère fiancée B. Chaima.

A mes chers frères et chers sœurs.

*A toute ma famille MABKHOUDI & BENHAMIDA
Pour leur soutien tout au long de nos parcours universitaire.*

A tous mes enseignants.

*Et a toute mes très chers amis, mes très chers collègues, et toute la promotion
Master De l'année 2019.*

BENHAMIDA Oussama

Table des matières :

Remerciements	i
Dédicace :	ii
Dédicace :	iii
Table des matières :	iv
Liste des abréviations :	iv
Liste des symboles :	iv
Liste des tableaux :	x
Liste des figures :	xi
Introduction générale :	2

Chapitre I: Généralités sur les redresseurs

I.1. Introduction :	7
I.2. Caractéristiques des composants électroniques :	7
I.2.1. Diode de puissance :	7
I.2.1.1. Caractéristiques statique d'une diode :	8
I.2.2. Le thyristor :	8
I.2.2.1. Principe de fonctionnement :	9
I.2.2.2. Caractéristiques d'un thyristor :	9
I.3. Redresseurs monophasés :	10
I.3.1. Redresseurs monophasés non commandés :	11
I.3.1.1. Redresseur monophasé simple alternance non commandé :	11
I.3.1.2. Redresseur monophasé double alternance non commandé :	11
I.3.2. Redresseurs monophasés commandés :	12
I.3.2.1. Redresseur monophasé simple alternance totalement commandé :	12
I.3.2.2. Redresseur monophasé simple alternance avec diode de roue libre :	12
I.3.2.3. Redresseur monophasé double alternance totalement commandé :	13
I.3.2.4. Redresseur monophasé double alternance semi-commandé :	13
I.4. Redresseurs triphasés :	14
I.4.1. Redresseur triphasé non commandé :	14
I.4.1.1. Redresseur simple alternance non commandé :	14
I.4.1.2. Redresseur triphasé double alternance non commandé :	15
I.4.2. Redresseurs triphasés commandé :	17

I.4.2.1. Redresseur triphasé mono alternance totalement commandé :	17
I.4.2.2. Redresseur triphasé mono alternance avec diode de roue libre. :	18
I.4.2.3. Redresseur triphasé double alternance totalement commandé :	19
I.4.2.4. Redresseur triphasé double alternance semi commandé :	20
a. Résultats de simulations :	22
I.5. Conclusion :	24

Chapitre II: Microcontrôleur et simulations par Proteus

II.1. Introduction :	26
II.2. Généralités sur les microcontrôleurs :	26
II.2.1. Introduction :	26
II.2.2. Présentation du Microcontrôleur :	26
II.2.3. Caractéristiques principales d'un microcontrôleur :	26
II.2.4. Avantages d'un microcontrôleur :	27
II.2.5. Contenu d'un microcontrôleur:	27
II.3. Le PIC :	27
II.3.1. Définition :	27
II.3.2. Différentes familles de PICs :	28
II.3.3. Identification d'un PIC :	28
II.3.4. Concernant le PIC 18F4550 :	29
II.3.5. Le choix d'un PIC :	29
II.3.6. Organisation d'un PIC :	29
II.4. Microcontrôleur "18F4550":	29
II.4.1. Désignation :	30
II.4.2. Caractéristiques :	30
II.4.3. Architecture externe :	30
II.4.4. Ports d'entrée / sortie :	32
II.4.5. Architecture interne :	33
II.4.6. Organisation de la mémoire :	34
II.4.7. Interruption :	34
II.4.7.1. Registres INTCON :	34
II.4.7.2. Interruptions USB :	35
II.4.8. Module de commande :	35
II.4.8.1. Module de contrôle d'état :	35

II.4.9. Timers du pic 18F4550 :	35
II.4.9.1. Timer 0 « 8 bits » :	35
II.4.9.2. Timer 1 « 16 bits» :	36
II.4.9.3. Timer 2 « 8 bits » :	36
II.4.10. Convertisseur analogique numérique :	37
II.5. PIC 12F629 :	37
II.5.1. Architecture externe :	37
II.5.2. Architecture interne :	37
II.5.3. Caractéristiques :	38
II.6. Protocole NEC :	39
II.6.1. Définition :	39
II.6.2. Caractéristiques :	40
II.6.3. Modulation :	40
II.7. USB :	41
II.7.1. Définition :	41
II.7.2. Communication USB :	41
II.7.3. Interfaces logicielles USB :	42
II.7.4. USB dans le PIC 18F4550 :	42
II.7.5. Connexion USB-PC :	43
II.8. Conception de la carte de commande et de puissance par Proteus :	43
II.8.1. Partie logicielle (outils de développement utilisés) :	43
II.8.1.1. Langage C « compilateur C » :	43
II.8.1.2. MPLAB	43
II.8.1.3. Le simulateur ISIS de Proteus :	44
II.8.2. Schéma structurel de la carte par Proteus :	44
II.8.3. Fonctionnement :	46
II.8.4. L'organigramme de fonctionnement :	46
II.8.5. Simulations par Proteus :	48
II .8.5.1. Redresseur triphasé double alternance :	48
a. Commande analogique par un potentiomètre :	48
b. Commande numérique par un PC (USB) ou à distance (IR) :	50
II.9. Conclusion :	51

Chapitre III: Réalisation pratique

III.1. Introduction :	53
III.2. Réalisation de la carte électronique :	53
III.2.1. Câblage par Proteus :	53
III.2.2. Description des parties essentielles de la réalisation :	55
III.2.2.1. L'alimentation :	55
III.2.2.2. Transformateur d'impulsions :	56
III.2.2.3. Circuit de synchronisation et de couplage optique :	59
III.2.2.4. Afficheur LCD :	60
III.2.3. Etapes de fabrication du circuit imprimé :	61
III.2.3.1. Routage de schéma électrique :	61
III.2.3.2. L'impression du typon :	61
III.2.3.3. L'insolation :	61
III.2.3.4. La révélation :	61
III.2.3.5. Gravure de circuit imprimé :	62
III.2.3.6. Test du circuit imprimé :	62
III.2.3.7. La mise en place et la soudure des composants :	62
III.2.3.8. Carte de commande :	63
III.2.3.9. Carte de puissance :	65
III.2.3.10. Carte de commande à distance par " remote control " (IR) :	67
III.3. Les problèmes rencontrés :	69
III.4. Résultats expérimentaux :	70
III.4.1. Signal d'entrée :	70
III.4.2. Signal de la gâchette du thyristor T1 :	71
III.4.3. Commande numérique par potentiomètre :	71
III.4.4. Commande numérique par PC (USB) ou IR(remote control) :	72
III.4.5. Moteur DC comme une charge à la sortie :	74
III.5. Conclusion :	74
Conclusion générale	76
Bibliographié :	78
Résumé	
Abstract	

ملخص

Liste des abréviations :

Abréviations	Notations
AC	Courant alternative
DC	Courant continue
EP	Electronique de puissance
D	Diode
DRL,DL	Diode de roue libre
A	Anode
K	Cathode
T	Thyristor
R	Résistance
L	Inductance
G	Gâchette du thyristor
USB	Universal Serial Bus
CCS	Command compiler
UART, USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
INT	Interruption
PD	Montage parallèles de diodes
SCR	Silicon Controlled Rectifier

Liste des symboles :

Symboles	Notations
V_e, u_E	Tension d'entrée
V_m	Tension maximale
V_{Lmoy}	Tension moyenne
i_G	Courant de la gâchette du thyristor
i_L, i_S, i_{DI}	Courant
V_L, U_L	Tension au bornes de l'inductance
U_R	Tension au bornes de résistance
T	Période
ω	Pulsation
α	Angle d'amorçage du thyristor
V_{AK}	Tension anode cathode
V_D	Tension au bornes de diode
V_T	Tension au bornes de thyristor

Liste des tableaux :

Chapitre III : La Réalisation pratique

Tableau III.1	Liste des composants pour la réalisation du convertisseur AC-DC semi-commandé	54
----------------------	---	-----------

Liste des figures :

❖ Chapitre I

Figure I.1 Schéma symbolique représentatif de la diode	8
Figure I.2 Caractéristiques statique d'une diode (idéale, réelle)	8
Figure I.3 Représentation symbolique d'un thyristor.....	9
Figure I.4 Caractéristiques d'un thyristor	10
Figure I.5 Redresseur monophasé simple alternance non commandé	11
Figure I.6 Redresseur en pont non commandé	11
Figure I.7 Redresseur simple alternance totalement commandé	12
Figure I.8 Redresseur simple alternance avec diode de roue libre.....	13
Figure I.9 Redresseur monophasé double alternance totalement commandé	13
Figure I.10 Redresseur monophasé double alternance semi commandé	14
Figure I.11 Redresseur triphasé simple alternance non commandé	14
Figure I.12 Formes d'ondes de courant et de la tension d'un redresseur simple alternance non commandé	15
Figure I.13 Redresseur triphasé en pont non commandé	16
Figure I.14 Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance non commandé	16
Figure I.15 Redresseur triphasé mono alternance totalement commandé	17
Figure I.16 Formes d'ondes de courant et de la tension d'un redresseur triphasé mono alternance totalement commandé	17
Figure I.17 Redresseur triphasé mono alternance avec diode de roue libre :	18
Figure I.18. Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé mono alternance avec diode de roue libre.	18
Figure I.19 Redresseur triphasé en pont totalement commandé	19
Figure I.20 Formes d'ondes de la tension et du courant du redresseur triphasé double alternance totalement commandé	20
Figure I.21 Redresseur triphasé en pont semi commandé	21

Figure I.22	Formes d'ondes du courant et de la tension du redresseur triphasé double alternance semi commandé	21
Figure I.23	Schéma block d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé (Simulink-Matlab)	22
Figure I.24	Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha = 35\%$	22
Figure I.25	Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha = 75\%$	23
Figure I.26	Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha = 6\%$	23
Figure I.27	Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha = 50\%$	24

❖ Chapitre II

Figure II.1	Brochage de PIC18F4550	31
Figure II.2	Architecture interne du PIC18F4550	33
Figure II.3	Schéma du Timer 0	36
Figure II.4	Schéma du Timer 1	36
Figure II.5	Schéma du Timer 2	37
Figure II.6	Brochage de PIC12F629	37
Figure II.7	Architecture interne du PIC12F629	38
Figure II.8	Exemple de trame de message utilisant le protocole de transmission IR NEC.....	40
Figure II.9	Trame de modulation	40
Figure II.10	Types du port USB	41
Figure II.11	(a) Schéma de câblage (b) Prise - USB-A	41
Figure II.12	Interface logicielle d'USB	42
Figure II.13	L'interface de HID terminal	43
Figure II.14	Schéma structurel de la carte 'ISIS' de circuit global	45
Figure II.15	Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande	47

Figure II.16	Schéma de simulation par Proteus de redresseur triphasé double alternance – commande numérique par un potentiomètre	48
Figure II.17	Allures des signaux d’entrée ,de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=35\%$	49
Figure II.18	Allures des signaux d’entrée ,de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=75\%$	49
Figure II.19	Allures des signaux d’entrée ,de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=6\%$	50
Figure II.20	Allures des signaux d’entrée ,de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=50\%$	50

❖ Chapitre III

Figure III.1	Câblage pour le circuit imprimé par le logiciel Proteus	55
Figure III.2	Montage de l’alimentation 5 V.....	56
Figure III.3	Montage de l’alimentation symétrique +12 V/-12 V.....	56
Figure III.4	Circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique	57
Figure III.5	Allure des signaux issus des amplificateurs opérationnels	57
Figure III.6	Principe de fonctionnement d’un opto-coupleur.....	58
Figure III.7	Signaux de la sortie des opto-coupleurs	58
Figure III.8	Schéma électrique d’un transformateur d’impulsion	59
Figure III.9	Résultats des essais des transformateurs d’impulsions	59
Figure III.10	Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères	60
Figure III.11	Schéma routé de la carte de commande	63
Figure III.12	Typon de la carte de commande	63
Figure III.13	Circuit imprimé de la carte de commande	64
Figure III.14	Carte de la carte de commande finalisée (côté pistes)	64
Figure III.15	Carte de commande finalisée (côté composants)	65
Figure III.16	Schéma routé de la carte de puissance	65
Figure III.17	Typon de la carte de puissance	66
Figure III.18	Circuit imprimé de la carte de puissance	66

Figure III.19	Carte de puissance finalisée (côté pistes)	66
Figure III.20	Carte de puissance finalisée (côté composants)	67
Figure III.21	Schéma routé de la carte de commande à distance (IR)	67
Figure III.22	Typon de la carte de commande à distance (IR)	67
Figure III.23	Circuit imprimé de la carte commande à distance (IR)	68
Figure III.24	Carte de commande à distance finalisée (côté pistes)	68
Figure III.25	Carte de commande à distance finalisée (côté composants)	68
Figure III.26	Allure de la tension d'entrée	70
Figure III.27	L'impulsion de la commande du thyristor T1 pour le mode double alternance	71
Figure III.28	Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=41.3\%$	71
Figure III.29	Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=73.7\%$	72
Figure III.30	Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=7.2\%$	72
Figure III.31	Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=55.8\%$	73
Figure III.32	L'allure de la tension obtenue aux bornes du moteur DC pour un angle d'amorçage $\alpha= 61.2\%$	74

Introduction générale

Introduction générale :

L'électronique de puissance permet la conversion de l'énergie électrique disponible sous une forme donnée (alternative ou continue) en une autre forme (alternative ou continue) avec un rendement maximum. Le principal domaine d'application de ces convertisseurs de puissance est la commande des machines électriques [5].

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 pas utilisés que pour des alimentations monophasées de faible puissance.

L'un des convertisseurs de puissance qui a été énormément utilisé est le pont redresseur. Le montage le plus utilisé est le pont de Graëtz alimenté en triphasé.

Cette structure qui convertit la tension d'une forme alternative en une forme continue a beaucoup évolué.

Bien que les autres montages soient peu utilisés, il est intéressant d'en faire une étude sommaire car ils permettent de mieux comprendre le pont de Graëtz en triphasé.

Signalons 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.

Pour classer les différents montages, il est pratique d'utiliser la notation « P » pour désigner les montages parallèles de diodes et la notation « PD » pour les montages parallèles double ou montage en pont de Graëtz. Cette indication, suivie du nombre q de phases qui caractérise le montage redresseur.

Les montages P3 et PD3. Ces deux montages sont les plus communément utilisés pour le redressement de tensions triphasées [4].

L'énergie électrique est surtout distribuée sous forme de tensions alternatives ou sinusoïdales. Les besoins actuels (en sources de tensions variables aussi bien alternatives que continues), nécessitent l'emploi de convertisseurs statiques d'énergie électrique notamment les hacheurs, les onduleurs, les gradateurs et les redresseurs. Et pour réaliser

ces convertisseur, il faut utiliser les dispositifs électroniques notamment les semi-conducteurs, thyristors, transistors, diodes...etc.

Les premières topologies étaient basées sur l'utilisation des semi-conducteurs de type diode. Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés (ni à la fermeture ni à l'ouverture), ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu. Ce qui rend le fonctionnement d'un pont redresseur à diode très limité.

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles, lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes [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 PIC18F4550 pour une commande dédiée à différents ponts redresseurs triphasés à thyristors et diodes.

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

❖ **Cahier des charges :**

Ce projet consiste donc à réaliser une carte numérique basée sur un microcontrôleur PIC18F4550, 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 pont redresseur triphasé.

Nous avons divisé notre projet en deux modules principaux :

Le premier concerne la carte de commande construite autour du microcontrôleur PIC 18F4550, elle doit remplir les fonctions suivantes :

- Le PIC attend les interruptions externes qui sont des signaux carrés issue des amplificateurs opérationnels. Ces signaux sont injectés aux pins RB0/INT, RB1/INT1, RB2/INT2.
 - Choix entre plusieurs modes de fonctionnement;
 - Réglage de l'angle de retard à l'amorçage;
 - Affichage sur écran LCD des valeurs de l'angle de retard à l'amorçage.

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

❖ Organisation du mémoire :

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

- **Réalisation** du circuit de commande, circuit de puissance et de la commande à distance par le logiciel Proteus;
- Conception du code CCS PICC pour les différents modes de fonctionnement des circuits redresseurs;
- Obtention des résultats de simulations où des comparaisons avec les signaux de simulations trouvés par le logiciel Matlab " Simulink" sont aussi considérés;
- **Réalisation** du circuit imprimé du projet utilisant plusieurs tâches dans le laboratoire de l'électronique (utilisation de l'ultraviolet et les produits, perçage, soudure, vérification des couts circuits);
- **Implantation** des composants électroniques et la mise en marche du circuit réalisé.

Ce mémoire contient trois chapitres, organisés comme suit:

- **Dans le premier chapitre** est consacré à l'étude des composants de puissance et leur fonctionnement. Après une brève introduction sur les convertisseurs statiques AC-DC non commandés (diode), commandés (thyristor), monophasé et triphasé. Des simulations obtenues par le Simulink du Matlab de chaque type de redresseur triphasé (schéma block et les allures des tensions et des courants) sont aussi illustrées.

- **Dans** le deuxième chapitre, nous allons d'abord discuter la description de microcontrôleur nous avons utilisé (PIC18F4550 / PIC12F629) et parler leur coté logiciel et la simulation de redresseur triphasé semi-commandé par le logiciel Proteus.

- **Enfin** dans le troisième chapitre (la dernière partie), nous allons décrire la fabrication et la comparaison entre elle et la simulation, ainsi nous présentons les conclusions de cette étude ainsi que les perspectives envisageables pour la poursuite de ce travail.

Chapitre I
Généralités sur les redresseurs

I.1. Introduction:

Les redresseurs sont des convertisseurs AC-DC (alternatif-continu) qui permettent de convertir une tension alternative en une tension continue de valeur moyenne commandable ou réglable.

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 connus des redresseurs commandés et non commandés alimentant des charges de type inductives. Enfin, une simulation en utilisant le logiciel Matlab des différents circuits des redresseurs est présentée.

I.2. Caractéristiques des composants électroniques :

Les redresseurs permettent de convertir une alimentation alternative en une alimentation continue réglable. 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. Diode de puissance :

La diode est l'élément de base utilisée dans les convertisseurs AC-DC non commandés. Elle n'est pas réversible en tension et ne supporte qu'une tension anode-cathode négative ($V_{AK} < 0$) à l'état bloqué. Elle n'est pas réversible en courant et ne supporte qu'un courant dans le sens anode-cathode positif à l'état passant ($I_{AK} > 0$) [2].

La Figure I.1 montre le schéma symbolique représentatif de la diode.

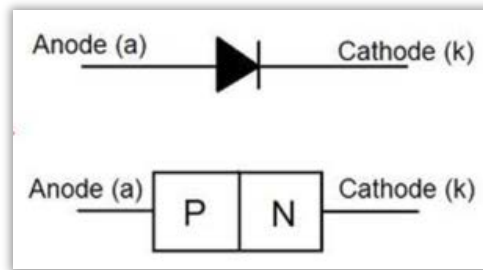


Figure I.1 Schéma symbolique représentatif de la diode [2].

I.2.1.1. Caractéristiques statique d'une diode :

La Figure I.2 montre la caractéristique statique d'une diode à deux états idéal et réel.

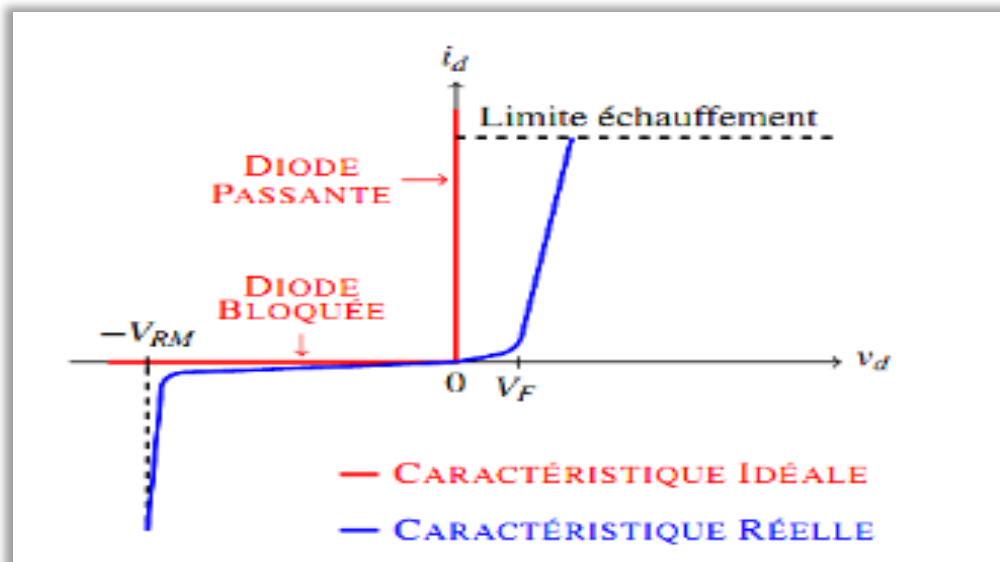


Figure I.2 Caractéristiques statique d'une diode (idéale, réelle).

Les critères principaux de choix d'une diode sont [5]:

- Le courant direct moyen I_0 ;
- La tension inverse de crête répétitive V_{RRM} ;
- Le type de boîtier.

I.2.2. Le thyristor :

Le thyristor est un élément semi-conducteur qui possède quatre couches respectivement dopé PNPN, trois jonctions PN et trois électrodes : l'anode (A), la cathode (K) et la gâchette (G). Comme la diode, le thyristor laisse passer le courant électrique dans un seul sens, de l'anode vers la cathode.

Mais le thyristor ne conduira que si un courant minimum positif est fourni à la gâchette. En fait, s'il est polarisé en direct ($V_{AK} > 0$), une impulsion positive suffira pour le rendre conducteur. C'est donc une diode commandée et plus spécifiquement un redresseur commandé, d'où son nom anglais 'Silicon Controlled Rectifier (SCR)', ce qui signifie (Redresseur commandé au silicium) [3]. La Figure I.3 donne la représentation symbolique d'un thyristor.

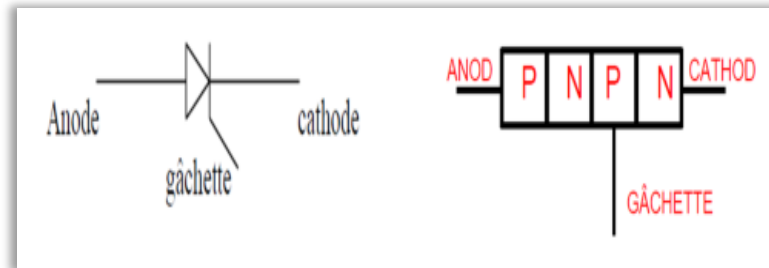


Figure I.3 Représentation symbolique d'un thyristor [3].

I.2.2.1. Principe de fonctionnement :

- Amorçage :

L'amorçage d'un thyristor est obtenu par divers phénomènes physiques, dans tous les cas l'amorçage rend le thyristor conducteur et un courant circule de l'anode vers la cathode $[0 I_{AK}]$. La tension V_{AK} est alors faible, environ de l'ordre de quelques dixièmes de volts. Il est à noter que pour le thyristor reste conducteur, son courant d'anode I_{AK} doit rester supérieur à une certaine valeur appelé courant de maintien.

- Blocage :

Sous tension inverse, la tension anode cathode notée V_{AK} est négative, la première et la dernière jonctions sont polarisées en inverse et donc bloquées, le courant de fuite à une intensité très faible en raison des différences de dopage entre les couches. C'est la jonction d'anode qui supporte la plus grande partie de la tension inverse. Pour bloquer un thyristor, il suffit de lui imposer une tension V_{AK} négative, alors même une impulsion positive appliquée sur la gâchette ne pourra l'amorcer [4].

I.2.2.2. Caractéristiques statique d'un thyristor :

La Figure I.4 montre les différentes caractéristiques d'un thyristor.

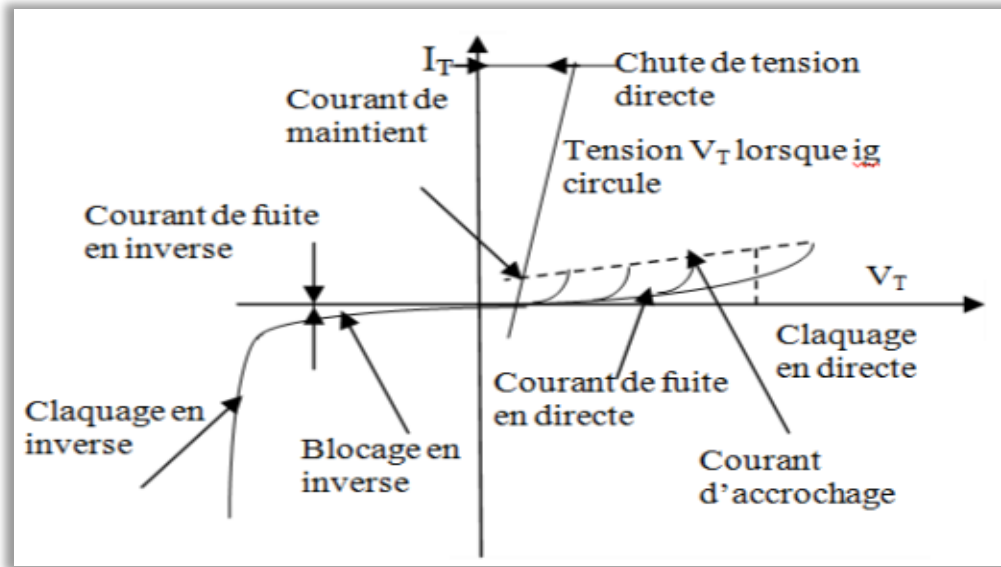


Figure I.4 Caractéristiques statique d'un thyristor [5].

Les critères principaux de choix d'un thyristor sont [5] :

- ✓ Le courant direct moyen à l'état passant I_0 ;
- ✓ Le courant efficace à l'état passant I_T ;
- ✓ La tension inverse de crête répétitive V_{RRM} ;
- ✓ La tension directe de crête répétitive à l'état bloqué V_{DRM} ;
- ✓ Les temps d'amorçage et de désamorçage.

I.3. Redresseurs monophasés :

L'ordre d'ondulation d'un redresseur est égale le nombre de périodes de la tension redressée pendant une période de l'alimentation alternative.

L'étude des circuits redresseurs qui se suivent repose sur les hypothèses suivantes [6]:

- Les chutes de tension des diodes et les thyristors sont négligeables;
- Si $V_{AK} > 0$, la diode est considérée comme un interrupteur fermé;
- Si $I_D = 0$, la diode est considérée comme un interrupteur ouvert.

I.3.1. Redresseurs monophasés non commandés :

I.3.1.1. Redresseur monophasé simple alternance non commandé :

La Figure I.5 représente le schéma de principe d'un redresseur monophasé simple alternance alimentant une charge inductive (RL).

