

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF MSILA

FACULTE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

N°



DOMAINE : Science et Technologies

FILIERE : Electronique

OPTION : Electronique du Système Embarqué

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : Laifa Saida

Chenene Abdelali

Intitulé

**Réalisation de la commande du
gradateur triphasé unidirectionnel à
base du microcontrôleur PIC16F876A**

Soutenu devant le jury composé de :

F.Kebaili	Université de M'SILA	Président
Dr.Oudira Houcine	Université de M'SILA	Rapporteur
Pr.Mezache Amar	Université de M'SILA	Rapporteur
M.Fodil	Université de M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2019 /2020

Remerciement

Avant tout, on commence par des remerciements à **Allah** qui nous a donné le courage d'entamer et de finir ce mémoire dans de bonnes conditions

Nous tenons d'abord à exprimer notre sincère gratitude à notre encadreur Dr.Hocine OUDIRA et Pr.Amar MEZACHE pour avoir proposé, suivi et dirigé ce travail ; nous tenons à eux exprimer notre reconnaissance pour les nombreuses aides, propositions et discussions, que nous avons eues

Nous tenons à remercier aussi tous les enseignants du département électronique qui nous ont pris en charge durant nos études en deuxième année master

Enfin nous tenons à remercier l'ensemble du personnel du département d'électronique

On remercie aussi ceux qui ont contribué à ce travail.

Dédicace

Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu, et
l'unique qui m'offre le courage et la
volonté nécessaire pour affronter les différentes
difficultés de la vie,

Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui sont les plus chers du monde, Mon père,
et ma mère, à qui je n'arriverai jamais à exprimer ma
gratitude et ma reconnaissance, pour ses amours ses
soutiens tout au long de mes études.

A mes frères et mes soeurs.

A toute ma famille.

Sans oublier tout les professeurs que ce soit du
primaires, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.

Dédicace

Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu, et
l'unique qui m'offre le courage et la
volonté nécessaire pour affronter les différentes
difficultés de la vie,

Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui sont les plus chers du monde, Mon père,
et ma mère, à qui je n'arriverai jamais à exprimer ma
gratitude et ma reconnaissance, pour ses amours ses
soutiens tout au long de mes études.

A mes frères et mes soeurs.

A toute ma famille.

Sans oublier tout les professeurs que ce soit du
primaires, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.

Table des matières

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Dédicace.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des abréviations.....	ix
Liste des symboles.....	xi
Liste des tableaux.....	xii
Liste des figures.....	xiii
Introduction générale.....	01

Chapitre I: Généralités sur le gradateur

I.1 Introduction.....	05
I.2 Caractéristiques des composants électroniques.....	05
I.2.1 Diode de puissance	05
I.2.1.1 Principe de fonctionnement.....	06
I.2.1.2 Caractéristique statique d'une diode	06
I.2.2 Thyristor.....	06
I.2.2.1 Principe de Fonctionnement.....	07
I.2.2.2 Caractéristiques d'un thyristor	08
I.3 Gradateurs.....	08
I.3.1 Gradateurs monophasés	09
I.3.1.1 Gradateur marche en interrupteur (On-Off)	09
I.3.1.2 Gradateur unidirectionnel.....	12
I.3.1.3 Gradateur bidirectionnel.....	14
I.3.2 Gradateurs triphasés.....	17
I.3.2.1 Gradateur unidirectionnel	17
I.3.2.1.1 Marche de 3 ou 2 semi-conducteurs ($0 \leq \alpha \leq \pi/2$)	18
I.3.2.1.2 Marche de 3, 2 ou 0 semi-conducteurs ($\pi/2 \leq \alpha \leq 3\pi/2$).....	21

I.3.2.1.3 Marche de 2 ou 0 semi-conducteurs ($3\pi/2 \leq \alpha \leq 7\pi/6$).....	22
I.3.2.2 Les gradateurs triphasés tous thyristors	24
I.3.2.2.1 Gradateur triphasé couplé en étoile	24
I.3.2.2.1.1 Marche de 3 ou 2 composants ($0 \leq \alpha \leq \pi/3$).....	25
I.3.2.2.2 Marche de 2 semi-conducteurs ($\pi/3 \leq \alpha \leq \pi/2$).....	27
I.3.2.2.3 Marche de 2 ou 0 semi-conducteurs ($\pi/2 \leq \alpha \leq 5\pi/6$)	28
I.4 Conclusion.....	30
 Chapitre II: Microcontrôleur et Simulations par Proteus	
II.1 Introduction	32
II.2 Généralités sur les microcontrôleurs	32
II.2.1 Introduction	32
II.2.2 Présentation du Microcontrôleur	32
II.2.3 Caractéristiques principales d'un microcontrôleur	32
II.2.4 Avantages d'un microcontrôleur	33
II.2.5 Contenu d'un microcontrôleur	33
II.3 Le PIC	34
II.3.1 Définition.....	34
II.3.2 Les différentes familles	34
II.3.3 Le choix d'un PIC.....	35
II.4 Microcontrôleur "16F876A"	35
II.4.1 Les éléments essentiels du PIC 16F876	35
II.4.2 Description général du PIC 16F876A	36
I.4.3 Architecture externe.....	37
II.4.4 Architecture interne	37
II.4.5 Organisation de la mémoire	38
II.4.6 Les timers du pic 16F876A	39
II.4.6.1 Le timer 0	39

II.4.6.2 Le timer 1	41
II.4.6.3 Le timer 2	42
II.4.7 Les interruptions	43
II.4.8 Les ports d'entrées /sorties	45
II.4.8.1 Le port d' E/S PORTA	45
II.4.8.2 Le port d' E/S PORTB	45
II.4.8.3 Le port d' E/S PORTC	45
II.4.9 Chien de garde	46
II.4.10 Le convertisseur analogique numérique	46
II.5 Conception de la carte de commande et de puissance par Proteus	47
II.5.1 Partie logicielle (outils de développement utilisés)	47
II.5.1.1 Langage C « compilateur C »	47
II.5.1.2 Le simulateur ISIS de Proteus.....	47
II.5.2 Schéma structurel de la carte par Proteus	48
II.5.3 Le fonctionnement.....	49
II.5.4 L'organigramme de fonctionnement	49
II.5.5 Simulations par Proteus	51
II.5.5.1 gradateur triphasé unidirectionnel – commande analogique ‘Alpha=30%’	51
II.5.5.2 gradateur triphasé unidirectionnel –commande analogique ‘Alpha=56%’	53
II.5.5.3 gradateur triphasé unidirectionnel –commande numérique ‘Alpha=14%’	54
II.5.5.2 gradateur triphasé unidirectionnel –commande numérique ‘Alpha=86%’	56
II.4 Conclusion.....	58

Chapitre III: Réalisation Pratique

III.1 Introduction.....	60
III.2 Réalisation de la carte électronique	60
III.2.1 Câblage par Proteus.....	60
III.2.2 Description des parties essentielles de la réalisation.....	62
III.2.2.1 Circuit de synchronisation et de couplage optique	62
III.2.2.2 Transformateur d'impulsions	64
III.2.2.3 L'alimentation	66
III.2.2.4 Afficheur LCD.....	67
III.2.2.4.1 Présentation de l'afficheur LCD	67
III.2.2.4.2 Présentation d'un écran LCD.....	67
III.2.2.4.3 Brochage	68
III.2.2.4.3 Fonctionnement.....	69
III.2.3 Les étapes de fabrication du circuit imprimé	69
III.2.3.1 L'insolation de circuit.....	69
III.2.3.2 La révélation	69
III.2.3.3 Gravure	70
III.2.3.4 Perçage.....	70
III.2.3.5 Le test du circuit imprimé.....	70
III.2.3.6 La soudure	70
III.2.3.7 Carte de commande	71
III.2.3.8 Carte de puissance	72
III.2.3.9 Assemblage des cartes réalisées	72
III.4 Les problèmes rencontrés	73
III.5 Résultats expérimentaux	74
III.5.1 Signal d'entrée.....	74
III.5.2 Signal de la commande du thyristor T1 , T2 et T3.....	74

III.5.3 Signal de la sortie pour une charge R.....	75
III.5.3.1 Angle d'amorçage $\alpha=10\%$	75
III.5.3.2 Angle d'amorçage $\alpha=40\%$	76
III.5.3.3 Angle d'amorçage $\alpha=90\%$	77
III.5.4 Signal de la sortie pour une charge RL	78
III.5.4.1 Angle d'amorçage $\alpha=10\%$	78
III.5.4.2 Angle d'amorçage $\alpha=40\%$	79
III.5.4.3 Angle d'amorçage $\alpha=80\%$	80
III.6 Conclusion	81
Conclusion générale	83
Bibliographié.....	84
Résumé	

Liste des abbreviations

Abréviations	Notations
AC	Courant alternative
DC	Courant continue
D	Diode
A	Anode
K	Cathode
T	Thyristor
R	Résistance
L	Inductance
G	Gàchette dy thyristor

Liste des symboles

Notations	Symboles
Tension d'entrée	V, V_e, u, u_e
Tension maximal	V_m
Tension efficace	V_{leff}
Courant de la gâchette du thyristor	I_g
Courant traversant l'inductance	i_l
Tension traversent l'inductance	V_l
Période	T
Angle d'amorçage du thyristor	α

Liste des tableaux

Tableau III.1 Liste des composants pour la réalisation du convertisseur AC-AC.....	61
Tableau III.2 Brochage d'un afficheur LCD.....	68

Liste des figures

Figure I.1 Structure symbolique de la diode.....	05
Figure I.2 Caractéristique d'une diode.....	06
Figure I.3 Schéma symbolique du thyristor	07
Figure I.4 Caractéristique parfait du thyristor	07
Figure I.5 Caractéristiques de sortie du thyristor (SCR).....	08
Figure I.6 Gradateur marche en On-Off.....	09
Figure I.7 Formes d'ondes du courant et de la tension à charge RL	10
Figure I.8 Schéma block d'un gradateur monophasé marche en interrupteur (On-Off) (Simulink-Matlab).....	10
Figure I.9 Allures de tension et de courant d'un gradateur monophasé marche en interrupteur (On-Off).....	11
Figure I.10 Gradateur unidirectionnel monophasé	12
Figure I.11 Formes de tension et de courant d'un gradateur unidirectionnel débite une charge inductive.....	13
Figure I.12 Schéma block d'un Gradateur monophasé unidirectionnel (Simulink- Matlab)	13
Figure I.13 Allures de tension et de courant d'un Gradateur monophasé unidirectionnel (simulink -Matlab).	14
Figure I.14 Gradateur bidirectionnel monophasé	15
Figure I.15 Formes de tension et de courant d'un gradateur bidirectionnel débite une charge inductive	15
Figure I.16 Schéma block d'un gradateur bidirectionnel monophasé (Simulink-Matlab).	16
Figure I.17 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur bidirectionnel monophasé (Simulink -Matlab).	16
Figure I.18 Gradateur triphasé unidirectnneiol.....	18
Figure I.19 Formes de tension d'un gradateur unidirectionnel triphasé débite une charge résistive.....	19
Figure I.20 Schéma block d'un gradateur triphasé unidirectionnel (Simulink-Matlab).19	
Figure I.21 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur triphasé unidirectionnel pour $\alpha = \pi/3$	20

Figure I.22 Formes de tension d'un gradateur unidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = 5\pi/9$	21
Figure I.23 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur triphasé unidirectionnel pour $\alpha = 5\pi/9$	21
Figure I.24 Formes de tension d'un gradateur unidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = 5\pi/6$	22
Figure I.25 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur triphasé unidirectionnel pour $\alpha = 5\pi/6$	23
Figure I.26 Les gradateurs triphasés couplés en étoile et triangle	24
Figure I.27 Formes de tension d'un gradateur bidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = \pi / 6$	25
Figure I.28 Schéma block d'un gradateur triphasé bidirectionnel (Simulink-Matlab). .	25
Figure I.29 Allures de tension et de courant d'un gradateur triphasé bidirectionnel pour $\alpha = \pi / 6$	26
Figure I.30 Formes de tension d'un gradateur bidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = \pi / 3$	27
Figure I.31 Allures de tension et de courant d'un gradateur triphasé bidirectionnel pour $\alpha = \pi / 3$	27
Figure I.32 Formes de tension d'un gradateur bidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = 2\pi / 3$	28
Figure I.33 Allures de tension et de courant d'un gradateur triphasé bidirectionnel pour $\alpha = 2\pi / 3$	29
Figure II.1 brochage du PIC 16F876A.....	36
Figure II.2 Architecture interne du pic 16F876A	38
Figure II.3 Fonctionnement du Timer0.	40
Figure II.4 Fonctionnement du Timer1.	41
Figure II.5 Schéma du Timer 2.....	43
Figure II.6 Logique d'interruption.....	44
Figure II.7 Les différents PORT de PIC16F876A	46
Figure II.8 Schéma fonctionnel analogique numérique	47
Figure II.9 Schéma structurel de la carte 'ISIS'.	48
Figure II.10 Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande.	50
Figure II.11 Schéma de simulation par Proteus.....	51

Figure II.12 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande.....	52
Figure II.13 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus.52	
Figure II.14 Schéma de simulation par Proteus.....	53
Figure II.15 Allures des signaux d'entrée de synchronisation et de commande.	53
Figure II.16 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus.54	
Figure II.17 Schéma de simulation par Proteus.....	55
Figure II.18 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande.....	55
Figure II.19 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus .56	
Figure II.20 Schéma de simulation par Proteus.....	56
Figure II.21 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande.....	57
Figure II.22 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande.....	57
Figure III.1 Câblage pour le circuit imprimé par le logiciel Proteus.	61
Figure III.2 Circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique.	62
Figure III.3 Allure des signaux issus des amplificateurs opérationnels.....	63
Figure III.4 Principe de fonctionnement d'un opto-coupleur.....	63
Figure III.5 Signaux de la sortie des opto-coupleurs.	64
Figure III.6 Schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.	65
Figure III.7 Les résultats des essais du transformateur d'impulsions.	65
Figure III.8 Montage de l'alimentation 5V	66
Figure III.9 Montage de l'alimentation symétrique +12V/-12V.	66
Figure III.10 Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères	67
Figure III.11 Schéma routé de la carte de commande.....	71
Figure III.12 Typon de la carte de commande.....	71
Figure III.13 Carte de commande finalisée (côté composants).	71
Figure III.14 Schéma routé de la carte de puissance.....	72
Figure III.15 Typon de la carte de puissance.....	72
Figure III.16 Carte de puissance finalisée (côté composants).	72
Figure III.17 Carte finalisée (côté composants).....	73
Figure III.18 représente le signal d'entrée, qu'un signal sinusoïdal triphasé.	74
Figure III.19 Signal de commande.....	74
Figure III.20 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension de charge R ($\alpha=10\%$).....	75
Figure III.21 Résultats obtenus aux bornes des trios charges pour un angle d'amorçage $\alpha=10\%$	75

Figure III.22 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension de charge R ($\alpha=40\%$).....	76
Figure III.23 Résultats obtenus aux bornes de les trios charges pour un angle d'amorçage $\alpha=40\%$	76
Figure III.24 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension et charge R ($\alpha=90\%$).....	77
Figure III.25 Résultats obtenus aux bornes de les trios charges pour un angle d'amorçage $\alpha=90\%$	77
Figure III.26 Trois inductances en série avec trois résistances..	78
Figure III.27 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension et du courant de charge RL pour ($\alpha=10\%$).....	78
Figure III.28 Résultats obtenus aux bornes de les trios charges RL pour un angle d'amorçage $\alpha=10\%$	79
Figure III.29 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension et du courant de charge RL pour ($\alpha=40\%$).....	79
Figure III.30 Résultats obtenus aux bornes de les trios charges RL pour un angle d'amorçage $\alpha=40\%$	80
Figure III.31 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension et du courant de charge RL pour ($\alpha=80\%$).....	80
Figure III.32 Résultats obtenus aux bornes de les trios charges RL pour un angle d'amorçage $\alpha=80\%$	81



Introduction

Générale

Introduction générale

L'électronique de puissance a pour but de modifier la présentation de l'énergie électrique avec un rendement maximum. Modifier la présentation de l'énergie électrique veut dire que :

- on transforme l'alternatif en continu : montages redresseurs.
- on transforme le continu en alternatif : montages onduleurs.
- on modifie la valeur efficace d'une tension alternative : montages gradateurs.
- on modifie la valeur moyenne d'une tension continue : montages hacheurs.
- on modifie la fréquence d'une tension alternative : montage cycloconvertisseurs.

L'électronique de puissance ayant le souci de travailler à rendement maximum ne peut être qu'une électronique de commutation où les composants ne fonctionnent qu'en interrupteurs ouverts ou fermés [1].

La mise au point de semiconducteurs, diodes, thyristors et transistors au silicium, ou au carbure de silicium, permettant le contrôle de courants et de tensions importants a donné un essor considérable à cette nouvelle technique, au point d'en faire aujourd'hui une des disciplines de base du génie électrique[2].

Avant d'aborder l'étude de l'électronique de puissance, il importe d'en dégager la principale caractéristique, de montrer les particularités qui en résultent [2].

Les convertisseurs statiques qui sont basés sur l'utilisation des semi-conducteurs jouant le rôle d'interrupteurs qui s'ouvrent et se ferment suivant une cadence déterminée. Souvent, il leur est demandé de s'ouvrir alors qu'ils sont conducteurs, autrement dit, d'effectuer des commutations de courant. La commutation d'un courant est son transfert d'une voie à une autre [3].

Les convertisseurs AC/AC sont largement utilisés pour l'obtention d'une tension AC de valeur efficace réglable et de fréquence fixe à partir d'une source de tension AC de fréquence et de valeur efficace fixes. Ils ont été largement employés dans les applications relatives au contrôle de puissance AC, telles que le contrôle de la luminosité, le chauffage industriel, la commande de vitesse et de démarrage des moteurs à induction. Malgré les avantages tels que la simplicité et la possibilité de contrôle de puissances AC importantes, que présentent de tels convertisseurs, ceux-ci possèdent plusieurs limitations dues aux caractéristiques inhérentes à leur commande [4].

Ce travail 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, en respectant un cahier de charge imposé, qui concernent la réalisation d'une carte à base d'un microcontrôleur de type PIC 16F876A pour une commande numérique dédiée au circuit gradateur triphasé à thyristors.

Organisation du mémoire

Notre projet s'articule sur les points suivants :

- Maitrise les environnements Matlab (Simulink), CCS PICC, Proteus et MPLAB.
- Utilisation du logiciel Matlab " Simulink" pour simuler le fonctionnement des circuits gradateurs.
- Développement des codes Matlab et CCS pour l'étude en simulations des circuits gradateurs triphasés.
- Conception du circuit de commande et du circuit de puissance par le logiciel Proteus.
- Réalisation du circuit de commande et du circuit de puissance par le logiciel Proteus.
- Conception matérielle des différents étages (étage d'alimentation, étage de puissance et étage de commande à base du PIC16F876A).
- 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 court-circuit).
- Implémentation des composants électroniques et la mise en marche du circuit réalisé.
- Comparaison des signaux expérimentaux et simulés.

Dans ce projet, nous avons effectué plusieurs étapes de conception, commençant par le développement des code de commande jusqu'à les tests sur les maquettes réalisées.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres comme suit:

-Le premier chapitre est consacré à la présentation générale des convertisseurs statiques AC/AC et leurs principes de fonctionnements. Des simulations obtenues par le Simulink du Matlab (schéma block et les allures des tensions et des courants) sont aussi présentés.

-Nous définissons dans le deuxième chapitre d'une manière générale les micromoteurs avec leurs familles. Après, nous intéressons à montrer les caractéristiques et les modules du microcontrôleur PIC16F876A que nous avons utilisé dans ce projet et qui représente le coeur de notre réalisation.

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

- Dans le troisième chapitre, nous allons essayer de mettre en évidence l'aspect pratique de ce que nous avons vu dans les chapitres précédents. Ce qui fait, la réalisation de notre carte et les résultats obtenus sur le système réel via un oscilloscope numérique.

Enfin, on présente une conclusion générale qui résume l'ensemble des tâches réalisées.



Chapitre I

GENERALITES

SUR LE

GRADATEUR

I.1 Introduction

Un gradateur est un dispositif électrique qui permet de contrôler la puissance alternative fournie à une charge résistive ou inductive. Les gradateurs sont utilisés pour contrôler la puissance alternative monophasée ou triphasée [5]. Dans ce premier chapitre, un rappel théorique concernant les convertisseurs alternatif-alternatif est fourni. Une brève description des composants de puissance les plus employés dans le gradateur est présenté.

Enfin, la simulation en Matlab des différents circuits de gradateurs sera présenté.

I.2 Caractéristiques des composants électroniques

Un gradateur est un convertisseur statique qui permet de contrôler la puissance électrique absorbée par un récepteur en régime alternatif. Alors la puissance peut être contrôlée par les composants de puissance utilisés. On peut grouper les composants utilisés dans les convertisseurs statiques AC-AC en deux catégories :

- Les diodes de puissance.
- Les thyristors (Silicon-Controlled Rectifies : SCR).

I.2.1 Diode de puissance

Une diode est un semi-conducteur non commandé, qui permet la circulation du courant dans un seul sens. Il est constitué par une seule jonction. C'est un interrupteur de puissance à deux segments [6].

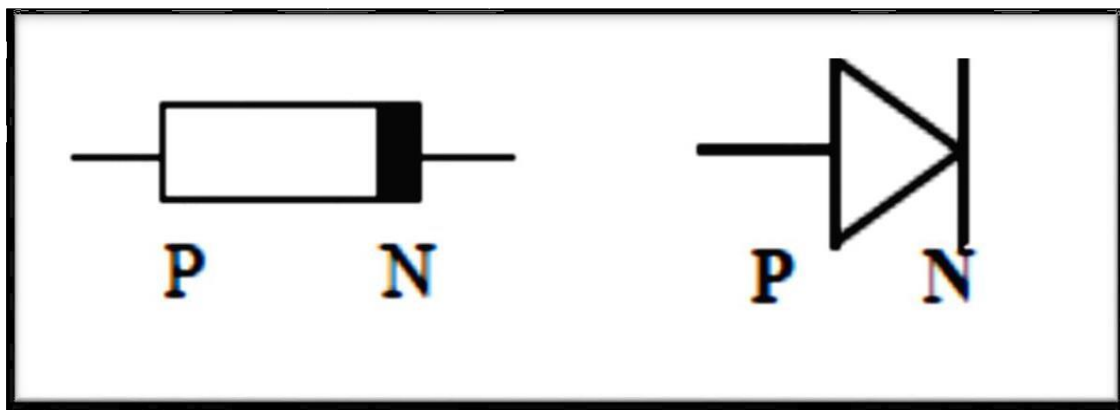
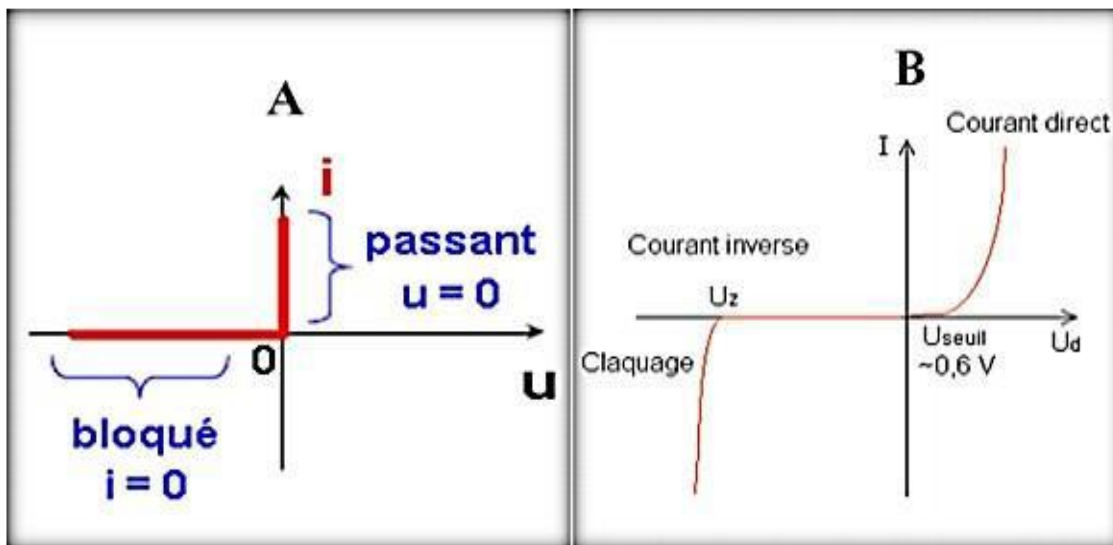


Figure I.1 Structure symbolique de la diode [6].

I.2.1.1 Principe de fonctionnement

La diode de puissance (Figure I.2) est un composant non commandable (ni à la fermeture ni à l'ouverture). 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 ($I_{AK} > 0$) [6].

I.2.1.2 Caractéristique statique d'une diode



a. Caractéristique idéale

b. Caractéristique

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

I.2.2 Thyristor

Le thyristor est un composant commandé à la fermeture, mais pas à l'ouverture (Figure I.3). Il est réversible en tension et supporte des tensions V_{AK} aussi bien positives que négatives lorsqu'il est bloqué. Il n'est pas réversible en courant et ne permet que des courants I_{AK} positifs, c'est-à-dire dans le sens anode cathode, à l'état passant. Un thyristor comporte trois bornes : l'anode A et la cathode K, entre lesquelles, il joue le rôle d'interrupteur, et la gâchette G qui forme avec la cathode l'accès de commande [2].

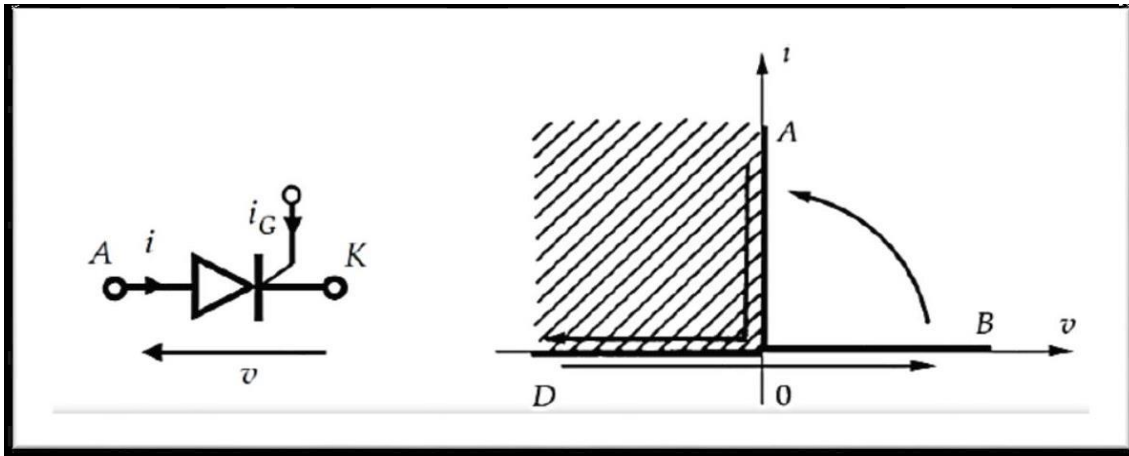


Figure I.3 Schéma symbolique du thyristor [2].

I.2.2.1 Principe de Fonctionnement

Le composant est bloqué si le courant I_{AK} est nul tandis que la tension V_{AK} est quelconque. L'amorçage (A) est obtenu par un courant de gâchette I_G positif d'amplitude suffisante alors que la tension V_{AK} est positive.

L'état passant est caractérisé par une tension V_{AK} nulle et un courant I_{AK} positif. Le blocage (B) apparaît dès annulation du courant I_{AK} (commutation naturelle) ou inversion de la tension V_{AK} (commutation forcé) [2].

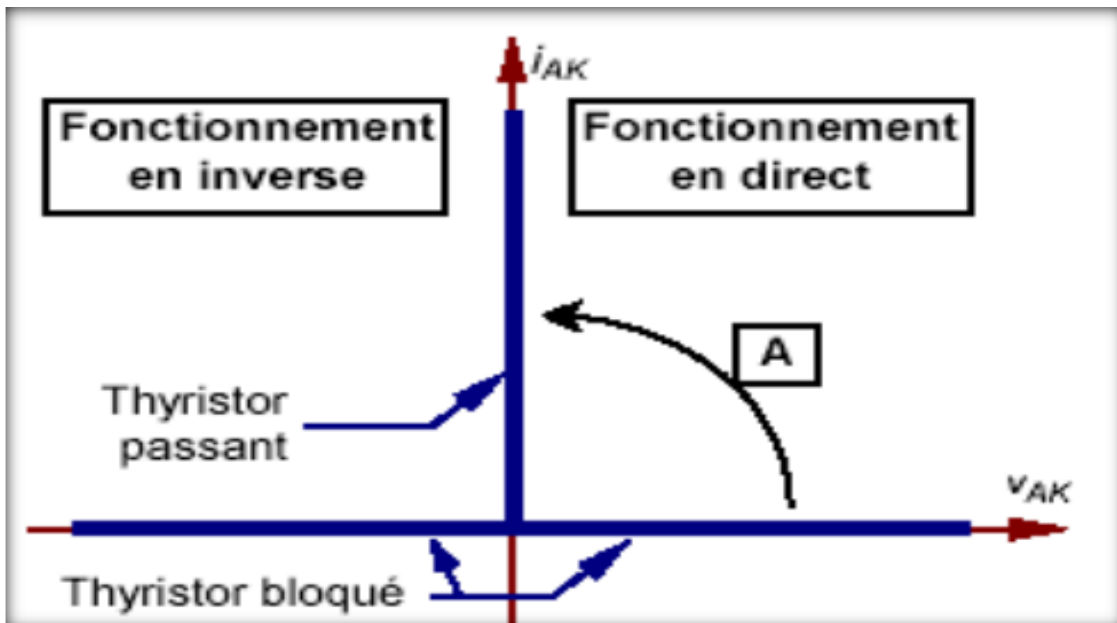


Figure I.4 Caractéristique parfait du thyristor [2].

I.2.2.2 Caractéristiques d'un thyristor

Un thyristor est un dispositif à quatre couches PNPN. Il est constitué de trois diodes en série de sens tels qu'ils empêchent toute conduction. Le courant de gâchette (égale au courant base émetteur) sature le transistor NPN qui extrait un courant émetteur base du transistor PNP qui est saturé à son tour. Le PNP injecte un courant base émetteur dans le NPN, qui extrait un courant émetteur base du PNP. Dès lors, le courant de gâchette peut s'annuler, le phénomène s'auto entretient [7].

La caractéristique inverse est identique à celle de la diode (figure I.5).

