



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen



Département de Technologie
Département de Génie Electrique et Electronique

Mémoire de Master

Filière : Electrotechnique

Option : Commande des machines

Présenté par :

BRAHIMI Abdelkrim

et

GUEZOULI Housseyne

**Etude et réalisation d'une carte de commande
à base d'un microcontrôleur PIC 16f877 pour
ponts redresseurs triphasés à thyristors**

Soutenu le 20 octobre 2014 devant la commission d'examen composée de :

Président :	Mr. A. CHERMITI	Professeur	U.A.B - Tlemcen
Encadreur :	Mr. A. MECHERNENE	Maitre de Conférences	U.A.B - Tlemcen
	Mr. S.M. MELIANI	Maitre de Conférences	U.A.B - Tlemcen
Examineur :	Mr. M.C. BENHABIB	Maitre de Conférences	U.A.B - Tlemcen
	Mr. M.A. BRIKCI NIGASSA	Maitre-Assistant	U.A.B - Tlemcen

Année Universitaire : 2013 - 2014

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- à mon père et à ma mère, que dieu les récompense et les garde, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encouragé et de me soutenir toute au long de mon cursus scolaire et universitaire ;
- à mes frère Mohammed, Brahim et Hamza ;
- à toute la famille Brahim ;
- à mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire ;
- à tous les membres de ma promotion du Master Electrotechnique, option "Commande des machines" ;
- à mes chères amis Moustapha et Youcef ;
- à tous mes voisins et mes amis.

Brahimi Abdelkarim

Je dédie ce travail :

- à mon père et à ma mère, que dieu les récompense et les garde, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'encouragé et de me soutenir toute au long de mon cursus scolaire et universitaire ;
- à toute la famille Guezouli ;
- à mes enseignants et spécialement ceux qui sont intervenus dans mon cursus universitaire ;
- à tous les membres de ma promotion du Master Electrotechnique, option "Commande des machines" ;
- à mes chères amis Nouri, Farid, Djamel et Diden.
- à tous mes voisins et mes ami.

Guezouli Housseynes

Remerciements

Avant tout développement, il apparaît opportun de commencer ce mémoire par des remerciements pour **Allah** d'abord et envers ceux qui ont contribué à ce travail.

Nous tenons d'abord à exprimer notre sincère gratitude à nos deux encadreurs : **Mr. Abdelkader Mechernene** et **Mr. Sidi Mohamed Méliani**, tout deux maître de conférences à la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen, qui ont eu la gentillesse d'avoir proposé, suivi et dirigé ce travail ; nous tenons à leur exprimer notre reconnaissance pour les nombreuses discussions que nous avons eues.

Nous souhaitons remercier vivement **Mr. Ali Chermiti**, Professeur à la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen pour nous avoir fait l'honneur d'accepter et de présider le jury de soutenance de notre projet de fin d'étude ; qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère gratitude pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire au titre de membre du jury et pour l'intérêt qu'ils ont témoigné à l'égard de ce travail par leurs enrichissantes remarques et observations à :

- **Mr. Mohamed Choukri Benhabib**, Maître de conférences à la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen.

- **Mr. Mohamed Amine Brickci**, Maître-assistant à la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen.

Nos remerciements vont aussi aux enseignants du département de Génie Electrique et Electronique, à **Mr. Abdelkhalek Bouchentouf**, sans oublier **Mr. Mourad Loucif** pour leur aide et compréhension, ainsi que pour leurs remarques et commentaires durant les phases de conception et d'expérimentation de ce projet.

Nous tenons à remercier aussi tous les enseignants du département de Génie Electrique et Electronique qui nous ont pris en charge durant les années de notre cursus, ainsi que celles et ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail. Enfin nous tenons à remercier l'ensemble du personnel du département de Génie Electrique et Electronique.