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

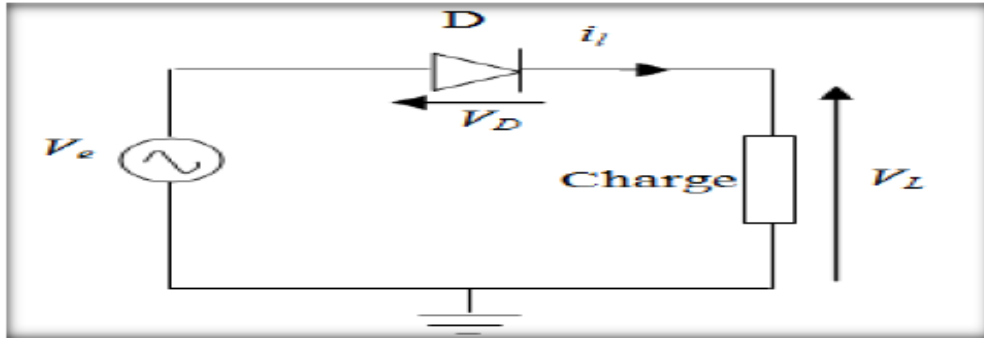


Figure I.5 Redresseur monophasé simple alternance non commandé.

I.3.1.2. Redresseur monophasé double alternance non commandé :

La structure de principe de ce type du redresseur est représentée sur la Figure I.6.

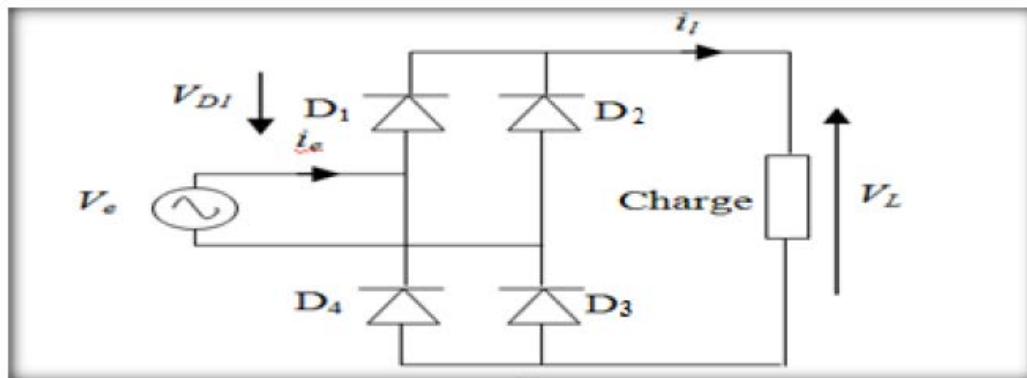


Figure I.6 Redresseur en pont non commandé.

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

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

I.3.2. Redresseurs monophasés commandés :

Le redresseur commandé permet d'obtenir, à partir d'une source alternative, un courant unidirectionnel aux valeurs moyennes et efficaces réglables.

Le redressement commandé est utilisé pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu [8].

I.3.2.1. Redresseur monophasé simple alternance totalement commandé :

Le schéma de ce redresseur est représenté par la Figure I.7. En utilisant ce type de redresseur on règle la tension moyenne de charge en contrôlant l'angle de retard (amorçage).

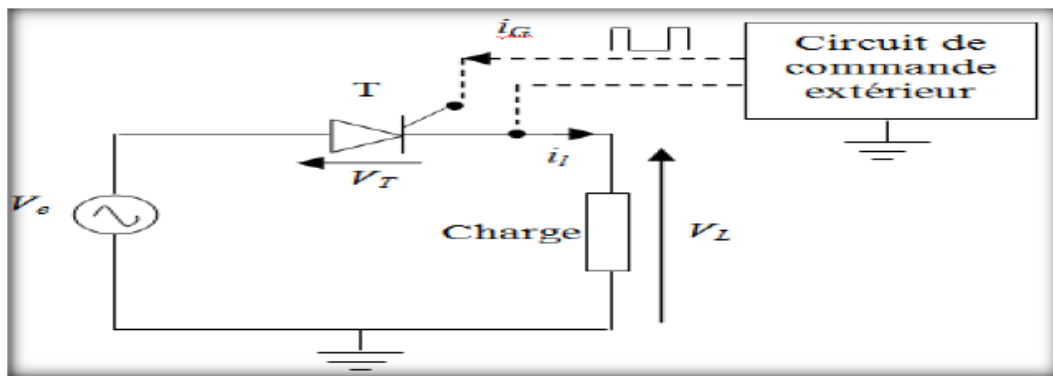


Figure I.7 Redresseur simple alternance totalement commandé.

Pendant l'alternance positive, on amorce le thyristor en injectant une impulsion sur sa gâchette à $\omega T = \alpha$, T 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 [4].

I.3.2.2. Redresseur monophasé simple alternance avec diode de roue libre :

On place une diode de roue libre D_{RL} en parallèle sur la charge pour que le courant i_e puisse être ininterrompu comme le montre la Figure I.8. Cette diode prolonge le courant i_s (absence de discontinuité de courant dans une inductance) lorsque la tension u_E devient négative et par conséquent, elle 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 [10].

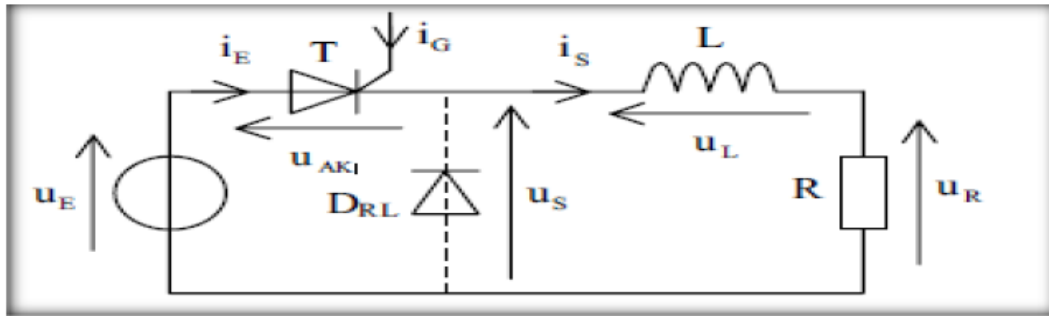


Figure I.8 Redresseur simple alternance avec diode de roue libre.

I.3.2.3. Redresseur monophasé double alternance totalement commandé :

Le circuit de principe de ce redresseur est donné par la Figure I.9. Dans ce cas, le montage ne comporte que des thyristors. Il n'y a pas de conduction jusqu'à l'amorçage des thyristors. Pour qu'un courant circule, il faut amorcer les thyristors T_1 et T_2 simultanément dans la première alternance et T_3 et T_4 dans l'alternance suivante.

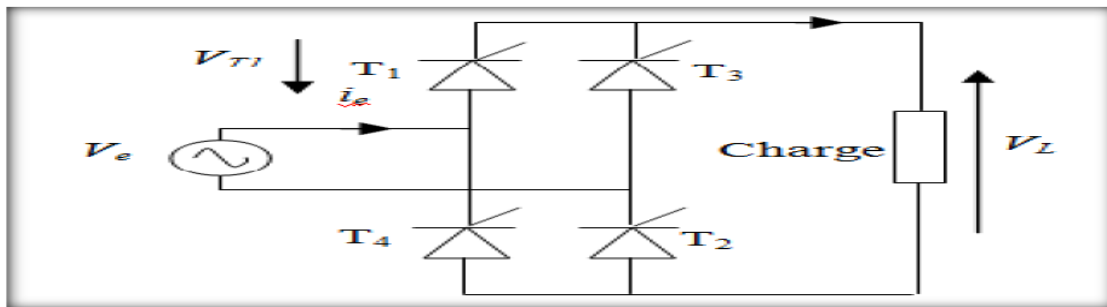


Figure I.9 Redresseur monophasé double alternance totalement commandé.

Pendant l'alternance positive, les thyristors T_1 et T_2 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 de T_3 et T_4 . Le courant de charge est transféré de T_1 et T_2 vers T_3 et T_4 , d'où la continuité du courant [9].

I.3.2.4. Redresseur monophasé double alternance semi-commandé :

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 T_1 , T_2 et D_1 , D_2 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 D_L .

D_L fournit un chemin parallèle préférentiel à ce trajet de roue libre comparativement à la combinaison série d'un thyristor et d'une diode par exemple T_1 , D_1 .

D_L permet donc au thyristor de repasser à l'état bloqué [8].

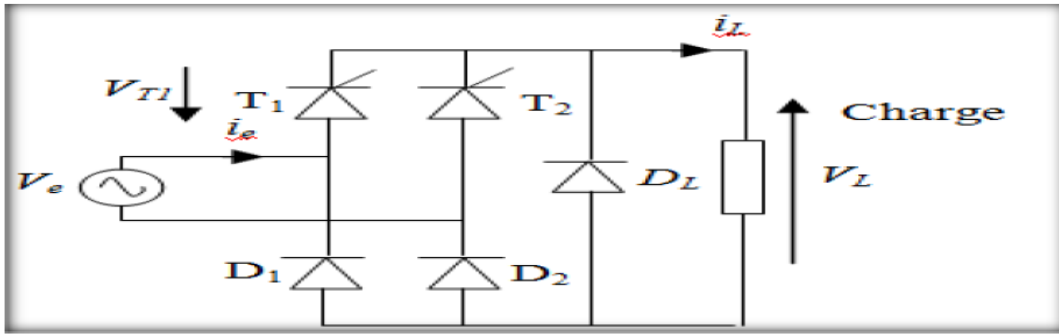


Figure I.10 Redresseur monophasé double alternance semi commandé.

I.4. Redresseurs triphasés :

I.4.1. Redresseurs triphasés non commandé :

I.4.1.1. Redresseur simple alternance non commandé :

Ce type de redresseur est montré par la Figure I.11. Le courant de charge est ramené au neutre de l'alimentation. Le redresseur fonctionne de telle façon qu'une seule diode conduit à un instant donné, celle connectée à la phase de plus grande valeur instantanée [6].

Le circuit de principe est donné sur la Figure I.11.

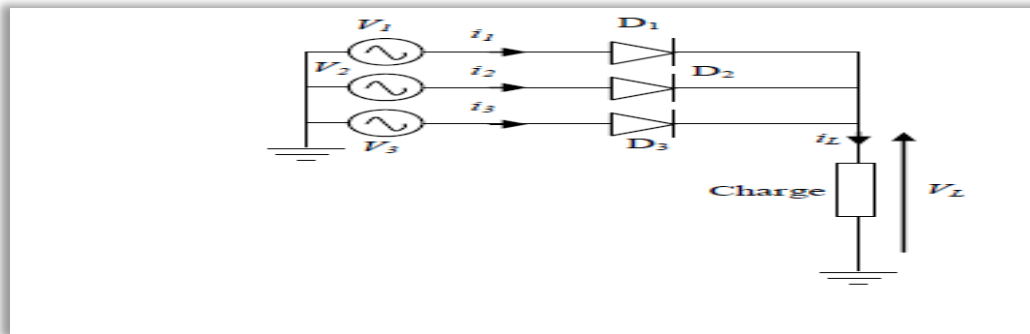


Figure I.11 Redresseur triphasé simple alternance non commandé [7].

Le fonctionnement circuit est basé sur la variation instantanée des tensions :

- Si la tension $V_1 > V_2 \& V_1 > V_3 \rightarrow V_{D1} > 0 \rightarrow V_l = V_1$.
- Si la tension $V_2 > V_1 \& V_2 > V_3 \rightarrow V_{D2} > 0 \rightarrow V_l = V_2$.
- Si la tension $V_3 > V_1 \& V_3 > V_2 \rightarrow V_{D3} > 0 \rightarrow V_l = V_3$.

- La tension redressée aux bornes du récepteur varie entre l'amplitude d'une tension simple et la moitié de cette valeur et elle se répète trois fois par période.
- Le courant de charge est bien lissé par rapport aux montages monophasés.
- La tension inverse maximale aux bornes de chaque diode est $\sqrt{3}V_m$.

Les formes d'ondes peuvent être tracées comme montré par la Figure I.12.

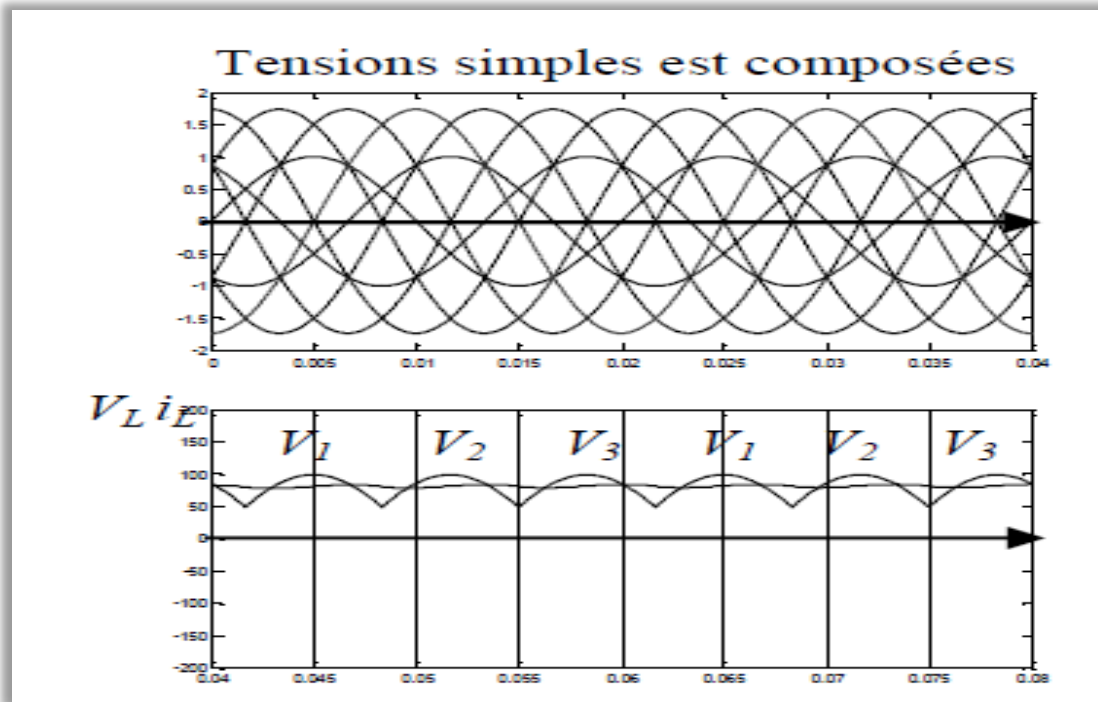


Figure I.12. Formes d'ondes de courant et de la tension d'un redresseur simple alternance non commandé [7].

La tension obtenue a une forme ondulée et sa valeur moyenne est exprimée comme suit:

$$V_{moy} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin(\theta) d\theta = 3 \frac{\sqrt{3}}{2\pi} V_m \quad (I.2)$$

I.4.1.2. Redresseur triphasé double alternance non commandé :

Selon le schéma représenté sur la Figure I.13, le redresseur alimente la charge par la tension composée (entre phase) et le courant revient à l'une des trois lignes d'alimentation via un autre redresseur simple alternance.

L'ordre d'ondulation de la tension de charge est supérieur par rapport au redresseur simple alternance triphasé.

La tension V_L est la différence entre deux tensions simples par rapport au neutre d'alimentation, la valeur crête de la tension redressée égale celle de la tension composée.

Deux diodes qui conduisent à un instant donné sont celles reliées aux deux lignes de plus grande tension entre elles [6].

La Figure I.5 représente le schéma de principe d'un redresseur triphasé double alternance non commandé

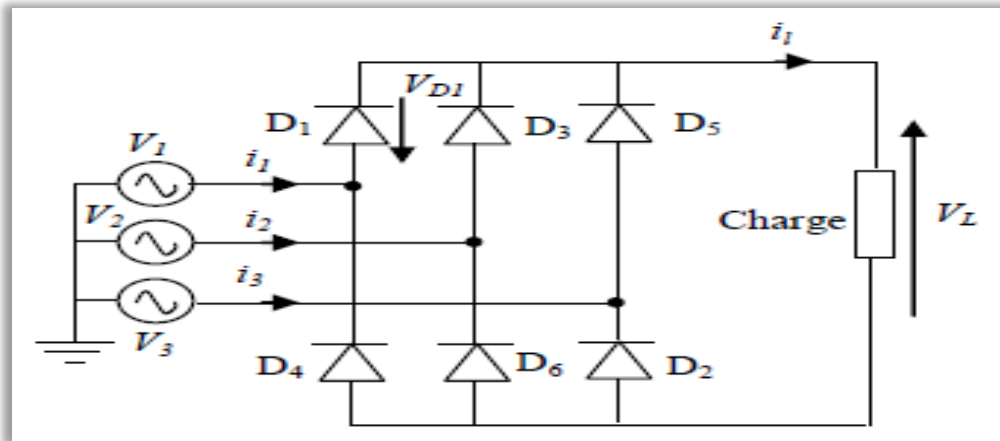


Figure I.13 Redresseur triphasé en pont non commandé [7].

Les formes d'ondes peuvent être tracées comme montré par la Figure I.14.

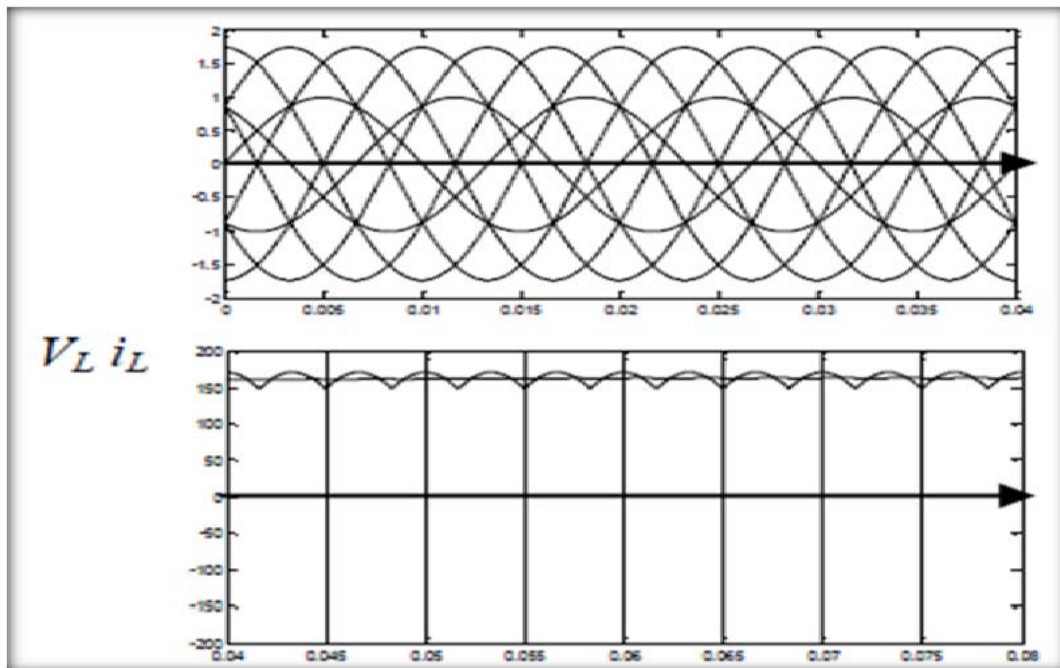


Figure I.14 Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance non commandé [7].

On remarque que V_L est doublée et le courant de charge est très lissé.

Le courant i_1 de la source V_1 égale :

- $i_1 = i_{D1} - i_{D4} = i_L$ si D_1 conduit.
- $i_1 = -i_L$ si D_4 conduit.
- $i_1 = 0$ si D_1 et D_4 sont bloquées.
- $V_{D1} = V_{12}$ si D_3, D_2 ou D_3, D_2 conduisent.
- $V_{D1} = V_{13}$ si D_5, D_4 ou D_5, D_6 conduisent.
- $V_{D1} = 0$ si D_1 conduit.

D'après la Figure. I.14, on tire alors la tension moyenne de charge [6] :

$$V_{moy} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/6}^{\pi/2} \sqrt{3}V_m \sin(\theta + \pi/6) d\theta = 3 \frac{\sqrt{3}}{\pi} V_m \quad (I.3)$$

I.4.2. Redresseurs triphasés commandé :

I.4.2.1. Redresseur triphasé mono alternance totalement commandé :

Le montage redresseur totalement commandé est schématisé comme montré dans la Figure I.15.

Pour que la circulation de puissance électrique se fait dans les deux sens.

L'angle de retard α est compté à partir des instants des commutations naturelles (i.e., les points d'intersection des tensions simples) [6].

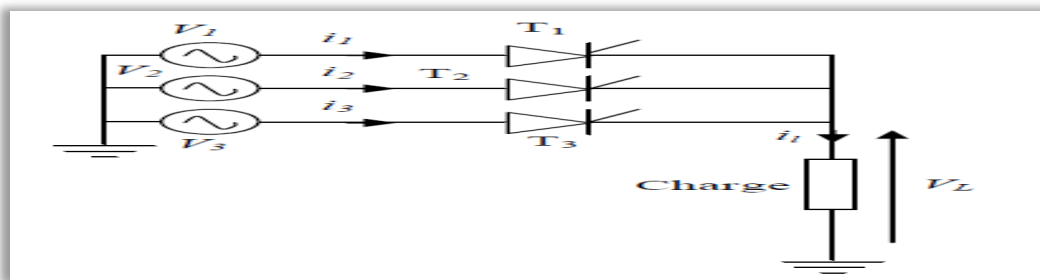


Figure I.15 Redresseur triphasé mono alternance totalement commandé.

Les impulsions de commande sont déphasées entre elle avec un angle de $0 \leq \alpha \leq \pi/2$.

La tension inverse maximale aux bornes de chaque thyristor est $\sqrt{3}V_m$.

Les formes d'ondes peuvent être tracées comme montré par la Figure I.16.

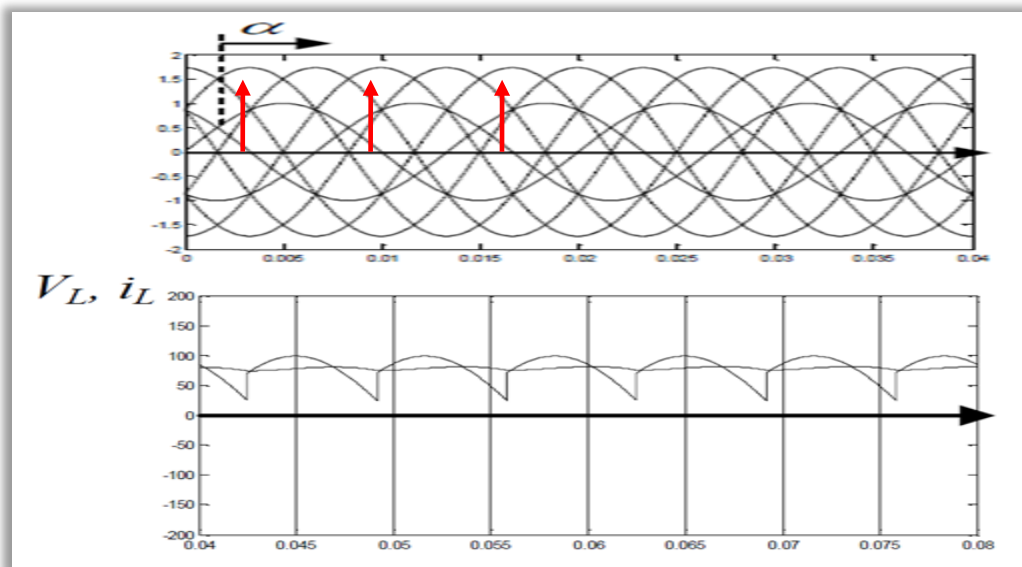


Figure I.16 Formes d'ondes de courant et de la tension d'un redresseur triphasé mono alternance totalement commandé [7].

La valeur moyenne s'écrit comme suit [6] :

$$V_{moy} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} V_m \sin(\theta) d\theta = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} \cos(\alpha) \quad \text{avec } 0 \leq \alpha \leq \pi/2 \quad (I.4)$$

I.4.2.2. Redresseur triphasé mono alternance avec diode de roue libre :

Si on veut éviter que des tensions négatives soient appliquées la charge, on fait appel à une diode de roue libre connectée en parallèle avec la charge (voir Figure I17).

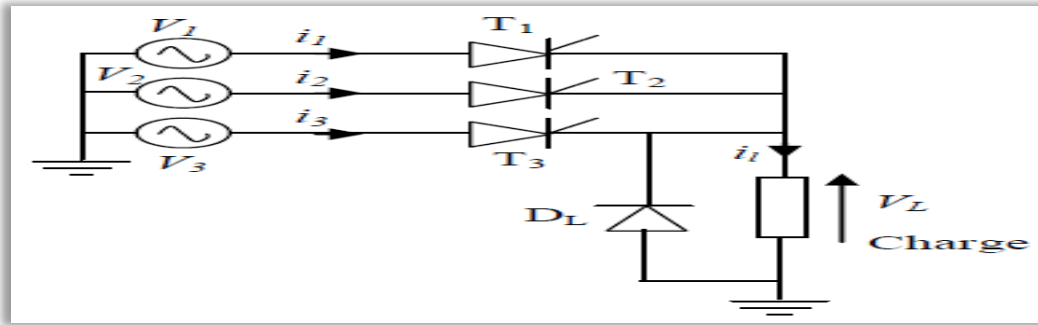


Figure I.17 Redresseur triphasé mono alternance avec diode de roue libre [8].

Dans ce cas, l'inversion de la tension de sortie est impossible et l'énergie électrique circule uniquement de la source vers la charge.

- Si T_1 conduit, $V_{T1}=0$.
- Si T_2 conduit, $V_{T1}=V_{I2}$.
- Si T_3 conduit, $V_{T1}=V_{I3}$.
- Si D_L conduit, $V_{T1}=V_{I1}$.

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

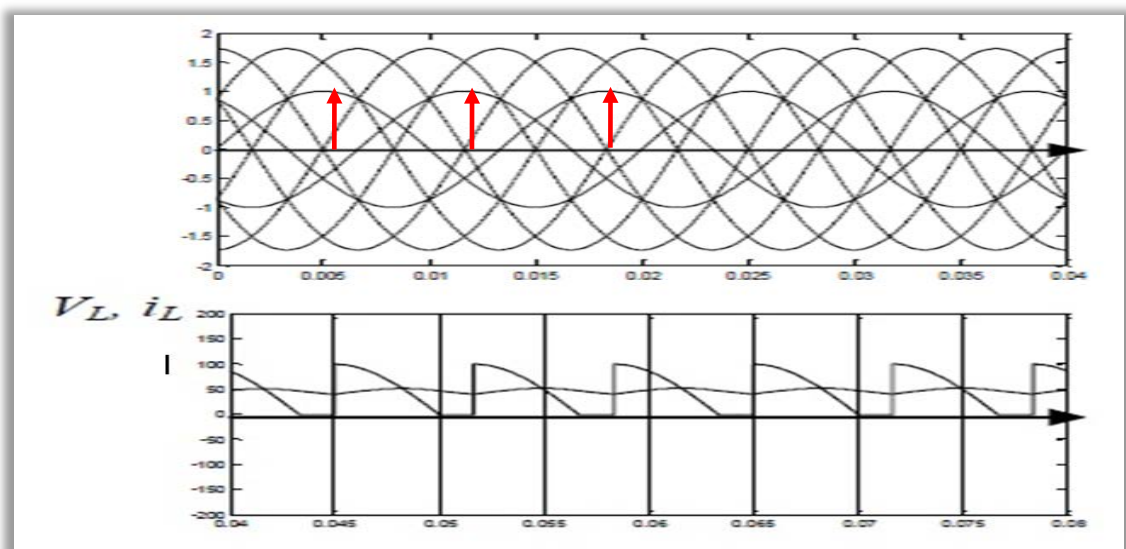


Figure I.18 Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé mono alternance avec diode de roue libre [7].