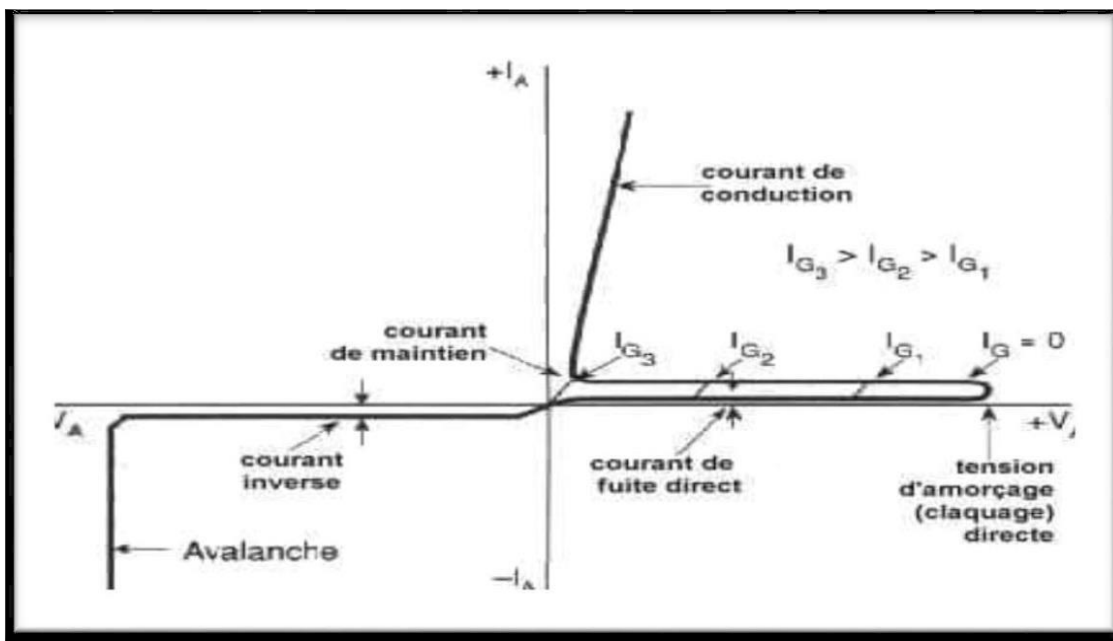


Figure I.5 Caractéristiques de sortie du thyristor (SCR) [7].

I.3 Gradateurs

Les gradateurs sont les convertisseurs alternatif-alternatif servant à commander le débit d'une source alternative dans un récepteur alternatif sans changer de fréquence.

Ils permettent d'assurer la liaison constante entre la source et la charge puis de l'interrompre ; c'est la marche en interrupteur. Ils permettent aussi de rendre intermittente cette liaison et, par là, de régler l'intensité du courant que la source débite dans le récepteur ; c'est le fonctionnement en gradateur [8].

I.3.1 Gradateurs monophasés

Le gradateur monophasé permet le réglage continu de la valeur efficace du courant qu'une source de tension alternative débite dans un récepteur. Il est, constitué par un ensemble de deux thyristors, connectés en parallèle inverse, placé entre la source de tension et le récepteur [9].

Il ya trois types de gradateurs monophasé sont considérés comme suite.

I.3.1.1 Gradateur marche en interrupteur (On-Off)

Le montage gradateur est montré dans la figure I.6 Les deux thyristors T1 et T2 permettent d'établir ou de couper la liaison source-récepteur. T1 et T2 connectent V_e et la charge pendant $t_n=nT$ (pendant n cycles de l'alimentation) et coupe la liaison entre V_e et la charge pendant $t_m=mT$ (m cycle de V_e).

a) Schéma de principe:

Le montage suivant du gradateur marche en interrupteur (On-Off) qui alimente une charge généralement inductive (RL) (Figure I.6).

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

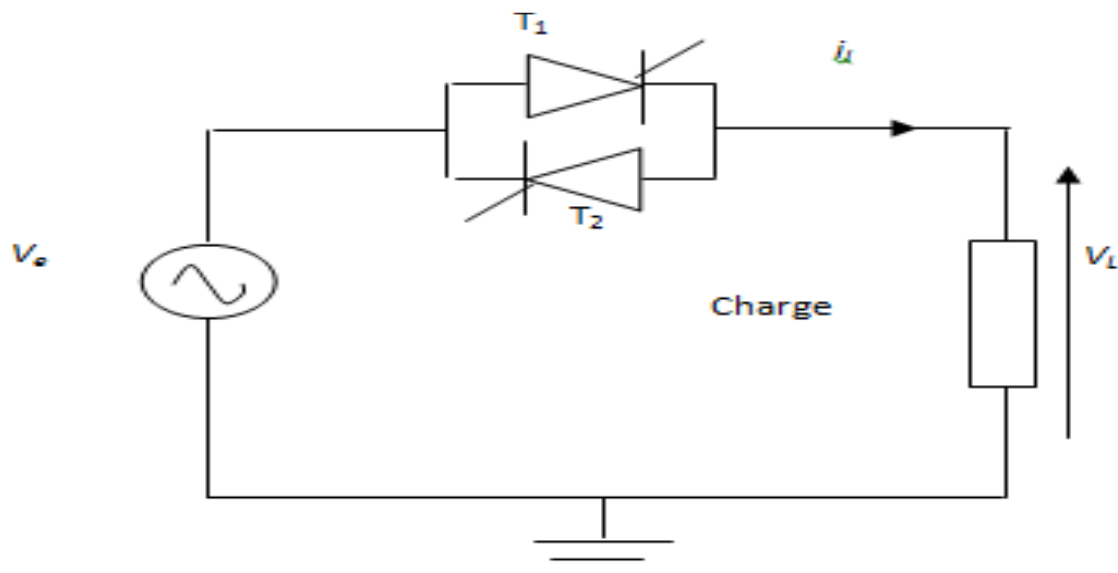


Figure I.6 Gradateur marche en On-Off [10].

b) Allures de courant et la tension :

Les formes d'ondes de tension et de courant du circuit sont représentées par la figure I.7.

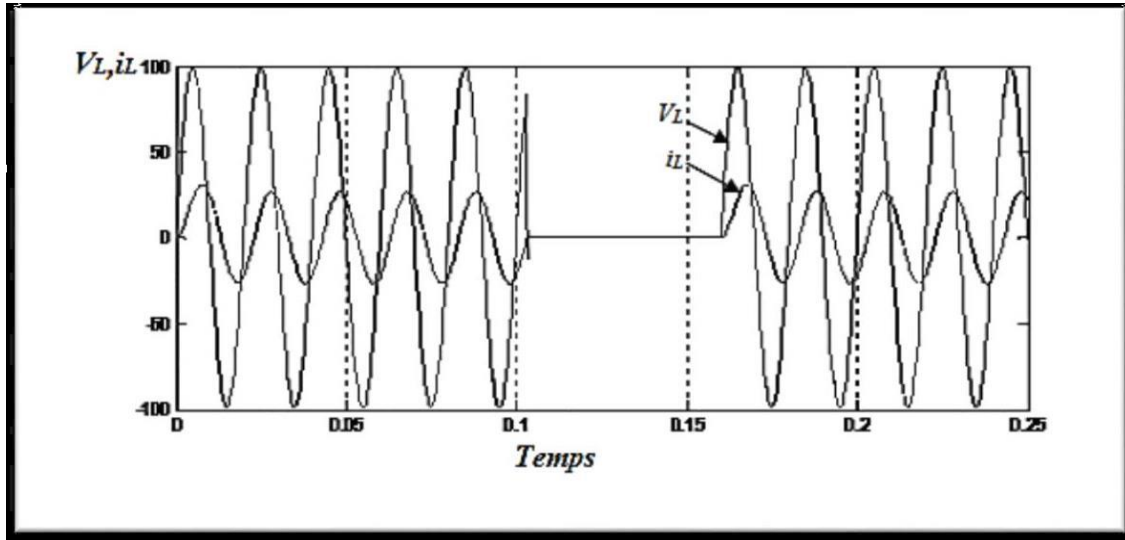


Figure I.7 Formes d'ondes du courant et de la tension à charge RL [10].

C) Simulations par Matlab :

Le schéma block pour réaliser ce type de gradateur est présenté par la Figure I.8.

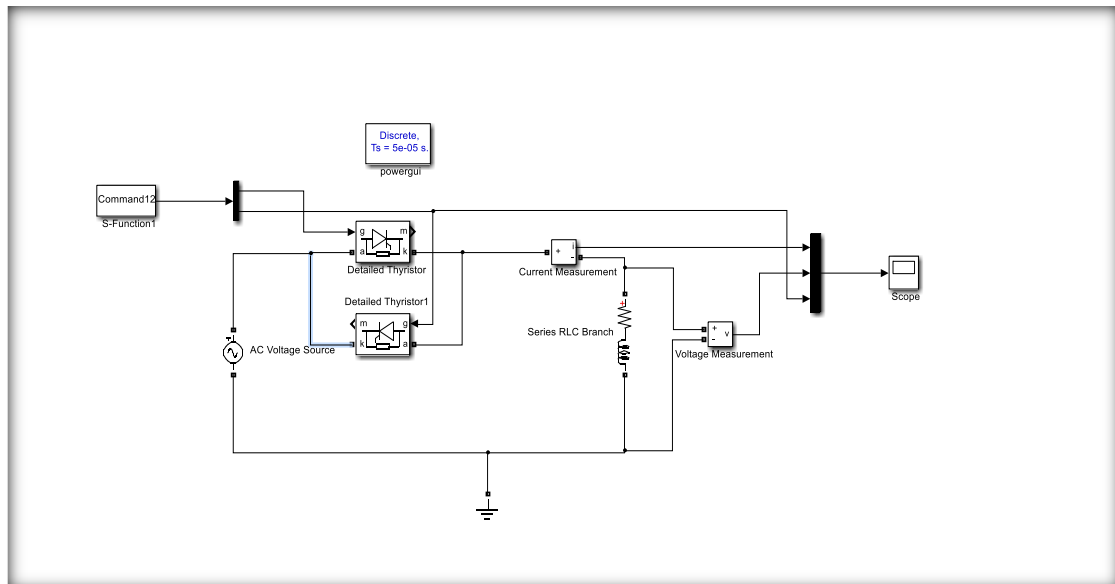


Figure I.8 Schéma block d'un gradateur monophasé marche en interrupteur (On-Off) (Simulink-Matlab).

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et courant sont présentés par la figure I.9.

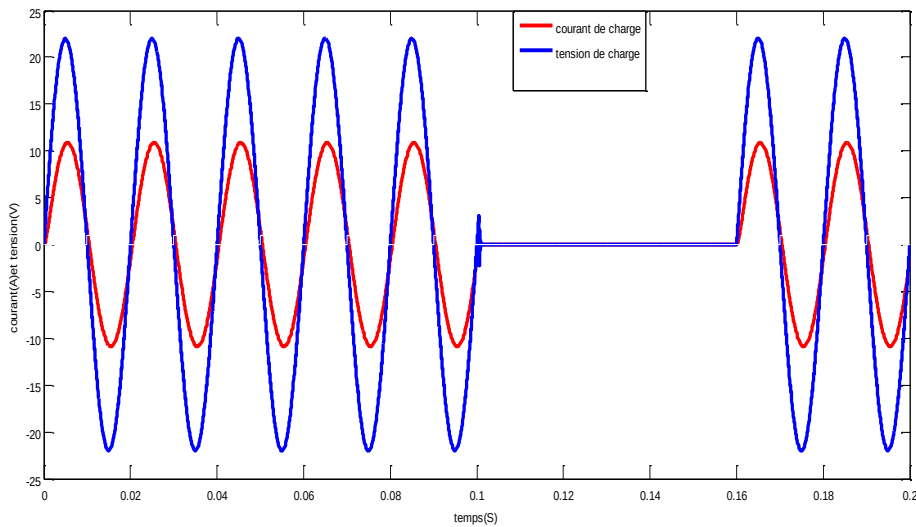


Figure I.9 Allures de tension et de courant d'un gradateur monophasé marche en interrupteur (On-Off).

Ce type de commande est appliqué pour les entraînements à vitesses variables des moteurs AC à grand couple ainsi que les fours à grande température.

d) La valeur moyenne de la tension de sortie

Pour $V_e = V_m \sin(\omega t)$ avec $V_m = \sqrt{2}V_{eff}$ la tension efficace de VL peut être calculée comme suit:

$$V_{Leff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi(n+m)} \int_0^{2\pi} 2V_{eff}^2 \sin^2 \theta d\theta}$$

$$= \sqrt{\frac{n2V_{eff}}{2\pi(n+m)} \int_0^{2\pi} \frac{1 - \cos 2\theta}{2} d\theta}$$

$$V_{Leff} = V_{eff} \sqrt{\frac{n}{n+m}} \dots\dots\dots(I.2)$$

I.3.1.2 Gradateur unidirectionnel

Durant la première demi-période, la puissance débitée par la source est contrôlée en agissant sur l'angle d'amorçage de T1 (figure. I.11).

a) Schéma de principe:

Le montage suivant du gradateur unidirectionnel qui alimente une charge généralement inductive (RL) (Figure I.10).

Le circuit est alimenté par une tension alternative donnée par :

$$V_e = V_m \sin(\omega t) \dots (I.1) .$$

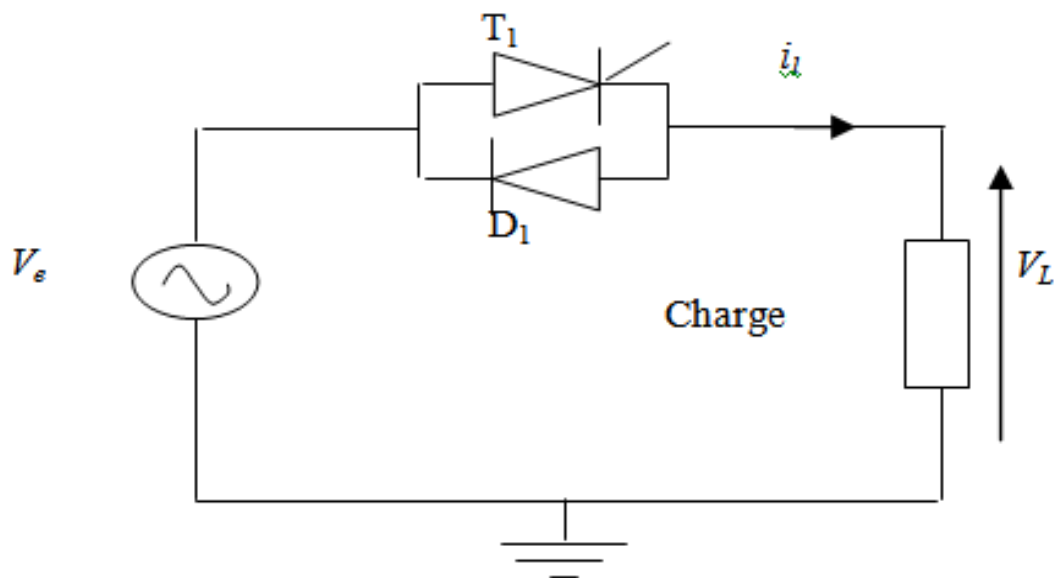


Figure I.10 Gradateur unidirectionnel monophasé [10].

b) Allures de courant et la tension :

Les formes d'ondes de tension et de courant du circuit sont représentées par la figure I.11.

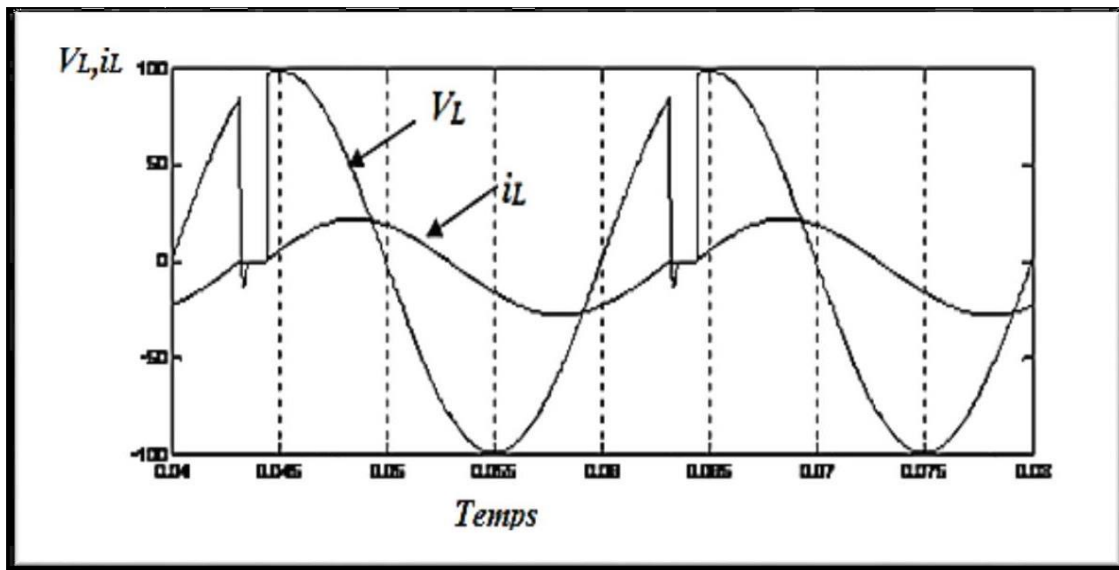


Figure I.11 Formes de tension et de courant d'un gradateur unidirectionnel débite une charge inductive [10].

Dans ce cas l'inductance retarde la variation du courant, alors le courant reste présent même après la fin de l'alternance et ici on dit le thyristor reste à l'état passant jusqu'à l'annulation du courant.

c) Simulations par Matlab :

Pour obtenir les courbes de tension et de courant caractéristiques d'un gradateur unidirectionnel monophasé, on réalise le schéma blocks de la figure I.12.

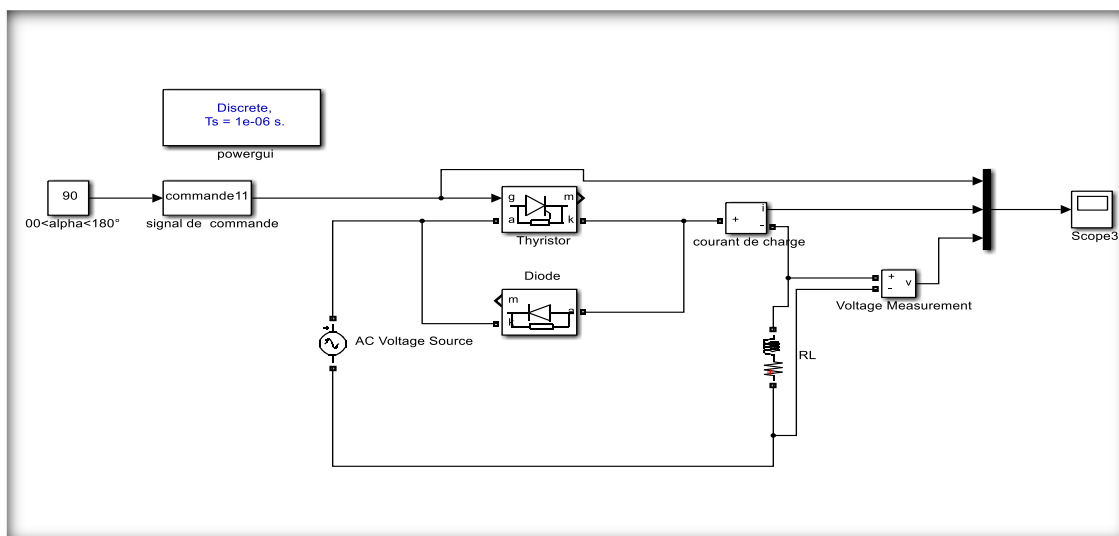


Figure I.12 Schéma block d'un Gradateur monophasé unidirectionnel (Simulink-Matlab).

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et de courant sont présentés par la figure I.13.

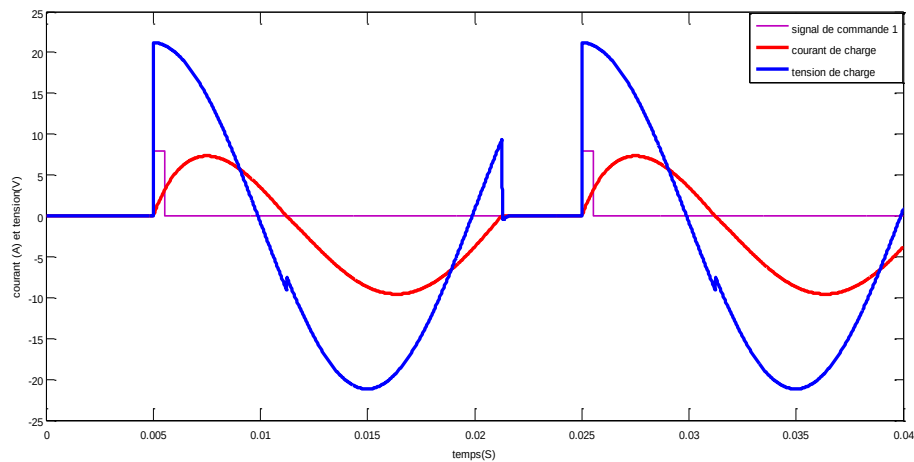


Figure I.13 Allures de tension et de courant d'un Gradateur monophasé unidirectionnel (simulink -Matlab).

d) La valeur efficace de la tension de sortie :

$$V_{Leff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{2\pi} 2V_{eff}^2 \sin^2 \theta d\theta + \int_{\pi}^{2\pi} 2V_{eff}^2 \sin^2 \theta d\theta \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \dots \dots \dots (I.3)$$

I.3.1.3 Gradateur bidirectionnel

Les deux thyristors mis en antiparallèle agissent comme des interrupteurs bidirectionnels .ils conduisent chacun une demi-période: T1 pour la demi-période positive et T2 pour la demi -période négative [10].

a) Schéma de principe:

Soit le montage suivant du Gradateurs monophasé on mode bidirectionnel qui alimente une charge inductive (RL).

Le circuit est alimenté par une tension alternative donnée par : $V_e = V_m \sin (wt)$.

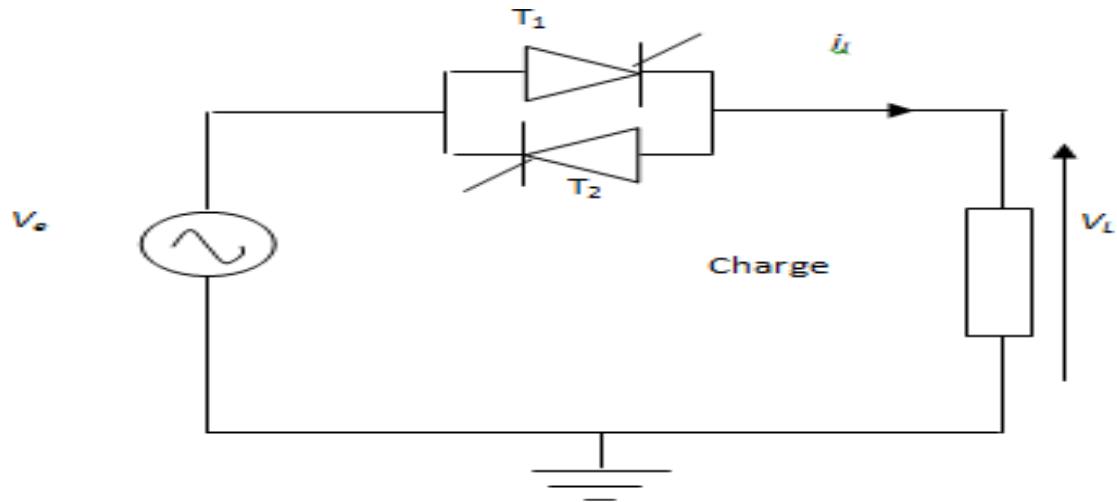


Figure I.14 Gradateur bidirectionnel monophasé [10].

b) Allures de tension et de courant :

Les formes d'ondes peuvent être tracées comme montré par la figure I.15.

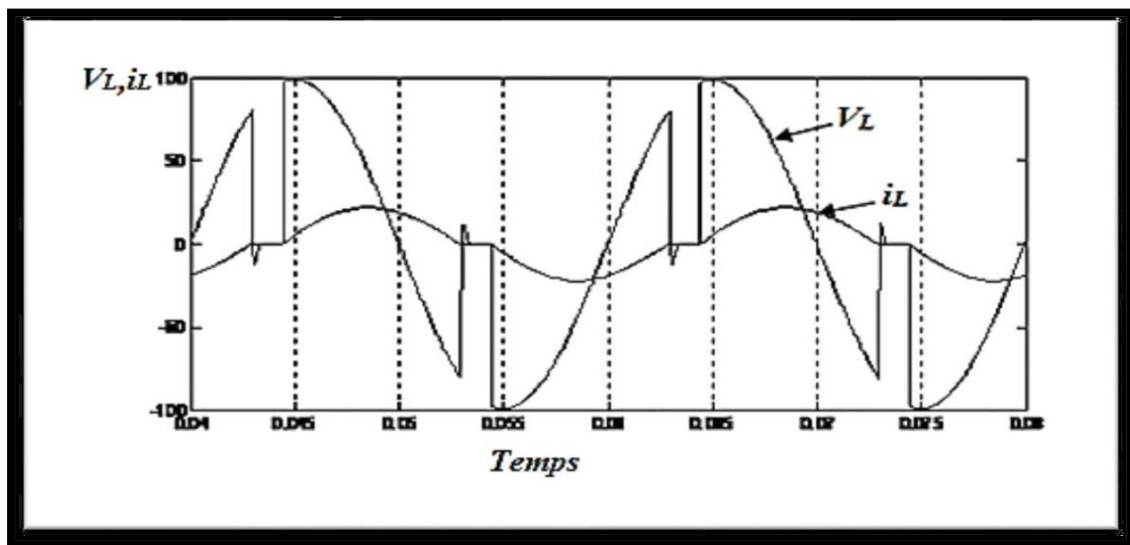


Figure I.15 Formes de tension et de courant d'un gradateur bidirectionnel débite une charge inductive [10].

A cause de l'effet inductif, la conduction se pour suit après la fin de l'alternance jusqu'à t_1 . Le fonctionnement est à peu près le même que précédemment pendant la deuxième alternance.

c) Simulations par Matlab:

La figure I.16 représente le schéma block d'un gradateur monophasé bidirectionnel, par la simulation de ce montage on peut obtenir les courbes de la figure I.17.

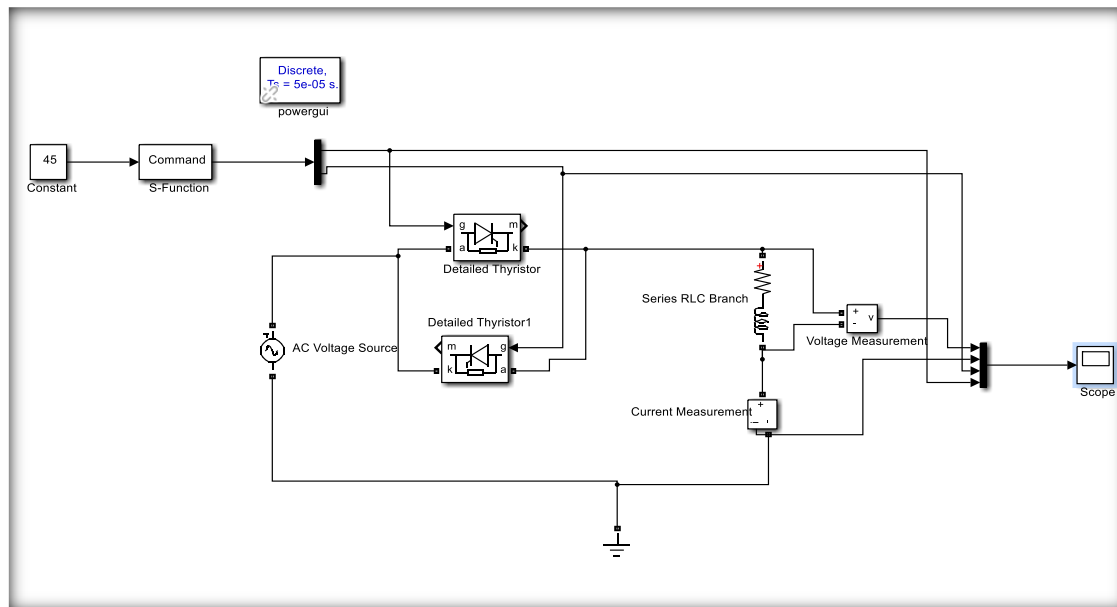


Figure I.16 Schéma block d'un gradateur bidirectionnel monophasé (Simulink-Matlab).

Le résultat de simulation est représenté par la figure I.17, qui montre les formes d'ondes de tension, de courant et le signal de commande des deux thyristors.

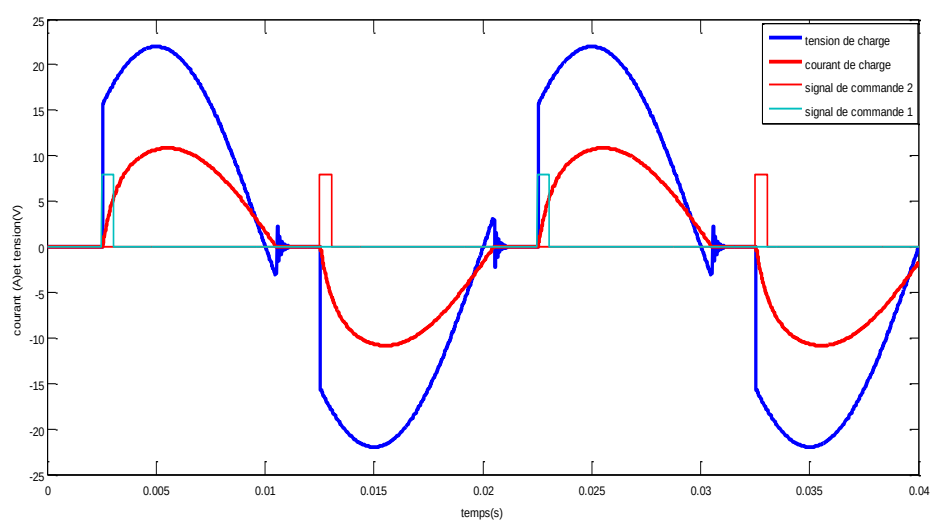


Figure I.17 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur bidirectionnel monophasé (Simulink -Matlab).

Le gradateur permet d'obtenir, aux bornes de la charge qui est symbolisée, une tension périodique mais pas complètement sinusoïdale comme la tension d'entrée, elle sera sous forme de portion de sinusoïde. La valeur efficace de la tension alternative aux bornes de la charge peut être réglée en agissant sur le retard angulaire de l'impulsion de commande de chaque thyristor.

d) La valeur moyenne de la tension de sortie:

- Pour une charge purement résistive, V_{Leff} s'écrit comme suit;

$$V_{Leff} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2V_{eff}^2 \sin^2 \theta d\theta}$$
$$= \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \dots\dots\dots (I.4)$$

I.3.2 Gradateurs triphasés

Il existe de nombreux types de circuits utilisés pour les gradateurs triphasés alternatifs (tension alternative à alternative). Contrairement aux monophasés Les charges triphasées (équilibrées) sont connectées en étoile ou triangle. Deux thyristors connectés antiparallèles, ou un triac, sont utilisés pour chaque phase dans la plupart des cas. A titre d'exemple, nous Limiterons ici à l'étude du groupement en étoile débitant dans une charge inductive, ce qui est le cas le plus fréquent puisque ce type de gradateur est surtout utilisé pour assurer le démarrage statorique des moteurs asynchrones [11]. Nous allons étudié plus particulièrement deux type de montage du gradateur triphasé: Gradateur unidirectionnel (mixte), et gradateur bidirectionnel (tout thyristor).

I.3.2.1 Gradateur unidirectionnel

Ce type de gradateur mixte est schématisé dans la figure I.18. qui alimente une charge résistive triphasé. Le courant débité dans le récepteur est contrôlé par les thyristors T_1 , T_3 et T_5 . Les diodes permettent d'avoir des chemins de retour des courants .

-Si on désigne par $V_1 = V_m \sin(\omega t)$, $V_2 = V_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$ et $V_3 = V_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$, le thyristor T_1 est déclenché à $\omega t = \alpha$, T_3 est déclenché à $\omega t = \alpha + 2\pi/3$ et T_5 est déclenché à $\omega t = \alpha + 4\pi/3$ [10].

a) Schéma de principe :

Soit le montage suivant du Gradateurs triphasé on mode unidirectionnel qui alimente une charge inductive (RL).