Abdelkrim BRAHIMI et Housseynes GUEZOULI
Tlemcen, le 20 octobre 2014

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	v
Introduction générale	1
1 Les convertisseurs statiques AC-DC	3
1.1 Introduction	3
1.2 Généralités et classification des convertisseurs statiques	3
1.3 Interrupteurs de l'électronique de puissance	4
1.3.1 La diode	4
1.3.2 Le thyristor	5
1.3.3 Le thyristor GTO	6
1.3.4 Le transistor bipolaire	7
1.3.5 Le transistor MOSFET	8
1.3.6 Le transistor IGBT	9
1.4 Les redresseurs commandés	9
1.4.1 Les redresseurs monophasés commandés	9
1.4.2 Les redresseurs triphasés commandés	12
1.5 Les redresseurs à MLI	14
1.5.1 Structure générale du redresseur à MLI	14
1.5.2 Principe de fonctionnement des redresseurs à MLI	15
1.5.3 Redresseur à MLI de courant	15
1.5.4 Redresseur à MLI de tension	16
1.6 Conclusion	16
2 Conception des cartes "Commande" et "Interface galvanique"	17
2.1 Introduction	17
2.2 Schéma synoptique du projet	18

2.3	Commande linéaire en "arc cos"	18
2.3.1	Principe de la commande en "arc cos"	18
2.3.2	Synoptique de la commande en "arc cos"	20
2.4	Etude des solutions retenues	21
2.4.1	Image de la tension réseau et détection du passage par zéro . . .	21
2.4.2	Circuit d'amplification et d'isolation galvanique	22
2.4.3	Afficheur LCD	24
2.4.4	Alimentations	25
2.5	Conclusion	27
3	Programmation du microcontrôleur PIC 16f877	28
3.1	Introduction	28
3.2	Les microcontrôleurs	29
3.2.1	Généralités	29
3.2.2	Les avantages du microcontrôleur	29
3.3	Les microcontrôleurs PIC (s)	30
3.3.1	Structure d'un microcontrôleur PIC	30
3.3.2	Le microcontrôleur PIC16F877	30
3.4	Organigramme	32
3.5	Conclusion	34
4	Résultats et problèmes rencontrés	35
4.1	Introduction	35
4.2	Difficultés rencontrées	35
4.3	Aboutissement et résultats obtenus	36
4.4	Tableau du coût estimatif du projet	38
4.5	Conclusion	39
	Conclusion générale	40
	Bibliographie	vii
	Annexe	ix
	Résumé / Abstract	

Table des figures

1.1	Représentation symbolique d'une diode	5
1.2	a : Caractéristique idéale - b : caractéristique réelle	5
1.3	Représentation symbolique d'un thyristor	5
1.4	Caractéristique statique réelle d'un thyristor	6
1.5	Deux symboles différent un peu au niveau de la gâchette	7
1.6	Représentation symbolique des transistors NPN et PNP	8
1.7	Caractéristiques du transistor NPN	8
1.8	Représentation symbolique et caractéristique d'un MOSFET	9
1.9	Représentation symbolique et caractéristique d'un IGBT	9
1.10	Redresseur monophasée simple alternance	10
1.11	Allures des tensions	10
1.12	Redresseurs monophasée double alternance	11
1.13	Allures des tensions	11
1.14	Redresseurs triphasés simple alternance	12
1.15	Allures des tensions	12
1.16	Redresseurs triphasés double alternance	13
1.17	Allures des tensions	13
1.18	Structure de principe d'un redresseur MLI	14
1.19	Redresseur MLI de courant triphasé à deux niveaux	15
1.20	Redresseur à MLI de tension triphasé à deux niveaux	16
2.1	Schéma synoptique du dispositif de commande proposé	18
2.2	Redressement commandé simple alternance	19
2.3	Chronogramme de la tension obtenue aux bornes de la charge	19
2.4	Synoptique général de la commande en "arc cos"	20
2.5	Circuit détecteur de passage par zéro	22
2.6	Etage amplification du courant et d'isolation galvanique	23
2.7	Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères	24
2.8	Schéma d'une alimentation simple $+V_s$	25
2.9	Montage de l'alimentation proposée	27
3.1	Organigramme général de programmation	33

4.1	Photographie du déclencheur terminé	36
4.2	Signal carée du passage par zéro de la tension réseau et le signal du train d'impulsion	37
4.3	d'entrée et de sortie du transformateur d'impulsion	37
A1	Carte de commande (ISIS)	43
A2	Carte d'interface (ISIS)	44
A.3	Routage de la carte d'interface (ARES)	45
A.4	Structure interne d'un microcontrôleur	45
A.5	Schéma bloc d'un PIC	46
A.6	Brochage du 16f877 [10]	46
A.7	Datasheet des PIC (s) 16f87X	47
A.8	Datasheet de l'afficheur LCD	47

Introduction générale

Ce rapport est une description complète des différentes tâches accomplies durant la période de notre projet de fin d'étude. Dans ce mémoire, nous décrivons les principales parties étapes de ce travail qui concerne la réalisation d'une carte à base d'un microcontrôleur de type PIC 16f877 pour une commande numérique dédiée à différents ponts redresseurs triphasés à thyristors.