La tension moyenne a deux expressions en fonction de α [6] :

$$V_{moy} = \begin{cases} \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} V_m \sin(\theta) d\theta & \text{si } 0 \leq \alpha \leq \pi/6 \\ \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi} V_m \sin(\theta) d\theta & \text{si } \pi/6 \leq \alpha \leq 5\pi/6 \end{cases} \quad (\text{I.5})$$

La simplification de (I.4) conduit à :

$$V_{moy} = \begin{cases} \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} \cos(\alpha) & \text{si } 0 \leq \alpha \leq \pi/6 \\ \frac{3V_m}{2\pi} (\cos(\alpha) + \pi/6) + 1 & \text{si } \pi/6 \leq \alpha \leq 5\pi/6 \end{cases} \quad (\text{I.6})$$

I.4.2.3. Redresseur triphasé double alternance totalement commandé :

En remplaçant les diodes par des thyristors pour obtenir un réglage de la tension moyenne de sortie. La Figure I.19 représente le schéma de principe d'un redresseur triphasé double alternance totalement commandé.

A chaque moment, on a deux thyristors qui conduisent et la commande doit être appliquée simultanément pour démarrer le fonctionnement du redresseur [6].

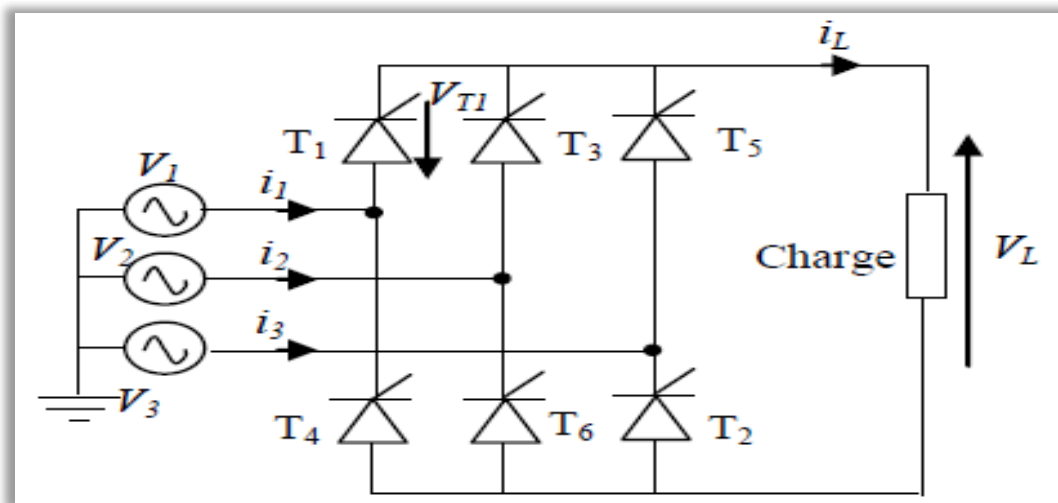


Figure I.19 Redresseur triphasé en pont totalement commandé [7].

Les formes d'ondes de ce convertisseur sont représentées dans la Figure I.20.

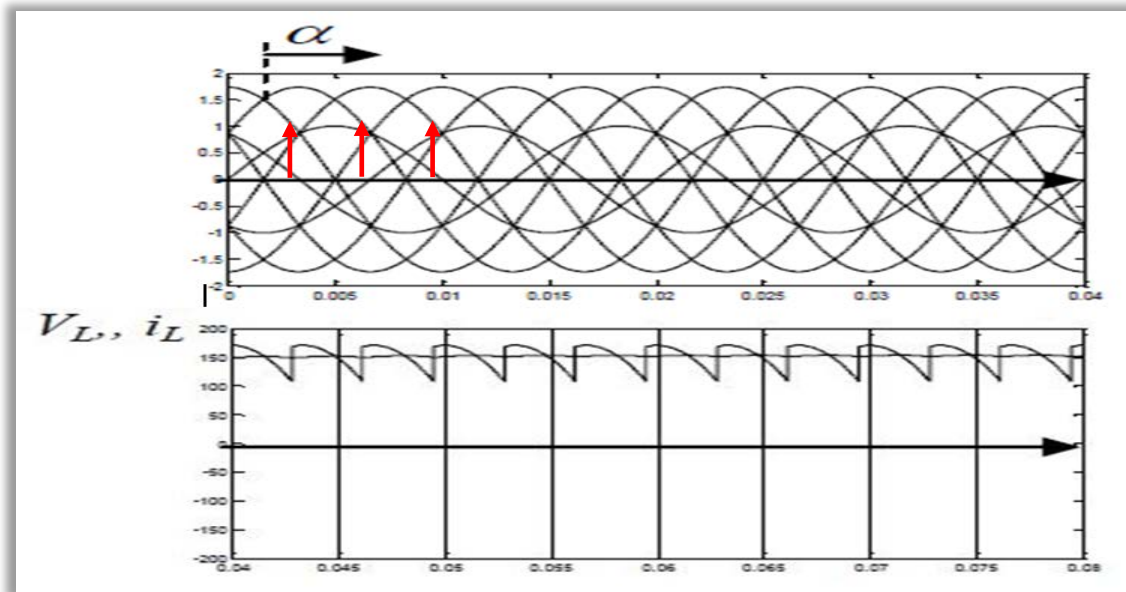


Figure I.20 Formes d'ondes de la tension et du courant du redresseur triphasé double alternance totalement commandé [7].

D'après les formes d'ondes présentées par la Figure. I.28, la tension moyenne vaut [6]:

$$V_{moy} = \frac{1}{\pi/6} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{3}V_m \sin(\theta + \pi/6)d\theta \quad (I.7)$$

La simplification de (I.7) conduit à :

$$V_{moy} = 3 \frac{\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos(\alpha) \text{ avec } 0 \leq \alpha \leq \pi/2 \quad (I.8)$$

I.4.2.4. Redresseur triphasé double alternance semi commandé :

Le montage redresseur triphasé double alternance semi commandé est schématisé comme montré dans la Figure I.21.

Pour empêcher l'inversion de la tension de charge, on met toujours une diode de roue libre aux bornes du récepteur DC.

Dans ce montage ne pose aucun problème de démarrage et il est utilisé pour alimenter des charges à forte puissance sans récupération d'énergie électrique vers la source en mode de freinage du moteur.

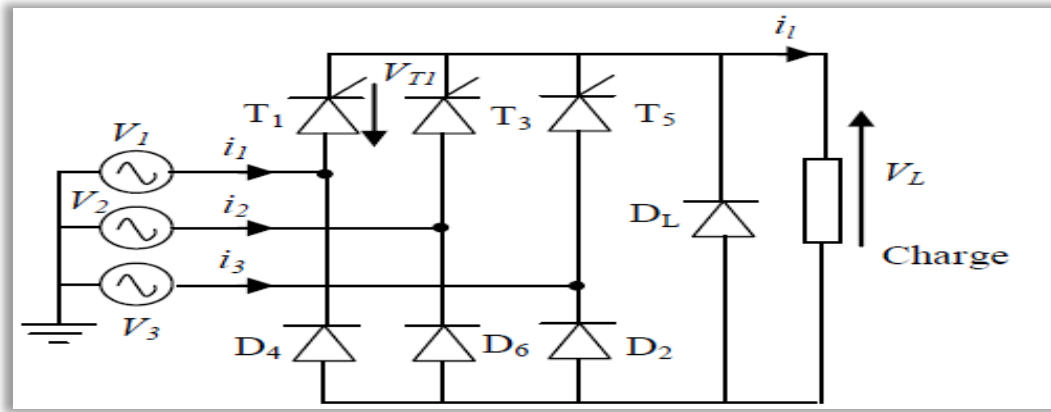


Figure I.21 Redresseur triphasé en pont semi commandé [7].

Les formes d’ondes du courant et de la tension du redresseur triphasé double alternance semi commandé sont représentées sur la Figure I.22.

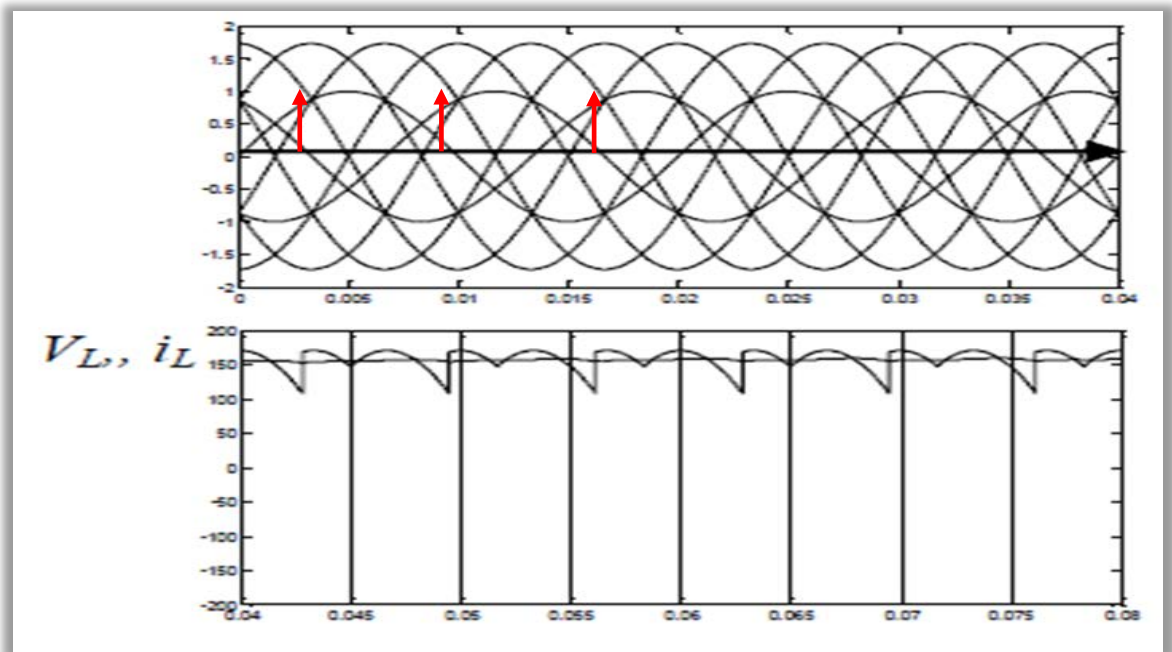


Figure I.22 Forme d’ondes du courant et de la tension du redresseur triphasé double alternance semi commandé [7].

La tension moyenne prend l’expression suivante [6] :

$$V_{moy} = \frac{1}{2\pi/3} \left[\int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2} \sqrt{3}V_m \sin(\theta + \pi/6)d\theta + \int_{\pi/2}^{5\pi/6+\alpha} \sqrt{3}V_m \sin(\theta - \pi/6)d\theta \right] \quad (I.9)$$

La simplification de (I.9) conduit à :

$$V_{moy} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} (\cos(\alpha) + 1) \text{ où } 0 \leq \alpha \leq \pi \quad (I.10)$$

Les impulsions de commande pour les trois thyristors sont périodique de période 2π et elles sont déphasées entre elles par un angle de $2\pi / 3$.

a. Résultats de simulations :

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

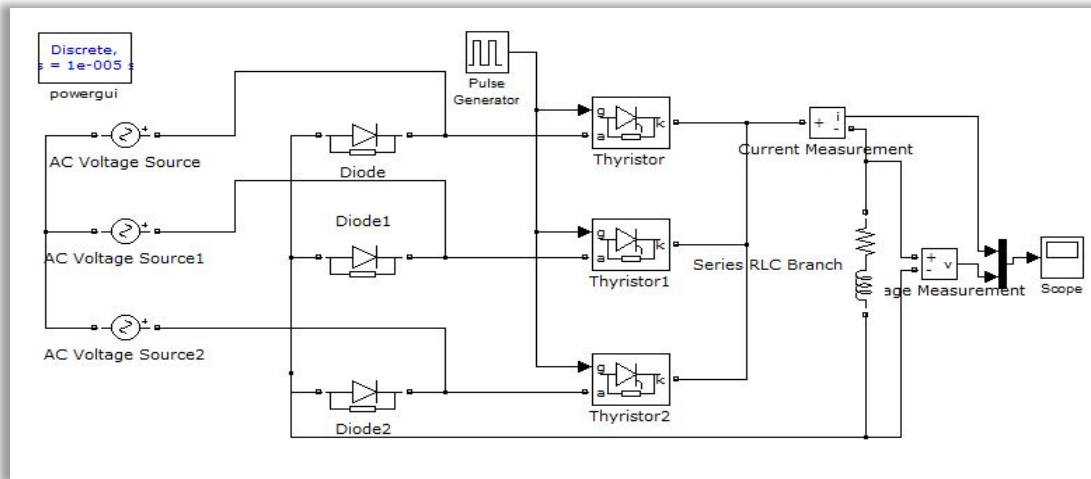


Figure I.23 Schéma block d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé (Simulink-Matlab).

Les formes d'ondes de tension, de courant et les impulsions de commande pour différent d'angle d'amorçage sont représentées sur les Figures I.24, I.25, I.26, I.27:

1- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=35\%$:

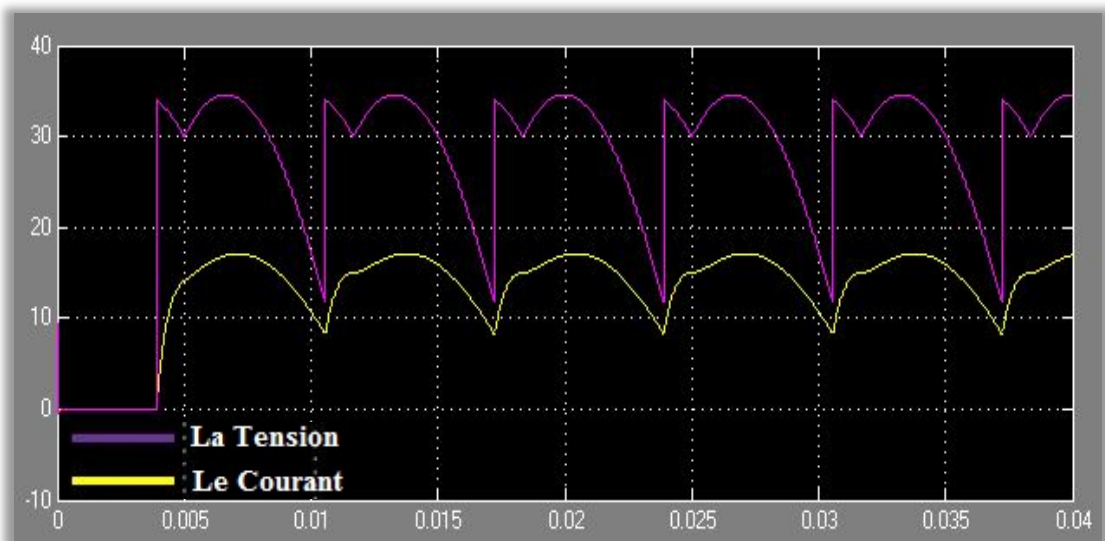


Figure I.24 Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha=35\%$.

2- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=75\%$:

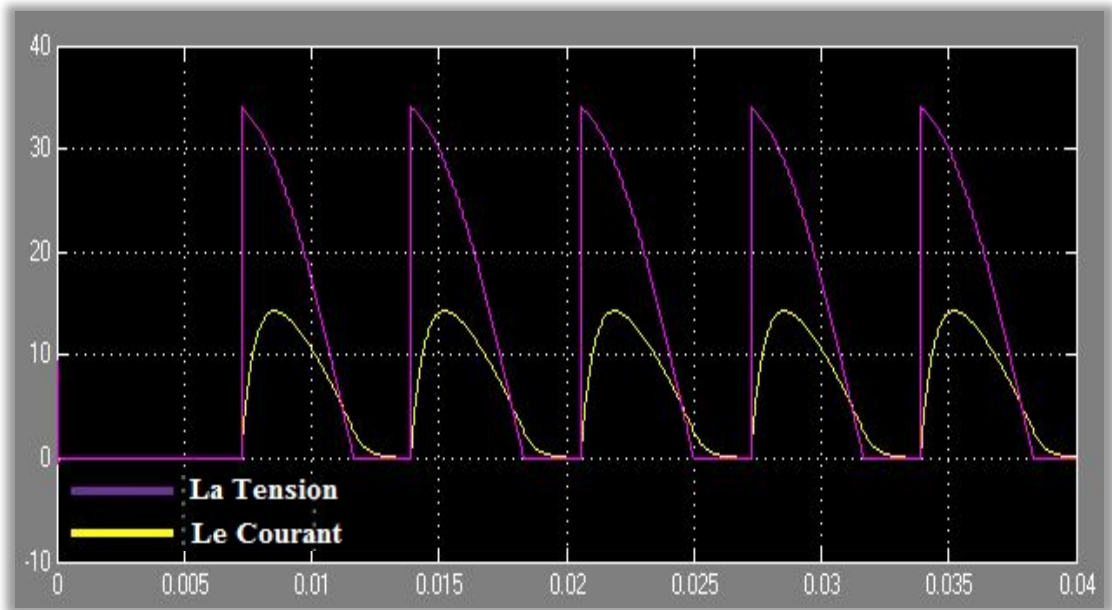


Figure I.25 Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha=75\%$.

3- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=6\%$:

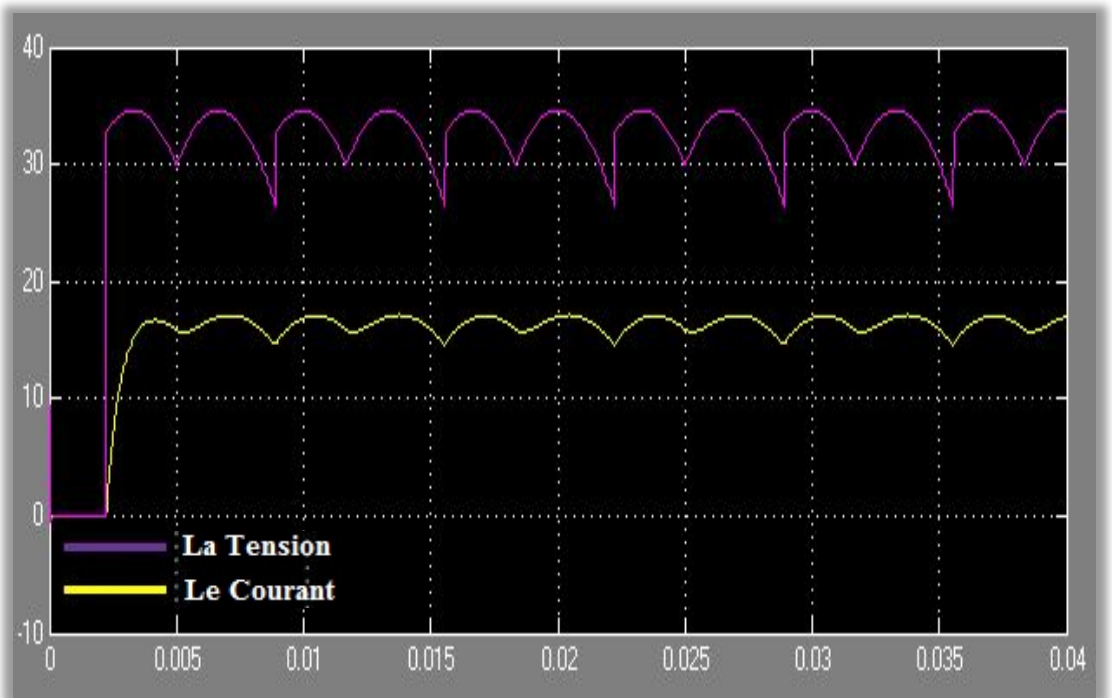


Figure I.26 Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha=6\%$.

4- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=50\%$:

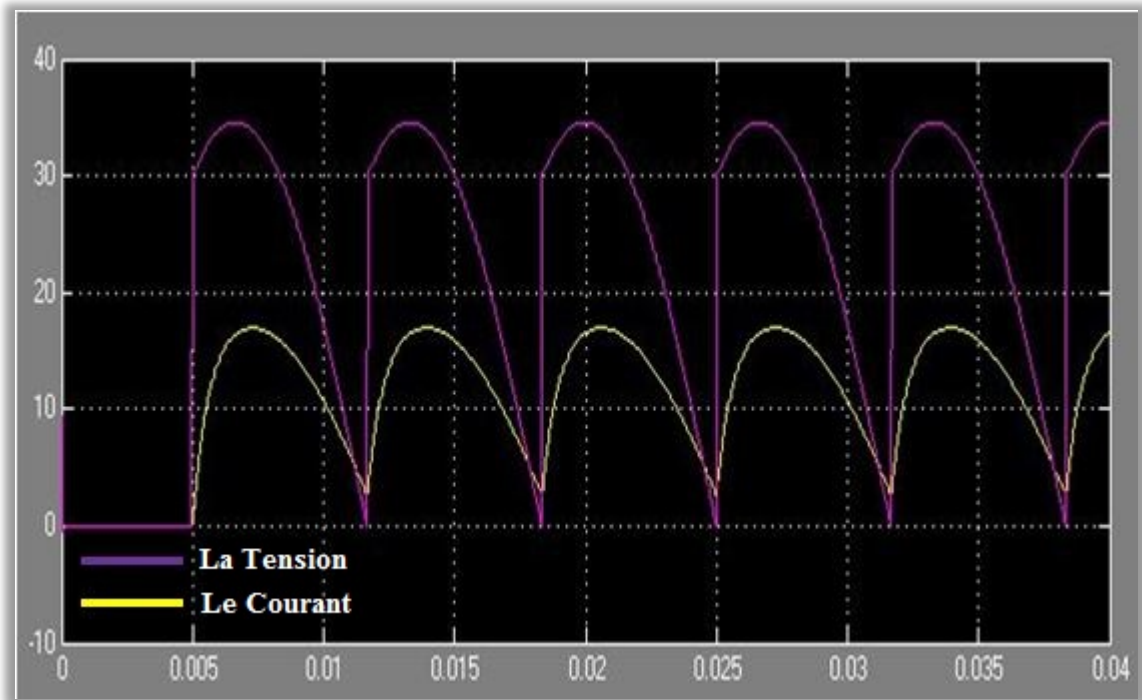


Figure I.27 Allures de tension et de courant d'un redresseur triphasé double alternance semi commandé pour d'un angle d'amorçage $\alpha=50\%$.

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une panoplie de convertisseurs alternatifs-continus (AC-DC).

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'ongle d'amorçage d'un thyristor. Nous passons en deuxième lieu par présenter les montages les plus couramment utilisés.

Des simulations par le logiciel Matlab ont été illustrées confirmant 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 des microcontrôleurs PIC18F4550/PIC12F629 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 des microcontrôleurs PIC18F4550/PIC12F629 de la société MICROCHIP . Ainsi qu'un petit rappel sur les logiciels qu'on a utilisés comme le CCS PICC, MPLAB 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. Généralités sur les microcontrôleurs :

II.2.1. Introduction :

Les microcontrôleurs ont grandement contribué à l'évolution des circuits électroniques, des circuits électroniques câblés vers des circuits imprimés programmables, qui permettent en programmant ces derniers d'effectuer plusieurs tâches précises.

La multiplicité de ses ports (entrées/sorties) a l'avantage de brancher plusieurs périphériques issues du monde extérieur tels que : les diodes lumineuses (LED), les amplificateurs pour commander des moteurs, hautparleurs, les boutons poussoirs, les interrupteurs.

De plus l'évolution actuelle des microcontrôleurs permet la reprogrammation de leurs mémoires grâce à la mémoire permanente flash [11].

II.2.2. Présentation du Microcontrôleur :

Un microcontrôleur est un circuit central de systèmes électroniques intégrant un microprocesseur et des fonctions supplémentaires (mémoire, mémoire non-volatile, Interfaces analogiques...) [12].

II.2.3. Caractéristiques principales d'un microcontrôleur :

Le microcontrôleur possède plusieurs caractéristiques notamment [12] :

- ✓ De nombreux périphériques d'E/S;
- ✓ Une mémoire de programme;
- ✓ Une mémoire vive (en général de type SRAM);
- ✓ Eventuellement une mémoire EEPROM destinée à la sauvegarde par données à la coupure de l'alimentation;

- ✓ Un processeur 8 ou 16 bits;
- ✓ Une Faible consommation électrique.

II.2.4. Avantages d'un microcontrôleur :

L'utilisation de les microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts est bien réelle. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution d'offre des fabricants des circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années.

En effet, le microcontrôleur est moins cher que les autres composants qu'il remplace.

D'autre part, le microcontrôleur diminue les coûts de main d'œuvre [12].

II.2.5. Contenu d'un microcontrôleur :

Un circuit microcontrôleur doit contenir dans un seul boîtier tous les éléments de base qu'on verra par la suite. En effet, pour l'analyse des divers systèmes réalisés avant l'avènement des microcontrôleurs, les fabricants des circuits intégrés ont affiné un peu la définition de ce qu'il fallait intégrer pour arriver à un schéma type analogue [12].

II.3. Le PIC :

Les microcontrôleurs PIC (ou PIC micro dans la terminologie du fabricant) forment une famille de microcontrôleurs de la société Microchip. Ces microcontrôleurs sont dérivés du PIC1650 développé à l'origine par la division microélectronique de General Instruments.

Le nom PIC n'est pas officiellement un acronyme, bien que la traduction en " peripheral Interface Controller " (contrôleur d'interface périphérique) soit généralement admise.

Cependant, à l'époque du développement du PIC1650 par General Instruments, PIC était un acronyme de " Programmable Intelligent Computer " ou " Programmable Integrated Circuit " [13].

II.3.1. Définition :

Les PIC intègrent une mémoire de programme, une mémoire de données, des ports d'entrée-sortie (numériques, analogiques, , UART, bus I2C, etc.), et même une horloge,

bien que des bases de temps externes puissent être employées. Certains modèles disposent de ports et unités de traitement de l'USB.

Les PICs sont très performants de par leur vitesse d'exécution, et peu coûteux, les microcontrôleurs PIC se sont imposés avec succès depuis une dizaine d'années et se retrouvent aujourd'hui dans de nombreux appareils très divers (programmateurs domestiques ou d'appareils électroménager : Télécommande, thermostats électroniques...) [14].

II.3.2. Différentes familles de PICs :

Il existe trois grandes familles de PICs [14] :

1. La famille base line : emploie des mots d'instructions ³ de 12 bits pour certains PICs (12c508) et 14 bits pour d'autres PICs (12F675).
2. La famille Mid-range ⁴ :emploie des mots d'instructions de 14 bits (16F84-16F876-16F877).
3. La famille High-End : emploie des mots d'instructions de 16 bits.

II.3.3. Identification d'un PIC :

Un PIC est identifié par un code de la forme suivante [14] :

xx(L) XXyy-zz :

- ✓ **xx** : famille du PIC(12, 14, 16,18) ;
- ✓ **L** : tolérance plus importante de la plage de tension;
- ✓ **XX** : type de mémoire, peut être soit de type : C, CR ou F;
- ✓ **C** : est la mémoire de type EPROM ou EEPROM (rarement), elle est effaçable par UV (ultra-violet) ;
- ✓ **CR** : mémoire de type ROM;
- ✓ **F** : mémoire flash, effaçable électriquement avec un accès plus rapide et reprogrammable;
- ✓ **yy** : indique le modèle du PIC (son identité) ;
- ✓ **zz** : la fréquence d'horloge maximale supportée par le PIC.