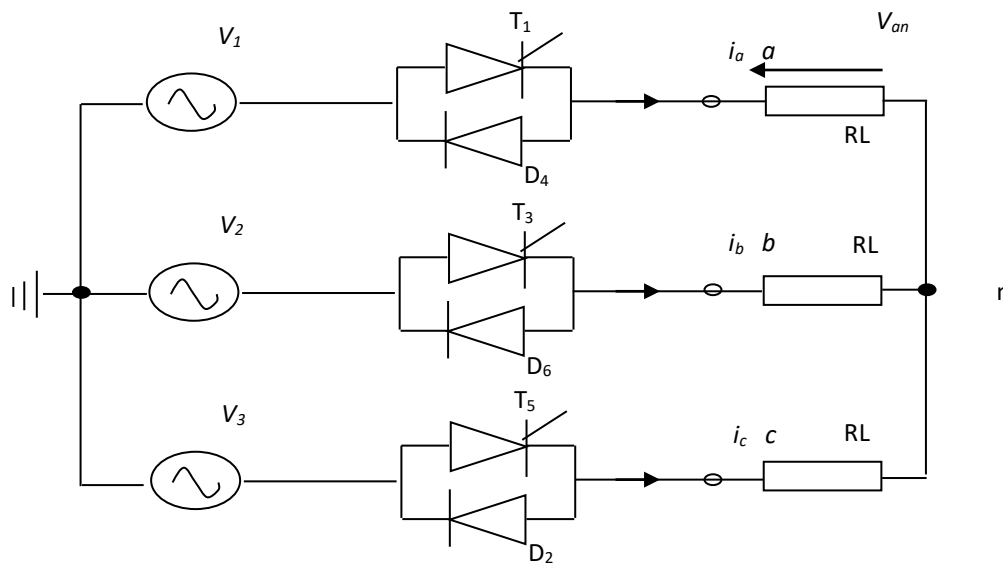


Figure I.18 Gradateur triphasé unidirectionnel [10].

On a trois possibilités de conduction en fonction de l'angle de retard α :

- Conduction de deux thyristors et une diode
- Conduction d'un thyristor et une diode
- Conduction d'un thyristor et deux diodes

I.3.2.1.1 Marche de 3 ou 2 semi-conducteurs ($0 \leq \alpha \leq \pi/2$)

a) Allures de tension :

La forme de tension V_{an} peut être tracée comme montré par la figure I.19.

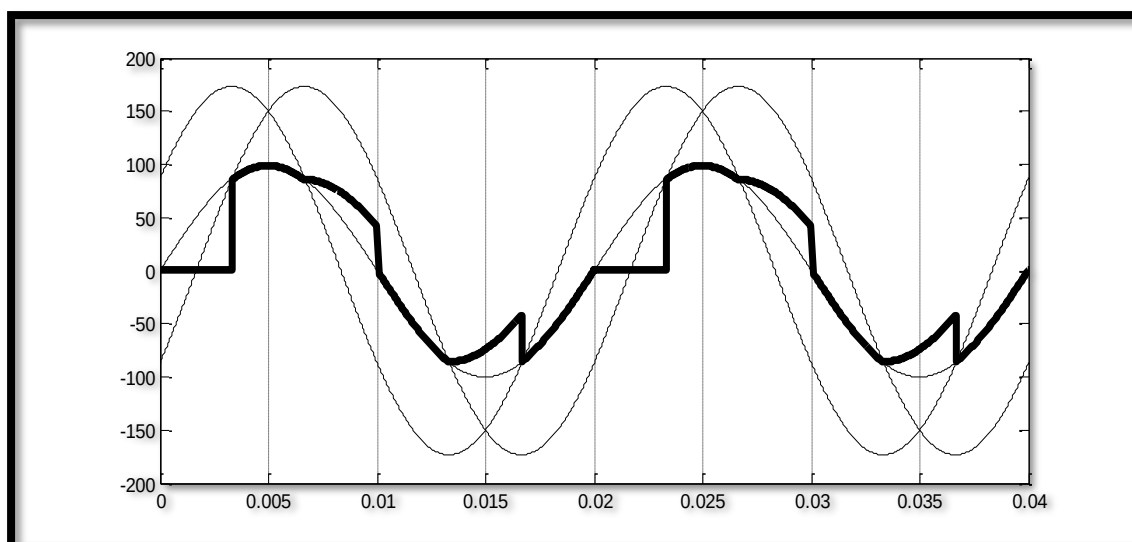


Figure I.19 Formes de tension d'un gradateur unidirectionnel triphasé débite une charge résistive [10].

b) Simulations par Matlab :

Pour obtenir les courbes de tension et de courant d'un gradateur unidirectionnel triphasé débite une charge inductive on réalise le schéma blocks de la Figure I.20.

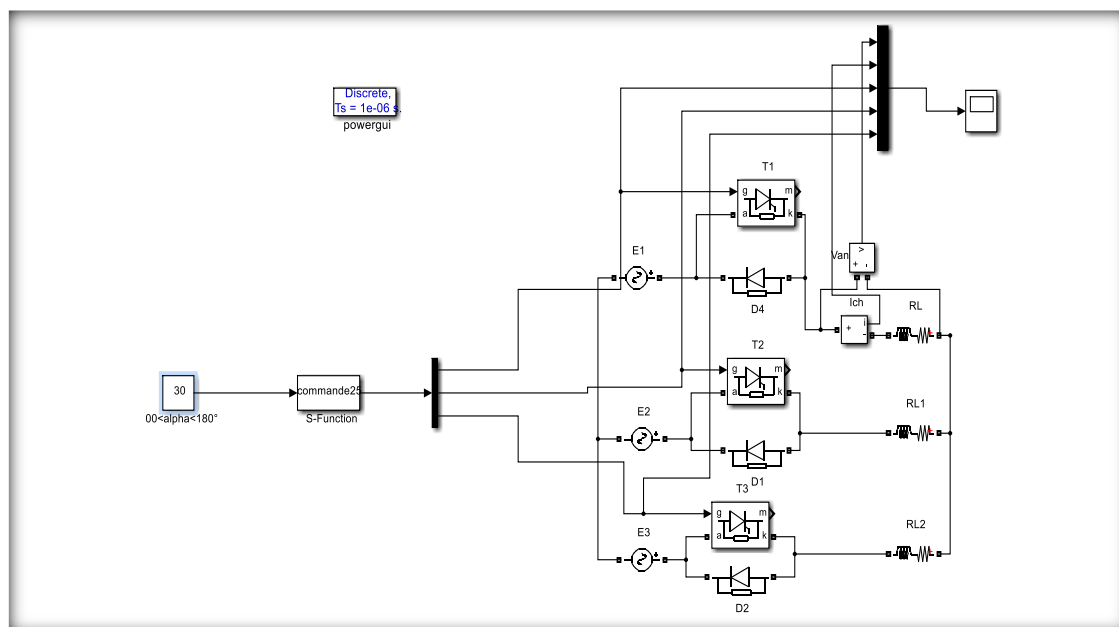


Figure I.20 Schéma block d'un gradateur triphasé unidirectionnel (Simulink-Matlab).

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et courant sont présentés par la figure I.21.

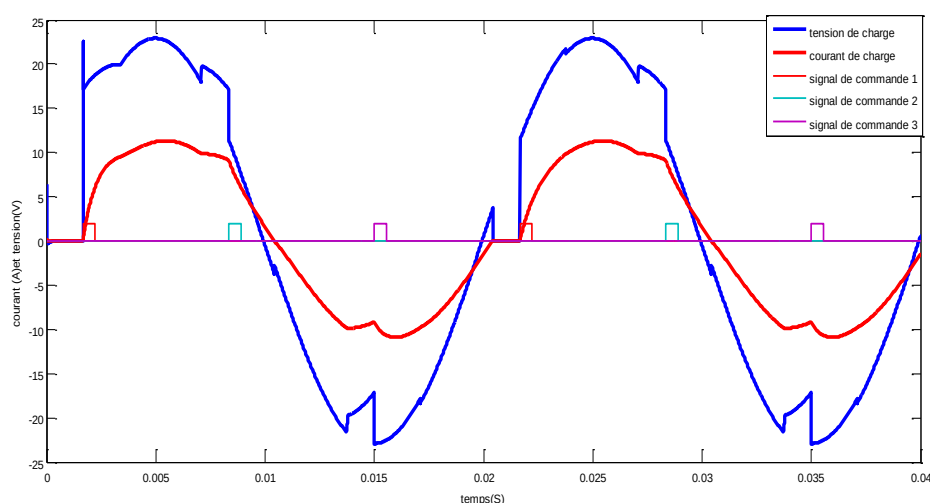


Figure I.21 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur triphasé unidirectionnel pour $\alpha = \pi/3$.

c) La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$\begin{aligned}
 V_{aneff} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{an}^2 dt} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{2\pi/3} V_1^2 d\theta + \int_{2\pi/3}^{\alpha+2\pi/3} \frac{V_{13}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+2\pi/3}^{4\pi/3} V_1^2 d\theta \right.} \\
 &\quad \left. + \int_{4\pi/3}^{\alpha+4\pi/3} \frac{V_{12}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+4\pi/3}^{2\pi} V_1^2 d\theta \right)} \\
 V_{aneff} &= \sqrt{3}V_{eff} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right)} \dots \dots \dots (I.5)
 \end{aligned}$$

$$V_{aneff} = \begin{cases} V_{eff} & \text{si } \alpha = 0 \\ 0.79V_{eff} & \text{si } \alpha = \pi/2 \end{cases}$$

I.3.2.1.2 Marche de 3, 2 ou 0 semi-conducteurs ($\pi/2 \leq \alpha \leq 3\pi/2$)

a) Allures de tension :

La Forme de tension peut être tracée comme montré par la figure I.22.

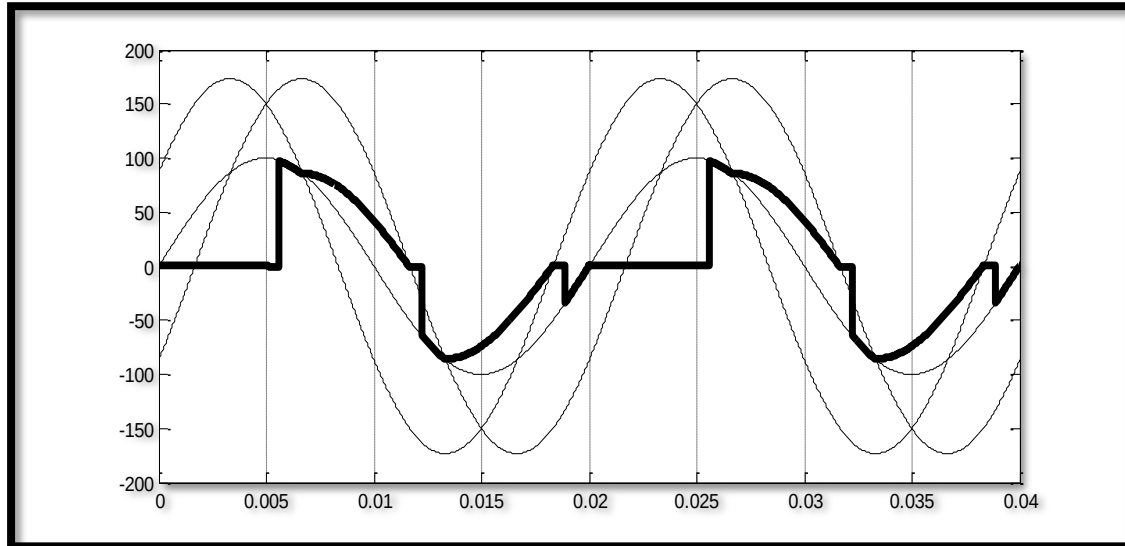


Figure I.22 Formes de tension d'un gradateur unidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = 5\pi/9$ [10].

b) Simulations par Matlab :

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et courant sont présentés par la figure I.23.

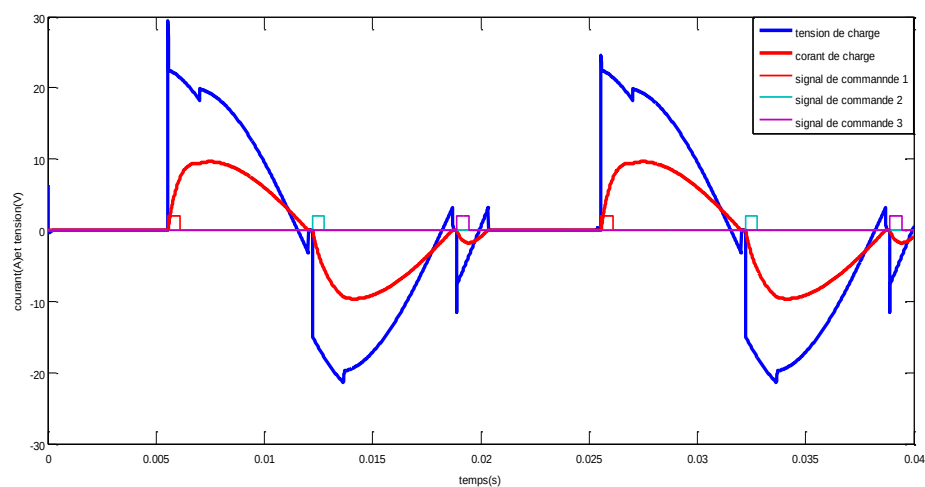


Figure I.23 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur triphasé unidirectionnel pour $\alpha = 5\pi/9$.

c) La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$\begin{aligned}
 V_{aneff} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{an}^2 dt} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{2\pi/3} V_1^2 d\theta + \int_{2\pi/3}^{7\pi/6} \frac{V_{13}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+2\pi/3}^{4\pi/3} V_1^2 d\theta \right.} \\
 &\quad \left. + \int_{4\pi/3}^{11\pi/3} \frac{V_{12}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+4\pi/3}^{2\pi} V_1^2 d\theta \right) } \\
 V_{aneff} &= \sqrt{3} V_{eff} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{11\pi}{24} + \frac{\alpha}{2} \right)} \dots \dots \dots (I.6)
 \end{aligned}$$

$$V_{aneff} = \begin{cases} 0.79 V_{eff} & \text{si } \alpha = \pi/2 \\ 0.61 V_{eff} & \text{si } \alpha = 2\pi/3 \end{cases}$$

I.3.2.1.3 Marche de 2 ou 0 semi-conducteurs ($3\pi/2 \leq \alpha \leq 7\pi/6$)

a) Allures de tension :

La Forme de tension peut être tracée comme montré par la figure I.24.

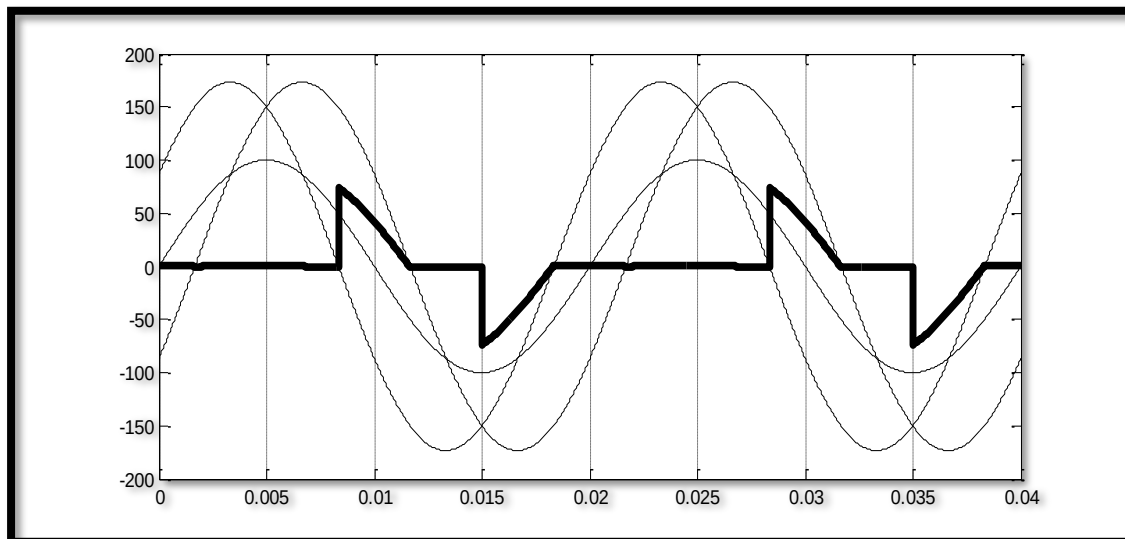


Figure I.24 Formes de tension d'un gradateur unidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = 5\pi/6$ [10].

b) Simulations par Matlab :

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et courant sont présentés par la figure I.25.

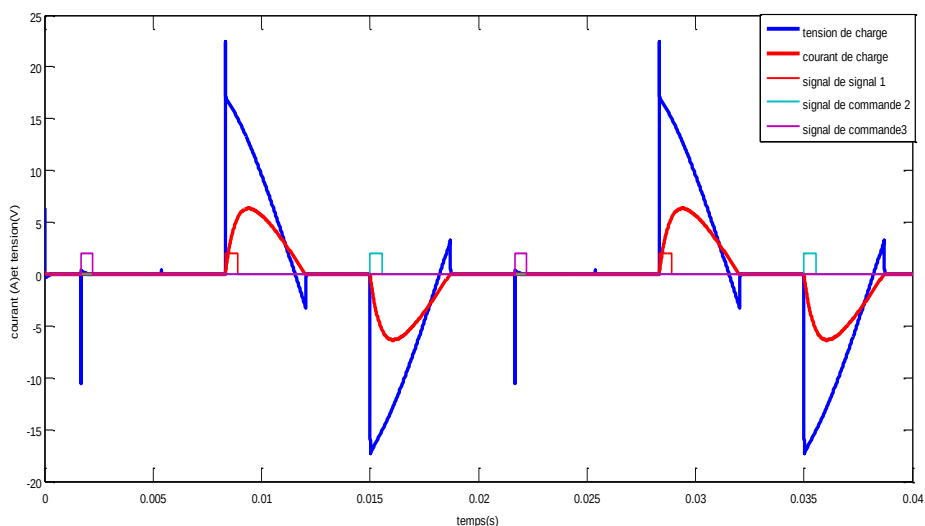


Figure I.25 Allures de tension, de courant et le signal de commande d'un gradateur triphasé unidirectionnel pour $\alpha = 5\pi/6$.

c) La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$\begin{aligned}
 V_{an\text{eff}} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{an}^2 dt} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{7\pi/6} \frac{V_{13}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+2\pi/3}^{11\pi/6} \frac{V_{12}^2}{4} d\theta \right)} \\
 V_{an\text{eff}} &= \sqrt{3}V_{\text{eff}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{7\pi}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{16} - \sqrt{3} \frac{\cos 2\alpha}{16} \right)} \dots\dots\dots (I.7) \\
 V_{an\text{eff}} &= \begin{cases} 0.69V_{\text{eff}} & \text{si } \alpha = 2\pi/3 \\ 0 & \text{si } \alpha = 7\pi/6 \end{cases}
 \end{aligned}$$

I.3.2.2 Les gradateurs triphasés tous thyristors

Pour obtenir de meilleures performances, il faut utiliser trois groupes de deux thyristors; un par phase. Les vrais gradateurs triphasés sont formés de trois ensembles de deux thyristors montés entre le réseau et la charge couplée en triangle ou en étoile. [9].

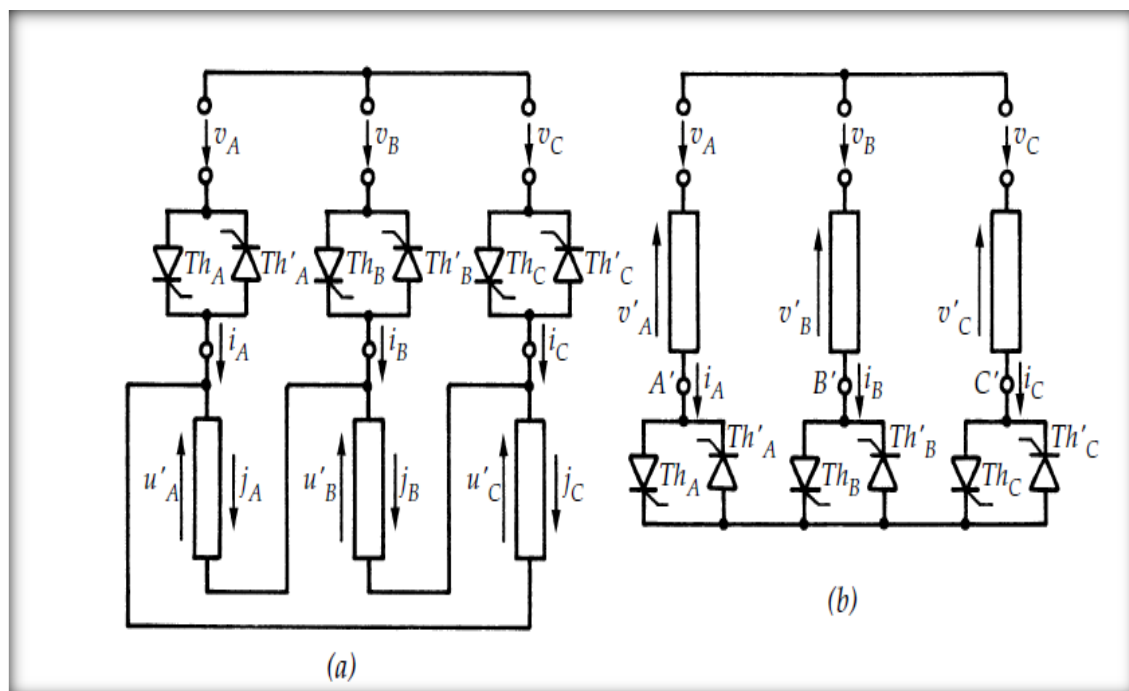


Figure I.26 Les gradateurs triphasés couplés en étoile et triangle [12].

I.3.2.2.1 Gradateur triphasé couplé en étoile

Le gradateur triphasé normal est formé de trois groupes de deux thyristors, T1 et T4, T3 et T6, T2 et T5, montés entre les trois bornes de la source et celles du récepteur.

On désigne v_{AN} , v_{BN} , v_{CN} les tensions simples d'alimentation sinusoïdales, de pulsation ω Comptées par rapport au point neutre de la source. $v_{AN} = \sqrt{2}v_s \sin(\omega t)$, $v_{BN} = \sqrt{2}v_s \sin(\omega t - 2\pi/3)$, $v_{CN} = \sqrt{2}v_s \sin(\omega t + 2\pi/3)$ [12].

On a trois possibilités de conduction en fonction de l'angle de retard α gradateur.

I.3.2.2.1.1 Marche de 3 ou 2 composants ($0 \leq \alpha \leq \pi / 3$)

a) Allures de tension :

Formes de tension peuvent être tracée comme montré par la figure I.27.

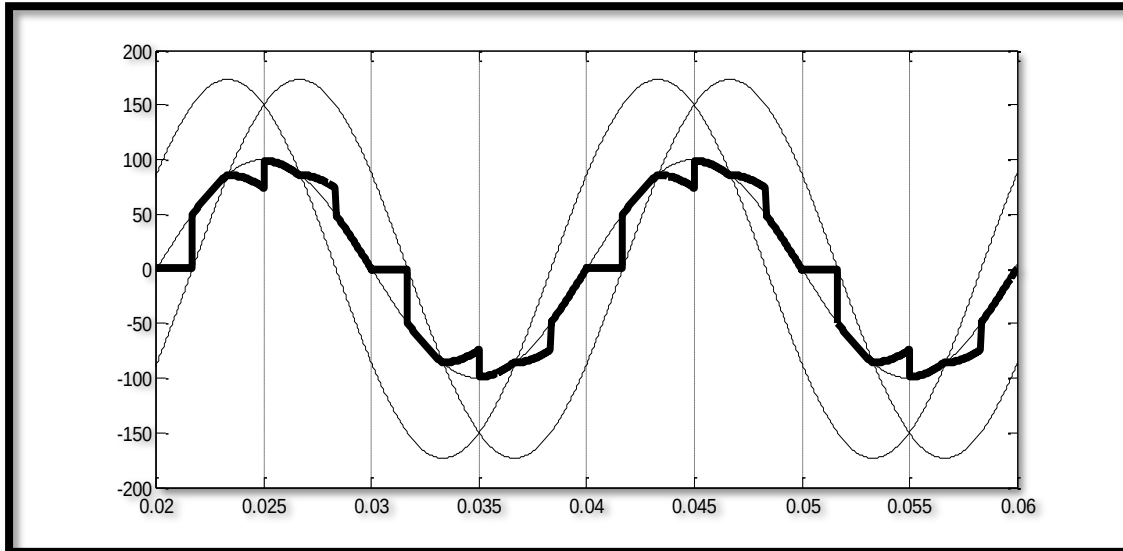


Figure I.27 Formes de tension d'un gradateur bidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = \pi / 6$ [10].

b) Simulations par Matlab :

Pour obtenir les courbes de tension et de courant d'un gradateur bidirectionnel triphasé débite une charge inductive on réalise le schéma blocks de la Figure I.28.

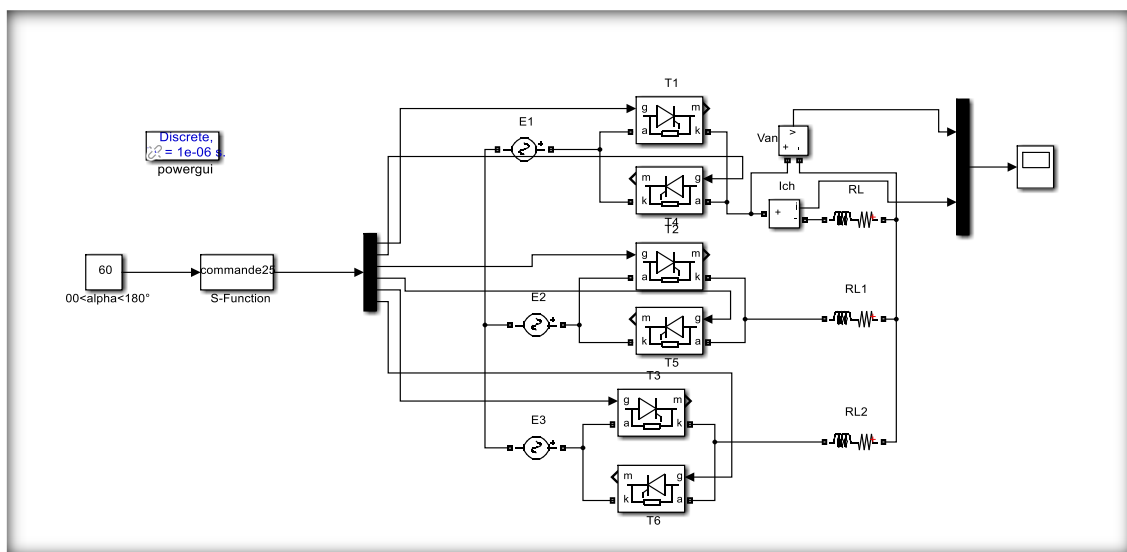


Figure I.28 Schéma block d'un gradateur triphasé bidirectionnel (Simulink-Matlab).

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et courant sont présentés par la figure I.29.

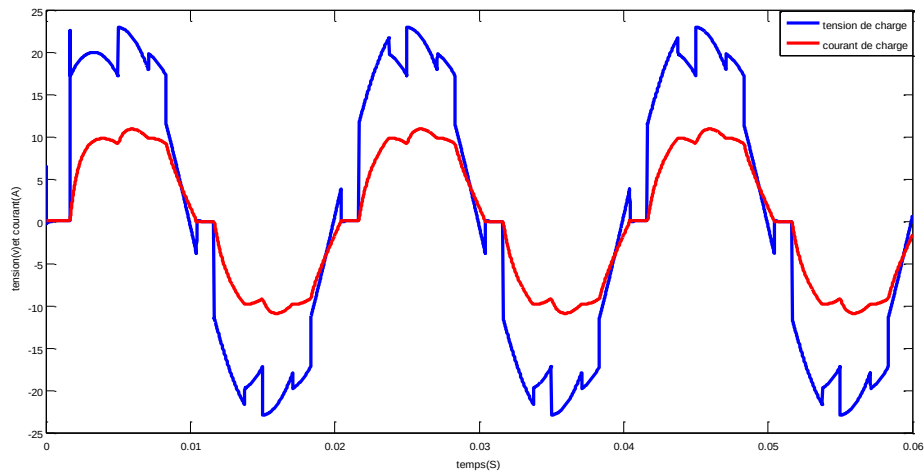


Figure I.29 Allures de tension et de courant d'un gradateur triphasé bidirectionnel pour $\alpha = \pi/6$.

A cause de l'effet inductif, la conduction se poursuit après la fin de l'alternance jusqu'à t_1 . Le fonctionnement est à peu près le même que précédemment pendant la deuxième alternance.

c) La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$\begin{aligned}
 V_{an\text{eff}} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{an}^2 dt} \\
 &= \sqrt{\frac{2}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{\pi/3} V_1^2 d\theta + \int_{\pi/3}^{\alpha+\pi/3} \frac{V_{12}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+\pi/3}^{2\pi/3} V_1^2 d\theta \right.} \\
 &\quad \left. + \int_{2\pi/3}^{\alpha+2\pi/3} \frac{V_{13}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+2\pi/3}^{\pi} V_1^2 d\theta \right)} \\
 V_{an\text{eff}} &= \sqrt{6} V_{\text{eff}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right)} \dots\dots\dots (I.8) \\
 V_{an\text{eff}} &= \begin{cases} V_{\text{eff}} & \text{si } \alpha = 0 \\ 0.79 V_{\text{eff}} & \text{si } \alpha = \pi/2 \end{cases}
 \end{aligned}$$

I.3.2.2 Marche de 2 semi-conducteurs ($\pi/3 \leq \alpha \leq \pi/2$)

a) Allures de tension :

Formes de tension peuvent être tracées comme montré par la figure I.30.

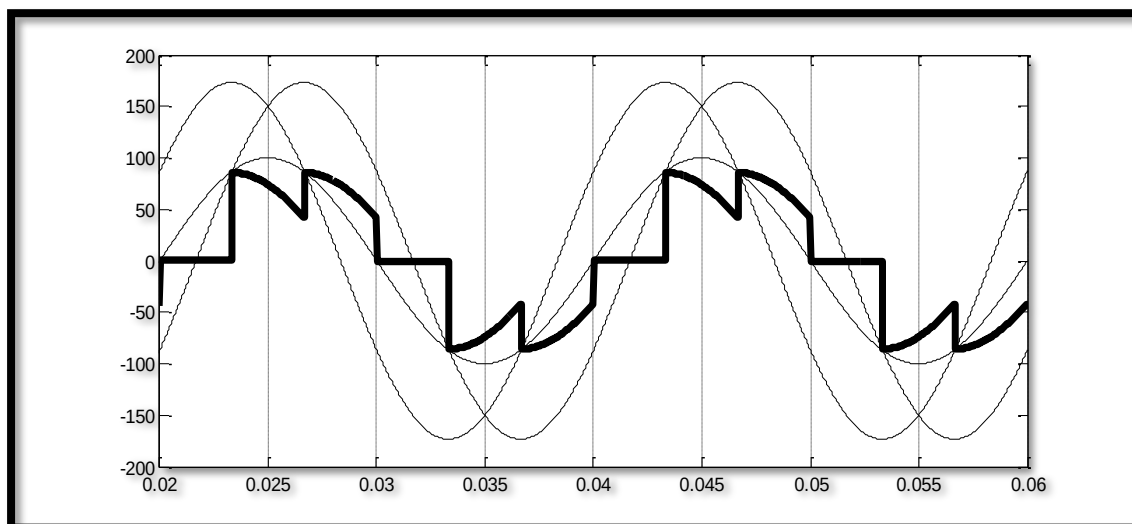


Figure I.30 Formes de tension d'un gradateur bidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = \pi/3$ [10].

b) Simulations par Matlab :

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et courant sont présentés par la figure I.31.