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

Cahier des charges

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

- un pont redresseur triphasé à trois thyristors ;
- un pont redresseur monophasé à quatre thyristors ;
- un pont redresseur monophasé mixte à deux thyristors et deux diodes (symétrique ou asymétrique) ;
- un montage redresseur monophasé avec transformateur à pont milieu à deux thyristors ;
- un montage redresseur monophasé avec un thyristor.

Nous avons divisé notre projet en deux modules principaux.

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

- Détection des passages par zéro des tensions puis émission d'impulsions pour la commande des thyristors ;
- Choix entre plusieurs modes de fonctionnement ;
- Réglage de l'angle de retard à l'amorçage.

- Affichage sur écran LCD des valeurs de l'angle de retard à l'amorçage.

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

La programmation du microcontrôleur se fera en langage C et devra être simple pour l'utilisateur. Celle-ci devra également être écrite sous forme modulaire.

NB : Les différentes modules seront alimentées par des alimentations continues.

Le cout du projet devra, si possible, être inférieur à 5 000 DA.

Organisation du mémoire

Le présent mémoire contient quatre chapitres décrivant notre projet :

- Le premier chapitre fait l'étude du redressement commandé des différents montages utilisés.
- Le deuxième chapitre aborde l'étude de la partie commande des thyristors.
- Le troisième chapitre décrit la structure du microcontrôleur choisi ainsi que sa programmation.
- Le quatrième chapitre aborde les résultats obtenus

Enfin, une conclusion résume l'ensemble des travaux présentés et des perspectives pour de futurs travaux sont suggérés.

Chapitre 1

Les convertisseurs statiques AC-DC

1.1 Introduction

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

1.2 Généralités et classification des convertisseurs statiques

Les convertisseurs statiques sont des dispositifs à composants électroniques semi-conducteurs capables de modifier la forme et/ou la fréquence d'une onde électrique. Ils sont réalisés à l'aide de circuits électroniques qui permettent la liaison entre deux réseaux électriques parcourus par des courants de natures différentes, cette liaison est obtenue en reliant entre elles, d'une manière déterminée périodique et unidirectionnelle, les bornes des deux réseaux de façon à obtenir la conversion désirée.

On distingue deux types de source :

- les sources de tension continue caractérisée par la valeur U de la tension ;
- les sources de tension alternative définie par les valeurs de la tension efficace et de la fréquence f .

Les interrupteurs électroniques les plus couramment utilisés actuellement dans les convertisseurs statiques sont les diodes, les thyristors, les thyristors GTO, les transistors bipolaires, MOSFET, et IGBT.

Les convertisseurs statiques peuvent être classés de la manière suivante :

- a) **Les redresseurs** : Ce sont des convertisseurs alternatif-continu qui permettent de convertir une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle, si ils sont commandés la valeur moyenne de la tension obtenue est alors réglable.
- b) **Les hacheurs** : Ce sont des convertisseurs continu-continu délivrant une tension continue réglable à partir d'une tension continue de valeur fixe, ils jouent ainsi le rôle de transformateur à courant continu.
- c) **Les onduleurs** : Ce sont des convertisseurs continu-alternatif, ils permettent donc de convertir une tension continue en une tension alternative, on les désigne alors d'onduleurs de tension (ou un courant continu en un courant alternatif, on parle alors de mutateurs).
- d) **Les gradateurs** : Ce sont des convertisseurs alternatif-alternatif, ou variateur de courant alternatif lorsque $f_1=f_2$. Les gradateurs produisent des tensions et des courants alternatifs à partir d'une alimentation alternative sans modifier la fréquence des tensions, ils jouent ainsi le rôle des autotransformateurs abaisseurs réglables.
- e) **Les cyclo-convertisseurs** : Ce sont des convertisseurs alternatif-alternatif (ou convertisseur de fréquence), c'est-à-dire qu'il permet la conversion d'une tension alternative de fréquence f_1 en tension alternative de fréquence f_2 .