3- Une instruction est définie par son code opératoire, valeur numérique binaire difficile à manipuler par l'être humain.

4- Moyenne puissance.

II.3.4. Concernant le PIC 18F4550 :

- ✓ 18 : indique la famille du PIC (Mid-Rang) ;
- ✓ F : indique le type de la mémoire utilisée (Flash) ;
- ✓ 4550 : identité du PIC.

II.3.5. Le choix d'un PIC :

Le choix d'un PIC pour une application dépend principalement de [14] :

- 1- Nombre d'entrées/sorties de l'application.
- 2- Du type de la mémoire utilisée RAM, EPROM, FLASH et de sa taille (elle dépend de la programmation des PICs).
- 3- De l'existence ou non d'une mémoire EEPROM.

D'autres choix sont aussi pris en compte tels que :

- ✓ La disponibilité du composant sur le marché;
- ✓ La facilité de sa mise en œuvre;
- ✓ Son prix d'achat.

II.3.6. Organisation d'un PIC :

Un microcontrôleur se présente sous la forme d'un circuit intégré réunissant tous les éléments d'une structure à base de microprocesseur. Voici généralement ce que l'on trouve à l'intérieur d'un tel composant [14] :

- Un microprocesseur (C.P.U.);
- Une mémoire de donnée (RAM et EEPROM);
- Une mémoire programme (ROM, OTPROM, UVPROM ou EEPROM) ;
- Des interfaces parallèles pour la connexion des entrées / sorties;
- Des interfaces séries (synchrone ou asynchrone) pour le dialogue avec d'autres unités;
- Des timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle;
- Des convertisseurs analogique / numérique pour le traitement des signaux.

II.4. Microcontrôleur "18F4550":

Nous allons maintenant nous intéresser à la structure interne du PIC18F4550, avec lequel nous avons réalisé notre projet de fin d'études. Ce 18F4550 est un microcontrôleur de MICROCHIP, fait partie intégrante de la famille des Mid-Range (18) dont la mémoire Programme est de type flash (F) [14] .

II.4.1. Désignation :

Le terme PIC18 désigne une des familles de microcontrôleurs 8 bits de MICROCHIP. Cette famille est caractérisée par un jeu d'instructions commun de 75 instructions (+ 8 instructions étendues), l'identification :

18 = famille PIC18;

F = mémoire de programme de type flash (et donc reprogrammable).

II.4.2. Caractéristiques :

Les principales caractéristiques de ce microcontrôleur sont [15] :

- Fréquence de fonctionnement élevée, jusqu' à 48MHz (12MIPS) ;
- Une mémoire EEPROM pour sauver des paramètres de 256 octets;
- Une mémoire vive(SRAM) de 2048 octets;
- 35 Entrées et Sorties bidirectionnelles;
- 13 canaux de convertisseurs A/N 10 bits;
- La Liaison SSP à 8 bits;
- Bus I2C (Inter Integrated Circuit Bus) esclave ou maitre ou multi maitres;
- SPI (Serial Peripheral Interface) ;
- 4 Temporisateurs : TIMER0 (8 bits), TIMER1 (16bits), TIMER2 (8 bits) et TIMER3 (16 bits) ;
- Un oscillateur interne;
- Un USB (Universal Serial Bus) ;
- USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter).

II.4.3. Architecture externe :

Brochage :

Le boîtier du PIC18F4550 décrit par (la Figure II.1) comprend 40 pins : 35 pins d'entrées/sorties, 2 pins pour l'alimentation, 2 pins pour l'oscillateur et un pin pour le reset (MCLR).

La broche MCLR sert à initialiser le microcontrôleur 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 (broches 11 et 32) et VSS (broches 12 et 31) servent à alimenter le PIC [16].

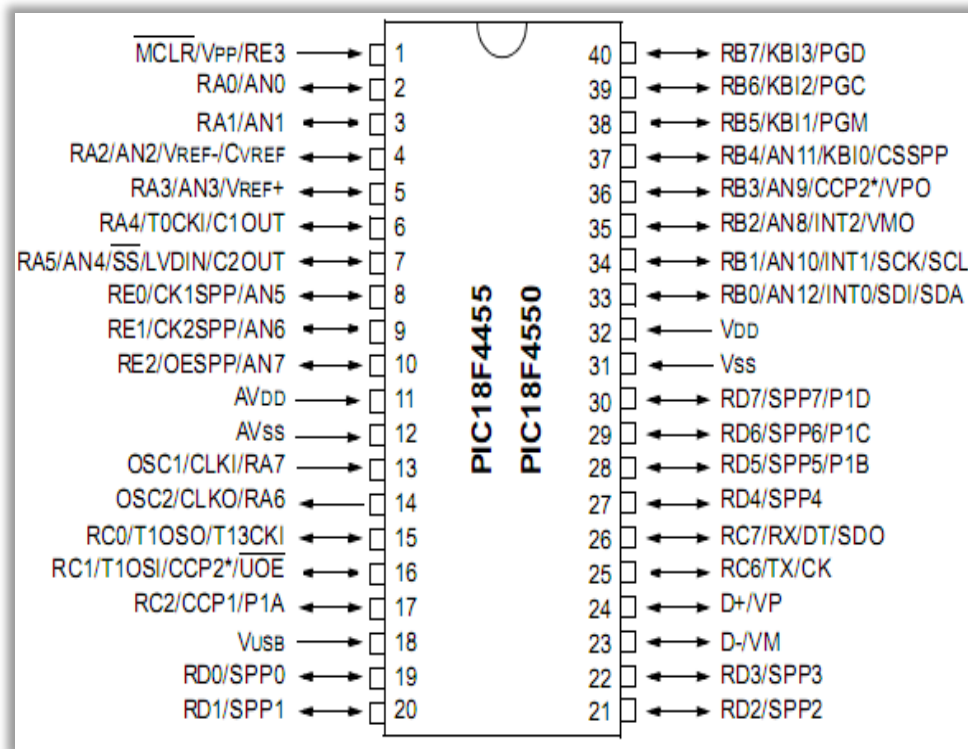


Figure II.1 Brochage de PIC18F4550 [17].

Les courants véhiculés dans le PIC sont loin d'être négligeables du fait de nombreuses entrées/sorties disponibles.

- Alimentation « VDD et VSS » :

Ce sont les broches d'alimentation du circuit, les tensions qui peuvent être appliquées sont [17]:

- ✓ 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 PIC18F4550. 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 [17] :

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**.

- Un multiplicateur de fréquence de boucle de verrouillage de phase (PLL), disponible à la fois pour les modes Cristal à grande vitesse et Oscillateur externe, permettant une large gamme de vitesses d'horloge de **4 MHz** à **48 MHz**.

- Fonctionnement en double horloge asynchrone, permettant au module USB de fonctionner à partir d'un oscillateur haute fréquence, tandis que le reste du microcontrôleur est synchronisé à partir d'un oscillateur interne à faible puissance.

- **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.

II.4.4. Ports d'entrée / sortie :

Les PICs 18F4550 contiennent les 5 ports suivants [16] :

- ✓ Port A : 6 pins I/O numérotées de RA0 à RA5;
- ✓ Port B : 8 pins I/O numérotées de RB0 à RB7;
- ✓ Port C : 8 pins I/O numérotées de RC0 à RC7;
- ✓ Port D : 8 pins I/O numérotées de RD0 à RD7;
- ✓ Port E : 3 pins I/O numérotées de RE0 à RE2.

Tous ces ports se trouvent dans la banque 0, mais tous leurs registres se trouvent dans la banque 1, pour déterminer les modes des ports (I/O), il faut sélectionner leurs registres TRISX :

- Le positionnement d'un bit à " 1 " place le pin en entrée;

– Le positionnement de ce bit à "0" place le pin en sortie.

II.4.5. Architecture interne :

Les principaux organes qui composent le microcontrôleur, représenté dans la Figure II.2.

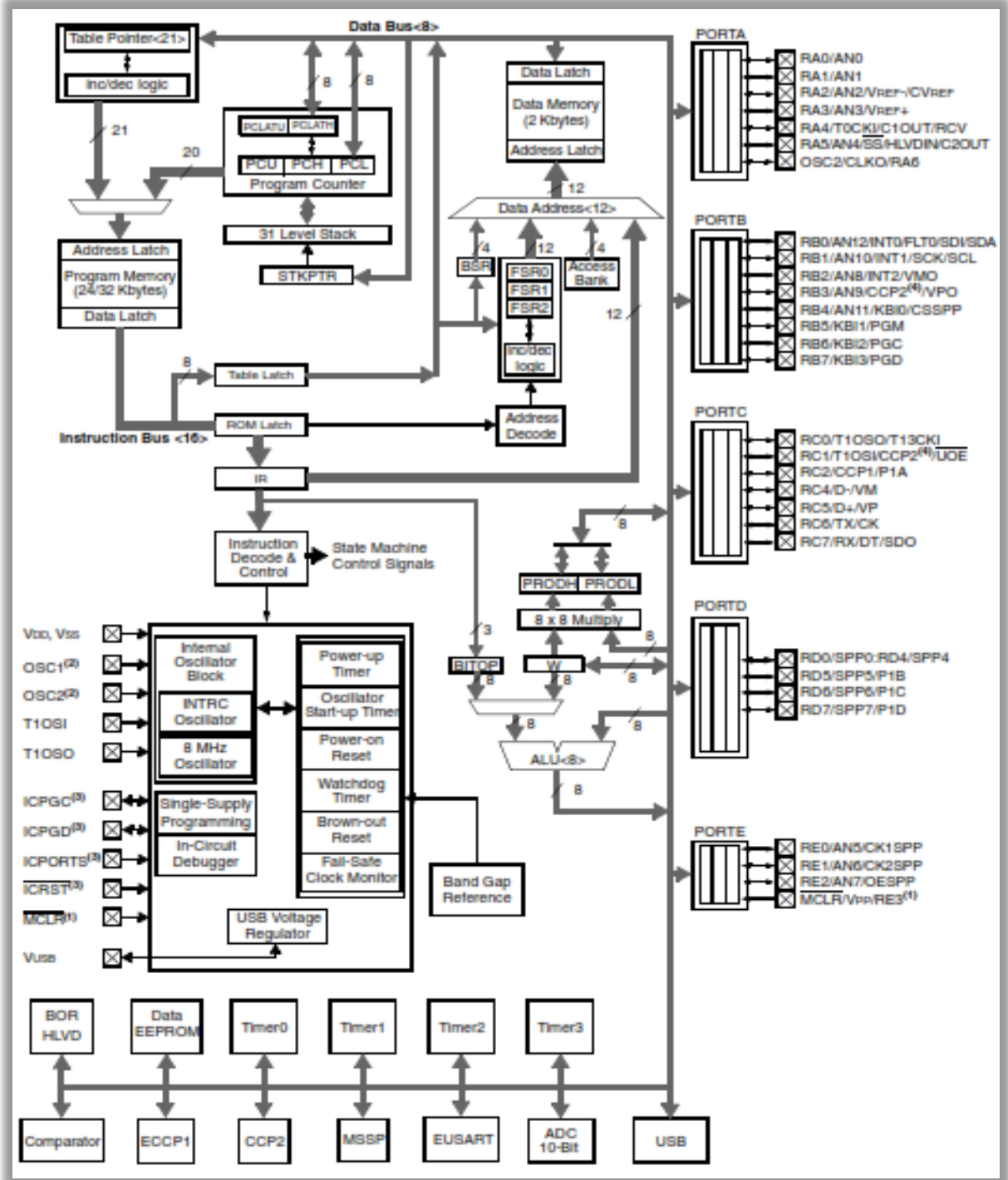


Figure II.2 Architecture interne du PIC18F4550 [17].

II.4.6. 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 (Special Function Registers) qui permettent de contrôler les opérations sur le circuit. La seconde contient des registres généraux, libres pour l'utilisateur.

1- **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 [17].

2- **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.

II.4.7. Interruption :

Le périphérique PIC18F4550 dispose de plusieurs sources d'interruption et d'une fonction de priorité d'interruption qui permet d'attribuer à chaque source d'interruption un niveau de priorité élevé ou un niveau de priorité faible.

Le vecteur d'interruption de haute priorité est à 000008h et le vecteur d'interruption de faible priorité est à 000018h. Les événements d'interruption de haute priorité interrompent toute interruption de faible priorité en cours.

Il y a dix registres utilisés pour contrôler le fonctionnement des interruptions. Ces registres sont [17]:

- RCON;
- INTCON. / INTCON2. / INTCON3;
- PIR1, PIR2;
- PIE1, PIE2;
- IPR1, IPR2.

II.4.7. 1. Registres INTCON :

Les registres INTCON (INTERRUPT CONTROL) sont des registres lisibles et inscriptibles contenant divers bits d'activation, de priorité et d'indicateur [17].

- RB0/INT / RB1/INT1 / RB2/INT2 :

Ces broches ont une double fonction. En fait, elle peut être utilisée comme des broches standard RB0/RB1/RB2 ou comme des entrées d'interruptions INT/INT1/INT2.

Si ces broches sont utilisées comme des entrées d'interruptions externe, elle doit être main- tenue à un niveau haut par l'intermédiaire des résistances de 10 k Ω pour ne pas déclencher d'interruptions imprévues, cela permet aussi de relier plusieurs sources d'interruptions sur une même ligne [17].

II.4.7. 2. Interruptions USB :

Contrairement aux autres périphériques, le module USB est capable de générer une large gamme d'interruptions pour de nombreux types d'événements. Celles-ci incluent plusieurs types d'événements de communication et d'état normaux et plusieurs événements d'erreur au niveau du module.

Pour gérer ces événements, le module USB est doté de sa propre logique d'interruption. La logique fonctionne de manière similaire à l'entonnoir d'interruption de niveau du microcontrôleur, chaque source d'interruption ayant des bits d'indicateur et de validation séparés. Tous les événements sont acheminés vers une seule interruption de niveau de périphérique, USBIF (PIR2 <5>). Contrairement à la logique d'interruption de périphérique, les événements d'interruption USB individuels ne peuvent pas être attribués individuellement à leur propre priorité. Ceci est déterminé au niveau de l'entonnoir d'interruption au niveau du périphérique pour tous les événements USB par le bit USBIP.

II.4.8. Module de commande :**II.4.8.1. Module de contrôle d'état :**

Le PIC reçoit un mot binaire qui donne l'état du système (0 : non active /1 : active) et l'enregistre périodiquement à l'aide d'un langage de programmation.

II.4.9. Timers du PIC18F4550 :

Les Pics 18F4550 disposent 3 timers :

II.4.9.1. Le Timer 0 « 8 bits » ou « 16 bits » : Il peut être incrémenté par des impulsions extérieures via la broche « TOCKI/RA4 » ou par l'horloge interne « Fosc/4 ». le schéma de principe est donné dans la Figure II.3.

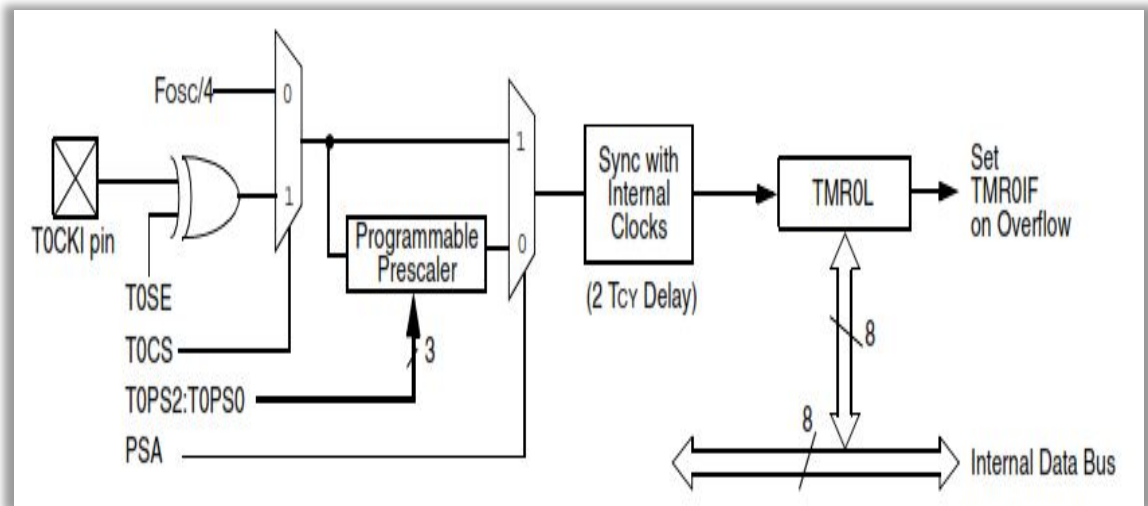


Figure II.3 Schéma du Timer 0 [17].

II.4.9.2. 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 TIOS1/RC1. Le schéma de principe est donné dans la Figure II.4.

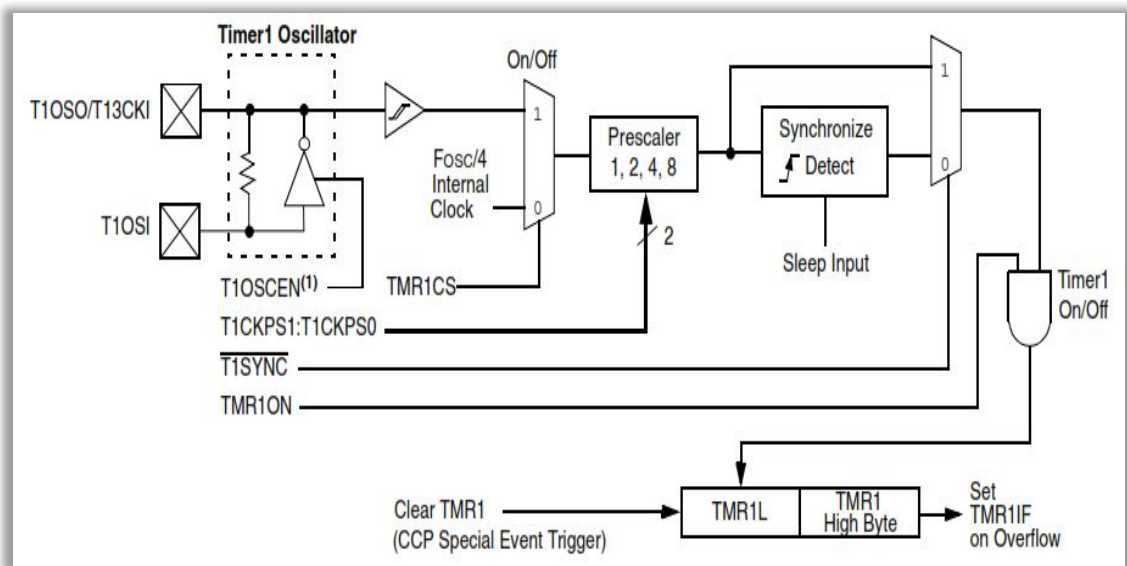


Figure II.4 Schéma du Timer 1 [17].

II.4.9.3. 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. le schéma de principe est donné dans la Figure II.5.

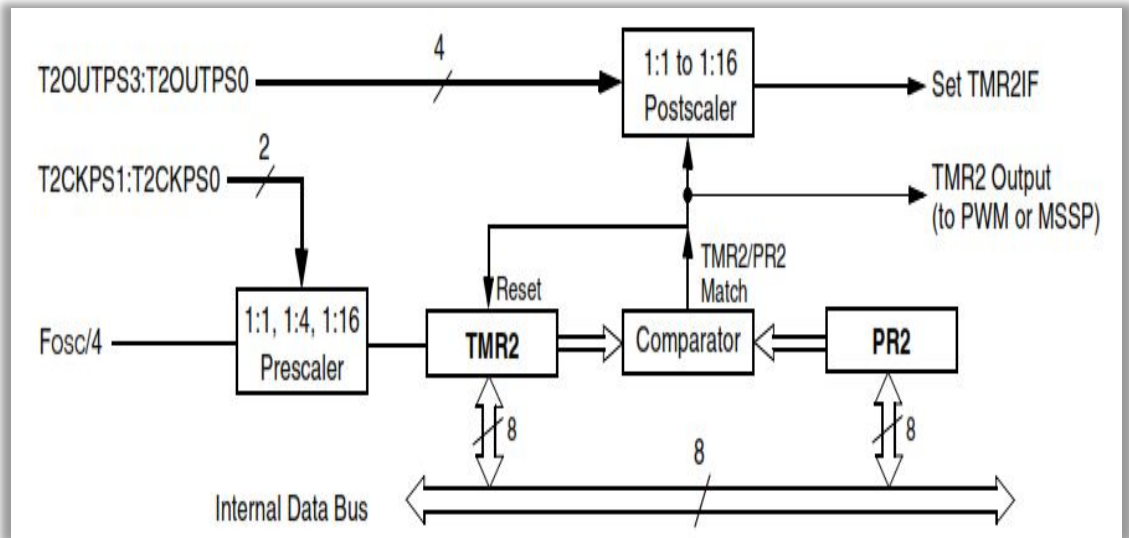


Figure II.5 Schéma du Timer 2 [17].

II.4.10. Convertisseur analogique numérique :

Le module convertisseur analogique-numérique (A/N) a 13 entrées. Ce module permet la conversion du signal d'entrée analogique en un signal numérique correspondant 10 bits nombre [17].

II.5. PIC12F629 :

II.5.1. Architecture externe :

Le boîtier du PIC12F629 décrit par (la Figure II.6) comprend 8 pins .

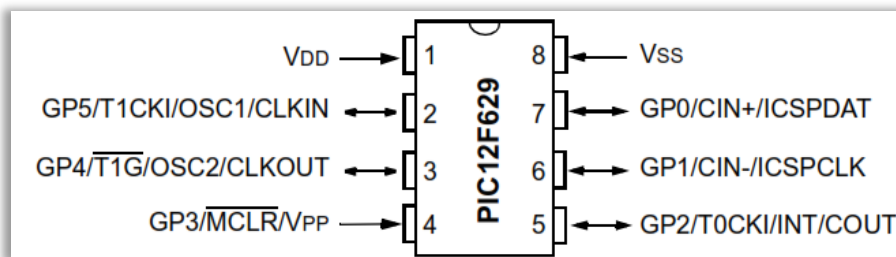


Figure II.6 Brochage de PIC12F629 [18].

II.5.2. Architecture interne :

Les principaux organes qui composent le microcontrôleur, représenté dans la Figure II.7.

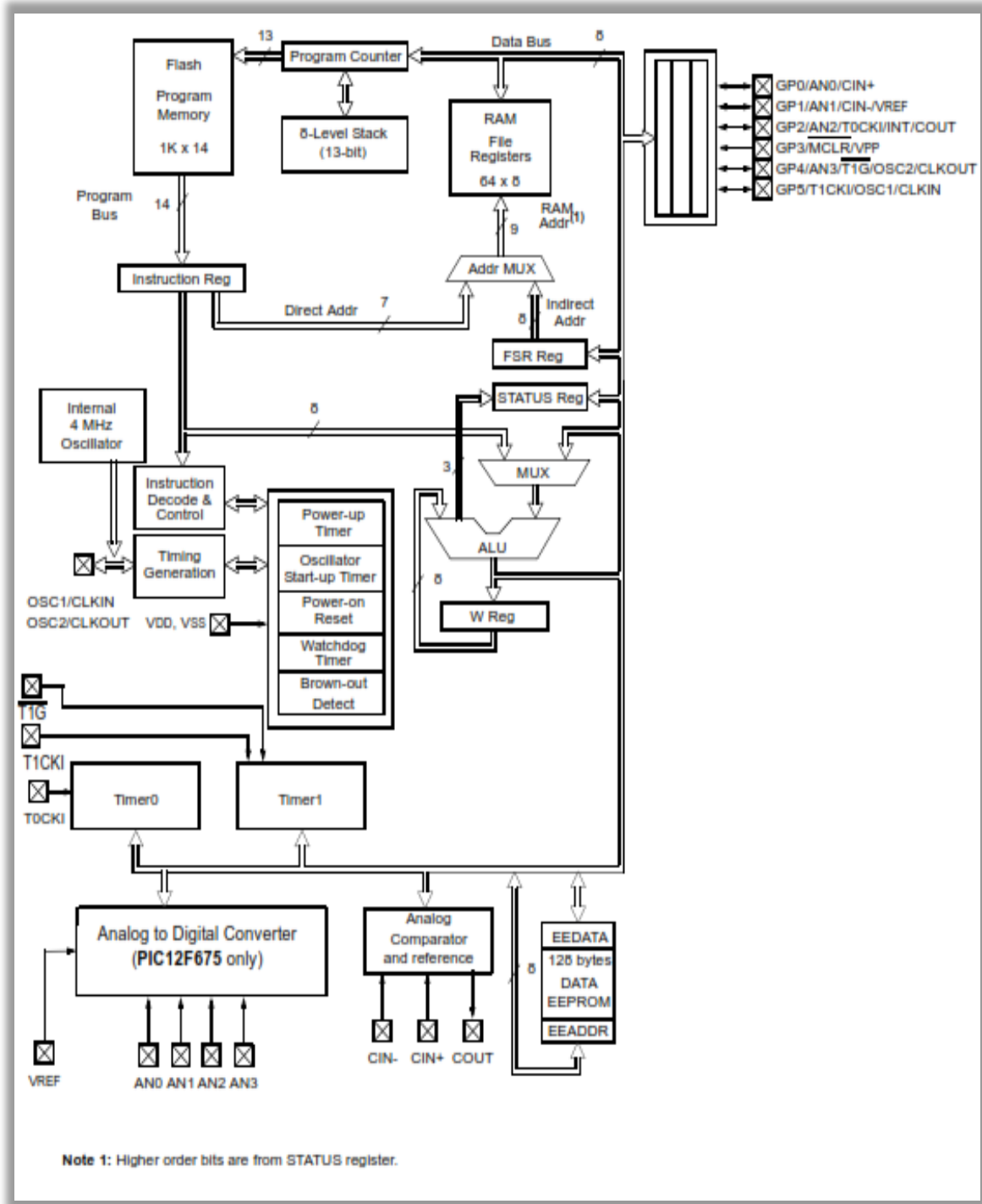


Figure II.7 Architecture interne du PIC12F629 [17].

II.5.3. Caractéristiques :

Les principales caractéristiques de ce microcontrôleur sont [18]:

- Fréquence de fonctionnement élevée, jusqu' à 20MHz;
- Fréquence interne d'un oscillateur est 4MHz;
- Une mémoire EEPROM pour sauver des paramètres de 128 octets;

- Une mémoire vive(SRAM) de 64 octets;
- Une mémoire Flash 1024 mots;
- 6 Entrées et 5 Sorties;
- 2 Temporisateurs : Timer0 (8 bits), Timer1 (16bits) ;
- Un oscillateur interne;
- Broche d'entrée / MCLR multiplexée.
- Module comparateur analogique avec:
 - ✓ Un comparateur analogique;
 - ✓ Module de référence de tension de comparateur programmable sur puce (CVREF);
 - ✓ Multiplexage d'entrée programmable à partir d'entrées d'appareil;
 - ✓ La sortie du comparateur est accessible de l'extérieur.