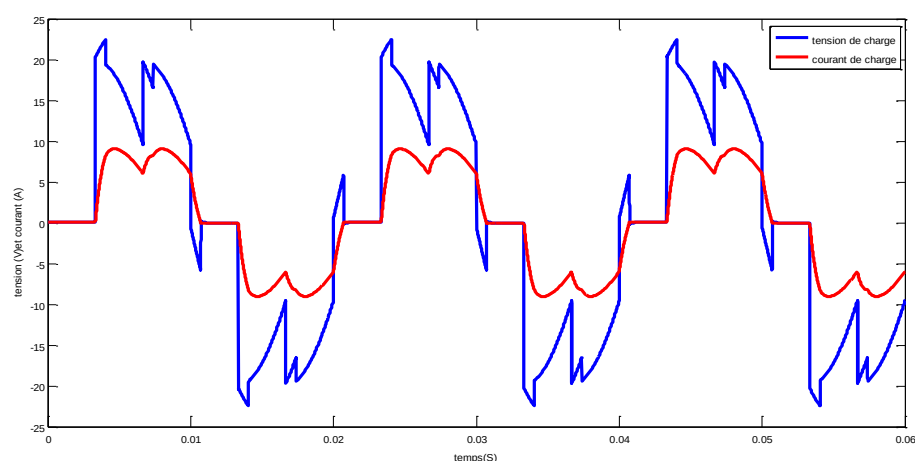


Figure I.31 Allures de tension et de courant d'un gradateur triphasé bidirectionnel pour $\alpha = \pi/3$.

c) La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$\begin{aligned}
 V_{aneff} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{an}^2 dt} \\
 &= \sqrt{\frac{2}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{\alpha+\pi/3} \frac{V_{12}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+\pi/3}^{\alpha+2\pi/3} \frac{V_{13}^2}{4} d\theta \right)} \\
 V_{aneff} &= \sqrt{3} V_{eff} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{12} - \frac{3 \sin 2\alpha}{10} + \sqrt{3} \frac{\cos 2\alpha}{16} \right)} \dots\dots\dots (I.9)
 \end{aligned}$$

$$V_{aneff} = \begin{cases} 0.84 V_{eff} & \text{si } \alpha = \pi/3 \\ 0.54 V_{eff} & \text{si } \alpha = \pi/2 \end{cases}$$

I.3.2.2.3 Marche de 2 ou 0 semi-conducteurs ($\pi/2 \leq \alpha \leq 5\pi/6$)

a) Allures de tension :

Formes de tension peuvent être tracée comme montré par la figure I.32.

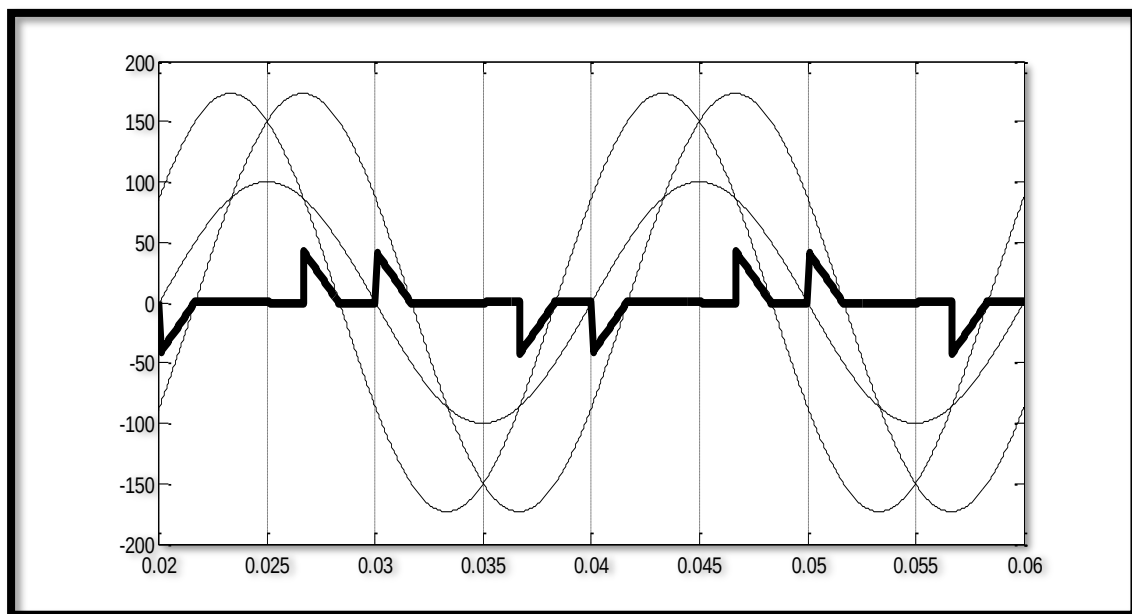


Figure I.32 Formes de tension d'un gradateur bidirectionnel triphasé débite une charge résistive pour $\alpha = 2\pi/3$ [10].

b) Simulations par Matlab :

Les résultats de simulation de cette commande qui montre les formes d'ondes de tension et courant sont présentés par la figure I.33.

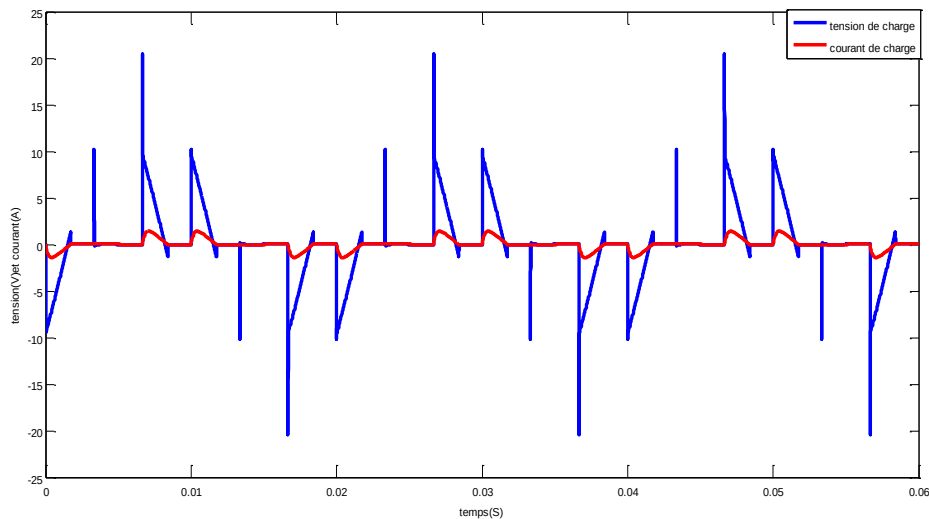


Figure I.33 Allures de tension et de courant d'un gradateur triphasé bidirectionnel pour $\alpha = 2\pi/3$.

c) La valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_{an\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{an}^2 dt} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \left(\int_{\alpha}^{5\pi/6} \frac{V_{12}^2}{4} d\theta + \int_{\alpha+\pi/3}^{7\pi/6} \frac{V_{13}^2}{4} d\theta \right)}$$

$$V_{an\text{eff}} = \sqrt{6} V_{\text{eff}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{5\pi}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{16} + \sqrt{3} \frac{\cos 2\alpha}{16} \right)} \dots \dots \dots (I.10)$$

$$V_{an\text{eff}} = \begin{cases} 0.54 V_{\text{eff}} & \text{si } \alpha = \pi/3 \\ 0 & \text{si } \alpha = 5\pi/6 \end{cases}$$

Le variateur de courant monophasé est utilisé pour faire varier la luminosité de lampes d'éclairage dans un domaine de puissance allant de 100W jusqu'à 10kW environ ainsi que pour régler le courant dans d'autres appareils monophasés, comme cuisinières, appareils de chauffage électriques, etc [12].

On utilise le variateur triphasé pour les mêmes applications, mais à des puissances plus élevées. De plus, on peut alimenter des moteurs asynchrones à tension statorique variable, permettant ainsi de faire varier, dans une certaine mesure, les vitesses de ces moteurs [12].

En ce qui concerne le choix de la structure, pratiquement, il est difficile d'énoncer des règles absolues donnant le type de gradateur à utiliser pour un type d'application déterminé, les caractéristiques données par les différents gradateurs triphasés et leurs variants permettent de guider assez étroitement le choix du montage à retenir. Ce choix est en fonction du type de la charge à alimenter, de sa puissance et de la profondeur du réglage souhaitée [13].

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une grande famille des convertisseurs statiques qui est les gradateurs. En premier lieu, nous avons présenté des notions générales sur les interrupteurs électriques, leurs principes de commande, le choix de l'angle d'amorçage permet de varier la valeur moyenne d'une tension de sortie. Nous passons en deuxième lieu par présenter les montages des gradateurs monophasés et triphasés commandés et leurs performances pour des charges RL.

Des simulations par le logiciel Matlab, des montages des gradateurs monophasés et triphasés commandés et leurs performances pour des charges RL, ont été illustrées et confirment ainsi l'étude théorique des différents convertisseurs considérés dans ce travail. Dans le chapitre qui se suit, on va présenter l'architecture générale et les caractéristiques du microcontrôleur PIC 16F876A 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

Dans ce chapitre, nous définissons d'une manière générale les micromoteurs avec leurs familles et leur classification. Après, nous intéressons à montrer les caractéristiques et les modules du microcontrôleur PIC 16F876A de la société MICROCHIP. Ainsi qu'un petit rappel sur les logiciels qu'on a utilisés comme le CCS PICC qui permet la programmation du pic, et le Proteus qui permet de faire la simulation. A la fin de ce chapitre, on fera un organigramme qui explique notre code, et une simulation Proteus de notre travail .

II.2 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 [14].

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...). En plus de cette configuration minimale, les microcontrôleurs sont dotés d'autres circuits d'interface qui vont dépendre du microcontrôleur choisi à savoir les systèmes de comptage (TIMER), les convertisseurs analogique/numérique (CAN) intégré, gestion d'une liaison série ou parallèle, un Watchdog (surveillance du programme), une sortie PWM.... [15].

II.2.3 Caractéristiques principales d'un microcontrôleur

Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus haute (de quelques mégahertz jusqu'à plus d'un gigahertz) [15] .

Le microcontrôleur possède plusieurs caractéristiques notamment :

- 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

Le PIC est un microcontrôleur qui intègre dans un seul et même boîtier plusieurs éléments, il en résulte une diminution de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé [15] .

L'utilisation d'un microcontrôleur réduit les coûts à plusieurs niveaux :

- Plus économique que les autres circuits qui le remplace.
- Minimiser et diminuer le coût de main d'œuvre.
- Possibilité de réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.
- Gains en vitesse de traitement d'informations, d'où le gain en temps d'exécution.

II.2.5 Contenu d'un microcontrôleur

Un microcontrôleur est aussi un système informatique. Sa particularité est qu'il est contenu dans un seul circuit intégré. L'architecture est la même par rapport à une carte mère d'ordinateur, les éléments qui constituent un microcontrôleur sont généralement plus simples, moins performants, leur capacité est plus limitée :

- La mémoire morte contient généralement de un à quelques centaines de kilooctets.
- Le processeur est cadencé à des fréquences de quelques mégahertz ou dizaines de mégahertz. Il ne consomme généralement qu'une fraction de watt. Son jeu d'instructions est plus simple.
- La mémoire vive est généralement très limitée : de quelques centaines d'octets (ou en anglais byte, abrégé "B") à quelques dizaines de kilooctets selon les modèles.
- Les circuits d'entrée-sortie sont simplement des entrées logiques, pour lire une valeur binaire, comme par exemple un interrupteur, ainsi que des sorties logiques, capables de fournir quelques milliampères, par exemple pour commander une LED [15].

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 "Péripheral 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 " [16].

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.

II.3.2 Les différentes familles

Il existe trois grandes familles de PICs :

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

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

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.
- A titre d'exemple, le PIC que nous allons utiliser dans notre travail (le PIC 16F876A) est identifié comme suit :
- 16 : indique la famille du PIC (Mid-Rang).
- F : indique le type de la mémoire utilisée (Flash).
- 876 : identité du PIC.
- A : fréquence maximale d'horloge qui est de 20MHZ [17].

II.3.3 Le choix d'un PIC

Le choix d'un PIC pour une application dépend principalement de: [17]

- Nombre d'entrées/sorties de l'application.
- la nécessité d'un convertisseur analogique/ numérique
- Du type de la mémoire utilisée RAM, EPROM, FLASH et de sa taille (elle dépend de la programmation des PICs).
- 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 oeuvre;
- Son prix d'achat.

II.4 Microcontrôleur "16F876A"

II.4.1 Les éléments essentiels du PIC 16F876

Les caractéristiques générales du microcontrôleur PIC 16F877A peuvent être résumées comme suit : [18]

- Une mémoire programme de type EEPROM flash de 8K mots de 14 bits
- Une RAM donnée de 368 octets
- Une mémoire EEPROM de 256 octets
- Trois ports d'entrée sortie, A (6 bits), B (8 bits), C (8 bits)
- Convertisseur Analogiques numériques 10 bits à 5 canaux
- USART, Port série universel, mode asynchrone (RS232) et mode synchrone
- SSP, port série synchrone

- Trois TIMERS avec leurs Prescalers, TMR0, TMR1, TMR2
- Deux modules de comparaison et capture CCP1 et CCP2
- Un chien de garde
- 13 sources d'interruption
- Générateur d'horloge, à quartz (jusqu' à 20 MHz) ou à Oscillateur RC
- Fonctionnement en mode sleep pour réduction de la consommation
- Programmation par mode ICSP (In Circuit Serial Programming) 12V ou 5V
- Possibilité aux applications utilisateur d'accéder à la mémoire programme
- Tension de fonctionnement de 2 à 5V
- Jeux de 35 instructions

II.4.2 Description général du PIC 16F876A

Le 16F876A est un circuit intégré de 28 broches, que l'on peut trouver dans un boîtier DIL (Dual In Line) de 2x14pattes. A chacune de ses broches, il est associé une ou plusieurs fonctions. Chaque broche peut donc jouer plusieurs rôles selon les configurations effectuées lors de la programmation du PIC [18].

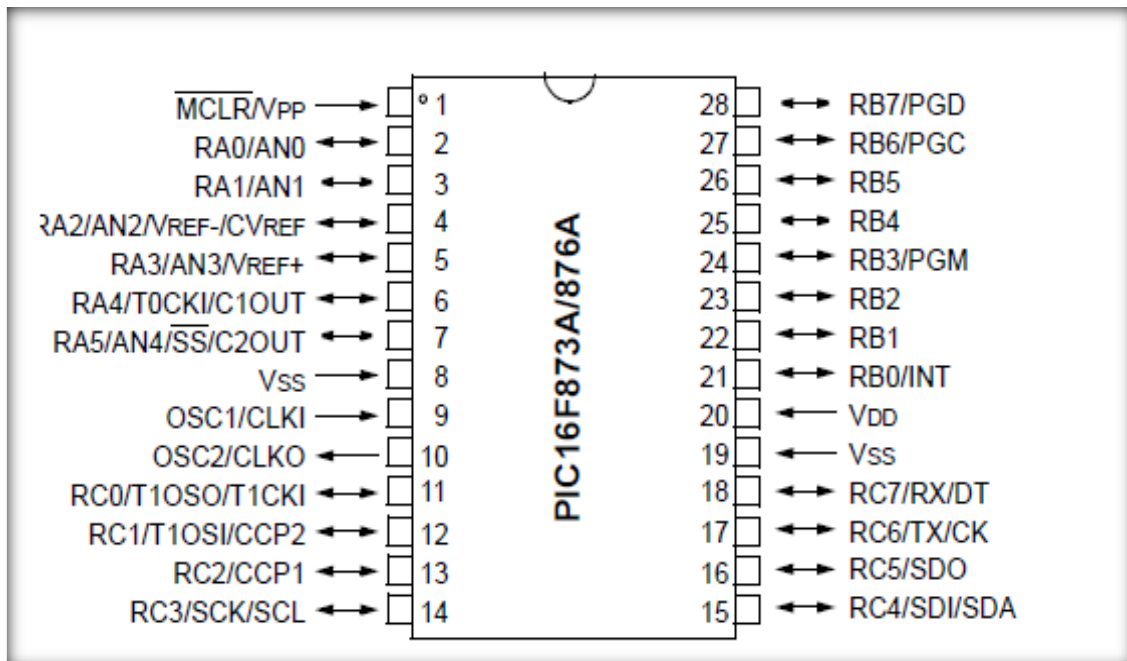


Figure II.1 brochage du PIC 16F876A [18].

I.4.3 Architecture externe

- **MCLR** : cette broche sert à initialiser le microcontrôleur PIC :

À la mise sous tension par un front montant (min 72 ms, max 72 ms +1024 x T_{osc}). Cette initialisation est appelée POR (POWER ON RESET). Cette broche peut être simplement reliée à l'alimentation VDD si on n'a pas besoin de RESET externe.0

Par la mise à l'état bas de cette broche, reset externe (EXTERNAL RESET). Si on souhaite implanter un bouton de remise à zéro, on pourra câbler un simple réseau RC sur la broche MCLR. Le microcontrôleur PIC possède d'autres sources de reset mais cette fois-ci internes (WDT et BOR vues précédemment) [19].

- **OSC1 et OSC2** : ces broches permettent de faire fonctionner l'oscillateur interne du microcontrôleur PIC de trois façons différentes.
 - ✓ Un quartz ou résonateur céramique
 - ✓ Oscillateur externe
 - ✓ Réseau RC

II.4.4 Architecture interne

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

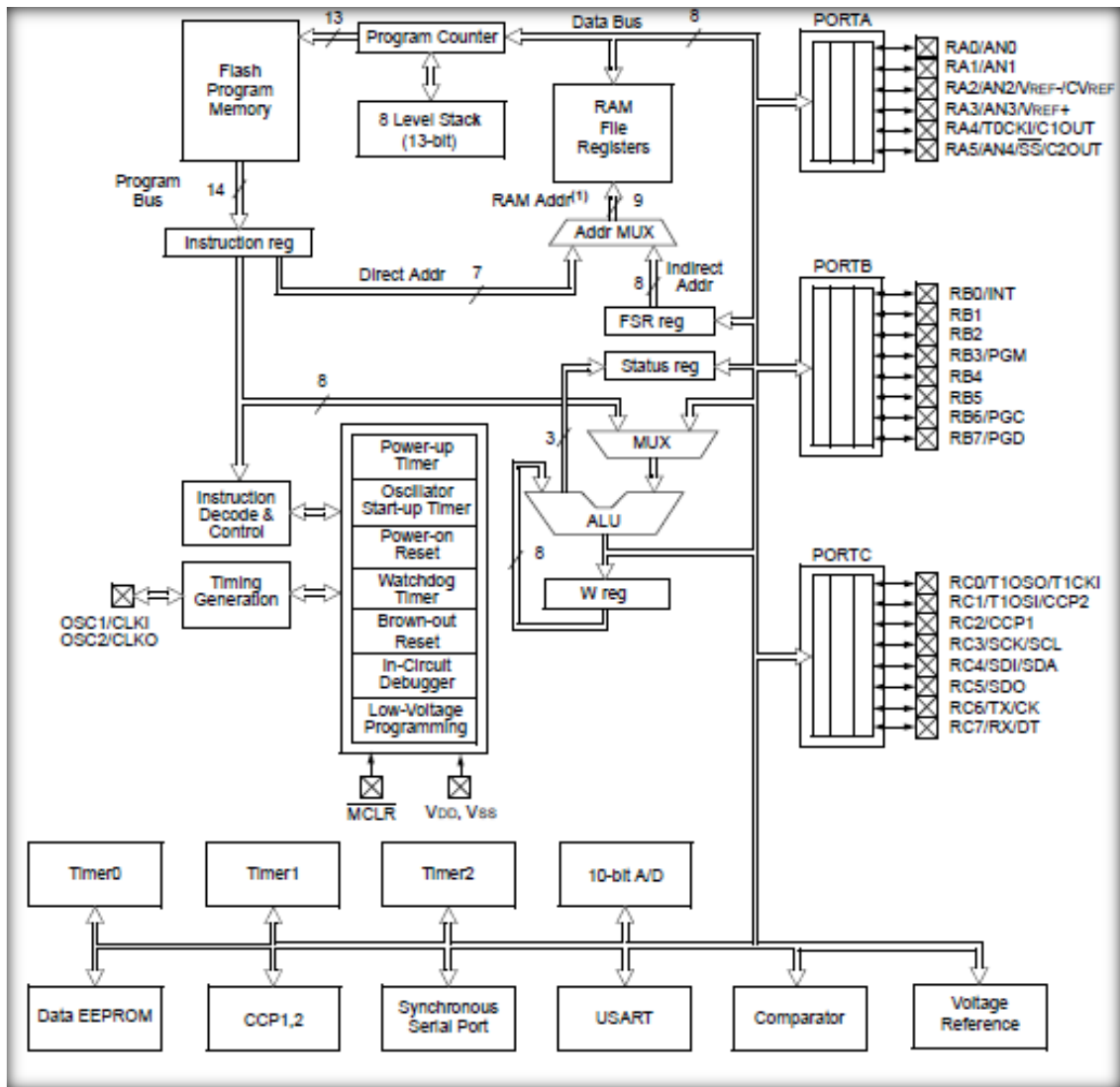


Figure II.2 Architecture interne du pic 16F876A [18].

II.4.5 Organisation de la mémoire

La mémoire du 16F876 est divisée en 3 parties:

1) La mémoire programme :

La mémoire programme est constituée de 8k mots de 14 vbits. C'est dans cette zone que nous allons écrire notre programme. Le PIC exécute vune à une les instructions logées dans la mémoire du programme.

2) La mémoire EEPRPOM :

La mémoire EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory), est constituée de 256 octets que nous pouvons lire et écrire depuis notre programme.

Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi permanents.

3) La mémoire RAM et organisation :

La mémoire RAM est celle que nous allons sans cesse utiliser. Toutes les données qui y sont stockées sont perdues lors d'une coupure de courant.

La mémoire RAM disponible du 16F876 est de 368 octets. Elle est répartie de la manière suivante :

- ✓ 80 octets en banque 0, adresses 0x20 à 0x6F
- ✓ 80 octets en banque 1, adresses 0xA0 à 0XEF
- ✓ 96 octets en banque 2, adresses 0x110 à 0x16F
- ✓ 96 octets en banque 3, adresses 0x190 à 0x1EF
- ✓ 16 octets communs aux 4 banques, soit 0x70 à 0x7F = 0xF0 à 0xFF ;
0x17F=0x1F0 à 0x1FF [18] .

II.4.6 Les timers du pic 16F876A

Le Timer permet de réaliser les fonctions suivantes :

- Génération d'un signal périodique modulé ou non en largeur d'impulsion,
- Génération d'une impulsion calibrée,
- Comptage d'événements..

Les Pics 16F876 A disposent 3 timers :

II.4.6.1 Le timer 0

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

- Il est incrémenté en permanence soit par l'horloge interne $F_{osc}/4$ (mode timer) soit par une horloge externe appliquée à la broche RA4 du port A (mode compteur). Le choix de l'horloge se fait à l'aide du bit T0CS du registre OPTION_REG.
 - ✓ T0CS = 0 horloge interne.
 - ✓ T0CS = 1 horloge externe appliquée à RA4.
- Dans le cas de l'horloge externe, Le bit T0SE du registre OPTION_REG permet de choisir le front sur lequel le TIMER s'incrémente.
 - ✓ T0SE = 0 incrémentation sur fronts montants.
 - ✓ T0SE = 1 incrémentation sur fronts descendants.

Quelle que soit l'horloge choisie, on peut la passer dans un diviseur de fréquence programmable (Prescaler) dont le rapport DIV est fixé par les bits PS0, PS1 et PS2 du registre OPTION_REG .

L'affectation ou non du prédiviseur se fait à l'aide du bit PSA du registre OPTION_REG.

- ✓ PSA = 0 on utilise le prédiviseur.
- ✓ PSA = 1 pas de prédiviseur (affecté au chien de garde).
- Le contenu du timer TMR0 est accessible par le registre qui porte le même nom. Il peut être lu ou écrit à n'importe quel moment. Après une écriture, le timer ne compte pas pendant deux cycles machine.
- Au débordement de TMR0 (FF 00), le drapeau INTCON.T0IF est placé à "1". Ce ci peut déclencher l'interruption T0I si celle-ci est validée. La figure II.3représente le fonctionnement du Timer0.

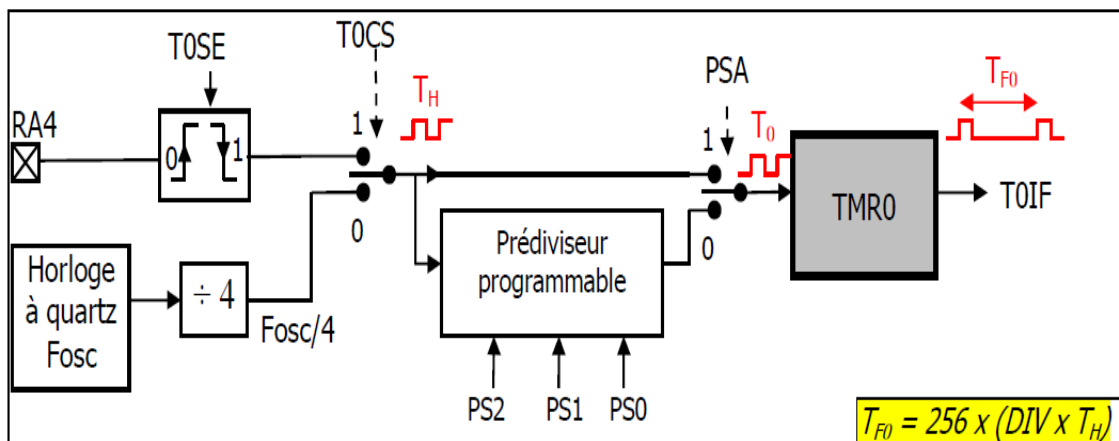


Figure II.3 Fonctionnement du Timer0 [19].

En résumé, chaque fois que le compteur complète un tour, le drapeau T0IF se lève. Si on note TH la période de l'horloge source, T0 l'horloge de TMR0 et TF0 le temps qui sépare 2 levées de drapeau successifs :

- Sans prédiviseur : $TF0 = 256 T0 = 256 TH$.
- Avec prédiviseur : $TF0 = 256 T0 = 256 \times (DIV \times TH)$.
- Avec prédiviseur et compteur N dans le programme on obtient: $N \times TF0 = N \times 256 \times (DIV \times TH)$.

II.4.6.2 Le timer 1

TMR1 est un Timer/Compteur à 16 bits accessible en lecture/écriture par l'intermédiaire des registres 8 bits TMR1H (bank0) et TMR1L (bank0) qui constituent sa partie haute et sa partie basse. On le configure à l'aide du registre T1CON (bank0). La figure II.4 représente le fonctionnement du Timer1.

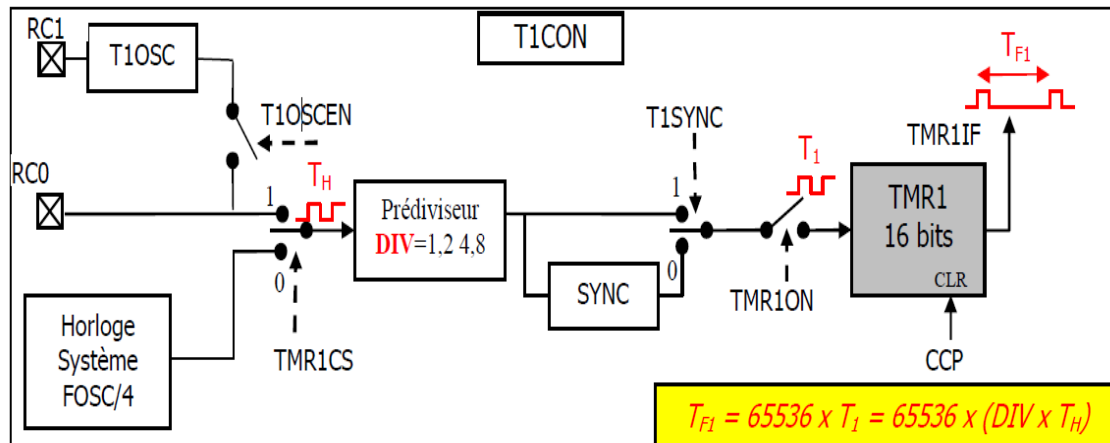


Figure II.4 Fonctionnement du Timer1 [19].

Le Timer1 peut fonctionner dans 3 modes différents :

- Timer synchrone (horloge interne).
- Compteur synchrone (horloge externe).
- Compteur asynchrone (horloge externe).

Le bit de contrôle TMR1CS détermine le fonctionnement en Timer ou en Compteur et le bit T1SYNC détermine le mode de fonctionnement en synchrone ou en asynchrone.

- Le Timer1 peut être arrêté/démarré à l'aide du bit TMR1ON.
- Le Timer1 peut être RAZ à l'aide du module de capture/comparaison CCP.
- Le Timer1 peut être précédé d'un prédiviseur (Prescaler) qui peut diviser la fréquence par 1, 2, 4 ou 8 selon la valeur des bits T1CKPS1 et T1CKPS0.
- A son débordement (FFFFh 0000h) le drapeau PIR1.TMR1IF (bank0) est positionné ce qui peut déclencher l'interruption périphérique TMR1IE si elle est validée par son bit de validation PIE1.TMR1IE (bank1).

II.4.6.3 Le timer 2

- TMR2 est un timer à 8 bits accessible en lecture écriture et est constitué de :
 - un registre de contrôle T2CON (bank0).
 - un prédiviseur (1, 4, 16).
 - un registre de période PR2 (bank1) accessible en lecture/écriture.
 - un comparateur.
 - un postdiviseur (1 à 16).
 - Le Timer2 est incrémenté par l'horloge interne $F_{osc}/4$. Il commence à 0 et quand il atteint la valeur du registre PR2, le comparateur génère un signal qui Remet Timer2 à 0.
 - incrémenté le postscaler qui fonctionne comme un diviseur de fréquence.
- Au débordement du postscaler, le drapeau PIR1.TMR2IF est positionné, l'interruption correspondante est déclenchée si elle est validée.
- TMR2 est remis à zéro à chaque RESET.
- Le prescaler et le postscaler sont initialisés à chaque écriture dans TMR2 ou dans T2CON et au RESET du processeur.
- Le fonctionnement de TMR2 est configuré à l'aide du registre de contrôle T2CON:

En résumé, Si on note :

- DIV1 : rapport du prédiviseur.
- DIV2 : Rapport du postdiviseur.
- P : Valeur placée dans le registre PR2.
- Tsy : période de l'horloge système.
- La périodicité du drapeau TMR2IF est donnée par . $TF2 = DIV1 \times (P+1) \times DIV2 \times Tsy$ [19].