1.3 Interrupteurs de l'électronique de puissance

1.3.1 La diode

La diode est un élément redresseur non commandé constitué d'une jonction PN, sa représentation symbolique est donné sur la figure 1.1.

Principe de fonctionnement

Une diode conduit le courant dans le sens anode (A) - cathode (K), tandis qu'elle est bloquée dans l'autre sens. Dans le cas d'une caractéristique parfaite, on suppose que la chute de tension entre (A) et (K) est nulle dans le sens de la conduction et que le courant est nul dans le sens du blocage [1]-[2], comme le montre la figure 1.2.

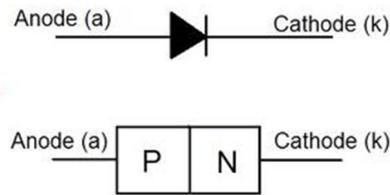


FIGURE 1.1 – Représentation symbolique d’une diode

Caractéristique statique d’une diode

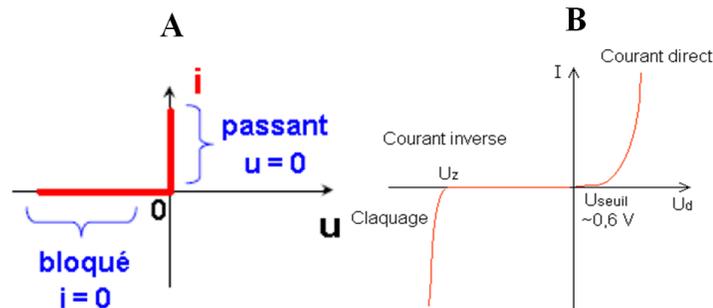


FIGURE 1.2 – a : Caractéristique idéale - b : caractéristique réelle

1.3.2 Le thyristor

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

Mais le thyristor ne conduira que si un courant minimum positif est fourni à la gâchette. En fait, s’il est polarisé en direct ($V_{AK} > 0$), une impulsion positive suffira pour le rendre conducteur. C’est donc une diode commandée et plus spécifiquement un redresseur commandé, d’ou son nom anglais ‘Silicon Controlled Rectifier’ (SCR), ce qui signifie (Redresseur commandé au silicium)[2].

La figure 1.3 donne la représentation symbolique d’un thyristor.



FIGURE 1.3 – Représentation symbolique d’un thyristor

Principe de fonctionnement

Amorçage

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

Blocage

Sous tension inverse, la tension anode cathode notée V_{AK} est négative, la première et la dernière jonctions sont polarisées en inverse et donc bloquées, le courant de fuite a une intensité très faible en raison des différences de dopage entre les couches. C'est la jonction d'anode qui supporte la plus grande partie de la tension inverse.

Pour bloquer un thyristor il suffit de lui imposer une tension V_{AK} négative, alors même une impulsion positive appliquée sur la gâchette ne pourra l'amorcer.

Caractéristique statique

La caractéristique statique réelle d'un thyristor est représenté sur la figure 1.4.