II.6. Protocole NEC :

II.6.1. Définition :

Le protocole de transmission IR NEC utilise le codage de la distance impulsionnelle des bits du message. Chaque rafale d'impulsions (repère - émetteur RC activé) a une longueur de 562,5 μ s, à une fréquence porteuse de 38kHz (26,3 μ s). Les bits logiques sont transmis comme suit [19]:

- logique '0' - une rafale d'impulsions de 562,5 μ s suivie d'un espace de 562,5 μ s, avec un temps de transmission total de 1,125 ms;
- logique '1' - une rafale d'impulsions de 562,5 μ s suivie d'un espace de 1,6875 ms, avec un temps de transmission total de 2,25 ms.

Lorsqu'une touche est enfoncée sur la télécommande, le message transmis comprend les éléments suivants, dans l'ordre:

- une impulsion en avance de 9 ms (16 fois la longueur d'impulsion utilisée pour un bit de données logique).
 - ✓ Un espace de 4.5ms;
 - ✓ L'adresse de 8 bits pour le périphérique de réception;
 - ✓ L'inverse logique de l'adresse 8 bits;
 - ✓ La commande 8 bits;
 - ✓ L'inverse logique de 8 bits de la commande;

- ✓ Une impulsion finale de 562,5 μs pour indiquer la fin de la transmission du message.

Les quatre octets de bits de données reçoivent chacun le bit le moins significatif en premier. La Figure II.8, illustre le format d'une trame de transmission IR NEC, pour une adresse de 00h(00000000b) et une commande de ADh (10101101b).

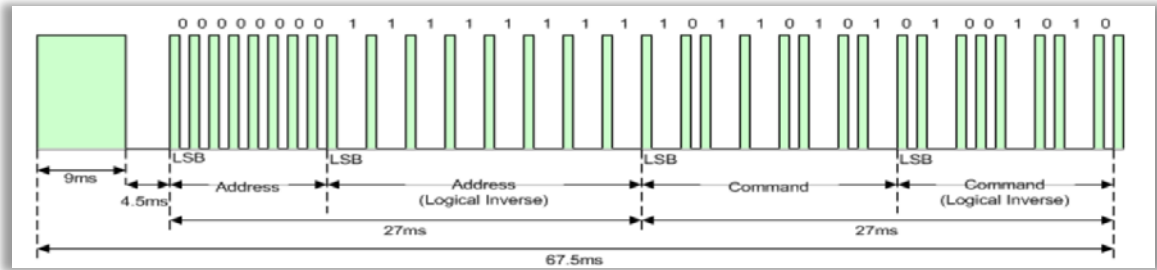


Figure II.8 Exemple de trame de message utilisant le protocole de transmission IR NEC [19].

II.6.2. Caractéristiques [20]:

- Adresse 8 bits et longueur de commande 8 bits;
- Mode étendu disponible, doublant la taille de l'adresse;
- L'adresse et la commande sont transmises deux fois pour des raisons de fiabilité;
- Modulation de distance d'impulsion;
- Fréquence porteuse de 38kHz;
- Temps binaire de 1,125 ms ou 2,25 ms.

II.6.3. Modulation:

La Figure II.9, illustre le format d'une trame de modulation.

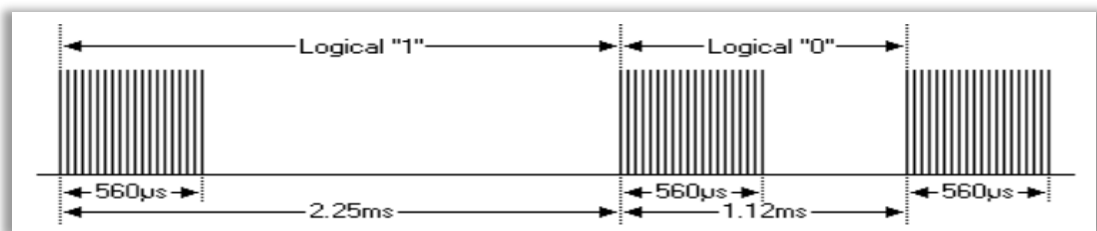


Figure II.9 Une trame de modulation [20].

Le protocole NEC utilise le codage de la distance impulsionnelle des bits. Chaque impulsion correspond à une rafale de porteuse de 38 kHz de 560 μs (environ 21 cycles). Il faut 2,25 ms pour transmettre un "1" logique, contre 1,25 ms pour un "0" logique. Le rapport cyclique recommandé du transporteur est 1/4 ou 1/3 [20].

II.7. USB :

II.7.1. Définition :

USB signifie Universal Serial Bus(en français bus universel en série) est une Norme relative à un bus informatique en série qui sert à connecter des périphériques informatiques à un ordinateur ou à tout type d'appareil prévu à cet effet (tablette, Smartphone, etc.) [22].

II.7.2. Communication USB :

• Port USB :

Il existe deux types de connecteurs USB :

Les connecteurs dits de type A, dont la forme est rectangulaire et servant généralement pour des périphériques peu gourmands en bande passante (clavier, souris, webcam, etc.). Les connecteurs dits de type B, dont la forme est carrée et utilisés principalement pour des périphériques à haut débit (disques durs externes, etc.) [21].

Figure II.10, montre les types de connecteurs USB.

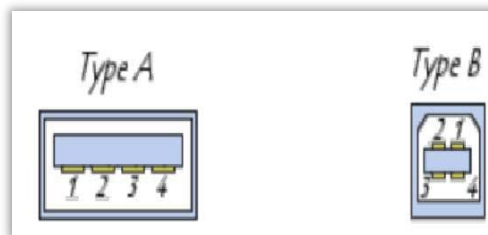


Figure II.10 Types du port USB [23].

Dans notre projet nous avons utilisée l'USB 2.0 type USB-A.

La Figure II.10, montre le schéma de câblage et de prise la plus populaire – USB-A.

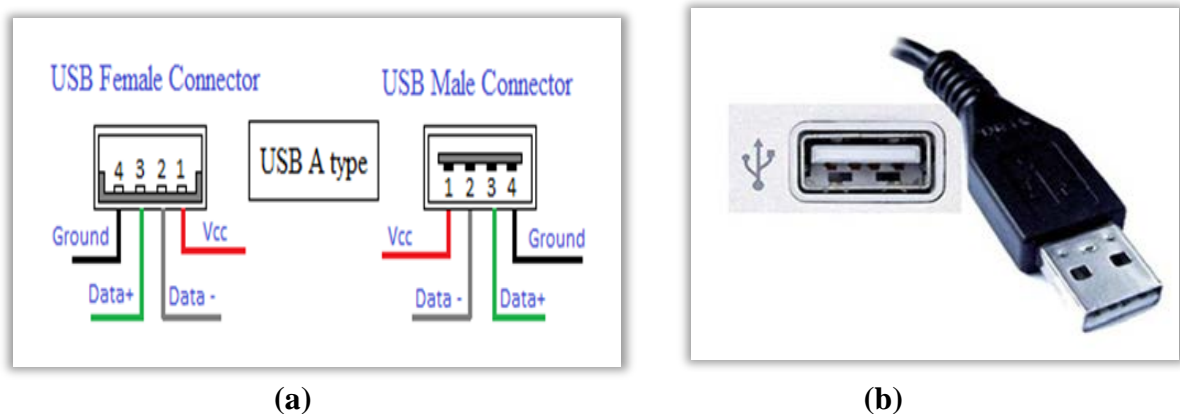


Figure II.11 (a) Schéma de câblage (b) Prise - USB-A [22].

II.7.3. Interfaces logicielles USB :

La Figure II.11, montre l'interface logicielle d'USB.

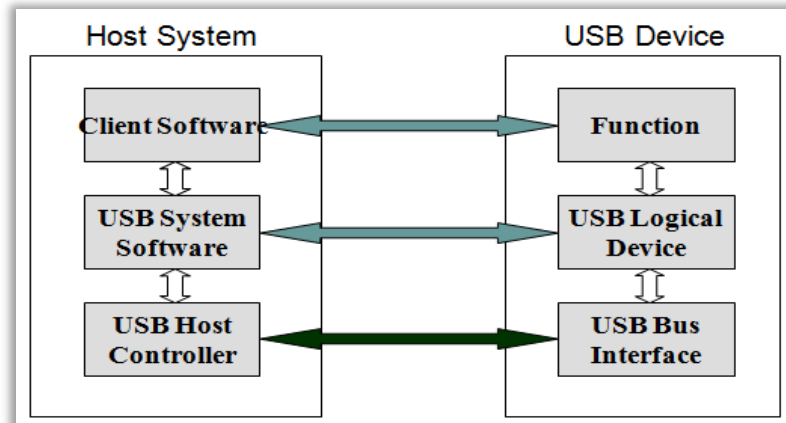


Figure II.12 Interface logicielle d'USB [24].

II.7.4. USB dans le PIC18F4550 :

La famille de périphériques PIC18F4550 contient une pleine vitesse et basse vitesse compatible Moteur d'interface série USB (SIE) permettant une communication rapide entre tout hôte USB et le microcontrôleur PIC.

Le SIE peut être interfacé directement sur l'USB, en utilisant l'émetteur-récepteur interne, ou il peut être connecté via un émetteur-récepteur externe. Un régulateur interne de 3,3V est également disponible pour alimenter l'émetteur-récepteur interne dans les applications 5V.

Certaines fonctionnalités matérielles spéciales ont été incluses pour améliorer les performances.

Une mémoire double port dans la mémoire de données de l'appareil (clé USB) a été fournie pour partager l'accès direct à la mémoire entre le cœur du microcontrôleur et le SIE.

Des descripteurs de mémoire tampon sont également fournis, permettant aux utilisateurs de programmer librement l'utilisation de la mémoire des points de terminaison dans l'espace RAM USB. Un port parallèle de transmission en continu a été fourni pour prendre en charge le transfert interrompu de grands volumes de données, telles que des données isochrones, vers des mémoires tampons externes [17].

II.7.5. Connexion USB-PC :

On utilise le HID terminal (Human Interface Device) pour communiquer avec le PIC18F4550. La Figure II.11, montre l'interface de HID terminal.

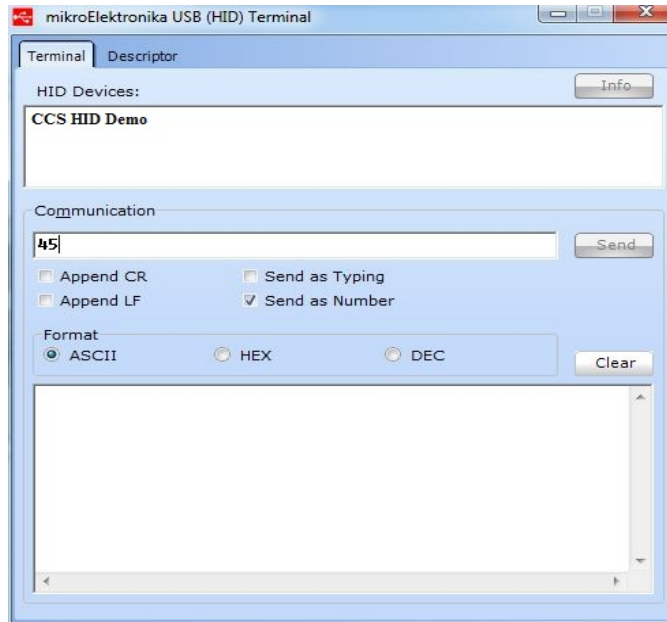


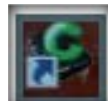
Figure II.13 L'interface de HID terminal.

II.8. Conception de la carte de commande et de puissance par Proteus :

II.8.1. 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.8.1.1. 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 [25].

II.8.1.2. MPLAB :



MPLAB est un environnement de développement intégré gratuit et gratuit destiné au développement d'applications intégrées sur les microcontrôleurs PIC et dsPIC . Il est développé par Microchip Technology . MPLAB X est la dernière édition de MPLAB et est

développé sur la plate- forme NetBeans . MPLAB et MPLAB X prennent en charge la gestion de projet, l'édition de code, le débogage et la programmation de microcontrôleurs Microchip 8 bits et AVR (y compris ATMEGA), de microcontrôleurs 16 bits PIC24 et dsPIC, ainsi que de 32 bits SAM (ARM) et PIC32 (MIPS).

MPLAB est conçu pour fonctionner avec des périphériques certifiés MPLAB tels que MPLAB ICD 3 et MPLAB REAL ICE , pour la programmation et le débogage de microcontrôleurs PIC à l'aide d'un ordinateur personnel . Les programmeurs PICKit sont également pris en charge par MPLAB.

MPLAB X prend en charge la génération automatique de code avec MPLAB Code Configurator et les plug-ins MPLAB Harmony Configurator [26].

MPLAB prend en charge les compilateurs suivants:

- ✓ MPLAB MPASM Assembler;
- ✓ Assembleur MPLAB ASM30;
- ✓ MPLAB C Compiler pour PIC18;
- ✓ Compilateur C MPLAB pour les DSC PIC24 et dsPIC;
- ✓ MPLAB C Compiler pour PIC32;
- ✓ HI-TECH C.

II.8.1.3. Simulateur ISIS de Proteus :



Le Logiciel de simulation des circuits électronique est un logiciel qui dessine un circuit par les composants et les circuits intégrés et permet de voir les résultats de la réalisation pratique. Il existe plusieurs simulateurs. Dans notre cas, on a utilisé le logiciel Proteus. Le logiciel Proteus se compose de deux parties: le logiciel ISIS pour la simulation des circuits électroniques, et le logiciel ARES pour dessiner les circuits imprimés [27].

II.8.2. Schéma structurel de la carte par Proteus :

Le circuit global de notre travail est donné par la Figure II.12 . Sur cette figure 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), mais aussi pour spécifier le mode de fonctionnement (redressement mono-alternance/redressement double-alternance).

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

des courants et des tensions.

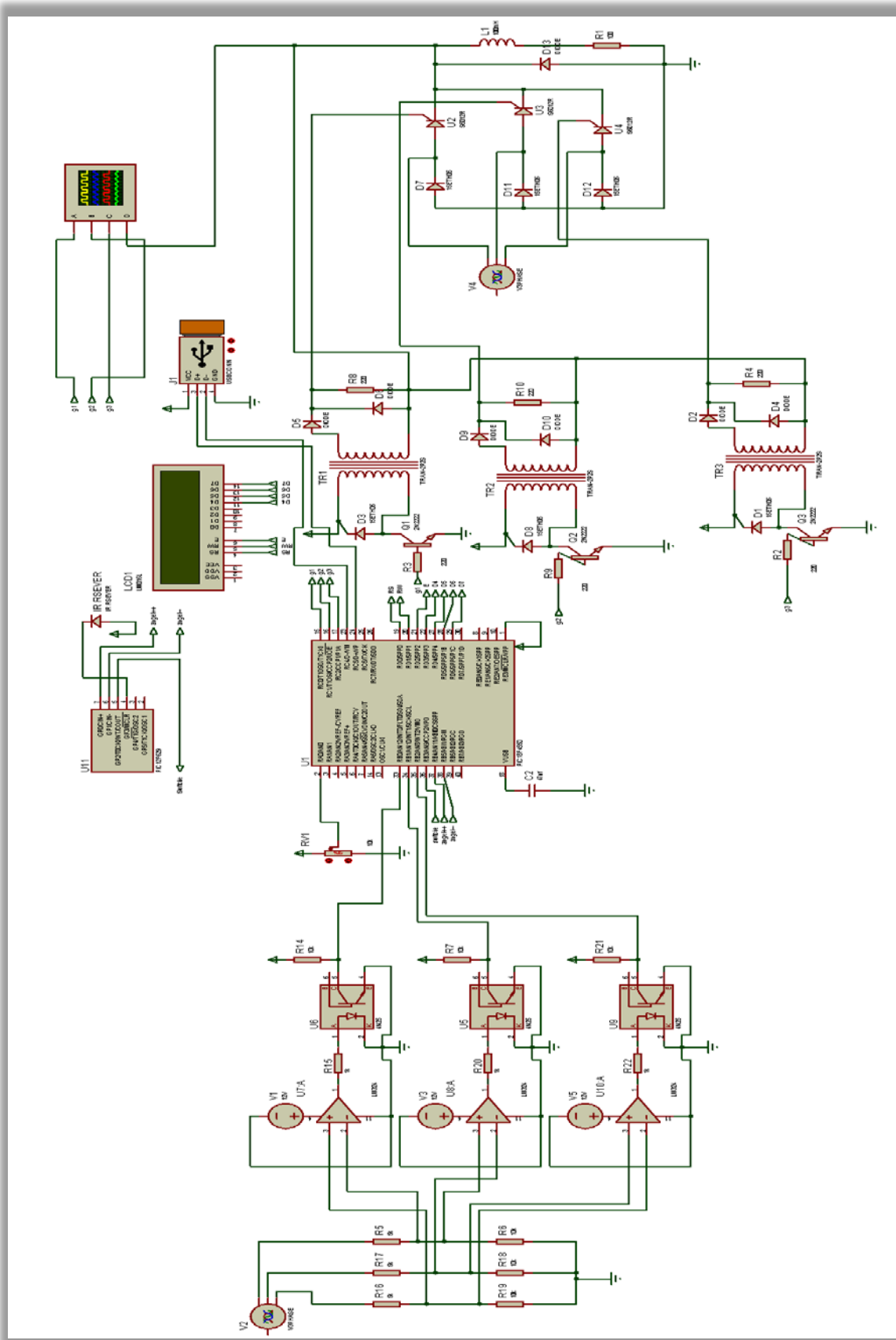


Figure II.14 Schéma structurel de la carte 'ISIS' de circuit global.

II.8 .3. Fonctionnement :

Le circuit redresseur triphasé semi-commandé fonctionne de manière que le PIC attend les interruptions externes qui sont des signaux carrés issue des amplificateurs opérationnels et opto-coupleurs. Ces signaux sont injectés aux pins RB0/INT, RB1/INT1, RB2/INT2. Un programme s'exécute en utilisant une consigne imposée par l'utilisateur soit analogique à partir d'un potentiomètre ou numérique par des signaux IR (on utilise le PIC12F629 avec le IR receiver pour recevoir le signal qui arrive à partir du contrôle à distance utilisant le protocole NEC) ou USB pour fournir les commandes nécessaires aux gâchâtes des thyristors du circuit de puissance.

II.8.4. L'organigramme de fonctionnement :

La Figure II.13, présente un organigramme général pour le fonctionnement de notre carte de commande. Il sert à générer les codes correspondant aux différents modes redresseurs envisagés.

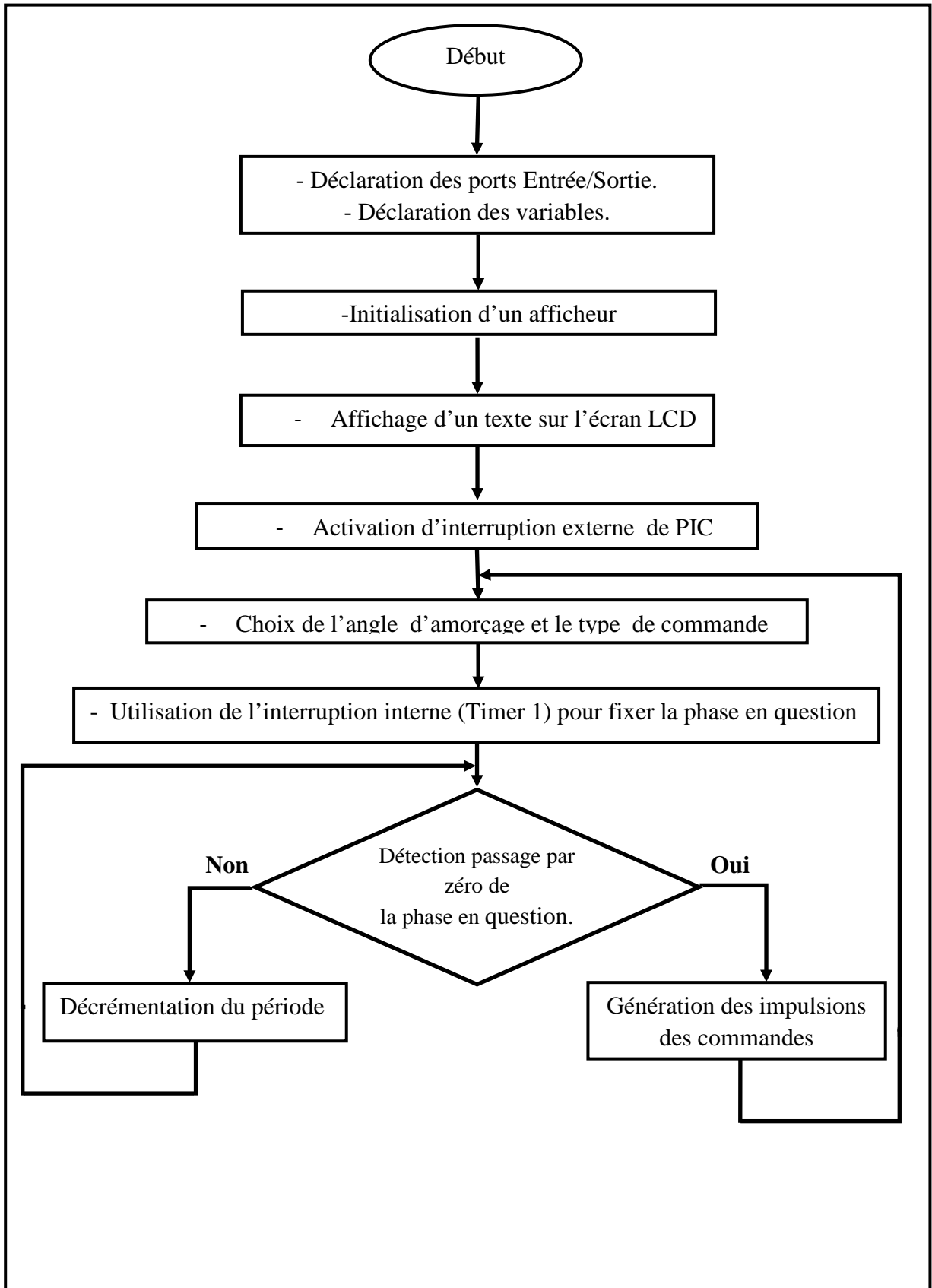
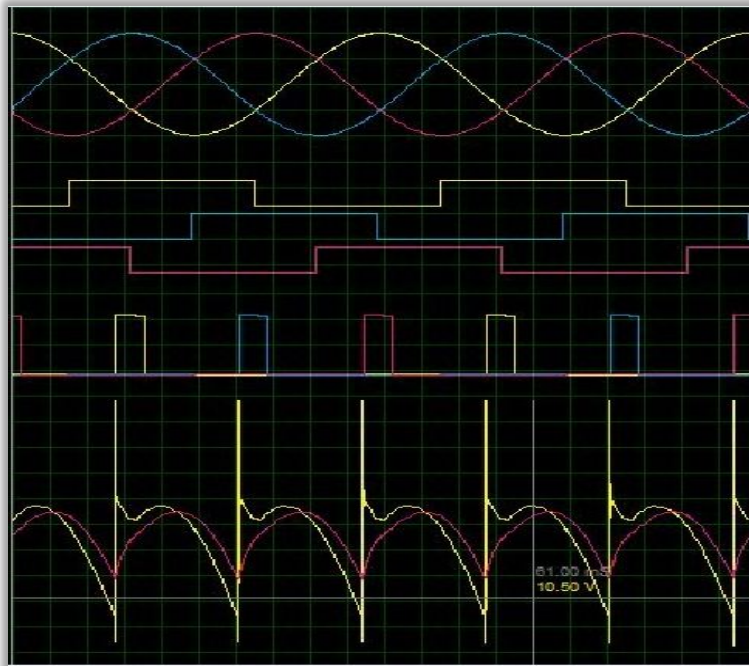


Figure II.15 Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande.

1- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=35\%$:



Signal d'entree

$t=0.002s, v=10v/div.$

Signal de synchronisation

(La sourit de amplificateur opérationnel)

$t=0.002s, v=10v/div.$

Implosion de commende de thyristor
(la sortie de la pic)

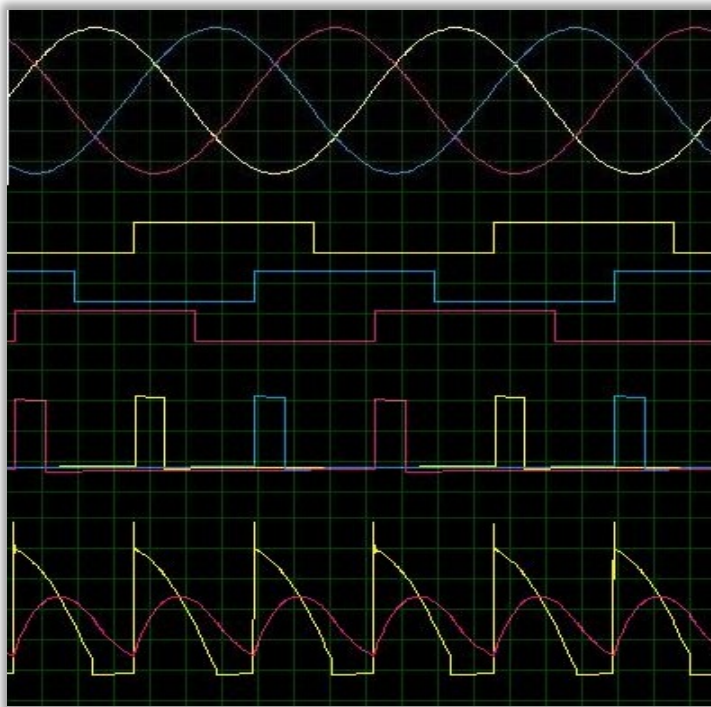
$t=0.002s, v=2v/div.$

Signal de la sortie de redresseur

$t=0.002s, v=10v/div.$

Figure II.17 Allures des signaux d'entée ,de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=35\%$.

2- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=75\%$:



Signal d'entree

$t=0.002s, v=10v/div.$

Signal de synchronisation

(La sourit de amplificateur opérationnel)

$t=0.002s, v=10v/div.$

Implosion de commende de thyristor

(la sortie de la pic)

$t=0.002s, v=2v/div.$

Signal de la sortie de redresseur

$t=0.002s, v=10v/div.$

Figure II.18 Allures des signaux d'entée, de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=75\%$.

b. Commande numérique par un PC (USB) ou à distance (IR) :

Les Figures (II.17 et II.18) représentent les formes d'ondes obtenues en cas où la consigne est introduite sous forme numérique (PC / IR) pour le mode double alternance – commande à distance et par USB.

1- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=6\%$:

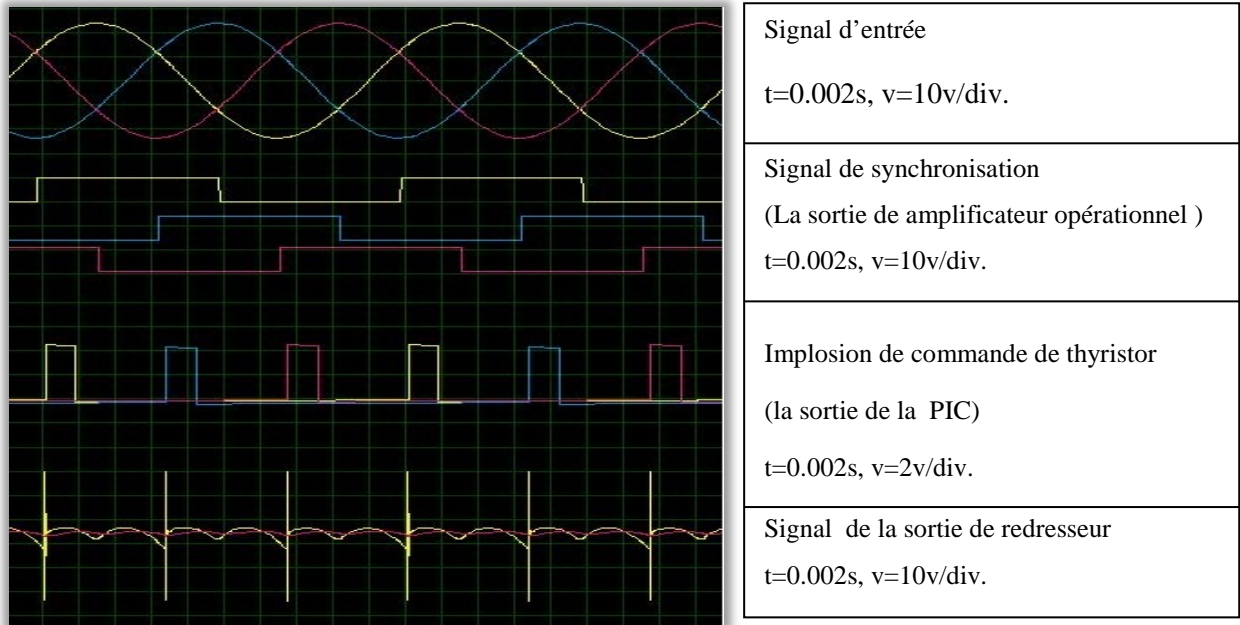


Figure II.17 Allures des signaux d'entrée ,de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=6\%$.

2- Pour d'un angle d'amorçage $\alpha=50\%$:

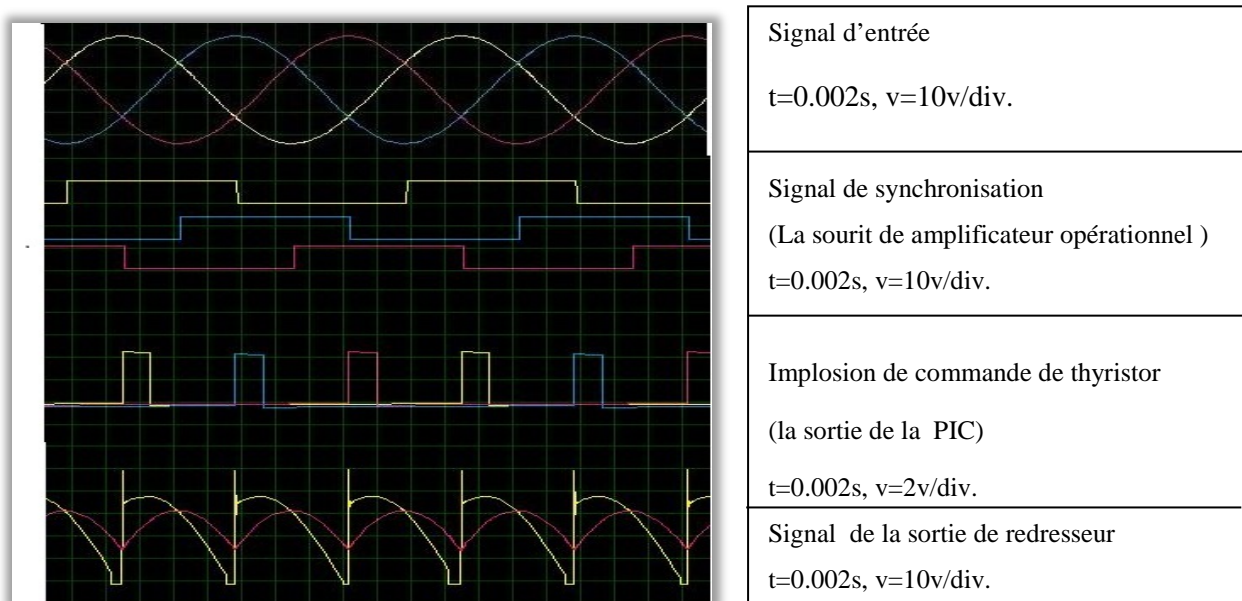


Figure II.18 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande pour d'un angle d'amorçage $\alpha=50\%$.

Remarque :

D'après les Figures (II.15, II.16, II.17, II.18), nous remarquons :

- Les amplificateurs opérationnels et les opto-coupleur génèrent les signaux de synchronisations quand les signaux d'entrées arrivent. Ces signaux attaquent le microcontrôleur pour obtenir des impulsions de commande retardées par des instants commandable;
- L'amorçage des trois thyristors est assuré par l'application de ces impulsions de durées suffisantes aux niveaux des gâchettes et des cathodes;
- Quand l'angle de retard augmente, la valeur de tension moyenne et le courant diminue;
- Il y a plusieurs manières d'agir sur les valeurs d'angles de retards tels que le potentiomètre, les boutons poussoirs, commande à distance (IR, radio,...etc) , commande par PC (UART, USB), réseaux (internet, Ethernet, etc) ;
- D'après la Figure II.18 de la simulation, on constate qu'il y a un déphasage entre le courant et la tension de la charge et que à la fin de l'alternance, le courant ne sera pas nul directement malgré que la tension est nulle à cause de l'énergie dissipée par l'inductance à travers la diode de roue libre.

II.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux parties essentielles pour la conception de notre carte électronique : la partie matérielle (PIC18F4550) et la partie logicielle (CCS PIC, MPLAB et Proteus).

Les détails de conception de la commande pour chaque mode de fonctionnement sont bien présentés sous forme d'organigramme. Des simulations par Proteus sont aussi présentées montrant la bonne concordance avec les résultats trouvés en théorie et en simulation Matlab.

Dans le chapitre qui se suit, on va expliquer en détails la partie pratique de notre projet, avec une mention de les étapes nécessaires de la réalisation et en présentant nos résultats expérimentaux.

Chapitre III
Réalisation pratique

III.1. Introduction :

Une carte électronique est un ensemble de composants électroniques, réunis sur une plaque de manière à former un circuit destiné à un usage précis.

Ce dernier chapitre concerne la phase finale dans la réalisation du prototype de ce projet. Nous allons essayer de mettre en évidence l'aspect pratique de ce que nous avons vu dans le chapitre précédent.

Nous décrivons les différentes étapes qui nous permettront la conception et la réalisation d'une carte électronique : On va expliquer d'une façon générale quelques composants qu'on a utilisés, le teste de la carte, la réalisation comme circuit imprimé et enfin la soudure des composants.

Nous y abordons les difficultés que nous avons rencontrées. Nous y présentons également les résultats expérimentaux afin de valider les performances du redresseur triphasé semi-commandé réalisé.

III.2. Réalisation de la carte électronique :

III.2.1. Câblage par Proteus :

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

	Désignation	Référence	Quantité	Coût (DA)
01	Microcontrôleur	PIC 18F4550	01	1000
02	Microcontrôleur	PIC 12F	01	120
03	Afficheur LCD	LCD 16*2	01	750
04	Quartez	8MHz	01	80
05	Amplificateur –Opérationnel	LM324	01	50
06	Opto-coupleur	4N32	03	50*3
07	Régulateur de tension +5V	L7805	01	50
08	Régulateur de tension +12V	L7812	01	50
09	Régulateur de tension -12V	L7912	01	50
10	Transformateur d'impulsion		03	500*3

11	Potentiomètre pour LCD		01	50
12	Potentiomètre de réglage	10k	01	100
13	Leds		6	3*6
14	Boutons poussoir		01	5
15	Condensateur (chimique)	470uF/16V	03	30*3
16	Condensateur (chimique)	220uF/50V	03	30*3
17	Condensateurs céramique	22pF	02	5*2
18	Condensateur polarize	47uf	01	5
19	Diode 3A		04	20*4
20	Diode	1N4007	09	10*9
21	Transistor	BC548	04	5*4
22	Résistance	100 ohm	03	3*3
23	Résistance	330 ohm	09	3*9
24	Résistance	1 K	03	3*3
25	Résistance	2.2 K	04	3*4
26	Résistance	4.7 K	03	3*3
27	Résistance	10 K	03	3*3
28	Résistance	22 K	03	3*3
29	Receiver IR		01	120
30	Support de PIC		01	40
31	Support Amp-Op		01	20
32	Support Opt-coupleur		03	20*3
33	Support LCD		01	100
34	Connecteur 5pin		01	100
35	Thyristors		03	100*3
36	Tblock 2pin		10	70*10
TOTAL				5972

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

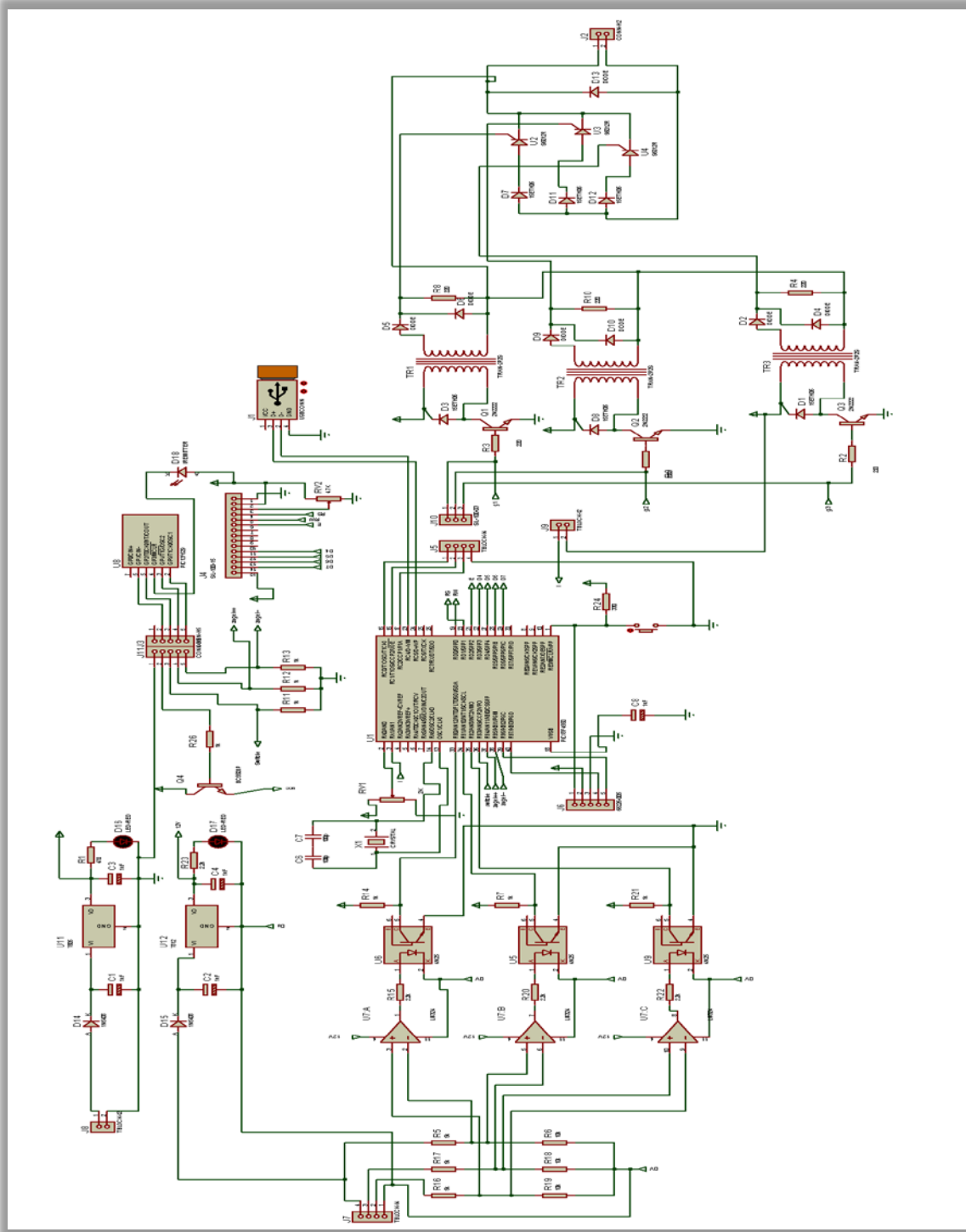


Figure III.1 Câblage pour le circuit imprimé par le logiciel Proteus.

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

III.2.2.1. L'alimentation :

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

l'amplificateur opérationnel.

Chaque alimentation comporte :

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

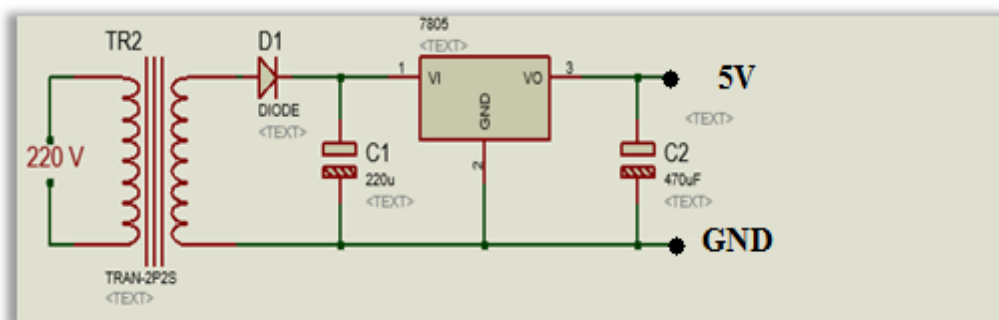


Figure III.2 Montage de l'alimentation 5V.

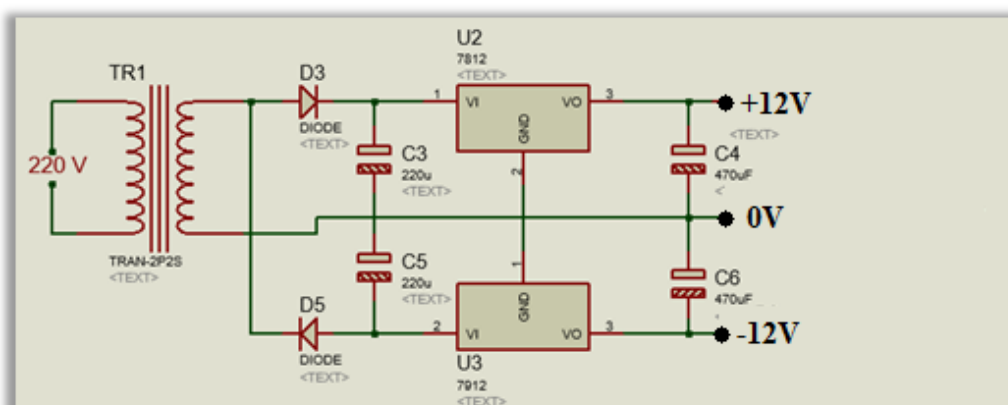


Figure III.3 Montage de l'alimentation symétrique +12V/-12V.

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

III.2.2.2. Circuit de synchronisation et de couplage optique:

Dans notre travail, on utilise trois circuit détecteur de passage par zéro pour générer les signaux de synchronisation avec lequel on attaque les pins RB0/INT, RB1/ INT1,

RB2/INT2 du PIC après l'avoir passé par des opto-coupleurs qui assurent la séparation entre le circuit de commande et la tension du secteur (Figure III.4).

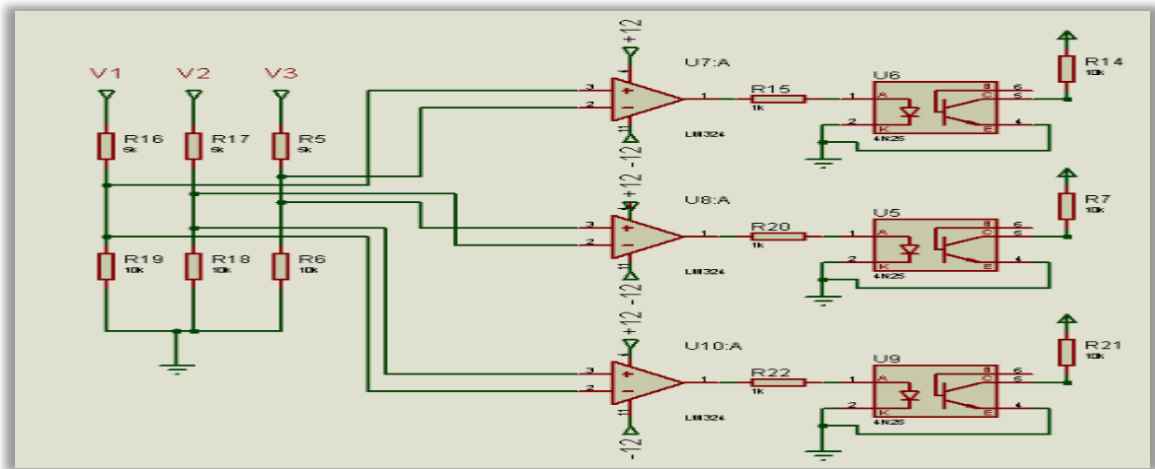


Figure III.4 Circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique.

L'amplificateur opérationnel travaille en commutation pour jouer le rôle d'un comparateur qui compare la tension d'entrée V_{12} , V_{31} , V_{23} (signal sinusoïdal) avec la tension de référence 0V. Si la tension d'entrée est inférieure à la tension de référence 0V, la sortie est saturée négativement (-12V à la sortie) et reste négative jusqu'à que la tension d'entrée sera supérieure à celle de référence 0V, le comparateur sera alors saturé positivement (12V à la sortie) comme il est montré dans la Figure III.5.

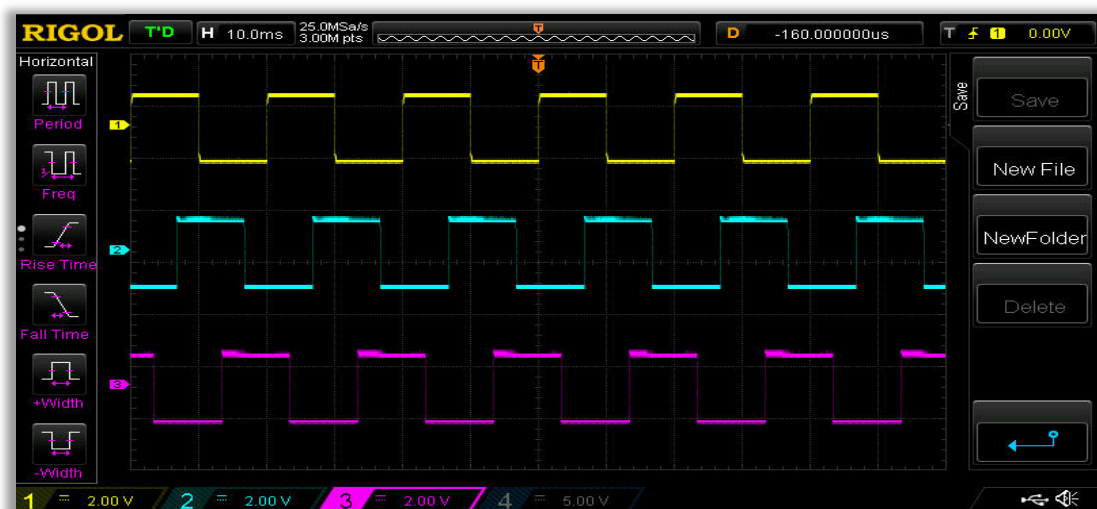


Figure III.5 Allure des signaux issus des amplificateurs opérationnels.

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 la photo détectrice sont reliés optiquement, mais sont isolés électriquement dans un même boîtier (Figure III.6).

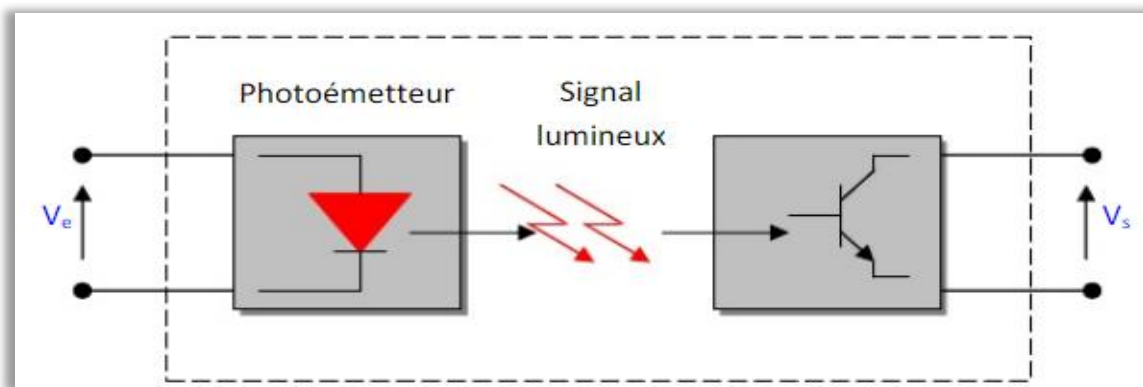


Figure III.6 Principe de fonctionnement d'un opto-coupleur.

- 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 $V_s=0\text{ Volt}$ (Figure III.7).

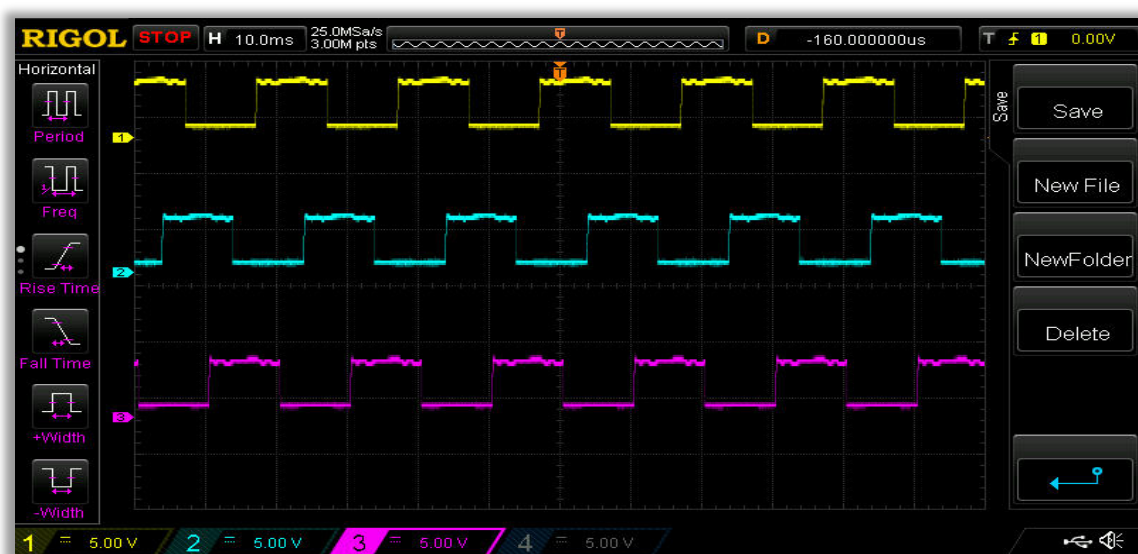


Figure III.7 Signaux de la sortie des opto-coupleurs.

III.2.2.3. Transformateur d'impulsions :

Dans notre travail, le circuit de commande supporte 5V DC au maximum, par contre, le circuit de puissance s'alimente de 12V AC. Pour cette raison, il est préférable de séparer les deux circuits pour protéger l'unité de traitement (PIC18F4550).

On a utilisé dans cette application trois transformateurs d'impulsions pour faire l'isolation galvanique entre les deux circuits, la Figure III.8 représente un schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.

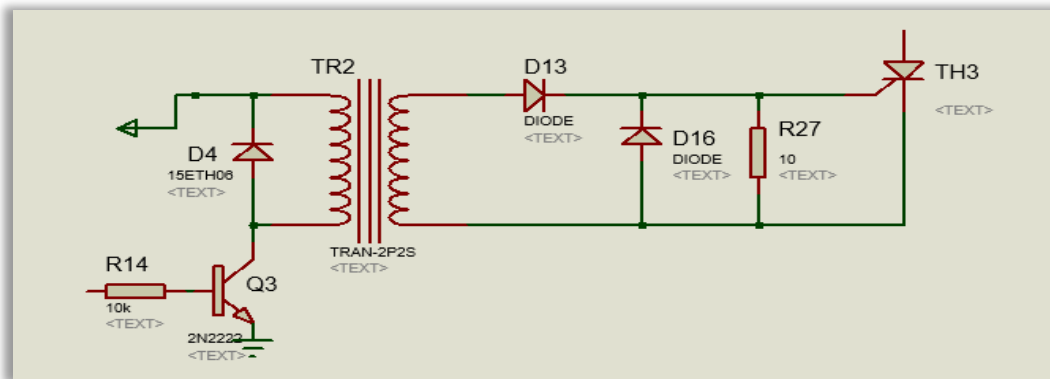


Figure III.8 Schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.

Quand on a monté les transformateurs d'impulsions sur une plaque d'essai et fait les essais en lui attaquant par une impulsion carrée à l'entrée, il nous a donné à la sortie un PIC, ce dernier n'arrive pas à assurer l'accrochage du thyristor, alors comme solution proposée, on lui attaque par un train d'impulsions pour qu'il puisse nous donner une impulsion suffisante pour l'accrochage du thyristor. Les résultats des essais sont représentés dans la Figure III.9.



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

Figure III.9 Résultats des essais du transformateur d'impulsions.

III.2.2.4. Afficheur LCD :

a. Présentation :

Les afficheurs LCD sont devenus indispensables dans les systèmes techniques qui nécessitent l'affichage des paramètres de fonctionnement.

Ces Afficheurs permettent d'afficher des lettres, des chiffres et quelques caractères spéciaux. Les caractères sont prédéfinis [5].

La Figure III.10, représente un afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères.



Figure III.10 Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères [4].

b. Principe de fonctionnement :

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de d'écrire ses propres caractères [4].

Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7, broches 7 à 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions tels que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur.

c) 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.

d) 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 [4].

III.2.3. Les étapes de fabrication du circuit imprimé :

La fabrication du circuit imprimé se passe par plusieurs étapes :

III.2.3.1 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. 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 de schéma électronique (Figure III.1) afin d'obtenir le circuit imprimé final. Pour contourner de certaines difficultés sur le parcours des pistes, il faut souvent faire appel à des straps : sorte de ponts qui se trouvent sur la face composants et qui permettent à une piste de contourner d'autres pistes. Dans notre cas, on a utilisé le routage manuel afin de minimiser autant que possible le nombre de straps. (les Figures III.11, III.16, III.21).

III.2.3.2. L'impression du typon :

Les typons sont le tracé du schéma de les Figures III.11, III.16, III.21 sur un film transparent (les Figures III.12, III.17, III.22), le typon sera utilisé donc pour réaliser le circuit imprimer.

III.2.3.3. 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.2.3.4. La révélation :

Le révélateur est un produit chimique comme l'hydroxyde de sodium (NaOH). On doit maintenant placer les plaques 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 les plaques sont révélées, elles sont sorties du bac et rincées à l'eau.