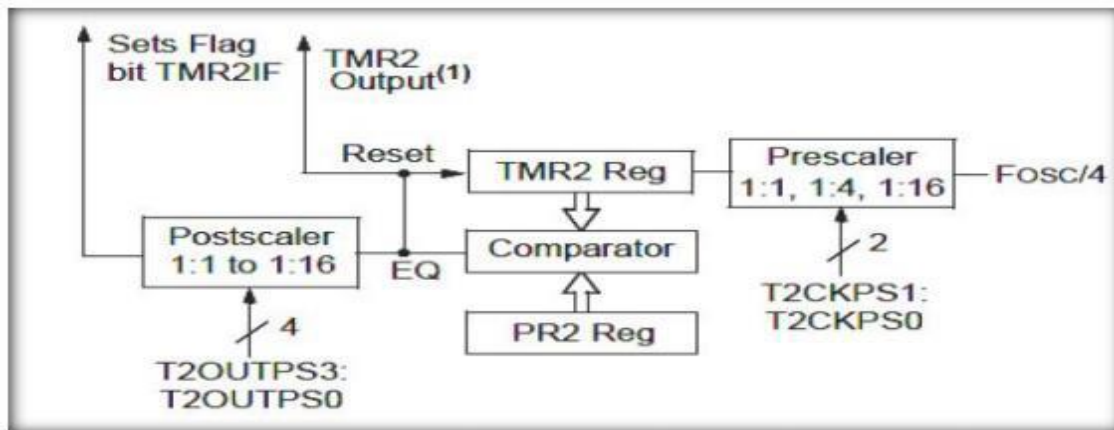


Figure II.5 Schéma du Timer 2 [19].

II.4.7 Les interruptions

L'interruption est un arrêt momentané du programme principal, causé par la survenance d'un événement spécifique dont le traitement est urgent, le programme s'interrompt et passe au traitement de cet événement avant de reprendre à l'endroit où il a été interrompu. C'est une rupture de séquence asynchrone, c'est à dire non synchronisée avec le déroulement normal du programme.

Chaque interruption est associée à deux bits [20] :

- Un bit de validation qui permet d'autoriser ou non une interruption.
- L'autre bit permet au programmeur de savoir de quelle interruption il s'agit.

Ses deux bits se mettent à 1 lorsque l'événement déclencheur d'une interruption intervient et que cette dernière est validée.

Le programme arrêtera toutes les instructions qui sont entrainées d'être exécutées et exécutera l'interruption qui est à l'adresse 4 en suivant les étapes suivantes :

1. L'adresse contenue dans le PC (Program Counter) est sauvegardée dans la pile puis sera remplacée par la valeur 0004. (adresse de la routine d'interruption).
2. Le bit GIE se met à 0 afin d'éviter le dérangement du PIC pendant l'exécution d'une interruption, et à la fin de cette exécution le bit GIE se place à 1 (autorisant ainsi un autre événement).
3. Routine d'interruption est un sous-programme particulier, déclenché par l'apparition d'un événement spécifique.
4. Le contenu du PIC est rechargeable à partir de la pile ce qui permet au programme de reprendre là où il s'est arrêté.

Les interruptions peuvent provenir de plusieurs sources qui sont internes ou externes. Des interruptions externes sont déclenchées par :

- La présence d'un niveau logique haut sur la broche RB0.
- Changement des états logiques sur les broches RB4 à RB7.
- Des interruptions internes, elles sont déclenchées par :
 - Débordement des timer0, timer1 et timer2 chaque interruption est associée à un timer.
 - Fin de la conversion A/N du CAN.
 - Ecriture dans la mémoire EEPROM de données.
 - Circuit de capture et de comparaison ou CCP.
 - Port série synchrone ou SSP.
 - Réception ou émission des données sur le port série (USART)
 - Port parallèle esclave ou PSP.

La logique d'interruptions est montrée par la Figure II.6.

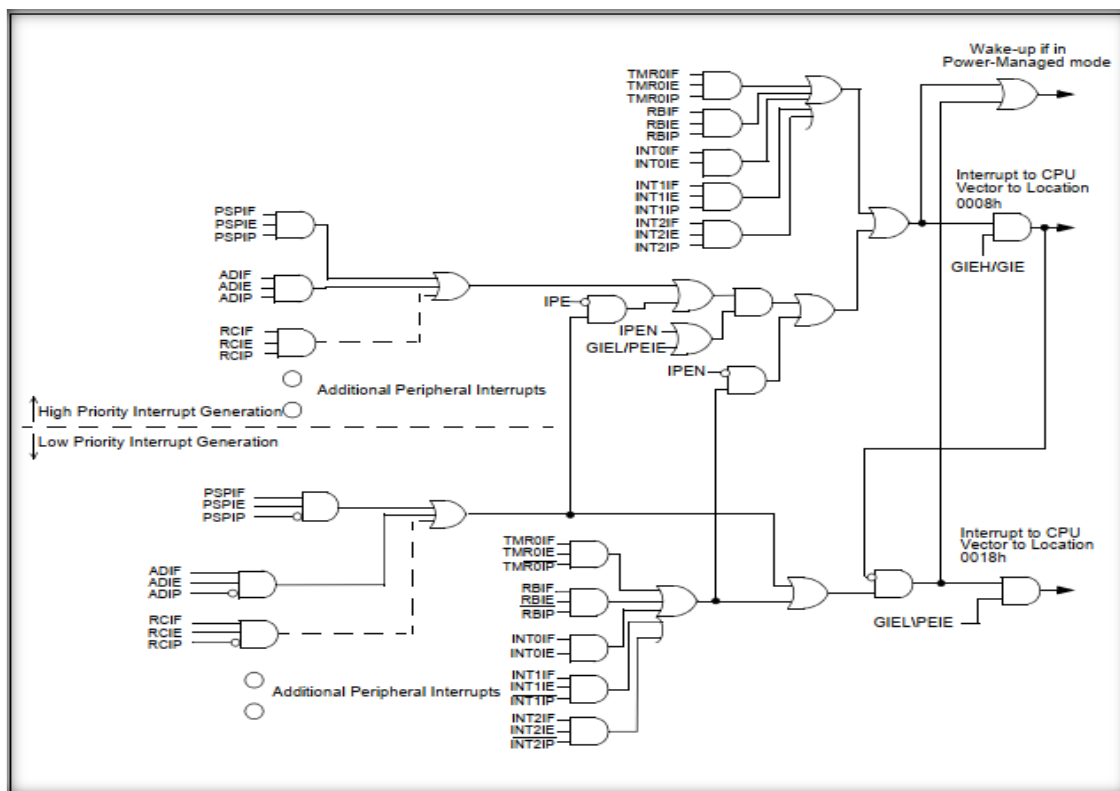


Figure II.6 Logique d'interruption [20].

II.4.8 Les ports d'entrées /sorties

II.4.8.1 Le port d' E/S PORTA

Le port A désigné par PORTA est un port de 6 bits (RA0 à RA5).

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

II.4.8.2 Le port d' E/S PORTB

- Le port B désigné par PORTB est un port bidirectionnel de 8 bits (RB0 à RB7). Toutes les broches sont compatibles TTL.
- La configuration de direction se fait à l'aide du registre TRISB, positionner un bit de TRISB à "1" configure la broche correspondante de PORTB en entrée et inversement. Au départ toutes les broches sont configurées en entrée.
- En entrée, la ligne RB0 appelée aussi INT peut déclencher l'interruption externe INT.
- En entrée, une quelconque des lignes RB4 à RB7 peut déclencher l'interruption RBI.

II.4.8.3 Le port d' E/S PORTC

Le port C désigné par PORTC est un port bidirectionnel de 8 bits (RC0 à RC7). Toutes les broches sont compatibles TTL.

- La configuration de direction se fait à l'aide du registre TRISC, positionner un bit de TRISC à "1" configure la broche correspondante de PORTC en entrée et inversement. Au départ toutes les broches sont configurées en entrée.
- Toutes les broches du port C peuvent être utilisées soit comme E/S normales soit comme des broches d'accès à différents modules comme le TIMER1, les modules de comparaison et de capture CCP1/2, le timer 2, le port I2C ou le port série, ceci sera précisé au moment de l'étude de chacun de ces périphériques.

- Pour l'utilisation d'une broche du port C comme E/S normale, il faut s'assurer qu'elle n'a pas été affectée aux autres modules. Par exemple, si TIMER1 est valide, il peut utiliser les broches RC0 et RC1 selon sa configuration [21].

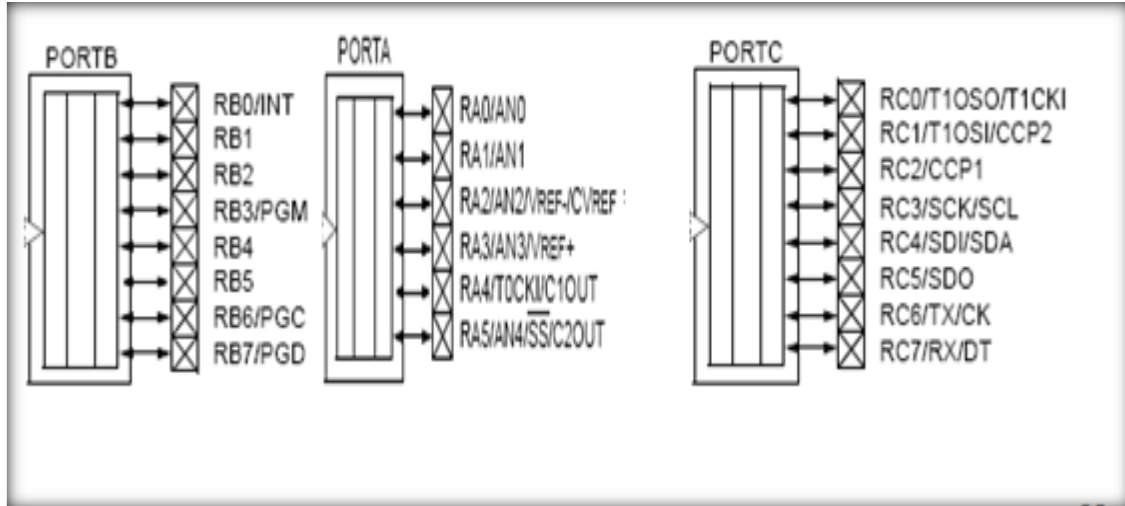


Figure II.7 Les différents PORT de PIC16F876A [21].

II.4.9 Chien de garde

Le chien de garde est capable de surveiller le bon fonctionnement du programme que le microcontrôleur exécute. Il intervient lorsque l'exécution du programme est en boucle infinie, il le vérifie et le remet à zéro (reset) pour relancer le programme.

C'est une protection destinée généralement à redémarrer le système, si une action définie n'est pas exécutée dans un délai imparti ; Dans le PIC, il s'agit un compteur 8 bits incrémenté en permanence (même si le μC est en mode sleep) par une horloge RC intégrée indépendante de l'horloge système [20].

II.4.10 Le convertisseur analogique numérique

Ce module est constitué d'un convertisseur Analogique Numérique 10 bits dont l'entrée analogique peut être connectée sur l'une des 5 entrées analogiques externes.

Les entrées analogiques doivent être configurées en entrée à l'aide des registres TRISA et/ou TRISE. L'échantillonneur bloqueur est intégré, il est constitué d'un interrupteur d'échantillonnage et d'une capacité de blocage de 120 pF.

Les tensions de références permettant de fixer la dynamique du convertisseur. Elles peuvent être choisies parmi V_{dd} , V_{ss} , V_{ref+} ou V_{ref-} .

Le control du module se fait par les deux registres ADCON0 et ADCON1 [21].

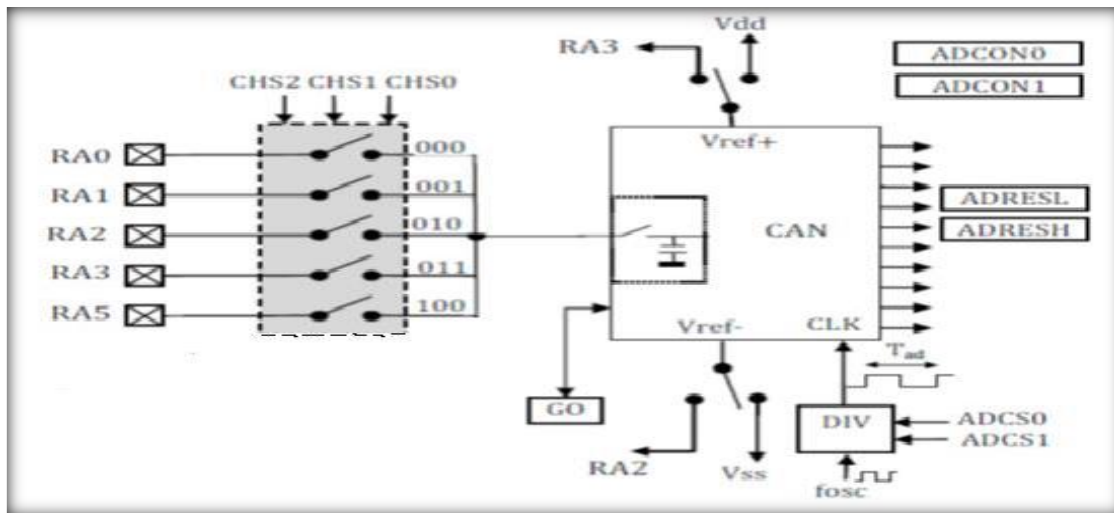


Figure II.8 Schéma fonctionnel analogique numérique [21].

II.5 Conception de la carte de commande et de puissance par Proteus

II.5.1 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.5.1.1 Langage C « compilateur C »



Comme toute solution programmable, le microcontrôleur nécessite un outillage informatique et éventuellement un programmeur. A chaque microcontrôleur correspond son outil de développement. 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 [1].

II.5.1.2 Le simulateur ISIS de Proteus



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

logiciel Proteus. Le logiciel Proteus est une suite logicielle de CAO électronique éditée par la société Labcenter Electronics. Il se compose de deux parties: le logiciel ISIS est la composante de Proteus qui permet la création de schémas et la simulation électrique. La grande force de ISIS est de pouvoir simuler le comportement d'un microcontrôleur (PIC, Atmel, 8051, ARM, HC11...) et de son interaction avec les composants qui l'entourent et le logiciel ARES pour dessiner les circuits imprimés [1].

II.5.2 Schéma structurel de la carte par Proteus

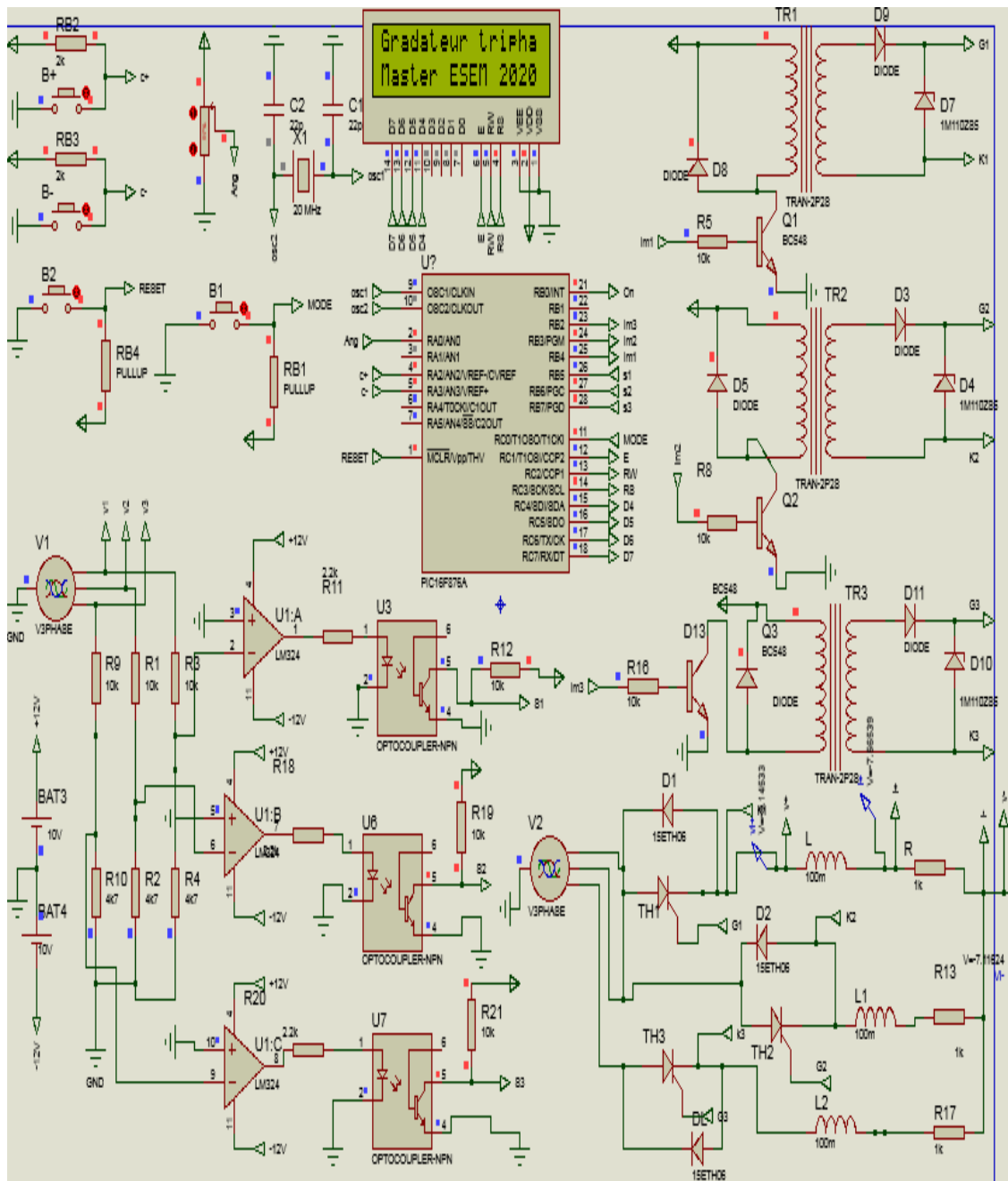


Figure II.9 Schéma structurel de la carte 'ISIS'.

Le circuit global de notre travail est donné par la Figure II.9. Sur cette figure on voit que le pic représente l'organe principal dans la réalisation, on trouve aussi les boutons poussoirs pour faire la commande numérique et le potentiomètre pour faire la commande analogique pour le réglage du consigne (analogique/digital).

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

II.5.3 Le fonctionnement

Ce circuit 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 RB5, RB6/PGC, RB7/PGD. Dans ce cas la, on exploite l'interruption RB du microcontrôleur qui fonctionne quand on a un changement du niveau logique d'au moins une de ces 4 broches : RB4, RB5, RB6 ou RB7 (port B). Un programme principal est exécuté en utilisant la consigne (soit analogique à partir de potentiomètre ou numérique par les boutons poussoirs) de l'utilisateur pour fournir les commandes nécessaires aux gâchettes des thyristors du circuit de puissance.

II.5.4 L'organigramme de fonctionnement

La figure II.10 présente un organigramme général pour le fonctionnement de notre carte de commande. Il sert à générer les codes correspondant aux différents modes gradateur envisagés.

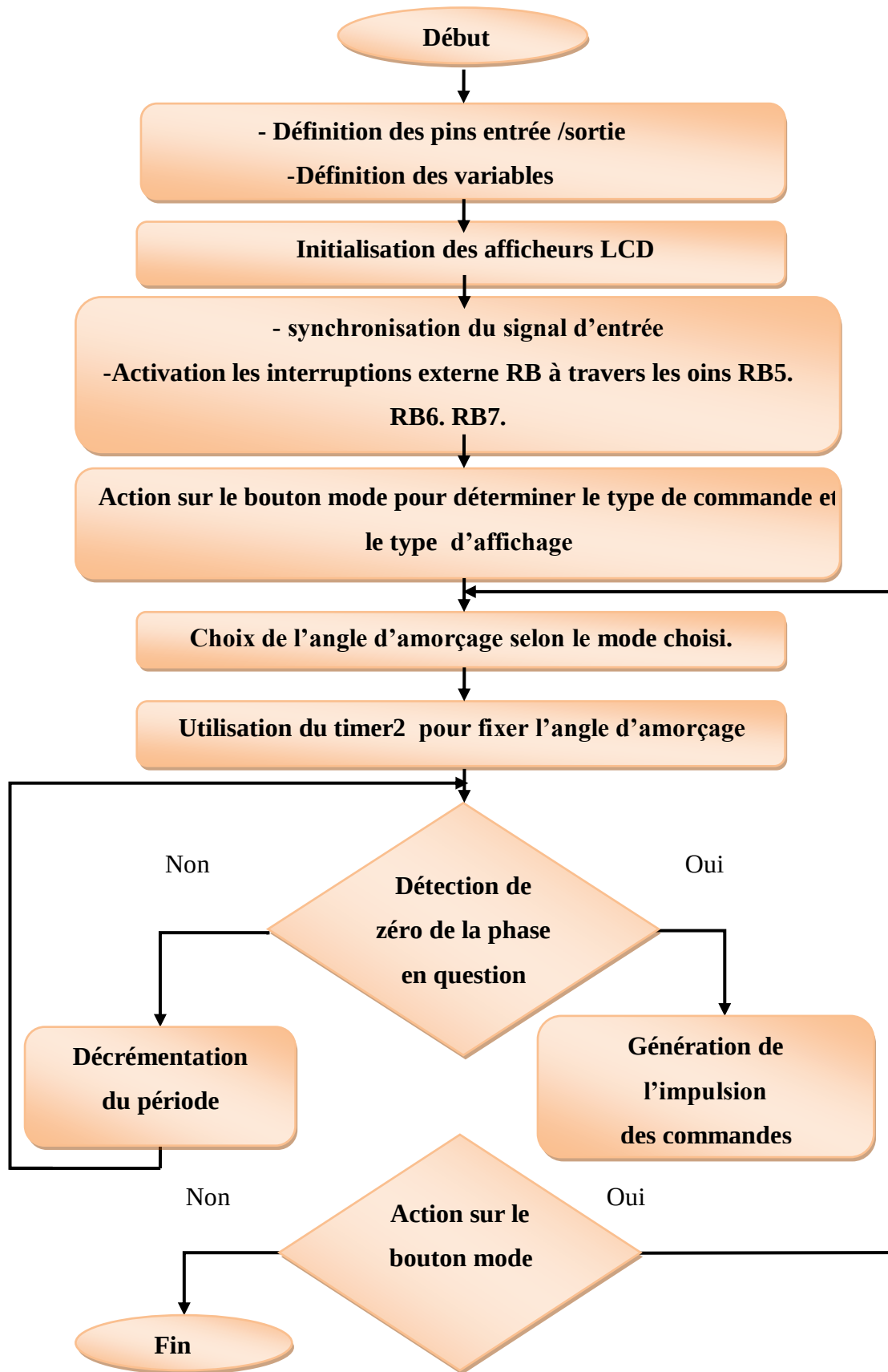


Figure II.10 Organigramme de fonctionnement de notre carte de commande.

II.5.5 Simulations par Proteus

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

II.5.5.1 gradateur triphasé unidirectionnel – commande analogique ‘Alpha=30%’

Les Figures (II.11, II.12 et II.13) représentent le schéma de simulation par Proteus et les formes d’ondes obtenues en cas où la consigne est introduite sous forme analogique (potentiomètre).

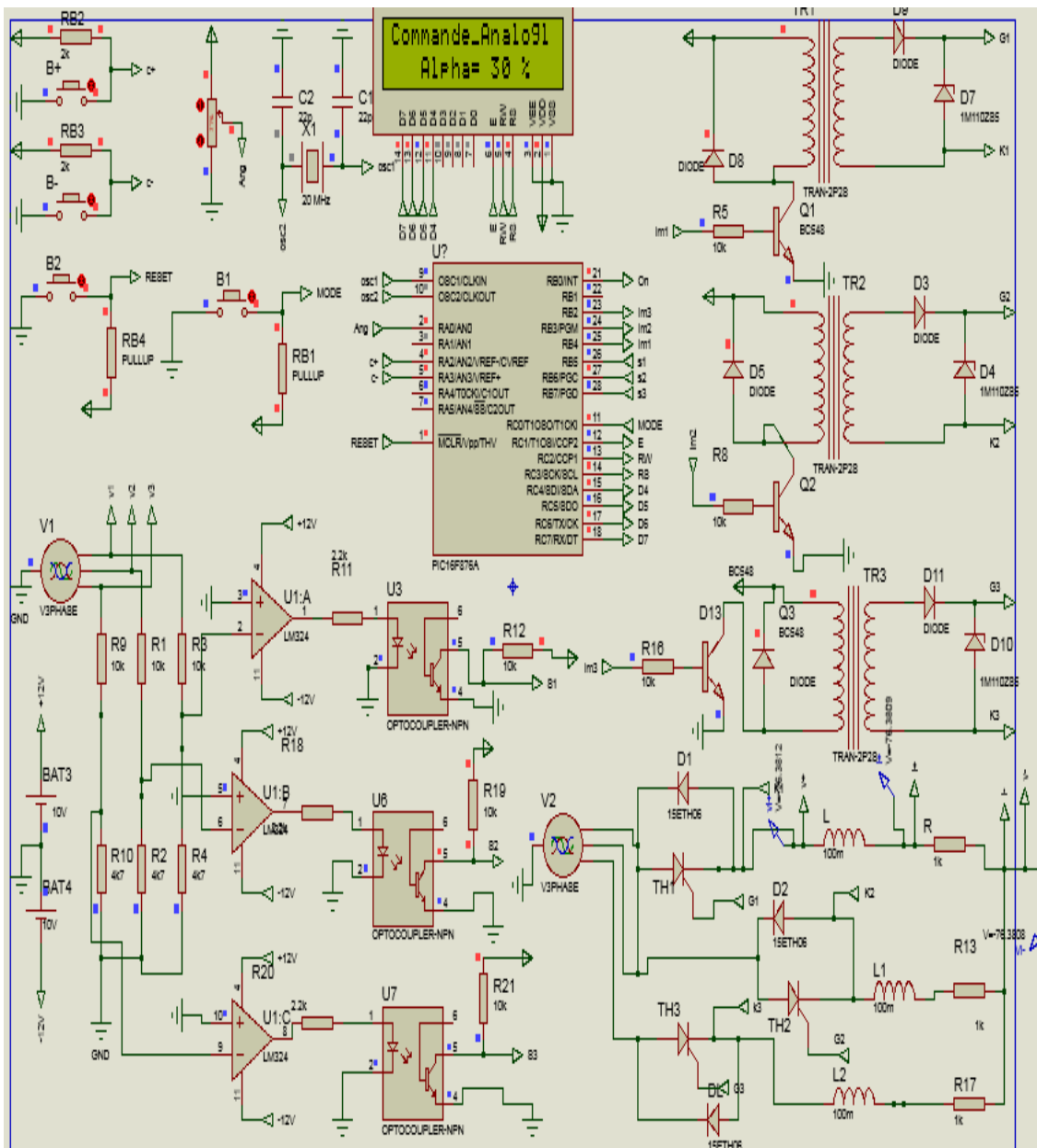


Figure II.11 Schéma de simulation par Proteus.

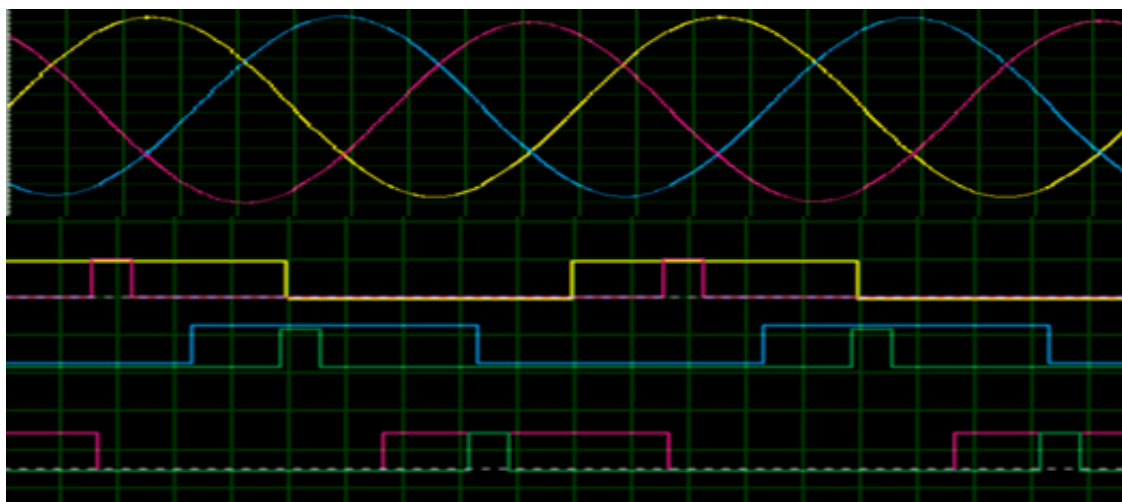


Figure II.12 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande

D'après la Figure II.11 de la simulation, on constate que pour ce mode les impulsions de commande sont générées dans les premières demie périodes. Elles sont appliquées au niveau des gâchettes des thyristors T1 et T2,T3.

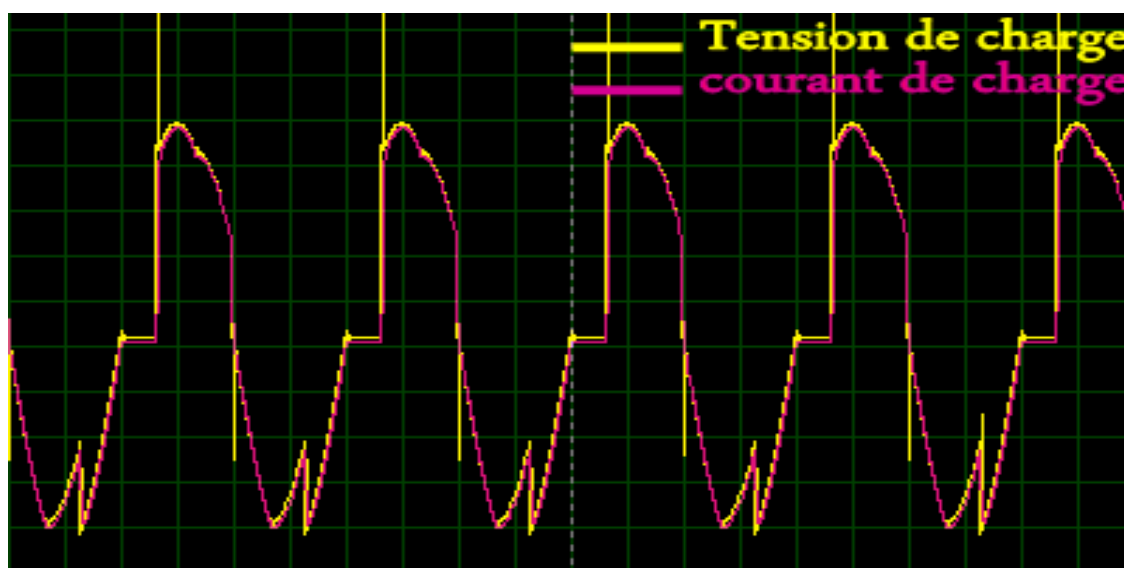


Figure II.13 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus.

II.3.5.2 gradateur triphasé unidirectionnel –commande analogique “Alpha=56%”

Les figures (II.14, II.15 et II.16) présentent le schéma de simulation par Proteus et les différentes formes d'ondes obtenues.