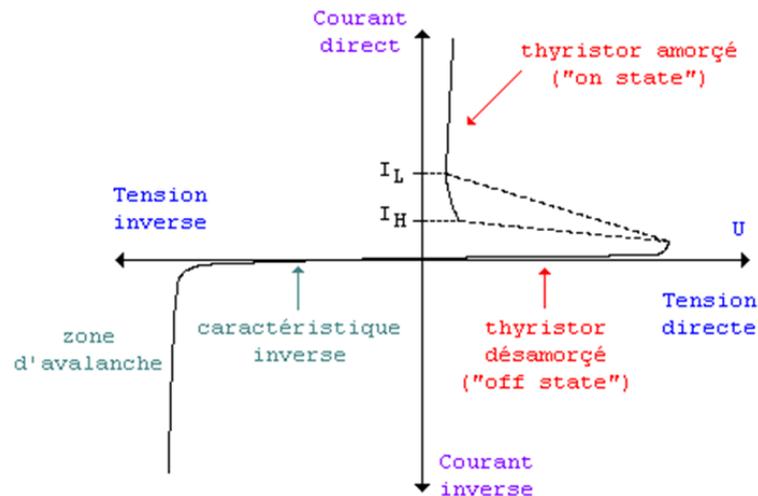


FIGURE 1.4 – Caractéristique statique réelle d'un thyristor

1.3.3 Le thyristor GTO

Le thyristor GTO (Gate Turn Off) est une évolution du thyristor classique qui la propriété de pouvoir être bloqué à l'aide de la gâchette, contrairement aux thyristors classique [3]. Il est utilisé pour les commutations des fortes puissances, avec des tensions de 2500 V, 4500 V, et 6000 V et des courants de 600 A à 6000 A environ [3].

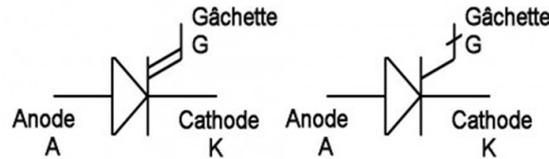


FIGURE 1.5 – Deux symboles différent un peu au niveau de la gâchette

Principe de fonctionnement

Amorçage

Un GTO s'amorce par la gâchette, avec $V_{AK} > 0$ comme pour un thyristor. La commande de l'amorçage par la gâchette doit être énergique et donc le courant de gâchette peut être de quelques ampères. Une fois la conduction amorcée, elle se maintient, et la gâchette doit être alimentée de manière permanente par un courant I_G . Ce courant permet de réduire la chute de tension directe à l'état passant aux bornes du GTO.

Blocage

Le blocage du thyristor GTO peut se faire de deux façons :

- par interruption naturelle du courant principal I_{AK} , ce qui se produit par exemple à chaque alternance s'il est utilisé sous tension alternative ;
- par extraction du courant au niveau du circuit de gâchette, obtenue par application d'une tension négative sur la gâchette, par un circuit appelé "extracteur de charges". En effet, l'application d'une tension négative V_{GK} fait apparaître un courant de gâchette négatif bloquant le GTO.

Cette phase d'extinction forcée doit impérativement être terminée avant de commander à nouveau le passage vers l'état passant, sinon il y a risque de destruction du composant. Il y a donc un temps minimal de blocage (typiquement $100 \mu\text{s}$), ce qui est à l'origine de la limitation en fréquence de commutation du GTO.

1.3.4 Le transistor bipolaire

Un transistor bipolaire est un dispositif électronique à base de semi-conducteur. Son principe de fonctionnement est basé sur deux jonctions PN, l'une en direct et l'autre en inverse. La polarisation de la jonction PN inverse par un faible courant électrique (parfois appelé effet transistor) permet de commander un courant beaucoup plus important, suivant le principe de l'amplification de courant [3].

Caractéristiques du transistor NPN

Pour débloquent (rendre passant) le transistor, il faut que la jonction base-émetteur soit polarisée en direct avec une tension supérieure à la tension de seuil, V_S de cette jonction (figure 1.7.a)[3].

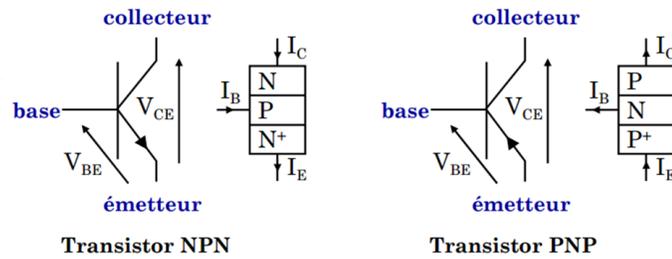


FIGURE 1.6 – Représentation symbolique des transistors NPN et PNP

Si la jonction BC est polarisée en inverse, alors le courant des électrons peut traverser cette jonction, dans ce cas le courant de collecteur I_C est indépendant de la tension collecteur/émetteur V_{CE} (régime linéaire : $(I_C = \beta \cdot I_B)$).

Le basculement entre ces deux fonctionnements se produit à la tension V_{CEsat} (*sat* pour saturation), le courant I_C n'est proportionnel à I_B .(figure 1.7.b) [3].