III.2.3.5. Gravure de circuit imprimé :

Nos plaques sont plongées dans un bac à graver qui contient un acide (Perchlorure de fer FeCl_3). On l'utilise pour graver les circuits imprimés car il a la particularité de détruire tout le cuivre qui n'est pas recouvert de résine. Une fois les circuits sont gravés, il reste d'enlever les traces de résine qui subsistent sur les pistes protégées. Le but est d'obtenir des circuits avec des pistes bien nettes et sans aspérités.

Après la réalisation de ces étapes, on obtient les circuits imprimés représenté dans les Figures III.13, III.18, III.23.

III.2.3.6. Test du circuit imprimé :

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

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

III.2.3.7 La mise en place et la soudure des composants :

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

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

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

Finalement, on obtient les cartes imprimées comme représentée par les Figures III.14, III.15, III.19, III.20, III.24 et III.25.

III.2.3.8 Carte de commande :

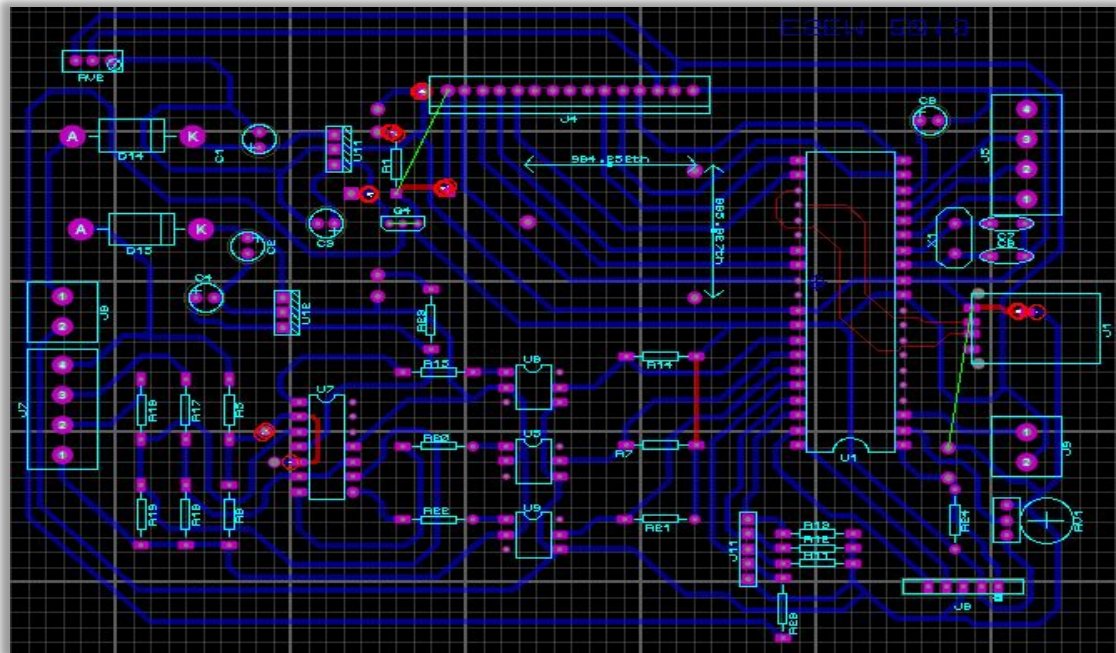


Figure III.11 Schéma routé de la carte de commande.

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

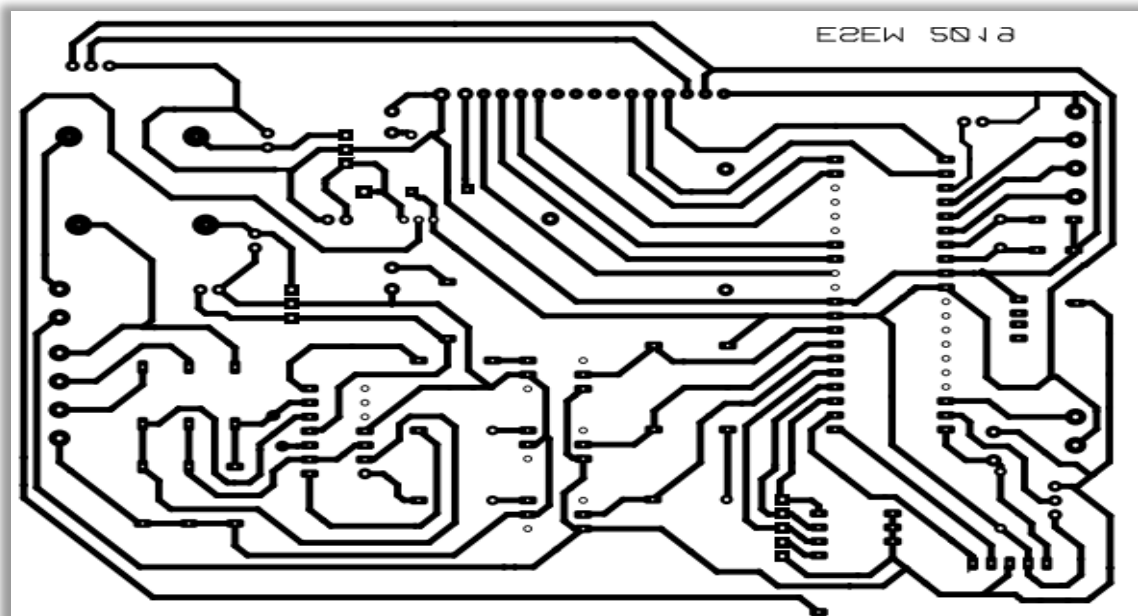


Figure III.12 Typon de la carte de commande.

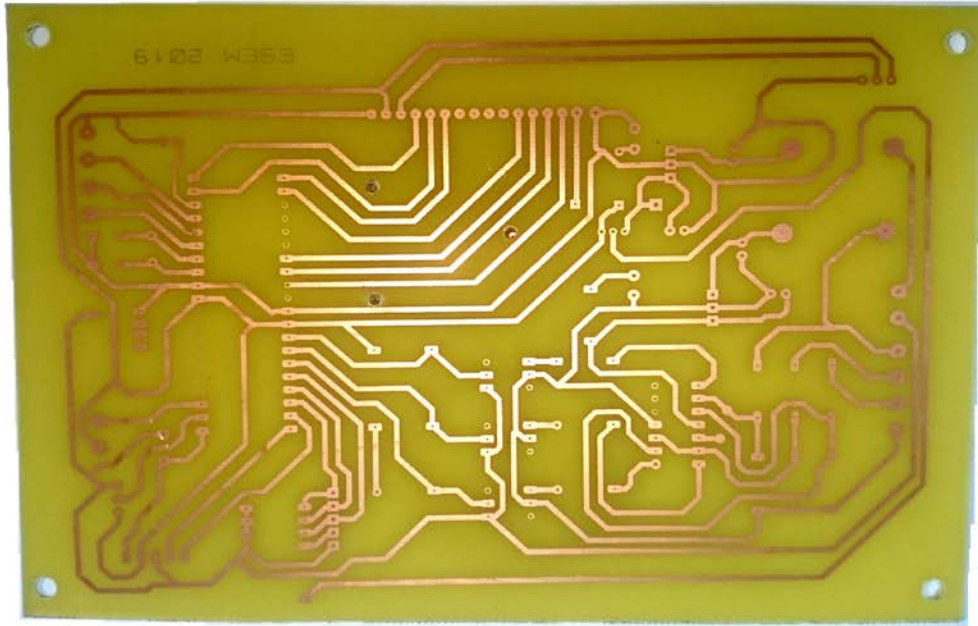


Figure III.13 Circuit imprimé de la carte de commande.

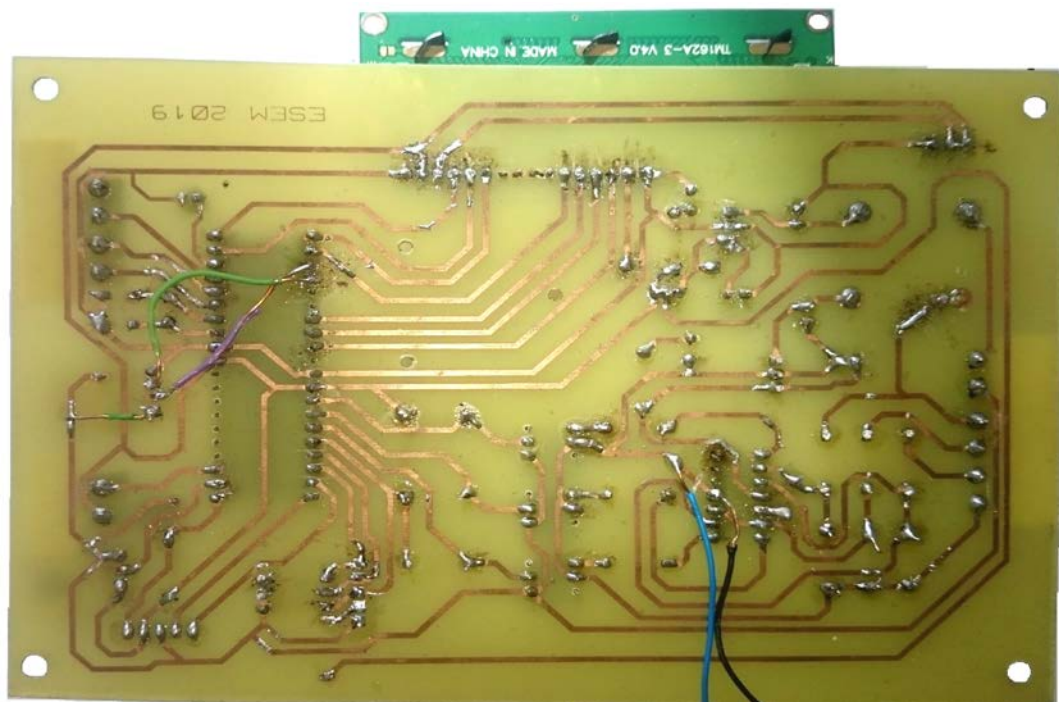


Figure III.14 Carte de commande finalisée (côté pistes).

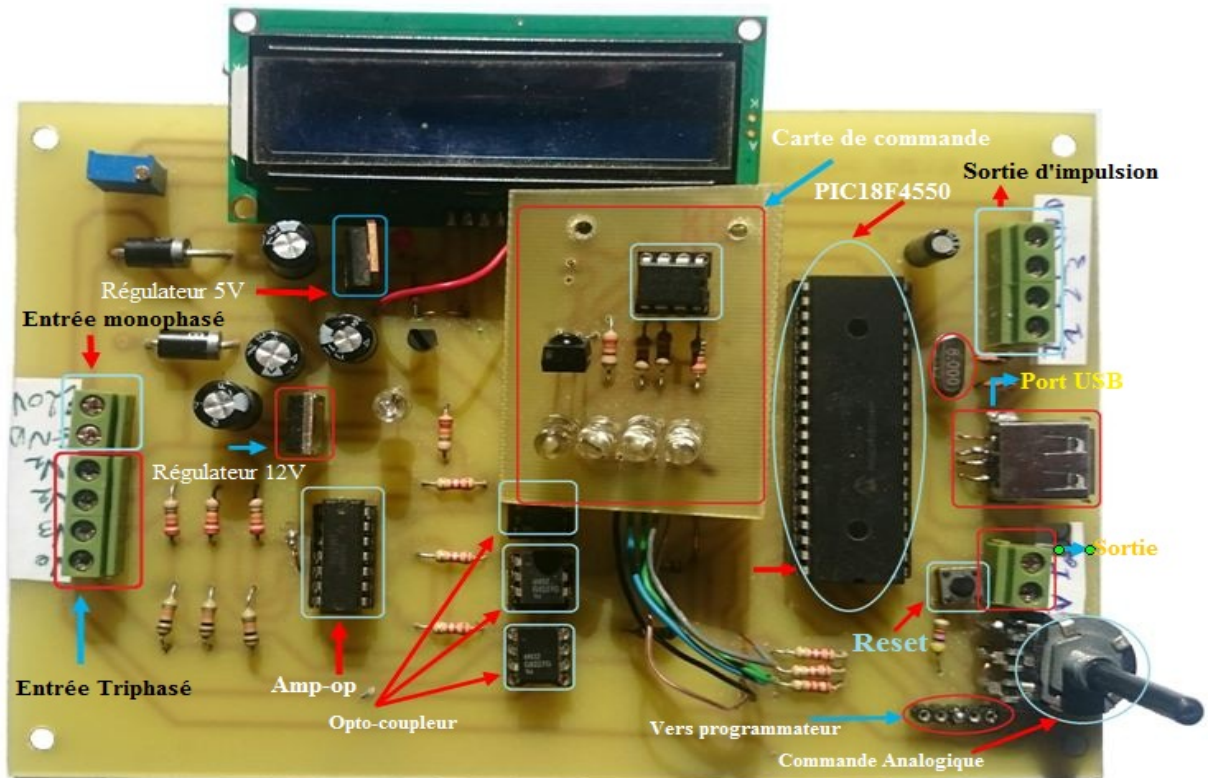


Figure III.15 Carte de commande finalisée (côté composants).

III.2.3.9. Carte de puissance :

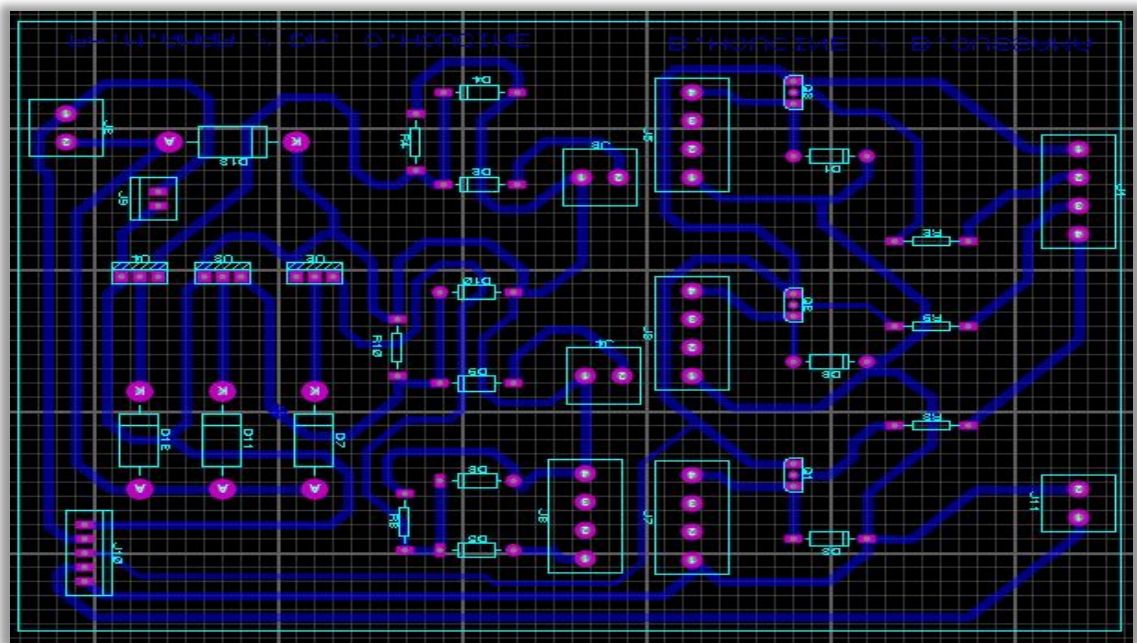


Figure III.16 Schéma routé de la carte de puissance.

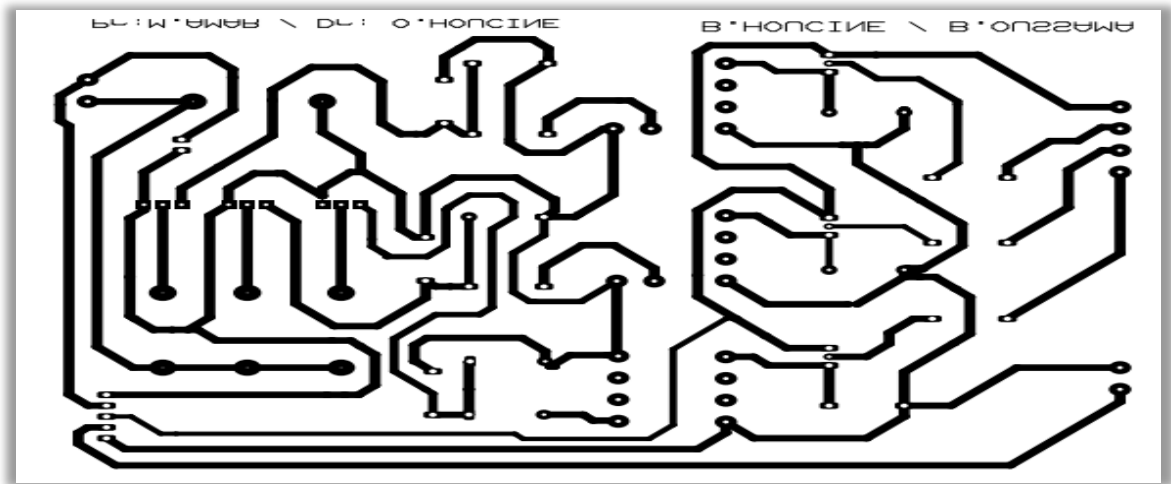


Figure III.17 Typon de la carte de puissance.

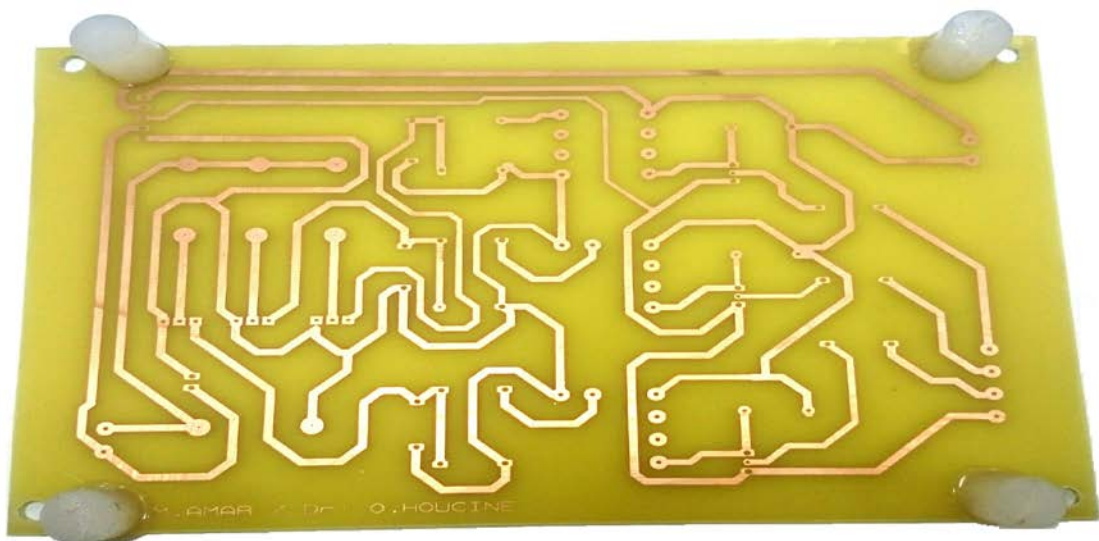


Figure III.18 Circuit imprimé de la carte de puissance.

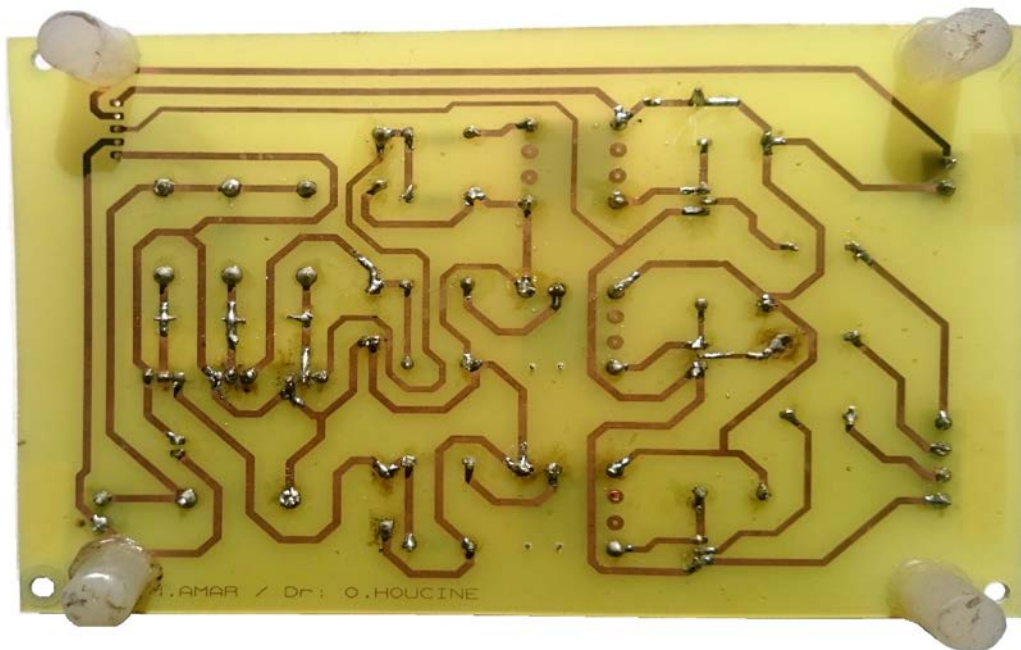


Figure III.19 Carte de puissance finalisée (côté pistes).

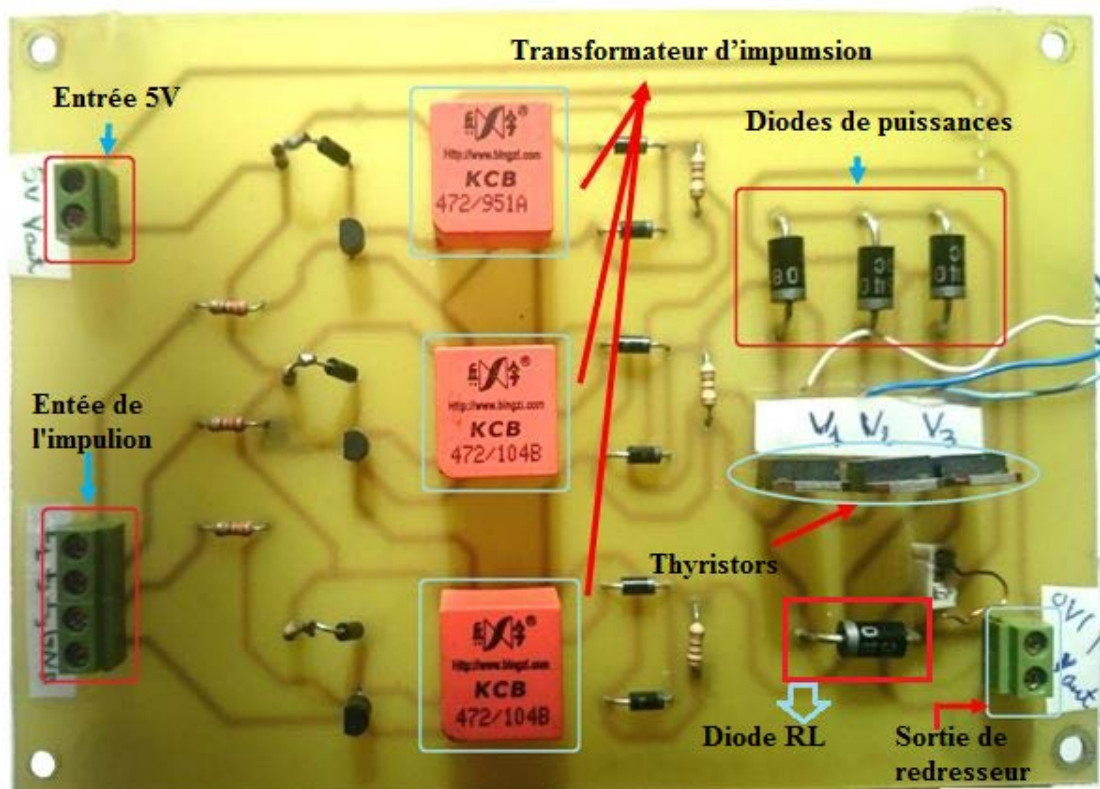


Figure III.20 Carte de puissance finalisée (côté composants).

III.2.3.10. Carte de commande à distance par " remote control " (IR) :

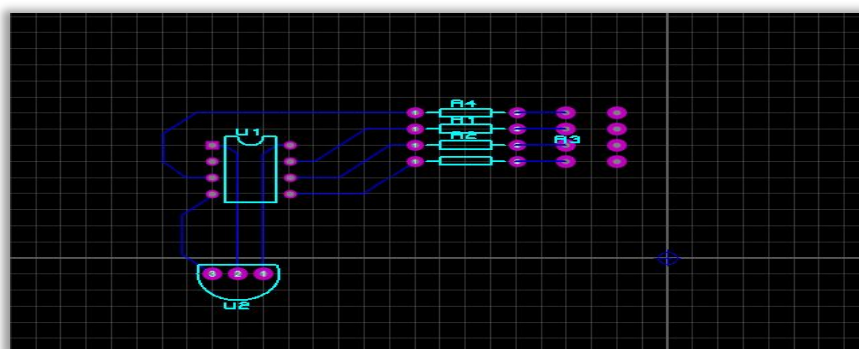


Figure III.21 Schéma routé de la carte de commande à distance (IR).

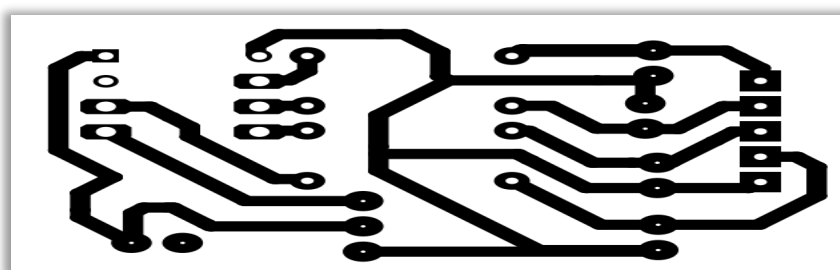


Figure III.22 Typon de la carte de commande à distance (IR) .



Figure III.23 Circuit imprimé de la carte commande à distance (IR).

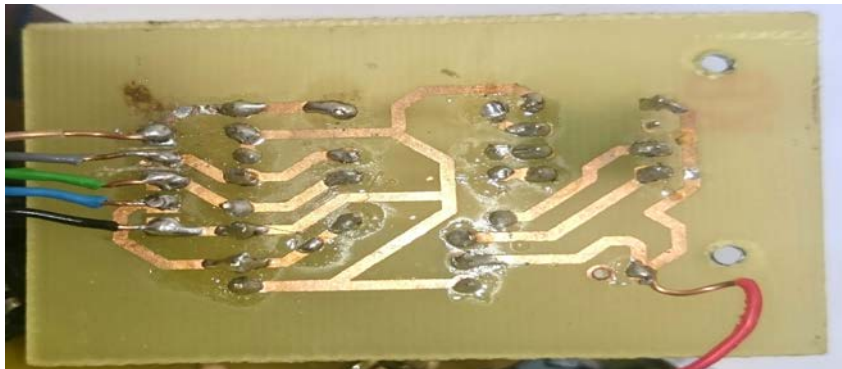


Figure III.24 Carte de commande à distance finalisée (côté pistes).