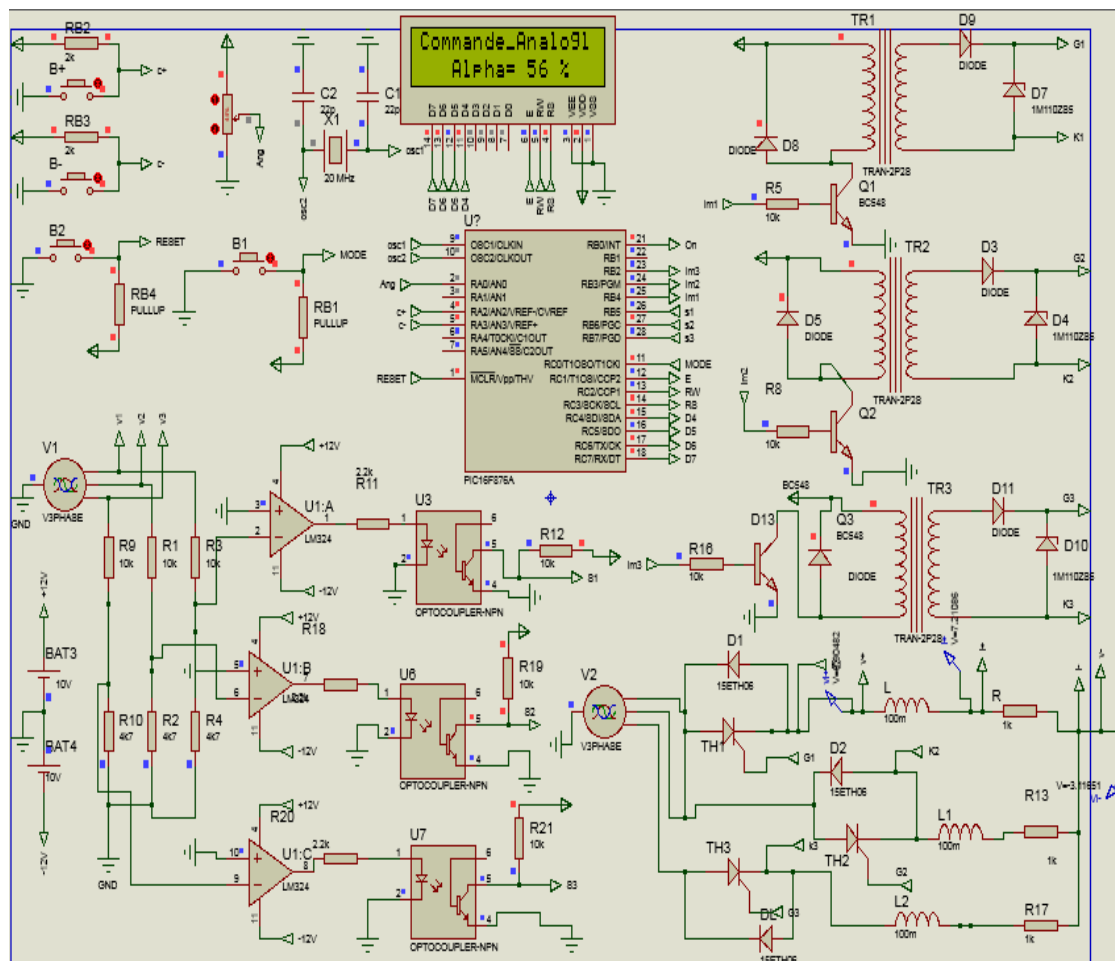


Figure II.14 Schéma de simulation par Proteus.

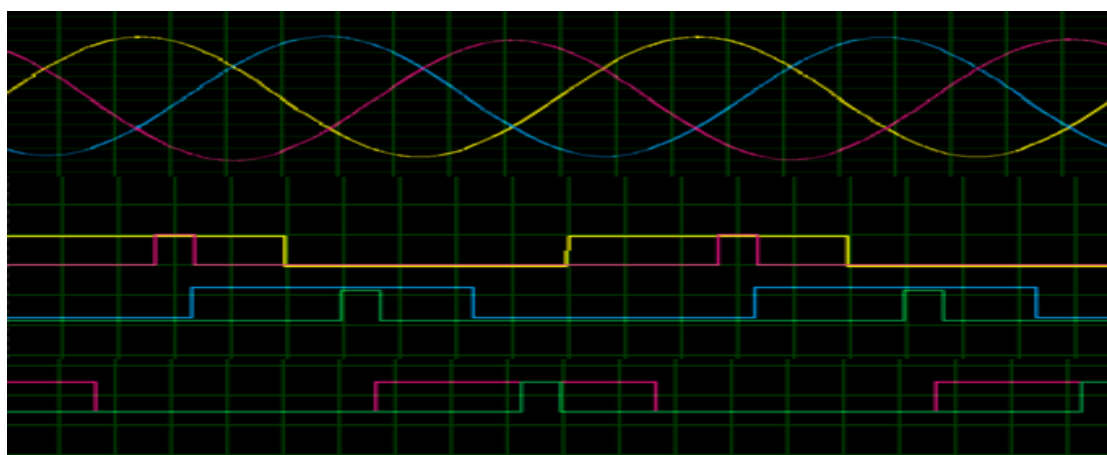


Figure II.15 Allures des signaux d'entrée de synchronisation et de commande.

D'après la figure II.14 de la simulation, on constate que les impulsions de commande sont générées dans les premières demi-périodes. Elles sont appliquées simultanément au niveau des gâchettes des thyristors T1 et T2, T3.

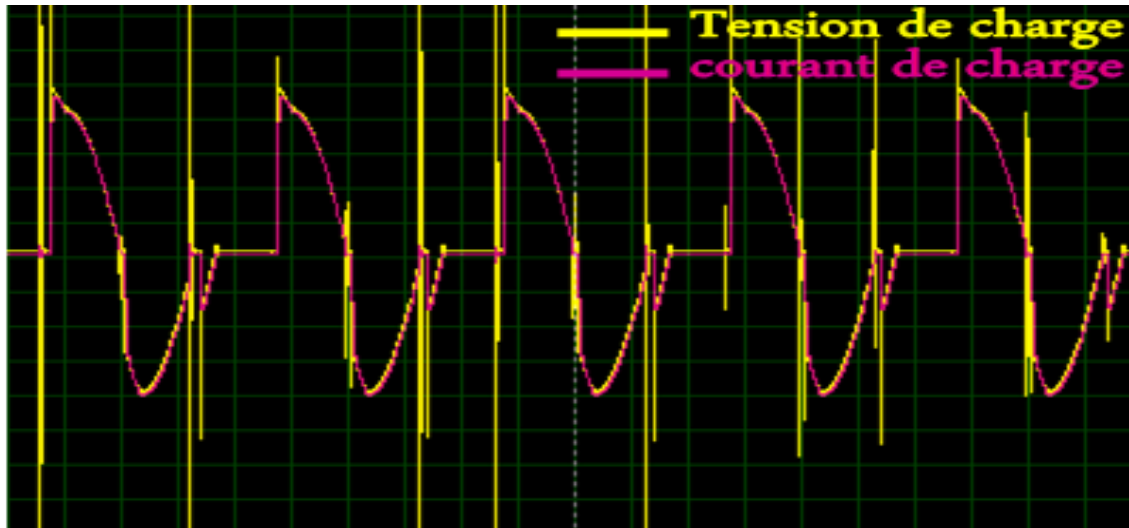


Figure II.16 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus.

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

II.3.5.3 gradateur triphasé unidirectionnel –commande numérique ‘Alpha=14%’

Les Figures (II.17, II.18 et II.19) représentent le schéma de simulation par Proteus et les formes d'ondes obtenues en cas où la cosigne cette fois ci est introduite sous forme numérique (boutons poussoir) .

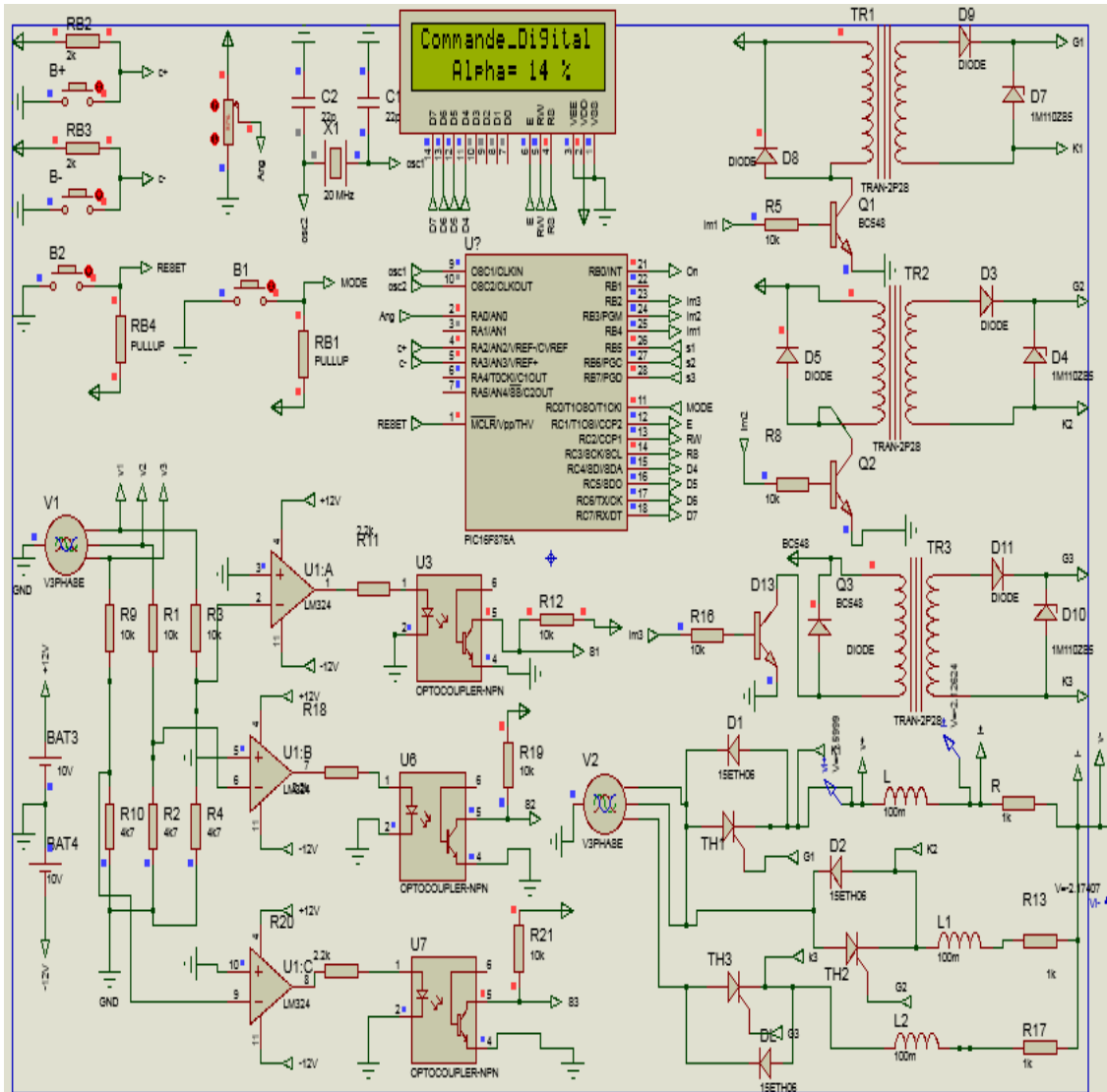


Figure II.17 Schéma de simulation par Proteus.

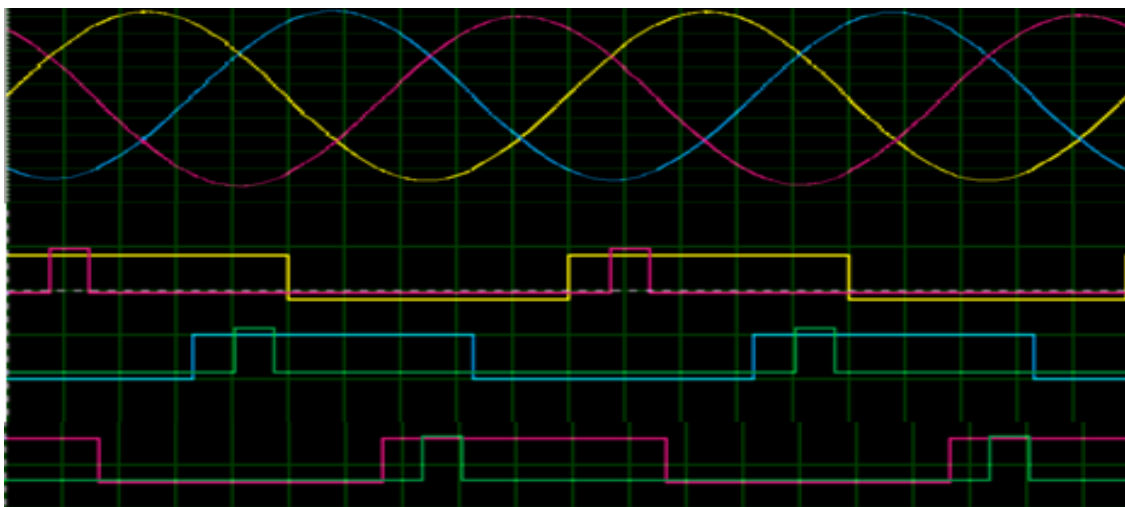


Figure II.18 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande.

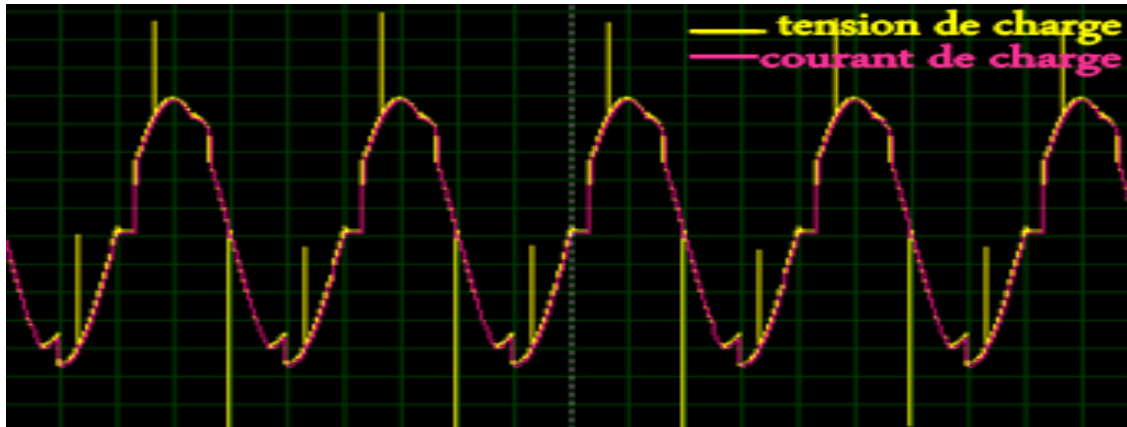


Figure II.19 Allures de tension et de courant de sortie obtenues par simulation Proteus.

II.3.5.4 gradateur triphasé unidirectionnel –commande numérique ‘Alpha=86%’

Les Figures (II.20, II.21 et II.22) représentent le schéma de simulation par Proteus et les formes d’ondes obtenues en cas où la cosigne cette fois ci est introduite sous forme numérique (boutons poussoir).

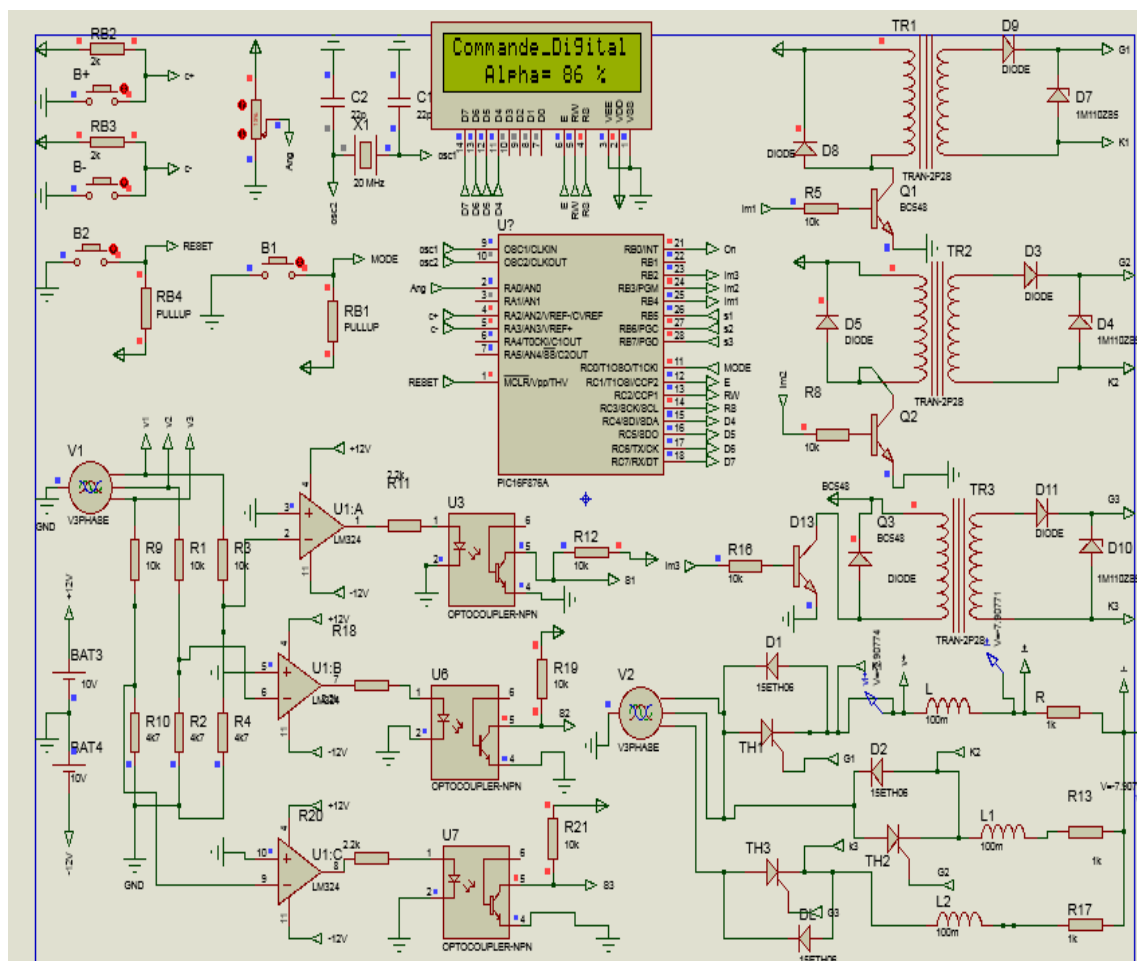


Figure II.20 Schéma de simulation par Proteus.

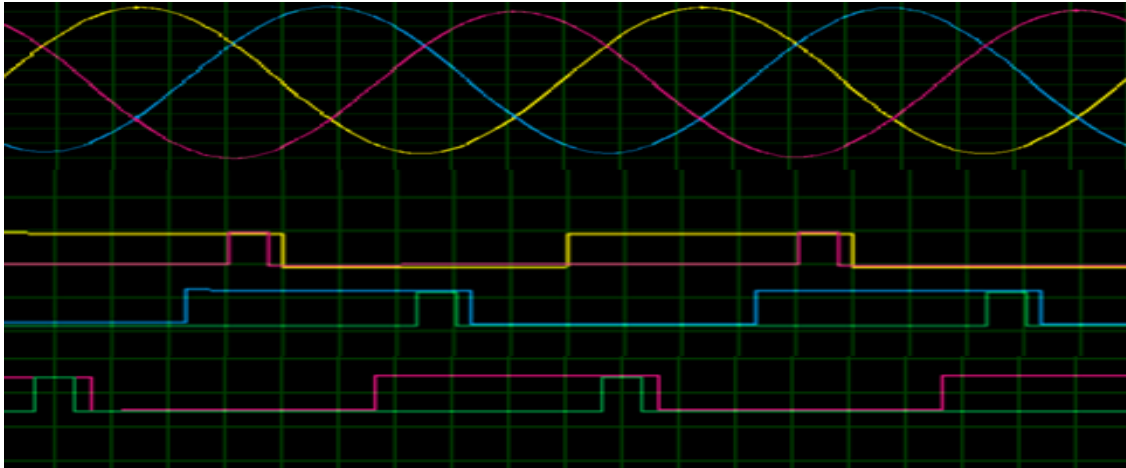


Figure II.21 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande.

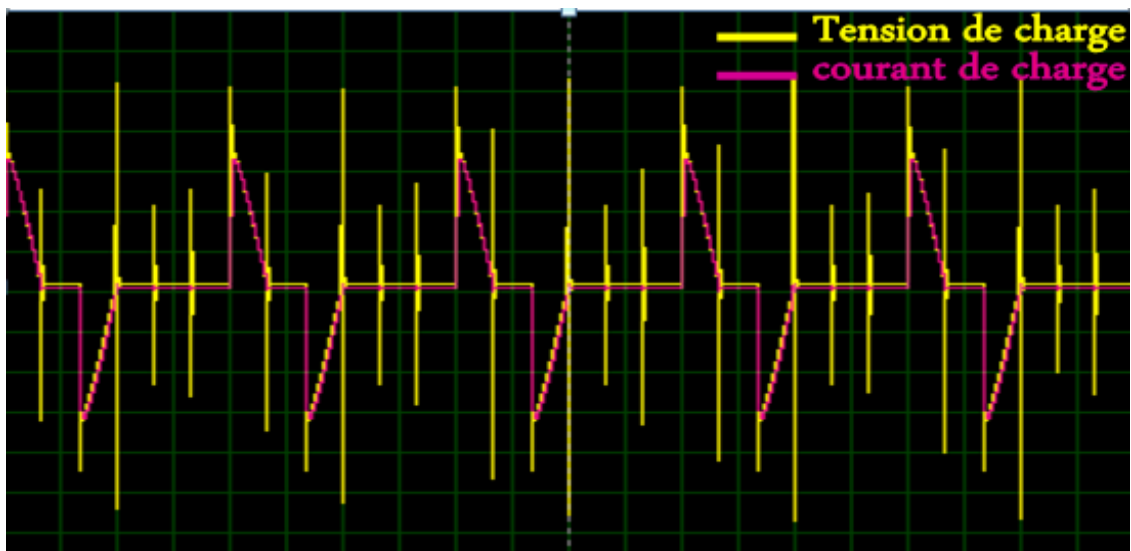


Figure II.22 Allures des signaux d'entrée, de synchronisation et de commande

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

A partir des figures précédentes, on constate que les allures de la tension et du courant confirment bien les signaux étudiés en théorie et les simulations trouvées dans le chapitre précédent par le logiciel Matlab. Bref, La simulation Matlab et la simulation Proteus offrent des résultats quasiment similaires, ce qui nous confirme que notre code CCS développé est correct.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les deux parties essentielles pour la conception de notre carte électronique : la partie matérielle (PIC16F876A) et la partie logicielle (CCS PIC et Proteus). A cet effet, nous avons présenté en premier temps les définitions, les familles et la classification des microcontrôleurs. En particulier, nous avons choisi le microcontrôleur PIC16F876A comme un outil de commande numérique, car les caractéristiques et les modules internes que dispose ce dernier s'adaptent mieux à notre projet. Les détails de conception de la commande pour chaque mode de fonctionnement sont bien présentés sous forme d'organigramme. Des simulations par Proteus sont aussi présentées montrant la bonne concordance avec les résultats trouvés en théorie et en simulation Matlab. Dans le chapitre qui se suit, on va expliquer en détails les démarches de notre réalisation tout en présentant nos résultats expérimentaux.

Chapitre III
Réalisation
Pratique

III.1 Introduction

Ce dernier chapitre présente une étude conceptuelle et une étude de réalisation de notre projet, nous avons partagé ce chapitre en trois parties, en premier lieu nous allons faire une description des différents composants utilisés de nos cartes, ensuite la réalisation des cartes pour ce dernier, pour ce faire nous allons diviser notre projet en 2 cartes : la carte de puissance, et la carte de commande. Puis les étapes de la réalisation de notre carte électronique.

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

III.2 Réalisation de la carte électronique

III.2.1 Câblage par Proteus

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

Désignation		Référence	Quantité
01	Microcontrôleur	PIC 16F877A	01
02	Afficheur LCD	LCD 16*2	01
03	Quartez	20MHz	01
04	Amplificateur–Opérationnel	LM358	03
05	Opto-coupleur	4N32	03
06	Régulateur de tension +5V	L7805	01
07	Régulateur de tension +12V	L7812	01
08	Régulateur de tension -12V	L7912	01
09	Transformateur d'impulsion		03
10	Potentiomètre pour LCD		02
11	Potentiomètre de réglage	10K	01
12	Leds	Roge/vert/jaune	04
13	Boutons poussoir		05
14	Condensateur (chimique)	470uF/16V	03
15	Condensateur (chimique)	470uF/50V	03
16	Transistor	BC548NPN	02

17	Transistor	BC557PNP	04
18	Diode	220v/3A	09
19	Condensateurs céramique	22pF	02
20	thyristor	BT151	03
21	résistance	2.2k	12
22	résistance	100	02
23	résistance	1.5k	02
24	résistance	1k	12

Tableau III.1 Liste des composants pour la réalisation de notre carte.

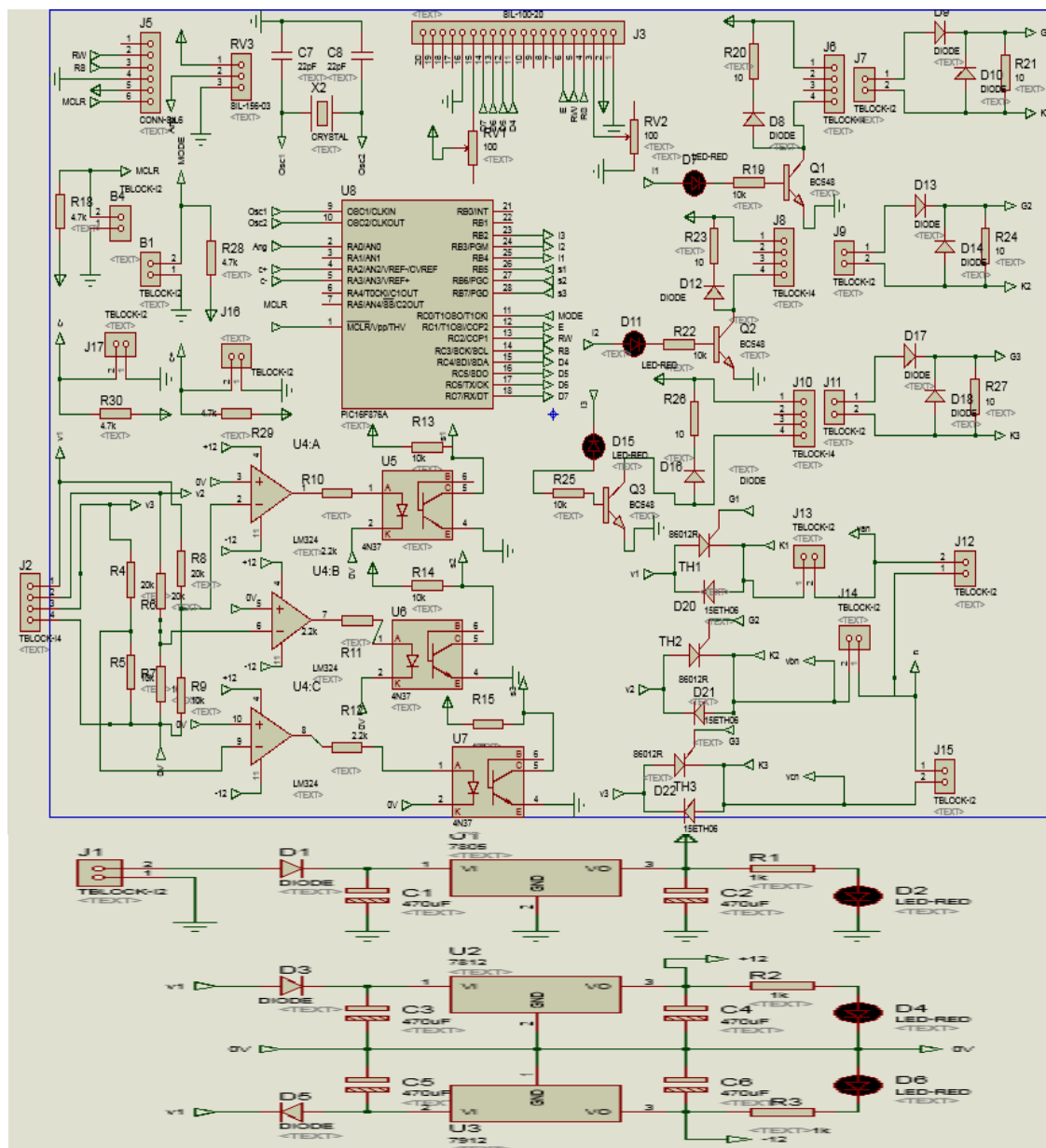


Figure III.1 Câblage pour le circuit imprimé par le logiciel Proteus.

III.2.2 Description des parties essentielles de la réalisation

III.2.2.1 Circuit de synchronisation et de couplage optique

Dans notre travail, on utilise trois circuits détecteurs de passage par zéro pour générer les signaux de synchronisation avec lequel on attaque les pins RB5, RB6/PGC, RB7/PGD du PIC après l'avoir passé par des opto-coupleurs qui assurent la séparation entre le circuit de commande et l'alimentation (Figure III.2).

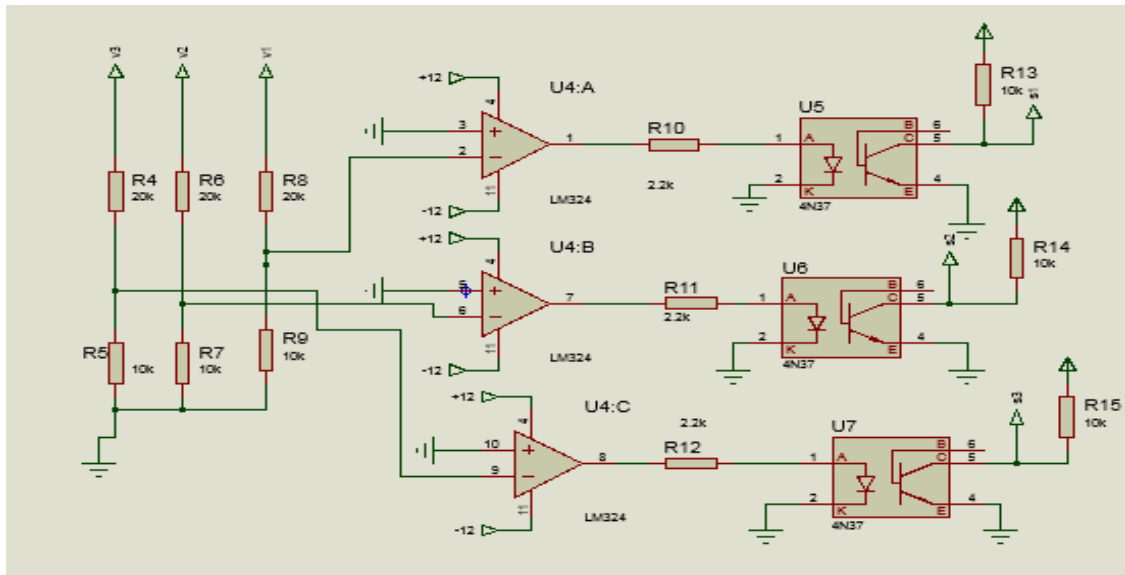


Figure III.2 Circuit détecteur de passage par zéro et de couplage optique.