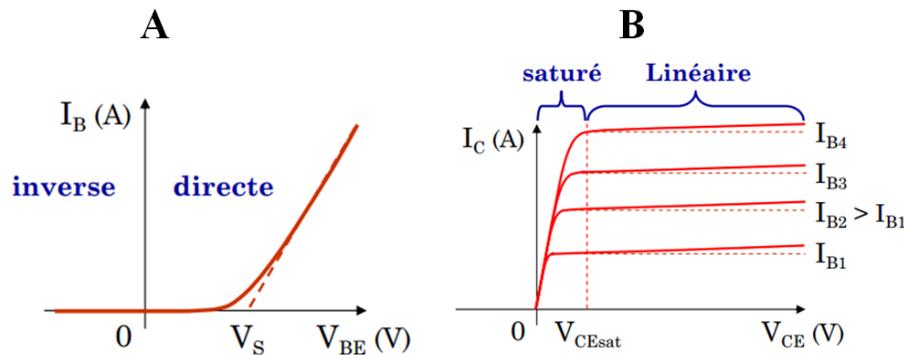


FIGURE 1.7 – Caractéristiques du transistor NPN

1.3.5 Le transistor MOSFET

Les transistors MOS (Métal Oxyde Semi-Conducteur) sont des transistors à effet de champ (Field Effect Transistor), parfois appelés MOSFET.

Ses trois bornes (figure 1.8) sont le drain D, la source S et la grille G qui constitue l'électrode de commande. Celle-ci est isolée du reste du composant par une couche d'oxyde [2].

Principe de fonctionnement

Le transistor MOSFET est commandé par une tension V_{GE} qui lorsqu'elle devient suffisamment grande $V_{GE} > V_{th}$ provoque l'établissement d'un courant entre le drain et la source. Le mode de fonctionnement dépend alors de la tension V_{DS} , donc de la polarisation. Le transistor MOSFET ne consomme pas d'énergie sur son circuit de commande, le courant de gâchette étant nul $I_G = 0$.

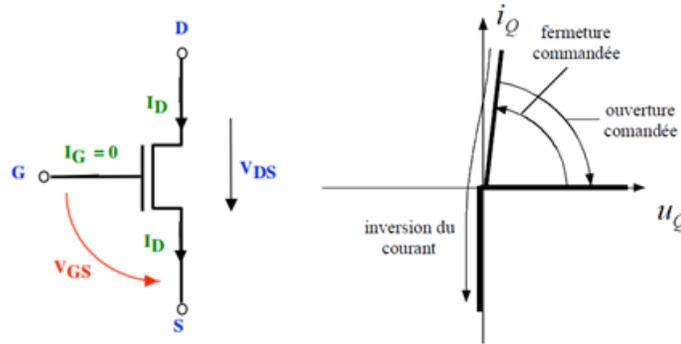


FIGURE 1.8 – Représentation symbolique et caractéristique d'un MOSFET

1.3.6 Le transistor IGBT

Le transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) est un transistor bipolaire à commande par effet de champ. Dans le même composant il réunit les avantages :

- du transistor bipolaire (chute de tension faible à l'état passant, tension directe blocable élevée)
- du transistor MOS (commande en tension, vitesse de commutation élevée).

En effet, coté commande, entre la grille G et l'émetteur E, il équivaut exactement à un MOS ; coté commandé, entre collecteur C et émetteur E, il équivaut sensiblement à un bipolaire à jonction [3].

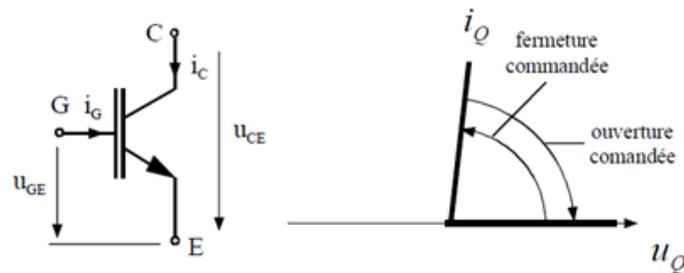


FIGURE 1.9 – Représentation symbolique et caractéristique d'un IGBT

1.4 Les redresseurs commandés

1.4.1 Les redresseurs monophasés commandés

Dans les redresseurs commandés, les diodes sont remplacées par des thyristors pour commander la puissance voulue aux bornes du récepteur.

a) Le redresseur monophasé simple alternance

Le circuit de principe est donné sur la figure 1.10.