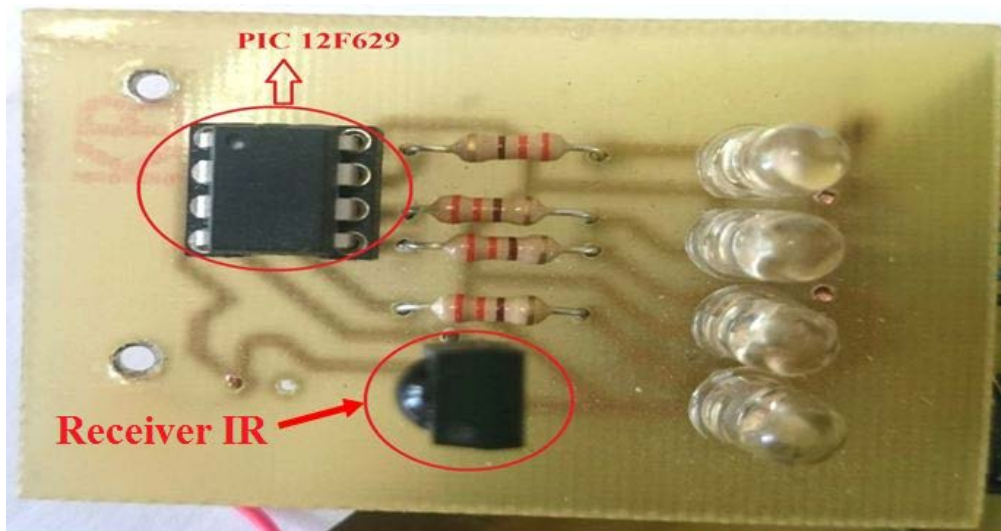


Figure III.25 Carte de commande à distance finalisée (côté composants).

III.3. Les problèmes rencontrés :

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

La charge inductive : on simulation nous avons pas utiliser la charge, la simulation donne les résultats, Par contre on pratique, il est nécessaire de reliée la charge inductive avec la sortie de notre carte pour obtenue les résultats, car quand oublier là, il faire un le circuit ouvert, cette problème (a pris beaucoup de temps) .

L'alimentation -12 : pour minimiser le circuit nous avons négliger là, la partie simulation ça marche bien mais on a trouvé des problèmes dans la réalisation, il cause des perturbations du signal d'entrée, car l'alimentation négative ne pas connecté dans le même point dans notre laboratoire de contrôle. Pour corriger cette problème, nous avons créé un alimentation négative (-12) séparé.

L'utilisation de l'instruction " Delay " dans notre programme : il cause un chevauchement dans les signaux quand les interruptions arrive, pour corriger, on utilise le TIMER.

Communication USB : Dans la simulation, il n ya aucun de problème, par contre on pratique, on câblage VDD D+ D- VSS de port USB avec les ports de PIC VDD D+ D- VSS simultanément , le PC rencontre un problème pour connais là, car le câble USB qui relié la carte avec le PC leur câblage est inversé, nous avons essayer beaucoup choses comme drivers, programmes (NI-VISA, labview,...) mais aucun réponse quand reliée la carte avec le PC.

La solution de cette problème est inversé le câblage, dans la carte ou dans le able USB.

Communication IR : le tram de communication de Protocol NEC il est très long par a rapport le temps de notre application, il faire un chevauchement dans l'application, pour éviter cette problème en ajoute le PIC12F629.

Programmation de PIC : quand utilise le programmeur pour programmer le PIC12F629 ou 18F4550, nous avons des problèmes parfois quand essayer de programmer le PIC dans la carte principale, le 1^{er} problème, la carte doit être alimenté par le PIC, non par autre

alimentation externe, la 2^{ème} problème parfois vous ne pouvez pas programmer le PIC dans la carte, vous devez utiliser plaque d'essai et reliée le PIC avec le programmeur séparer. Notamment le PIC12F629.

La 3^{ème} problème le PIC12F629 refuse de répondre on MPLAB, pour corriger cette problème, vous devez effacer le PIC complètement à chaque fois de programmation.

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

III.4. Résultats expérimentaux :

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

III.4.1. Signal d'entrée :

La Figure III.26, représente le signal d'entrée, qu'un signal sinusoïdal triphasé.

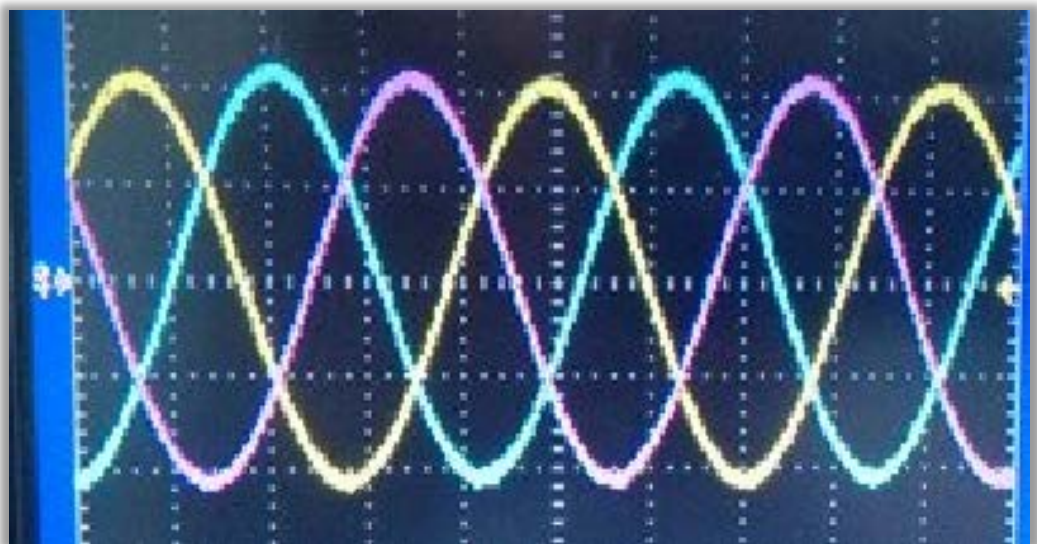


Figure III.26 Allure de la tension d'entrée.

III.4.2. Signal de la gâchette du thyristor T1 :

La Figure III.27, représente le signal de commande de thyristor T1.

Le signal de sortie du transformateur d'impulsion attaque le thyristor. Il est polarisé en direct.

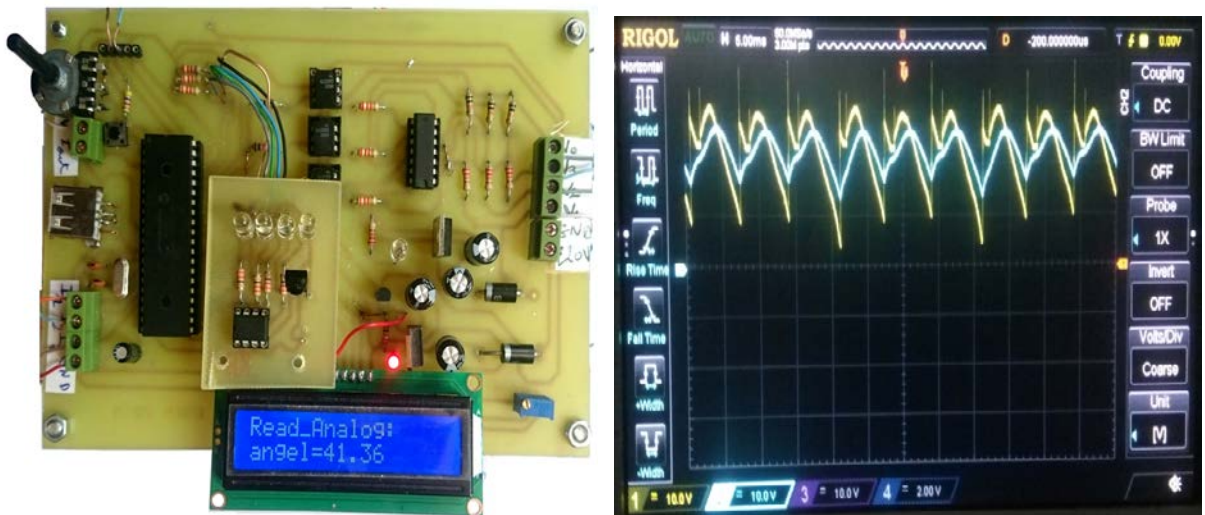


Figure III.27 L'impulsion de la commande du thyristor T1 pour le mode double alternance.

III.4.3. Commande numérique par potentiomètre :

a. Avec un angle d'amorçage $\alpha=41.3\%$:

La Figure (III.28) représente notre carte électronique et l'allure de la tension et du courant de la charge RL pour le mode simple alternance et un angle d'amorçage $\alpha =41.3\%$.



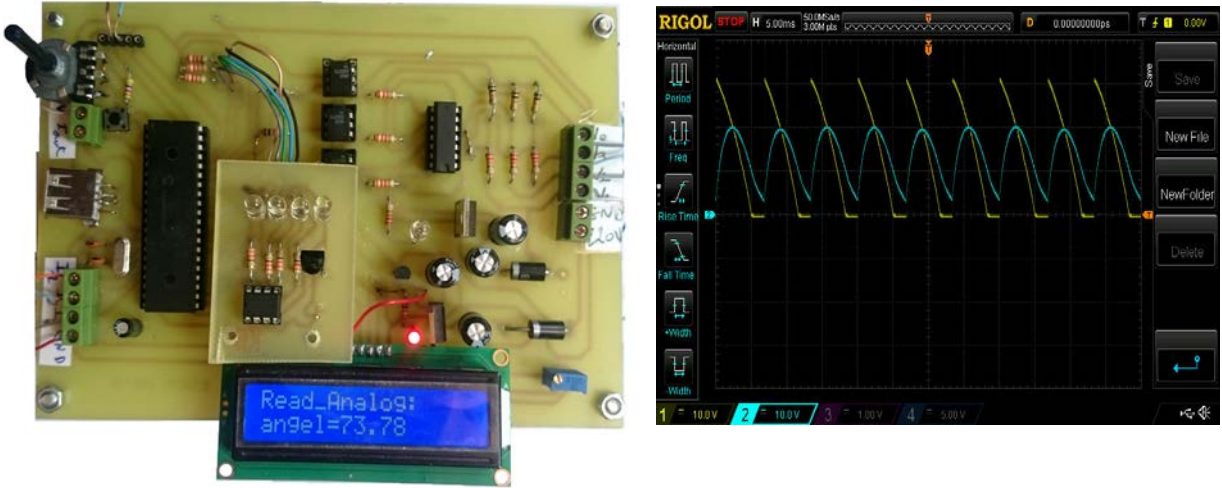
(a) Représentation de notre carte.

(b) l'allure de la tension et du courant.

Figure III.28 Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=41.3\%$.

b. Avec un angle d'amorçage $\alpha = 73.7\%$:

La Figure (III.29) représente notre carte électronique et l'allure de la tension et du courant de la charge RL pour le mode double alternance et un angle d'amorçage $\alpha = 73.7\%$.



(a) Représentation de notre carte.

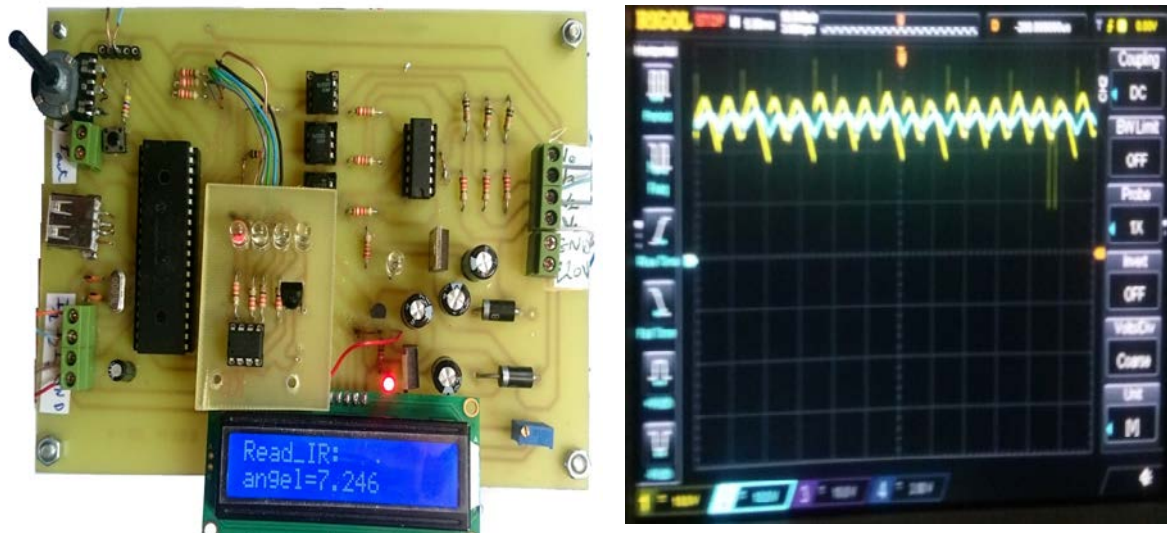
(b) l'allure de la tension et du courant.

Figure III.29 Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 73.7\%$.

III.4.4. Commande numérique par PC (USB) ou IR (remote control) :

a. Avec un angle d'amorçage $\alpha = 7.2\%$:

La Figure (III.30) représente notre carte électronique et l'allure de la tension et du courant de la charge RL pour le mode simple alternance et un angle d'amorçage $\alpha = 7.2\%$.



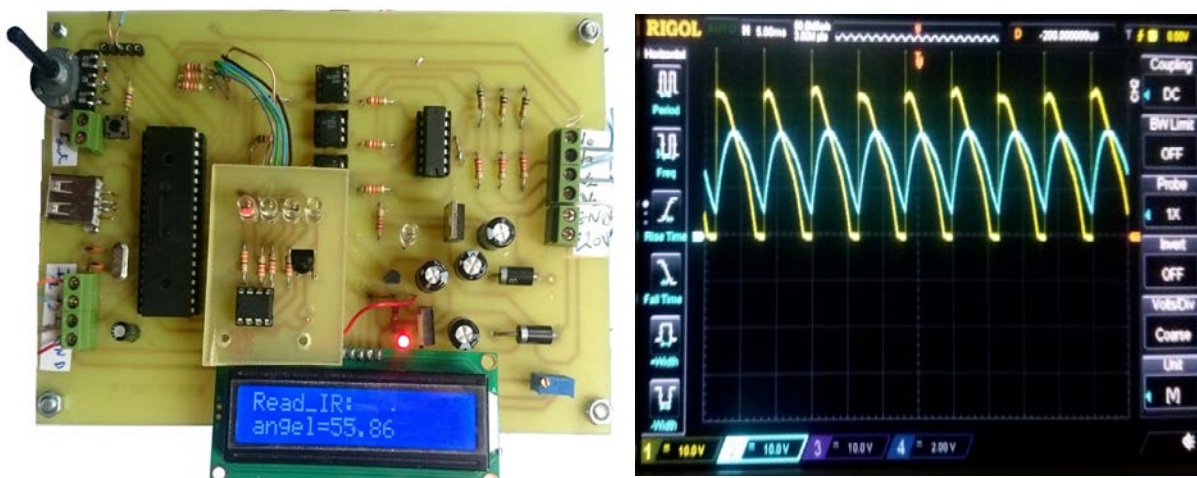
(a) Représentation de notre carte.

(b) l'allure de la tension et du courant.

Figure III.30 Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha = 7.2\%$.

b. Avec un angle d'amorçage $\alpha=55.8\%$:

La Figure (III.31) représente notre carte électronique et l'allure de la tension et du courant de la charge RL pour le mode double alternance et un angle d'amorçage $\alpha=55.8\%$.



(a) Représentation de notre carte.

(b) l'allure de la tension et du courant.

Figure III.31 Résultats obtenus aux bornes de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=55.8\%$.

Remarque :

D'après les Figures (III.28, III.29, III.30 et III.31), nous remarquons :

- Il y a trois méthodes pour contrôler l'angle de retard à l'amorçage : commande par potentiomètre, commande à distance (IR), commande par PC (USB).
- Le déphasage entre la tension et le courant est dû à la nature inductive de la charge.
- Si la tension redressée est nulle, le courant ne l'est pas, du fait que la charge assure la continuité de courant durant les périodes à tension nulle.

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.. Moteur DC comme une charge à la sortie angle d'amorçage $\alpha = 61.2\%$:

Dans ce cas, on place à la sortie un moteur DC et on visualise la tension entre ses bornes qui est représentée dans la Figure III.32.

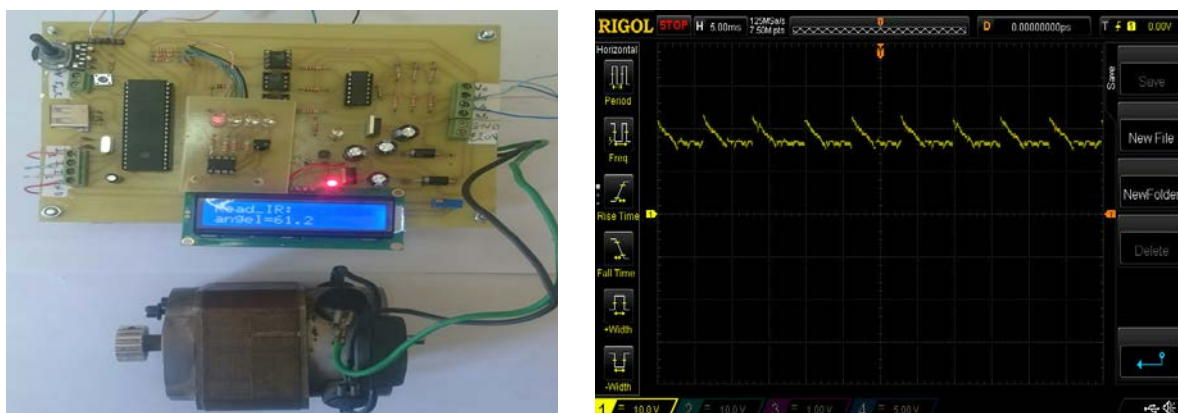


Figure III.32 L'allure de la tension obtenue aux bornes du moteur DC pour un angle d'amorçage $\alpha = 61.2\%$.

D'après la Figure III.31, 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 d'un redresseur triphasé semi commandé. Les étapes de conception sont détaillées et les mesures sur le système réel sont effectuées.

La réalisation de ce projet pratique passe nécessairement par les étapes suivantes :

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

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le cadre de la préparation d'un Master en Electronique, Spécialité Electronique (ESEM) , ce travail vise à présenter une étude théorique , de simulation et réalisation d'un redresseur triphasé semi commandé à base d'un microcontrôleur PIC18F4550 en respectant un cahier de charge imposé.

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

Le circuit de commande c'est le circuit très important sur le redresseur triphasé semi commandé .

Le premier chapitre a été dédié à la présentation du principe de fonctionnement des semi-conducteurs non-commandé et commandé (diode, thyristors) et leurs caractéristiques statique, quelque généralité sur les redresseurs non commandés (diode) et commandés (thyristor). Cette étude est illustrée en premier lieu par une simulation Simulink Matlab dans le but de mettre une référence de comparaison avec les résultats expérimentaux obtenus par le circuit réalisé.

Ensuite dans le deuxième chapitre nous avons d'abord discuté la description du microcontrôleur PIC18F4550 et leurs caractéristiques et expliquer leur coté logiciel.

Un organigramme qui explique le fonctionnement de notre carte. Enfin les résultats de simulation par Proteus sont illustrés pour chaque mode étudié qui sont en forte coordination avec les simulations Matlab.

Enfin dans le troisième chapitre, nous avons décrit la description des quelques composants, les étapes nécessaires de la fabrication de la carte électronique, les problèmes rencontrés lors du travail et les résultats obtenues .

Les tests expérimentaux de la structure complète ont montré des résultats similaires à celle de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab. Ces résultats représentent les formes de courant et de tension de charge.

❖ Les Perspectives :

Dans ce travail, on a donné la base ou la plateforme pour les prochains travaux dans ce domaine. Pour une extension de notre travail :

- On peut ajouter un circuit de protection;
- On peut injecter un système pour diagnostiquer et détecter les défauts;
- Développera le programme pour améliorer la commande;
- Minimisation de la carte électronique par utiliser une carte double face.

Ce travail nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de l'électronique de puissance et de commande ainsi que la maîtrise de l'outil de simulation et la réalisation des cartes électroniques.

Bibliographié :

- [1] Guy, S. Francis, L. Philippe, D. 'Électronique de puissance structures, commande, applications' (10^{ème} ed). Paris, 2015.
- [2] Talbi,A. "Realisation d'un redresseur triphasé commande par la carte arduino" Mémoire de Master, Université Constantine I, Constantine, 2014.
- [3] Guy S. Electronique de puissance, 8ème édition, Dunod, 2004.
- [4] Brahim, A. Guezouli, H. " Etude et réalisation d'une carte de commande à base d'un microcontrôleur PIC 16F877 pour ponts redresseurs triphasés à thyristors ", Université de Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen, Mémoire de Master, 2014.
- [5] Bekkouche, C. Touggourti, A."Étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur à courant continu", Mémoire de Master, Université Université Kasdi Merbah Ouargla, OUARGLA, 2016.
- [6] Cyril W. Lande, 'Electronique de puissance' Cours et exercices-205 problèmes résolus, Ecole de génie électrique et électronique, Leicester Polytechnique, MpcGraw-Hill Inc., Paris.
- [7] Francis,W. 'Electronique de puissance', Maîtrise EEA Tronc commun Université Henri Poincaré, Nancy 1.
- [8] Pinard, M. 'Convertisseurs et électronique de puissance : Commande, Description, Mise en œuvre' Dunod, paris, 2007.
- [9] Tourtchine, V. ' Microcontrôleur de la famille Pic. Université de boumerdes, 2009.
- [10] Guy, Ch. Daniel, B. Michel, B. jacques, V. et Daniel, V. Manuel de genie électrique Rappels de cours, méthodes, exemples et exercices corrigés. Dunod,Paris,2006 .
- [11] Ouyahia, L. Bessaou, N. "Conception et Réalisation d'une Carte de Commande d'un Four Electrique à Base d'un Microcontrôleur PIC 16F877-A", Université Abderrahmane Mira Bejaia, Mémoire de Master, 2013.
- [12] Microchip. <http://www.dicodunet.com/definitions/materiel/microcontrolleur.htm>
- [13]Microchip.<http://www.mec.ua.pt/activities/graduationprojets/graduationprojetpages/2003-2004/h1/pics/docs/le20pic-16f8420livre.pdf>.
- [14] Hamdi, B. Boulkaria,B. "Etude et réalisation d'une carte pour la commande et la surveillance à distance d'une pompe par GSM", Université Abderrahmane Mira Bejaia, Mémoire de Master, Juin 2013.

- [15] https://web.archive.org/web/20131103212142/http://www.aixmrs.iufm.fr/formatios/fili eres/ge/data/PIC/PICC/indexPIC_C.html
- [16] www.datasheetcatalog.com.
- [17] « PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet », <http://www.microchip.com>.
- [18] « PIC12F629/675 Data Sheet », <http://www.microchip.com>.
- [19] <https://techdocs.altium.com/display/FPGA/NEC+Infrared+Transmission+Protocol>
- [20] <https://www.sbprojects.net/knowledge/ir/nec.php>
- [21] Adjiba, B. et Chalghoum, A., "Commande des équipements électriques par microcontrôleurs, " Université Echahid Hamma Lakhdar d'ElOued ,algérie, Mémoire de Master, juin 2015.
- [22] Usblyzer. <http://www.usblyzer.com/brief-usb-overview andhistory.html>
- [23] *Super Speed*. Ars technical, retrieved March 11, 2010, <http://arstechnica.com/hardware/guides/2009/08/super-speed-a-brief-history-of-usb> 30.ars
- [24] 304-648B: VLSI Design Atanu Chattopadhyay " Universal Serial Bus Host Specification and Implementation " May 18, 2001
- [25] Dechoucha, S. Bourezg, O. " Conception des techniques MLI dédiées à la commande des convertisseurs DC/DC et DC/AC à base du microcontrôleur PIC18F4431", Mémoire de Master, Université de M'sila, 2017.
- [26] : pris en main de MPLAB 6.40 , formation sur les micro contrôleurs PIC, Lycée Philippe de Girard, France,10 janvier. 2004.
- [27] « Proteus (ISIS et ARES) », <http://www.labcenter.com>.

Résumé :

Les travaux présentés dans ce mémoire montrent un ensemble des tâches pour la conception et la réalisation des convertisseurs AC-DC à base du microcontrôleur pic18F4550 pour la variation de la vitesse des machines à courant continu. Ce changement exige la commande des dispositifs de puissance par un signal sous forme d'un train d'impulsions retardé avec un angle par rapport à la tension alternative d'entrée. Cette réalisation possède plusieurs étapes commençant par une étude théorique dans la quelle, on a réuni un ensemble d'information théorique illustrée par une simulation Simulink-Matlab. Puis une étude détaillée sur l'architecture et les caractéristiques du microcontrôleur 18F4550, ainsi que la simulation par les logiciels MPLAB, HID, CCS PICC et Proteus. La dernière étape est consacrée à la réalisation pratique: explication des parties essentielles de la réalisation, la fabrication de notre carte électronique, les problèmes rencontrés lors du travail et la prise des résultats expérimentaux. Les tests expérimentaux ont montré des résultats similaires à celle de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab.

Mots clés : Redresseur, Triphasé, Réalisation, Commande, PIC, 18F4550, 12F629, code CCS PICC, Matlab, Proteus, NEC.

Abstract :

The work presented in this thesis presents a set of tasks for the design and realization of AC / DC converters based on the pic18F4550 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 18F4550 architecture, as well as the simulation by the software MPLAB, HID, 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, Three phase, Realization, Control, PIC, 18F4550, 12F629, CCS PICC code, Matlab, Proteus, NEC.

ملخص :

الأعمال المقدمة في هذه المذكرة تظهر مجموعة من المهام بهدف تصميم و انجاز محولات تيار متناوب /تيار مستمر ذات المراقب الدقيق (PIC18F4550) من اجل تغيير سرعة محركات ذات التيار المستمر .هذا التغيير يتطلب التحكم في مركبات الاستطاعة بإشارة على شكل نبضات متأخرة بزواوية مقارنة بالتوتر المتناوب للمدخل .هذا الانجاز له عدة مراحل يبدأ بدراسة نظرية أين جمعنا مجموعة من المعلومات النظرية و المرفقة بمحاكاة برنامج Matlab Simulink , ثم دراسة مفصلة حول هندسة و خصائص المراقب الدقيق (PIC 18F4550) , يشمل أيضا محاكاة باستعمال برنامج MPLAB , HID , CCSPICC , وPROTEUS.المرحلة الأخيرة خصصت للانجاز التطبيقي, شرح الأجزاء الأساسية للمشروع, انجاز البطاقة الالكترونية, المشاكل المعترضة أثناء العمل و اخذ النتائج التجريبية .الاختبارات التجريبية أكدت نتائج مماثلة للدراسة النظرية ونتائج المحاكاة لبرنامج Matlab وPROTEUS .

كلمات مفتاحية : مقوم ، ثلاث مراحل ، تحقيق ، تحكم ، 18F4550, 12F629, كود CCS PICC.