L'ampli-op joue le rôle d'un comparateur qui compare la tension d'entrée non inverseuse (signal sinusoïdal) avec la tension d'entrée inverseuse (tension de référence 0 V). Si la tension d'entrée non inverseuse est supérieure à la tension de référence (0V), la sortie est saturée négativement (-12V à la sortie) et reste négative jusqu'à ce que la tension d'entrée non inverseuse sera inférieure à celle de référence (0V) le comparateur sera alors saturé positivement (+12V à la sortie) comme il est montré dans la figure III.3.

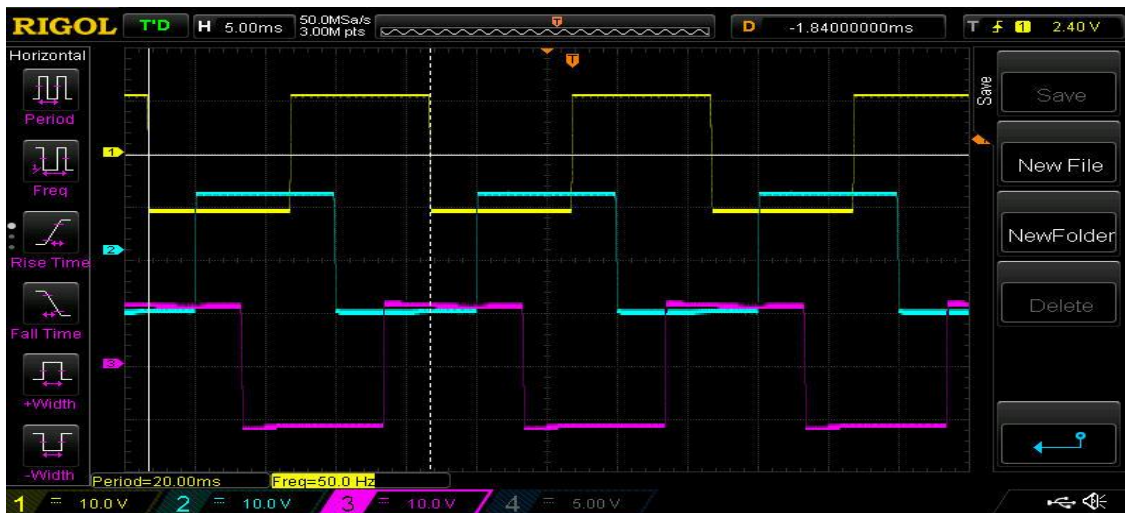


Figure III.3 Allure des signaux issus des amplificateurs opérationnels.

Un optocoupleur repose sur une LED et un phototransistor ou une photodiode, lorsqu'on fait passer un courant dans la LED, elle brille (elle émet de l'infrarouge) dans un boîtier bien hermétique à la lumière. La lumière émise par la LED est captée par la photodiode qui devient alors passant. On peut donc transmettre un courant électrique tout en isolant électriquement.

Dans son principe, l'optocoupleur fait les conversions successives : courant électrique $\rightarrow$ lumière infrarouge $\rightarrow$ courant électrique.

Les optocoupleurs se rencontrent dans des domaines variés :

- Alimentations à découpage (régulation de la tension de sortie)
- Données numériques isolées
- pilotage de charges secteur à partir d'un circuit accessible basse tension
- isoler des signaux électriques et peuvent être utilisés en commutation [22].

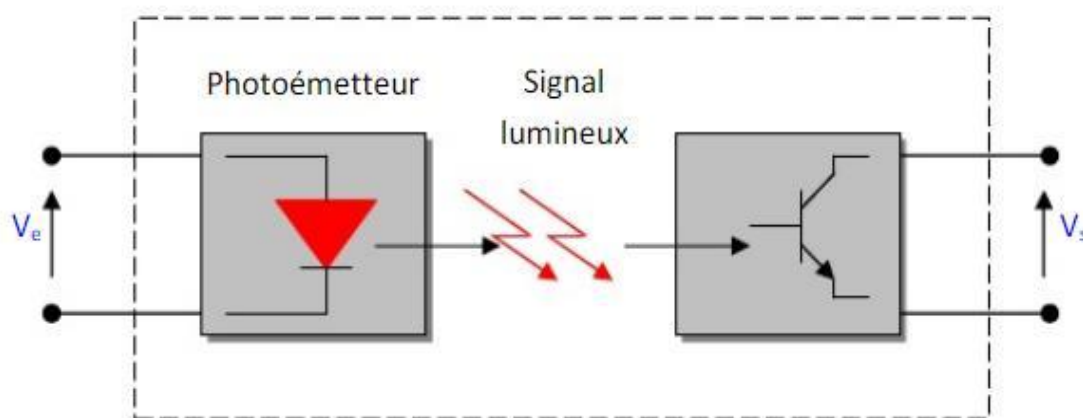


Figure III.4 Principe de fonctionnement d'un opto-coupleur [1].

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

-Si la sortie de l'amplificateur est saturée positivement (pendant l'alternance positive du signal de secteur) la diode électroluminescent de l'opto-coupleur sera allumée, le phototransistor est équivalent à un circuit fermé donc $V_s=0\text{ Volt}$ (Figure III.5).

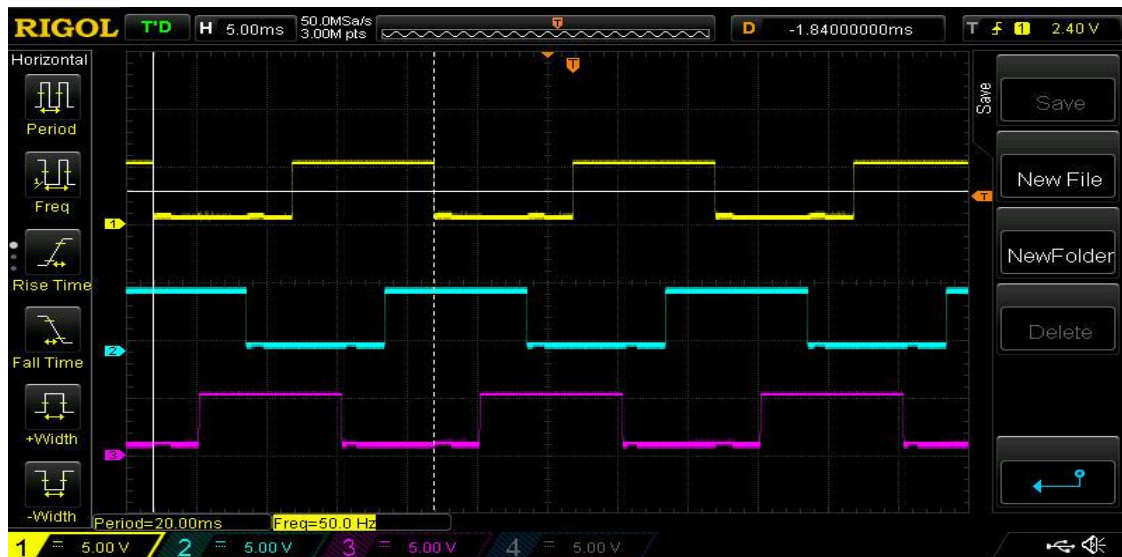


Figure III.5 Signaux de la sortie des opto-coupleurs.

III.2.2.2 Transformateur d'impulsions

Son rôle est de commander des interrupteurs statiques (thyristor, triac, transistor) en assurant une isolation galvanique entre les circuits de commande et de puissance.

Le circuit magnétique est constitué d'un tore de ferrite, dont l'encombrement est de l'ordre du centimètre cube, sur lequel sont bobinés les enroulements. Le rapport de transformation m est généralement égal à 1.

Les transformateurs d'impulsions ont un large domaine d'applications les utilisations les plus courantes sont :

- commande et allumage des thyristors et de triacs .
- commande d'amorçage des transistors de puissance utilisés comme commutateur.
- emploi comme transformateur de couplage pour transmission des données .
- séparation galvanique [23].

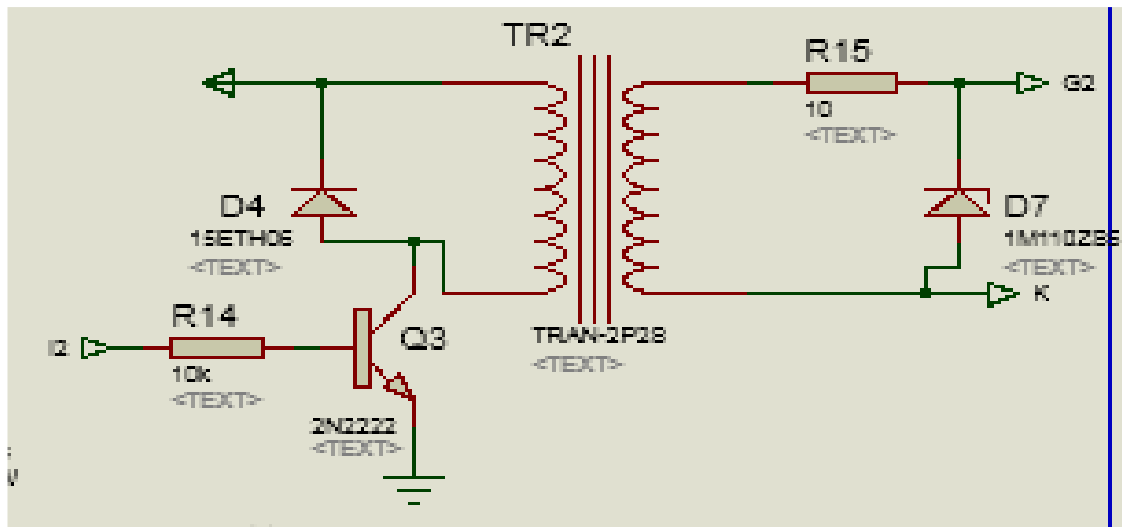


Figure III.6 Schéma électrique d'un transformateur d'impulsion.

Dans notre travail, le circuit de commande supporte 5V DC au maximum, par contre, le circuit de puissance s'alimente de 380V AC. Pour cette raison, il est préférable de séparer les deux circuits pour protéger l'unité de traitement (PIC 16F876A).

Pour pouvoir amorcer le thyristor, on l'attaque par un train d'impulsions au lieu de l'attaquant par une impulsion carrée à l'entrée, parce que ce dernier n'arrive pas à assurer l'accrochage du thyristor. Les résultats des essais sont représentés par la figure III.7.



Figure III.7 Les résultats des essais du transformateur d'impulsions.

III.2.2.3 Alimentation

Dans notre réalisation, on a besoin de 2 alimentations : une de 5VDC (Figure III.8) pour l'alimentation du microcontrôleur, opto-coupleur et le transformateur d'impulsion et l'autre une alimentation symétrique de +12/-12 VDC (Figure III.9) pour alimenter l'amplificateur opérationnel.

Chaque alimentation comporte :

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

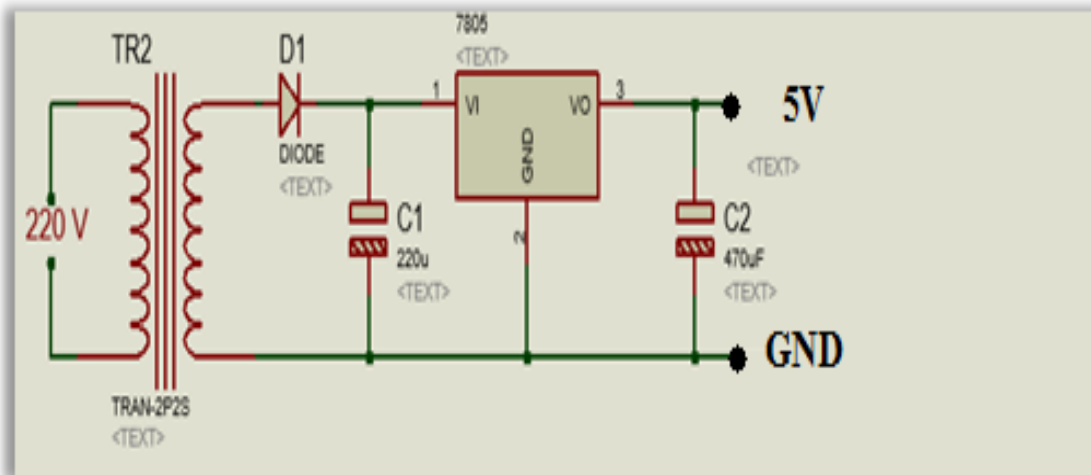


Figure III.8 Montage de l'alimentation 5V.

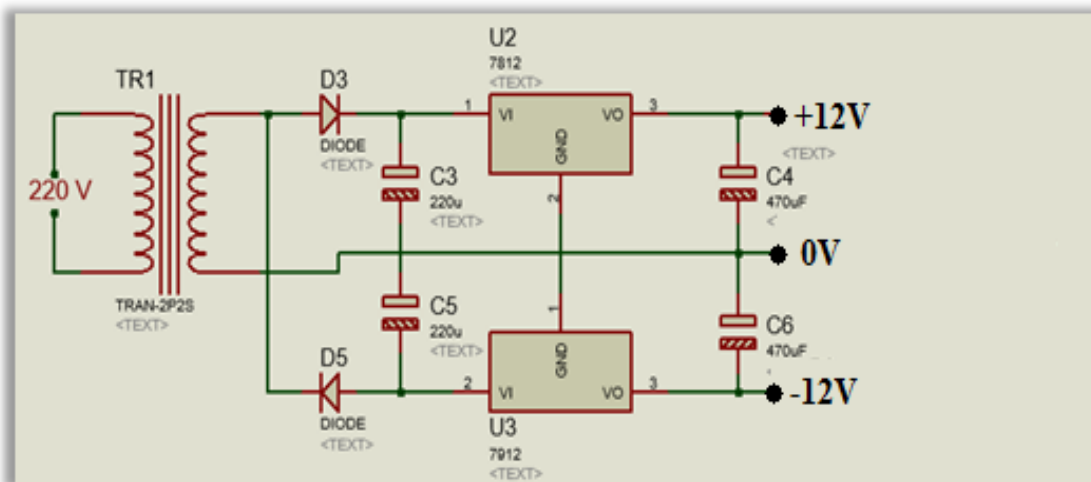


Figure III.9 Montage de l'alimentation symétrique +12V/-12V.

- Le transformateur baisse la tension sinusoïdale d'entrée de 220V AC à une tension de 17V AC (ayant les mêmes caractéristiques de la tension d'entrée). Puis on l'a fait passer par la diode qui fera le redressement, ensuite, on l'a fait passer par un condensateur pour faire le filtrage. Enfin, on utilise le régulateur L7805 pour obtenir une tension de 5V DC. C'est exactement le même principe pour avoir des tensions 12 et -12V DC sauf que on a utilisé respectivement cette fois-ci un transformateur 220V AC/14V AC et des régulateurs L7812 et L7912.

III.2.2.4 Afficheur LCD

III.2.2.4.1 Présentation de l'afficheur LCD

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

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro-éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA) [9].

III.2.2.4.2 Présentation d'un écran LCD

Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car nous pouvons facilement y afficher les valeurs de différentes variables.



Figure III.10 Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères [25].

III.2.2.4.3 Brochage

Tout d'abord, le brochage d'un écran LCD est "normalisé" avec 14 broche (ou 16 si l'écran est rétro-éclairé) pour les "petits formats" :

NO	Nom	Rôle de broche
1	Masse	Masse
2	Vcc	Alimentation positive +5V de l'afficheur
3	Vo	Réglage du contraste de l'afficheur entre 0 et +5V (plus proche de la masse)
4	RS	Commutation de registre entre les instructions « 0 » et les données « 1 »
5	R/W	Commutation entre lecture « 1 » (Read) et écriture « 0 » (Wright)
6	E	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant
7	D0	Bus de données bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
8	D1	
9	D2	
10	D3	
11	D4	
12	D5	
13	D6	
14	D7	
15	A	Anode rétro-éclairage (+5V)
16	K	Cathode rétro-éclairage (masse)

Tableau III.2 Brochage d'un afficheur LCD[25].

III.2.2.4.4 Fonctionnement

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques Symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres Caractères. Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7 broches 7 A 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions telles Que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur [25].

III.2.3 Les étapes de fabrication du circuit imprimé

Avant de passer à la réalisation du circuit imprimé, on va présenter d'abord la plaque du circuit imprimé utilisée. C'est une plaque en verre époxy de couleur verte, recouverte d'une mince pellicule de cuivre, cette dernière est aussi recouverte d'une couche de produit chimique sensible aux ultra violets appelée « résine ». Pour ne pas être exposés aux rayonnements UV naturel de soleil, cette couche est livrée avec un film protecteur anti UV [26].

Après l'élaboration des typons, on passe à la réalisation des circuits imprimés.

III.2.3.1 L'insolation de circuit

cette étape sert à attaquer la résine par les rayonnements UV délivrés par l'insole use, la procédure se fait comme suit :

- On éteint la lumière au niveau de laboratoire, puis on découle le film protecteur.
- On place le typon sur le verre de l'insole use de telle façon que le côté cuivré sur le typon, en respectant l'orientation et on ferme le capot.
- On allume l'insole use pendant 1 minute, ce temps d'insolation est très important, car si ce dernier est trop long, les rayons UV passeront au travers les zones noires du typon.

III.2.3.2 La révélation

c'est l'étape qui suit l'étape de l'insolation. Le produit nécessaire pour cette étape est un produit chimique assez dangereux, qui impose le port de gants.

- On a utilisé un révélateur sous forme de poudre à diluer avec l'eau (un sachet dans une 1/3 litre d'eau) d'où la température de cette solution est de 20 à 25°. On plonge alors la platine dans le bain de révélateur, puis on agite dans ce temps la lumière est illuminée.
- Le révélateur sert à éliminer la résine attaquée par UV, et il ne reste que le cuivre et la résine protégée par l'encre imprimé sur la carte lors de l'étape de l'insolation.

- On rince soigneusement la plaque sous le robinet en frottant avec les doigts jusqu'à ce qu'elle ne soit plus « grasse » au toucher.

III.2.3.3 Gravure

La gravure consiste à plonger le circuit dans un bain d'acide (perchlorure de fer). Le cuivre mis à nu lors de la révélation sera éliminé. Seules les pistes protégées par la résine resteront. La procédure de gravure se fait comme suit :

- On plonge la plaque d'époxy dans le bain d'acide, la température du bain de la solution doit être de 40° et de temps de 20 minutes. Lorsque tout le cuivre a disparu, on sort le circuit puis on le rince sous le robinet en frottant avec les doigts jusqu'à ce qu'elle ne soit plus « grasse » au toucher.
- pour retirer la résine et ainsi apparait les pistes de cuivres, on met le circuit à Nouveau dans l'insoluble, la durée est de 2 minutes.

III.2.3.4 Perçage

L'opération de perçage est l'étape ultime dans la réalisation du circuit imprimé. On a utilisé une perceuse manuelle, les forets utilisés sont de diamètre de 8mm.

III.2.3.5 Le test du circuit imprimé

Nous avons utilisé un multimètre pour tester et vérifier :

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

III.2.3.6 La soudure

L'opération de la soudure se fait à l'aide d'un fer à souder et de l'étain, on commence par :

- Des composants neutres : supports de circuit intégrés, connectiques...
- Passifs: Résistances, potentiomètre, fiches, les diodes lods,...
- Actifs : diode, Résistance.

Finalement, on obtient les cartes imprimées comme représentée par les Figures III.13, III.16.

III.2.3.7 Carte de commande

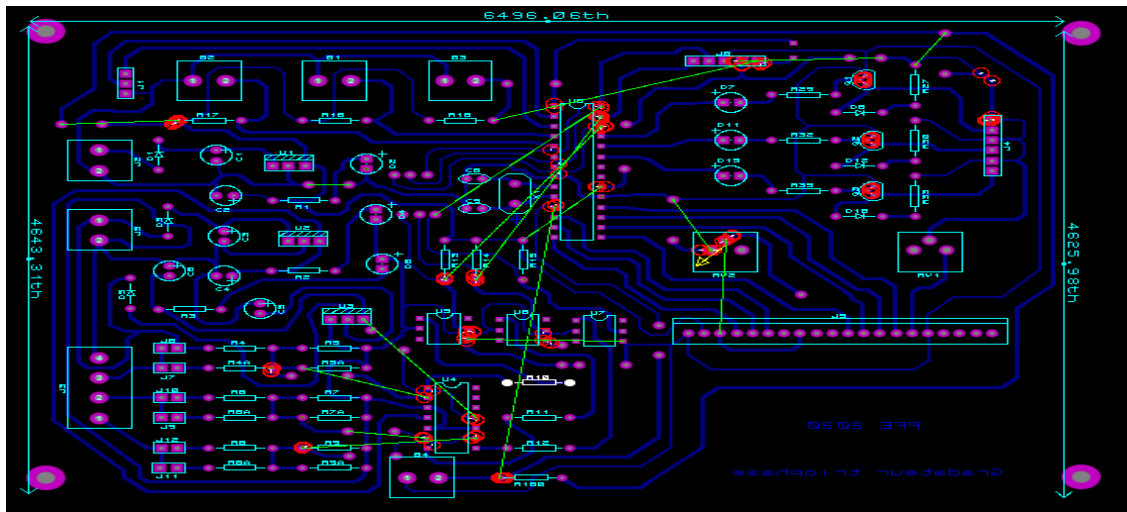


Figure III.11 Schéma routé de la carte de commande.

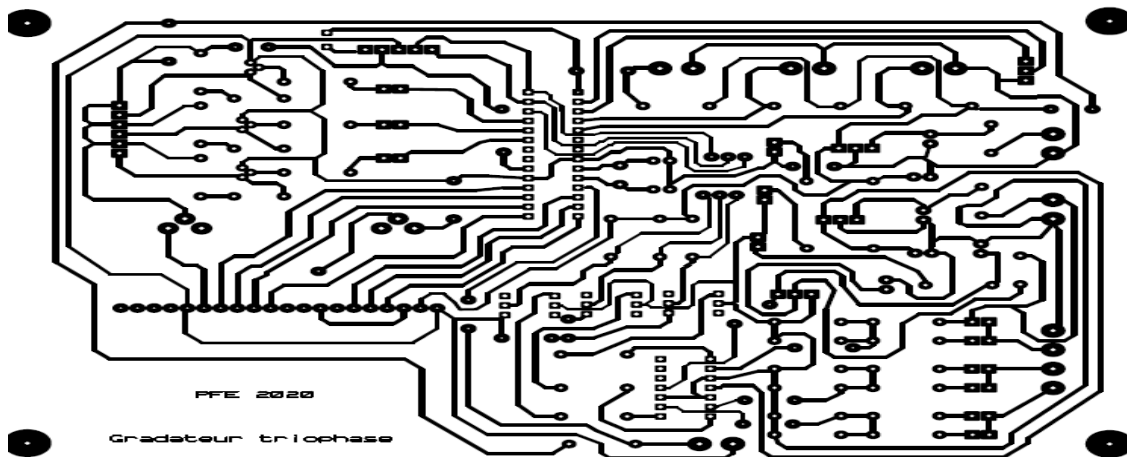


Figure III.12 Typon de la carte de commande.



Figure III.13 Carte de commande finalisée (côté composants).

III.2.3.8 Carte de puissance

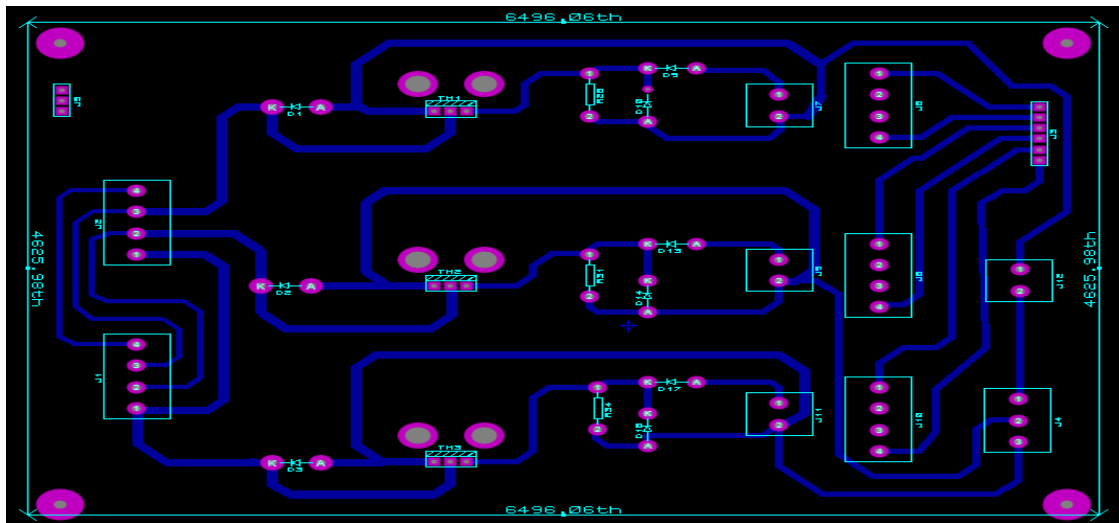


Figure III.14 Schéma routé de la carte de puissance.

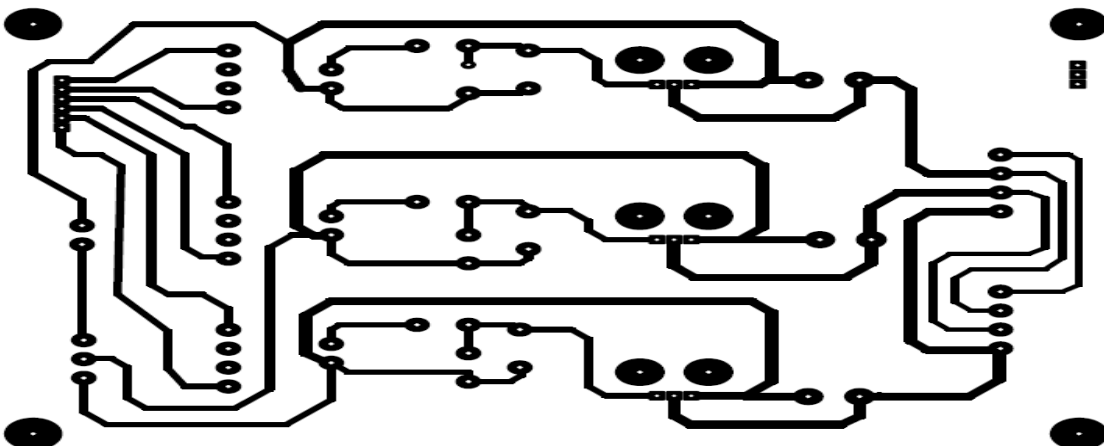


Figure III.15 Typon de la carte de puissance.



Figure III.16 Carte de puissance finalisée (côté composants).

III.2.3.9 Assemblage des cartes réalisées

Notre projet est finalement assemblé, le PIC16F876A est programmé et la charge est connectée comme donné dans la Figure III.17. Par la suite, nous prenons des mesures des allures de la tension et du courant de sortie en jouant sur les positions angulaires des angles de retards en question. Ces mesures sont comparées à celles obtenues en simulations Matlab et Proteus présentées dans les chapitre précédents.



Figure III.17 Carte finalisée (côté composants).

III.4 Les problèmes rencontrés

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

- Le choix des composants électroniques nécessaire à la réalisation de notre système nous a aussi causé quelques tracas, surtout en ce qui concerne les résistances et les diodes, les condensateurs. Nos choix se sont basés essentiellement sur la disponibilité du matériel dans le magasin. Mais ce la nous a permis de nous confronter à la réalité de la pratique.

III.5 Résultats expérimentaux

Cette section concerne les résultats pratiques relevés lors des essais réalisés. Malgré les problèmes rencontrés, La figure III.18 représente le signal d'entrée, de trios phases.

III.5.1 Signal d'entrée



La Figure III.18 Le signal d'entrée, qu'un signal sinusoïdal triphasé.

A partir de cette figure, on peut remarquer que le signal d'entré c'est un signal qui est composé de trois tensions sinusoidals déphasés entre elles par un angle de 120° .

III.5.2 Signal de la commande des thyristors T1 , T2 et T3



Figure III.19 Signal de commande.

Le signal de commande c'est un signal sous forme des impulsions déphasés ente elles par un angle de $2\pi/3$.

III.5.3 Signal de sortie pour une charge R

III.5.3.1 Angle d'amorçage $\alpha=10\%$

Les résultats suivants sont relevés pour une charge purement résistive avec une résistance ($R=50\Omega$), comme montre la figure III.20.

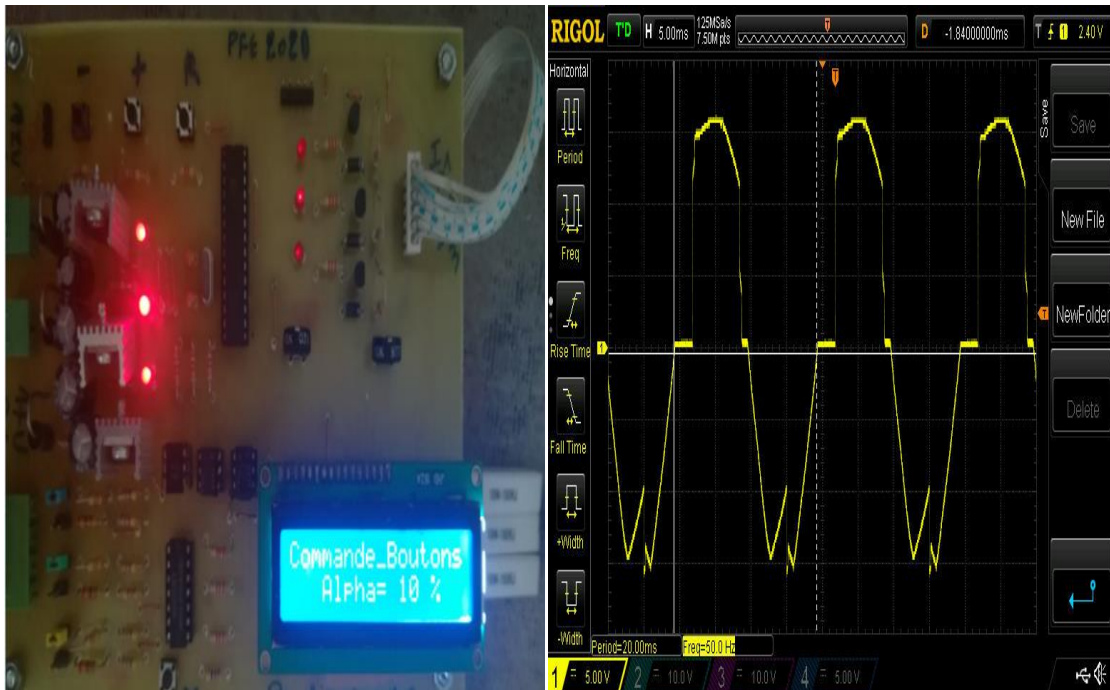


Figure III.20 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension de charge R pour ($\alpha=10\%$).



Figure III.21 Résultats obtenus aux bornes des trios charges pour un angle d'amorçage $\alpha=10\%$.

III.5.3.2 Angle d'amorçage $\alpha=40\%$

La Figure (III.22) représente notre carte électronique et l'allure de la tension de charge R pour un angle d'amorçage $\alpha=40\%$.