Principe de fonctionnement

Pendant l'alternance positive, on amorce le thyristor en injectant une impulsion sur sa gâchette à $\omega t = \alpha$, T1 conduit et l'entrée est repérée à la sortie. Quand la tension d'entrée change de polarité, le thyristor ne se bloque pas directement, l'inductance se décharge à travers celui-ci et le thyristor se bloque dès que le courant d'anode devient inférieur à son courant de maintien [4].

Les formes d'ondes sont données sur la figure 1.11.

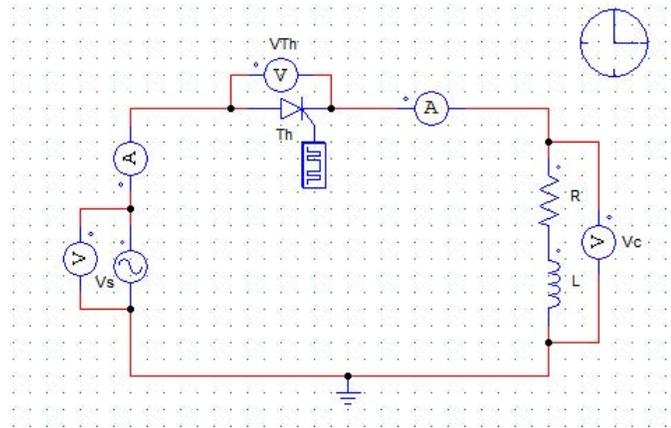


FIGURE 1.10 – Redresseur monophasé simple alternance

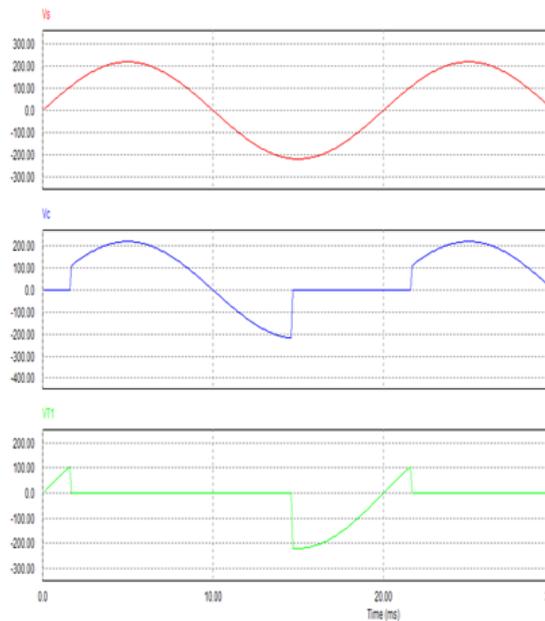


FIGURE 1.11 – Allures des tensions

b) Le redresseur monophasée double alternance tout thyristor

Le circuit de principe est donné sur la figure 1.12.

Principe de fonctionnement

Pendant l'alternance positive, les thyristor T1 et T2 sont amorçés à $\omega t = \alpha$, ainsi la charge est connectée à l'entrée, ces derniers continuent à conduire jusqu'à $\omega t = \pi + \alpha$ et ils se bloquent par l'amorçage de T3 et T4. Le courant de charge est transféré de T1 et T2 vers T3 et t4, d'où la continuité du courant [4].

Les formes d'ondes sont représentées sur la figure 1.13.