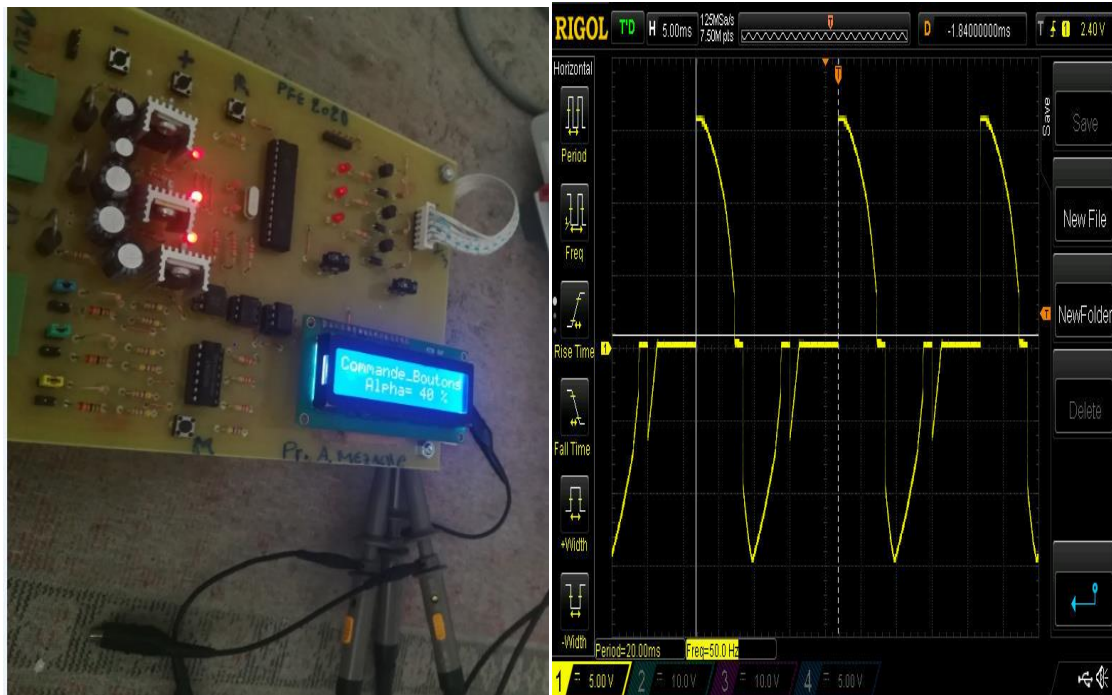


Figure III.22 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension de charge R pour ($\alpha=40\%$).



Figure III.23 Résultats obtenus aux bornes des trios charges pour un angle d'amorçage $\alpha=40\%$.

III.5.3.3 Angle d'amorçage $\alpha=90^\circ$

La Figure (III.24) représente notre carte électronique et l'allure de la tension de charge R pour un angle d'amorçage $\alpha=90^\circ$.

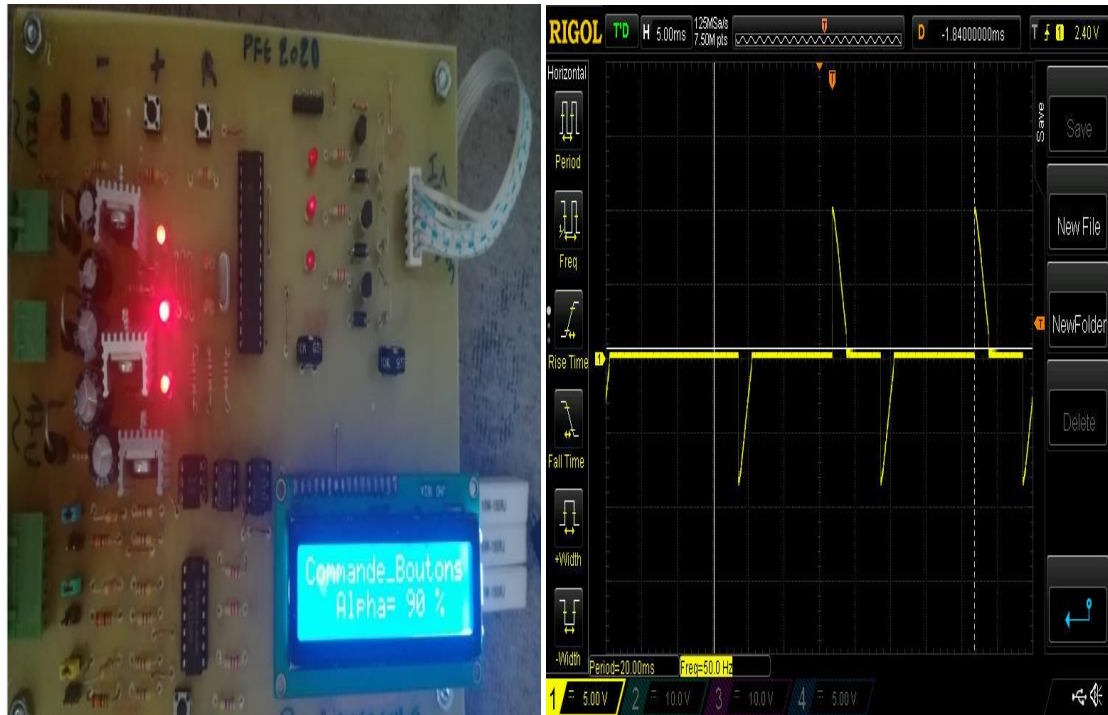


Figure III.24 Représentation de notre carte électronique et l'allure de la tension de charge R pour ($\alpha=90^\circ$).

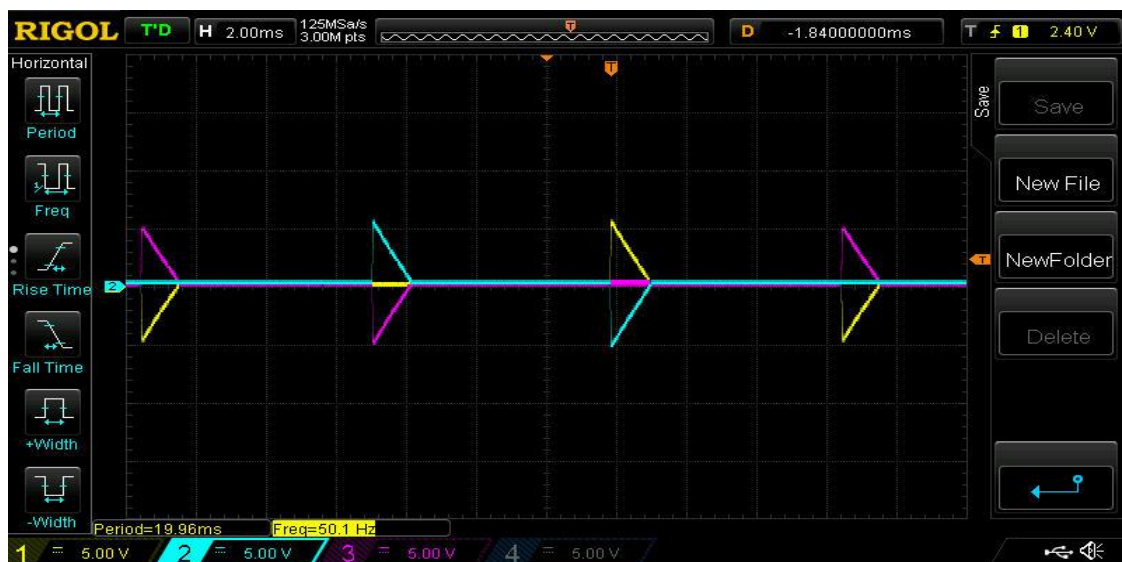


Figure III.25 Résultats obtenus aux bornes des trios charges pour un angle d'amorçage $\alpha=90^\circ$.

III.5.4 Signal de sortie pour une charge RL

Le récepteur est constitué de trois inductances de 51mH en série avec trois résistances de 50Ω comme indiqué dans la Figure. III.26. Ces valeurs permettent de visualiser clairement l'évolution d'une façon exponentielle du courant de charge pour différentes valeurs des angles de retards .



Figure III.26 Trois inductances en série avec trois résistances.

III.5.4.1 Angle d'amorçage $\alpha=10\%$

La Figure III.27 représente notre carte électronique et les allures de la tension et du courant de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=10\%$.

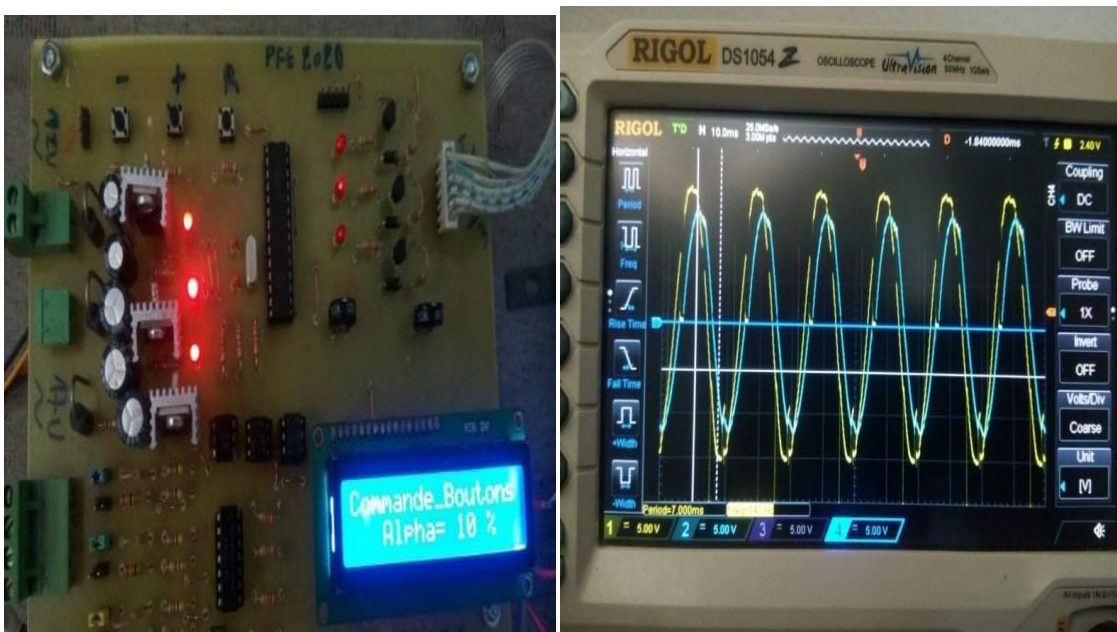


Figure III.27 Représentation de notre carte électronique et les allures de la tension et du courant de charge RL pour ($\alpha=10\%$).

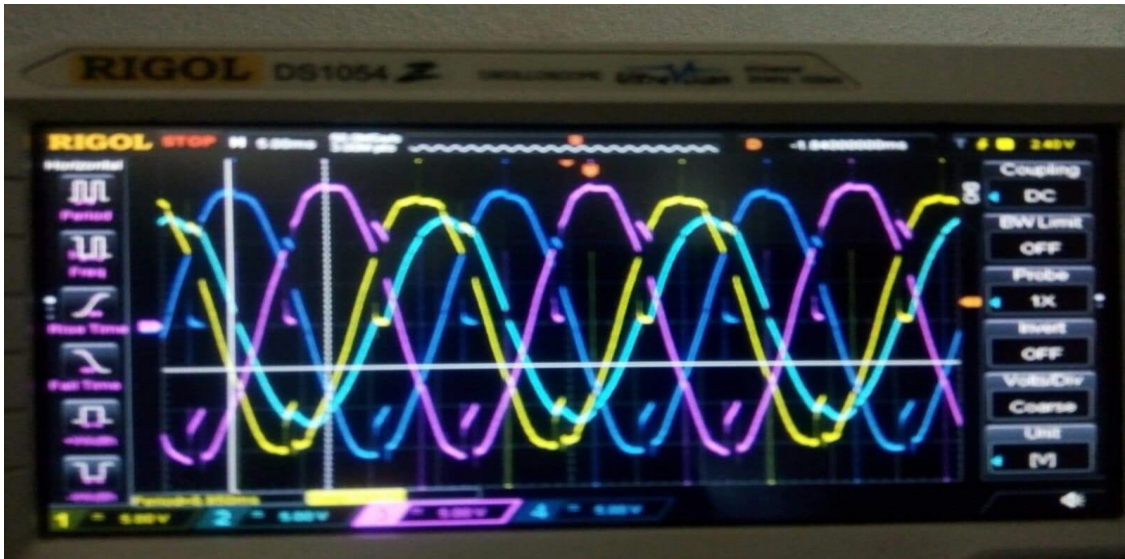


Figure III.28 Résultats obtenus aux bornes des trios charges RL pour un angle d'amorçage $\alpha=10\%$.

III.5.4.2 Angle d'amorçage $\alpha=40\%$

La Figure III.29 représente notre carte électronique et les allures de la tension et du courant de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=40\%$.

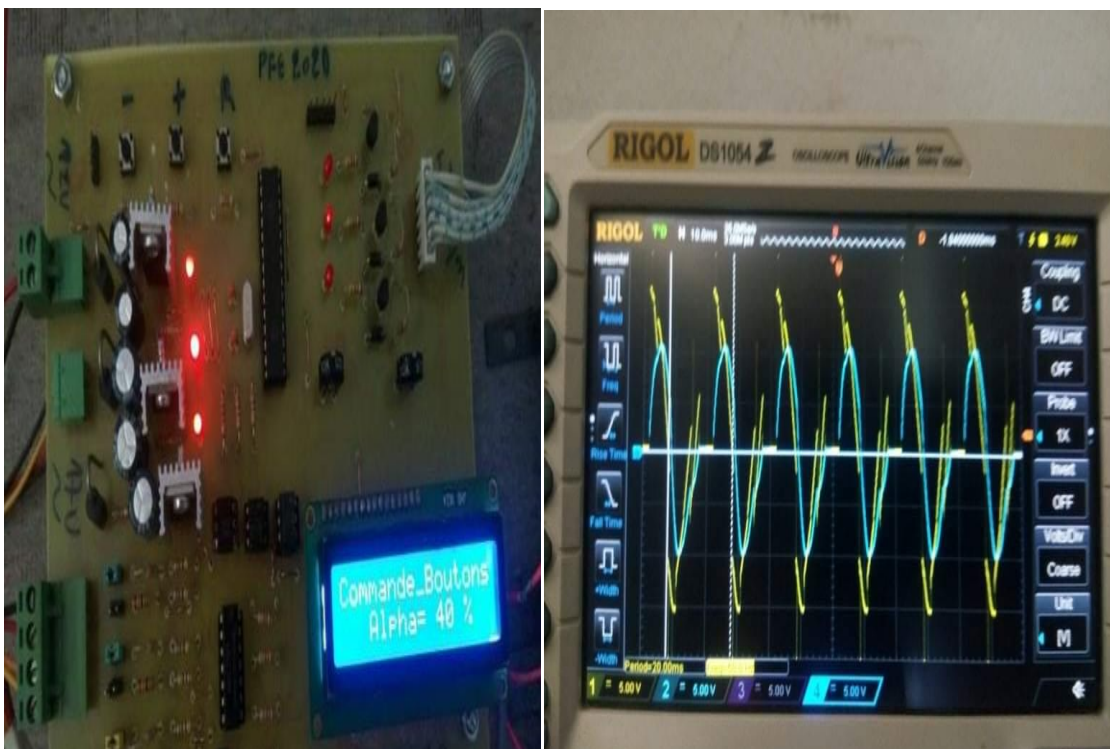


Figure III.29 Représentation de notre carte électronique et les allures de la tension et du courant de charge RL pour ($\alpha=40\%$).

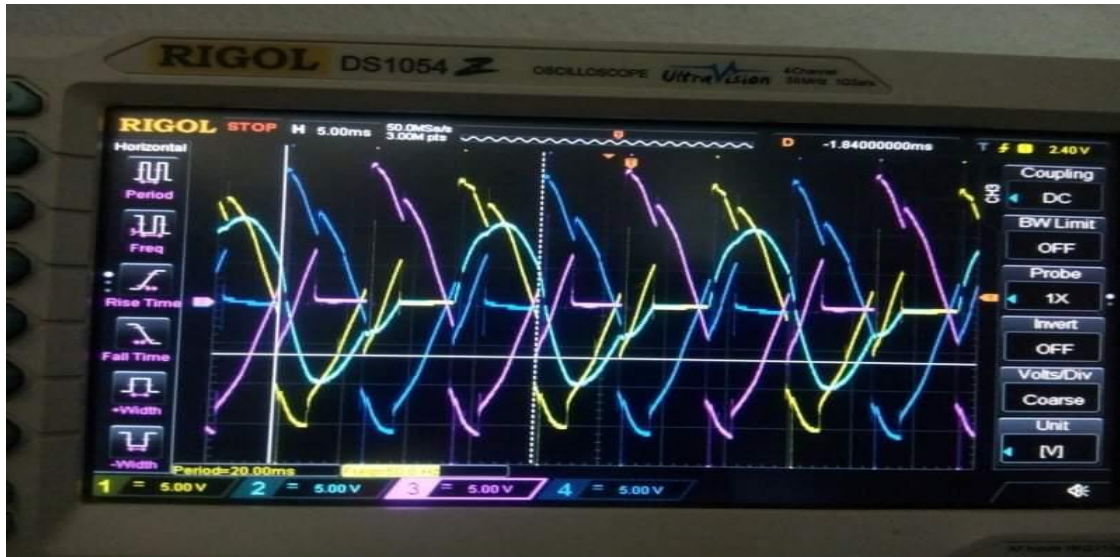


Figure III.30 Résultats obtenus aux bornes des trios charges RL pour un angle d'amorçage $\alpha=40\%$.

III.5.4.3 Angle d'amorçage $\alpha=80\%$

La Figure III.31 représente notre carte électronique et les allures de la tension et du courant de la charge RL pour un angle d'amorçage $\alpha=80\%$.

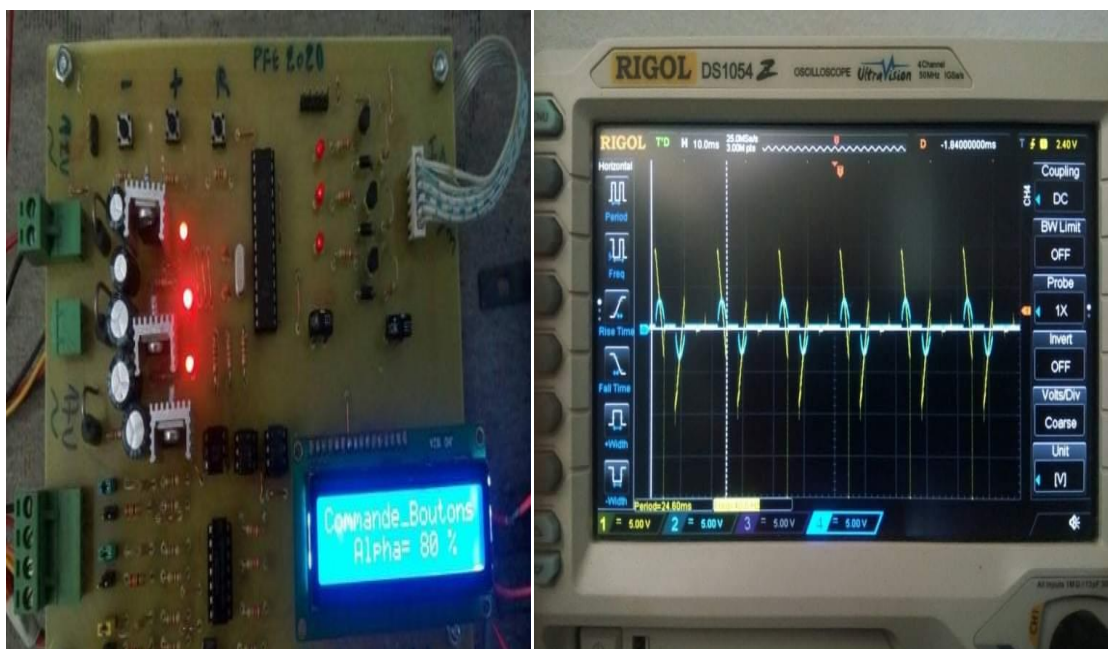


Figure III.31 Représentation de notre carte électronique et les allures de la tension et du courant de charge RL pour ($\alpha=80\%$).

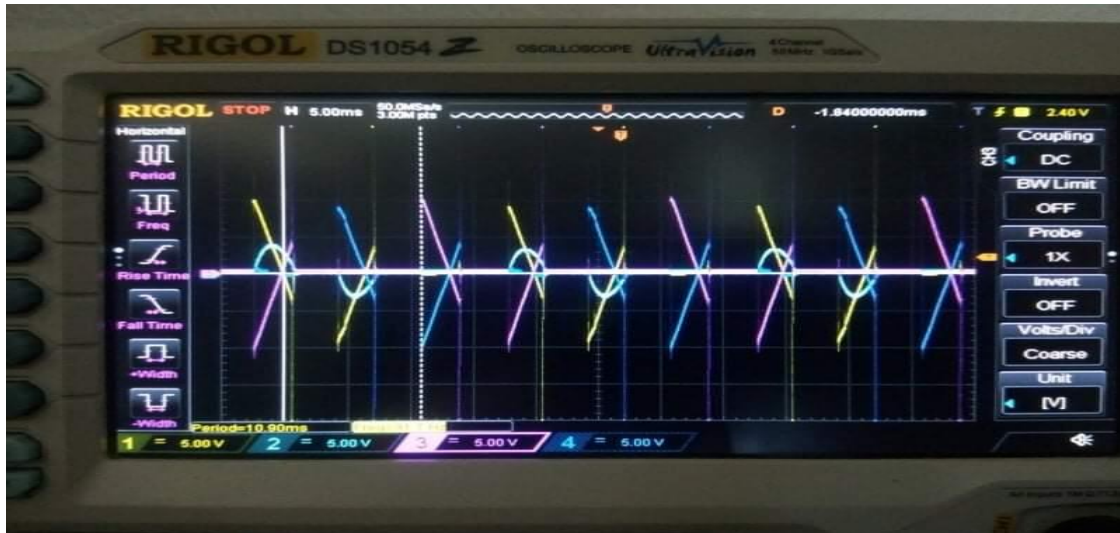


Figure III.32 Résultats obtenus aux bornes des trios charges RL pour un angle d'amorçage $\alpha=80\%$.

Remarque :

Dans cette série de mesures pour la charge R ou RL, nous avons appuyé sur le bouton poussoir 'Mode' pour orienter le type de commande du convertisseur vers la commande analogique (commande par potentiomètre) ou bien vers la commande numérique (commande par bouton poussoir). Dans ce cas, les signaux de commandes des thyristors sont décalés selon l'angle de retard choisi. On remarque que quand l'angle de retard augmente, la tension efficace de sortie diminue. En comparant avec les résultats obtenus en théorie, en simulations Matlab (voir Chapitre 1), et en simulations Proteus (voir Chapitre 2), on trouve les mêmes formes, mais il y a un certain nombre de pic au niveau des instants de commutation des thyristors. Ce phénomène est toujours produit puisque le convertisseur et sa commande se sont des systèmes physiques qui ont un certain temps de réponse.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de réalisation de notre plateforme matérielle. Les circuits électrique et imprimé de chaque étage ont été illustrés. Les mesures de la tension et du courant de charge pour différents angles de retard sont aussi présentés. Les allures obtenues dans tous les enregistrements confirment bien la bonne concordance entre 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.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

Le développement de la commande des systèmes par circuit programmables a occupé le domaine de la technologie moderne, ce qui nous a poussé à choisir les microcontrôleurs pic qui sont plus fiables, moins encombrants et peuvent être flashés facilement afin d'assurer plusieurs tâches dans le système .

Le but principal de notre travail concerne l'étude et la réalisation pratique d'une carte de commande pour un gradateur triphasé à thyristors, en respectant l'étude théorique. Ce système devrait permettre l'amorçage des thyristors d'un convertisseur alternatif alternatif, et ainsi servir comme un générateur d'impulsions synchronisés sur le réseau pour le déclenchement des thyristors en question.

- Le premier chapitre est concentré sur la partie théorique, dans la quelle on a présenté un ensemble d'informations théoriques nécessaires pour prendre une vue générale sur ce travail. Ensuite nous avons étudié par simulations matlab les différents montages des gradateurs monophasés et triphases dans le but de mettre une référence de comparaison avec les résultats expérimentaux obtenus par le circuit réalisé.
- Le deuxième chapitre donne une description détaillée du microcontrôleur PIC16F876A et leurs caractéristiques pour faciliter la manipulation avec ses différentes broches On a présenté aussi un organigramme qui explique le fonctionnement de notre carte. En fin les résultats de simulation par Proteus sont illustrés pour chaque mode étudiés qui sont en forte coordination avec les simulations Matlab.
- Dans la dernière partie de ce projet, nous avons présenté les étapes de réalisation de notre plateforme matérielle. La description des modules nécessaires pour la génération des signaux de commande ont été détaillées. Les circuits électrique et imprimé de chaque étage ont été illustrés.

En conclusion, 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. Ce projet de fin d'étude nous a permis de nous enrichir dans les domaines de l'informatique et de la programmation des microcontrôleurs, nous a donné aussi une idée sur la complémentarité entre la théorie et la pratique.

Bibliographié

- [1] Chaki. A. Ghouzroum, A. : 'Conception et Réalisation des Convertisseurs AC/DC à Base du Microcontrôleur PIC16F877A', Université Mohamed boudiaf – m'sila, mémoire de master, 2018.
- [2] Guy, S. Francis, L. Philippe, D. 'Électronique de puissance structures, commande, applications' (10eme ed). Paris, 2015.
- [3] R. Bausière et al, 'Les convertisseurs de l'électronique de puissance: la conversion continu-continu', Vol. 3, 1987.
- [4] BELHAOUCHET ,N. : ' Fonctionnement à Fréquence de Commutation Constante des Convertisseurs de Puissance en Utilisant des Techniques de Commande Avancées',. Universite Ferhat AbbaSs- Setif,2011.
- [5] Francis weinachter,"Electronique de puissance", Maitrise EEA Tronc commun université Henri poincaré, Nancy 1.
- [6] Brahimi, A. Guezouli, H. : 'Etude et réalisation d'une carte de commande à base d'un microcontrôleur PIC 16f877 pour ponts redresseurs triphasés à thyristors', Université de Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen, Mémoire de Master, 2014.
- [7] Pinard, M. : 'Convertisseurs et électronique de puissance : Commande, Description, Mise en oeuvre', Dunod, paris, 2007.
- [8] Guy, S. Francis, L. Philippe, D. 'Électronique de puissance structures, commande, applications' (10eme ed). Paris, 2015.
- [9] Hidri.I ' Support de cours D'électronique de puissance Les convertisseurs AC-DC et AC-AC ', EI2 L2 S1, Technologue à l'ISSET de Nabeul,
- [10] Muhammad Harunur Rashid, 'power electronics, Circuits, Devices and applications,1988 by prentice-Hall. Inc, New Jersey 0763.
- [11] Francis weinachter,"Electronique de puissance", Maitrise EEA Tronc commun université Henri poincaré, Nancy 1.
- [12] MECHAOUF, M : 'Gradateur monophasé et triphasé, modélisation et application', Université Badjimokhtar- Annaba, Mémoire de Master, 2019.

- [13] BELHAOUCHET .N .: ‘Fonctionnement à Fréquence de Commutation Constante des Convertisseurs de Puissance en Utilisant des Techniques de Commande Avancées Application : Amélioration de la Qualité de l’Energie’, Université Ferhat Abbas – Setif, Thèse doctorat,2011.
- [14] 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.
- [15] Microchip. [http ://www.dicodunet.com/de_nitions/materiel/microcontroleur.htm](http://www.dicodunet.com/de_nitions/materiel/microcontroleur.htm)
- [16]Microchip.http://www.mec.ua.pt/activities/graduationprojets/graduationprojetpages/2003-2004/h1/pics/docs/le20pic-16f84_20livre.pdf.
- [17] 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.
- [18] BADRI, M. : ‘Etude et Realisation d’un Variateur De vitesse d’un moteur pas a pas a base de microcontroleur PIC 16F876’,Memoire de fin d’etudes soutenu publiquement a Oum El Bouaghi, juin 2016.
- [19] <http://www.oumnad.123.fr/Microcontroleurs/PIC16F877.pdf>
- [20] MelleOUYAHIA. L, BESSAOU .N, : ‘Conception et Réalisation d’une Carte de Commande d’un Four Electrique à Base d’un Microcontrôleur PIC 16F877-A ,Mémoire de Master. Université Abderrahmane Mira – Bejaia,2013.
- [21] [en ligne].02-05-2014.
- [22] MEDJAHDAOUI .Y, BELKHIRI. :‘Commande à distance d’une pompe, Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 2018.
- [23] NEZLI .S, NEFTIA. A, :‘Réalisation d’une carte de commande de gradateur triphasé, Mémoire de Master. L’Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, 2016.
- [24] <https://www.aurel32.net/elec/lcd.php>.
- [25] EMBOUAZZA ,L, MOSTEFAOUI .I, :‘ Étude, conception et réalisation d’un prototype d’ascenseur commandé à base d’un Microcontrôleur (PIC), Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 2018.
- [26] Rabir .A,:‘Etude et realization d’un frequencemetre numerique a base de microcontroleur PIC16F877, Larbi Ben M’hidi D’oum El Bouaguim ,2016.

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire consiste sur l'étude et la réalisation d'une carte de commande de convertisseur AC/AC à base du microcontrôleur pic16F876A pour la variation de la vitesse des machines à courant alternatif. Cette réalisation possède plusieurs étapes commençant par une étude théorique dans laquelle, on a réuni un ensemble d'information théorique illustrée par une simulation Matlab Simulink-. Puis une étude détaillée sur l'architecture et les caractéristiques du microcontrôleur PIC16F876A, ainsi que la simulation par les logiciels MPLAB, CCS PICC et Proteus. Enfin, une explication des parties essentielles de la réalisation, la fabrication de notre carte électronique, les problèmes rencontrés lors du travail et la prise des résultats expérimentaux. Les tests expérimentaux ont montré des résultats similaires à celle de l'étude théorique et par simulation Proteus et Matlab.

Mots clés : Réalisation, gradateur, Commande, PIC16F876A.

Abstract

The work presented in this thesis consists of the study and the realization of AC / AC converters based on the pic16F876A microcontroller for varying the AC machines speed. 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 PIC16F876A architecture, as well as the simulation by the software MPLAB, CCS PICC and Proteus. The last step is devoted to the practical realization: explanation of the essential parts of the realization, the manufacture of our electronic card, the problems met during the work and the taking of the experimental results. The experimental tests showed similar results to those of the theoretical study and by Matlab and Proteus simulation.

Keywords: Realization, AC voltage control , Control, PIC16F876A.

ملخص

العمل المقدم عبارة عن مذكرة لدراسة و انجاز بطاقة تحكم لمحول(متناوب/متناوب) باستخدام المراقب الدقيق (Pic 16F876A) و ذلك لأجل التحكم في التيار المتناوب لتغيير سرعة الآلات ذات التيار المتناوب .

هذه الدراسة تحتوي على عدة مراحل أولا الدراسة النظرية حيث جمع فيها مجموعة من المعلومات النظرية مدعمة بنتائج متحصل عليها من محاكاة برنامج Matlab – Simulink ثم دراسة مفصلة حول خصائص و هندسة المراقب الدقيق (Pic 16F876A) وأيضا محاكاة باستعمال برنامج CCS PICC,MPLAB و Proteus. وأخيرا شرح الأجزاء الأساسية للمشروع و انجاز البطاقة الالكترونية . المشاكل المعترضة أثناء العمل و اخذ النتائج التجريبية والتي أكدت نتائج مماثلة للدراسة النظرية ونتائج المحاكاة لبرنامج Matlab و Proteus.