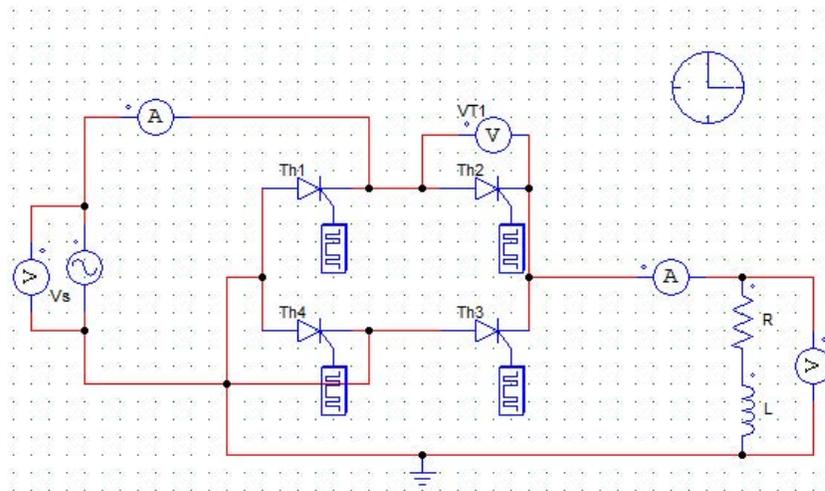


FIGURE 1.12 – Redresseurs monophasée double alternance

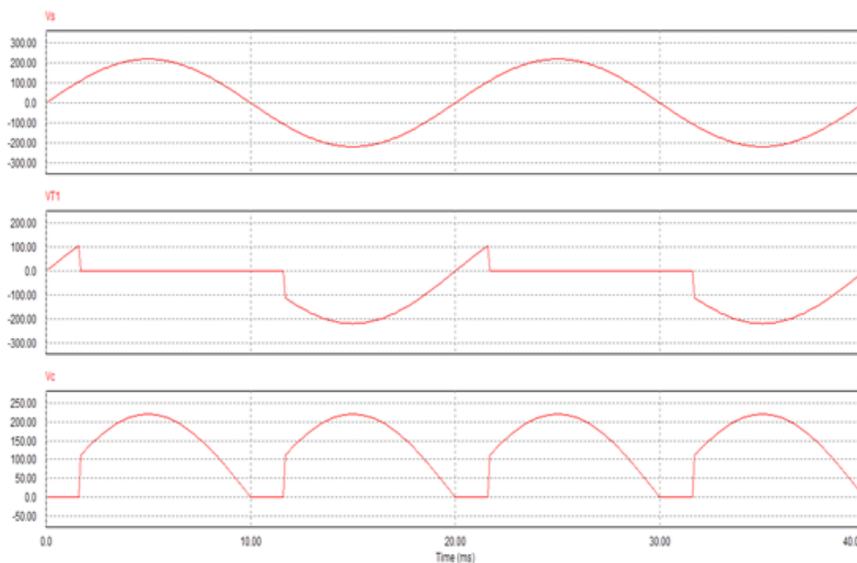


FIGURE 1.13 – Allures des tensions

1.4.2 Les redresseurs triphasés commandés

a) Le redresseur triphasé simple alternance

Le circuit de principe est donné sur la figure 1.14.

Principe de fonctionnement

Les thyristors sont amorçés avec un retard d'angle α , les impulsions sont donc envoyées sur les gâchettes des thyristors respectivement aux angles suivants [5] :

- pour T_1 : $\omega t = (\pi/6 + \alpha) + 2k\pi$
- pour T_2 : $\omega t = (5\pi/6 + \alpha) + 2k\pi$
- pour T_3 : $\omega t = (3\pi/2 + \alpha) + 2k\pi$

Les formes d'ondes sont représentées sur la figure 1.15.

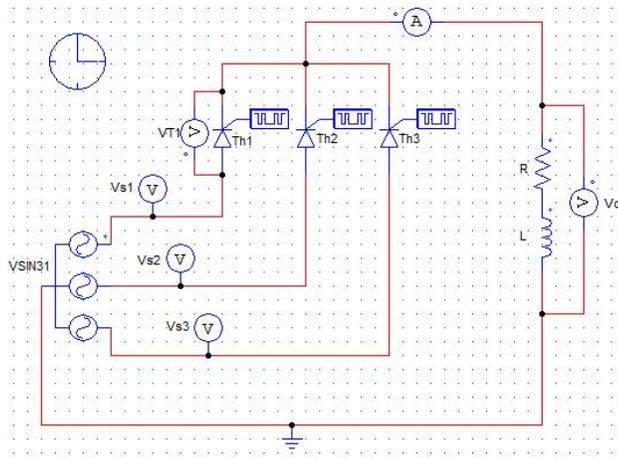


FIGURE 1.14 – Redresseurs triphasés simple alternance

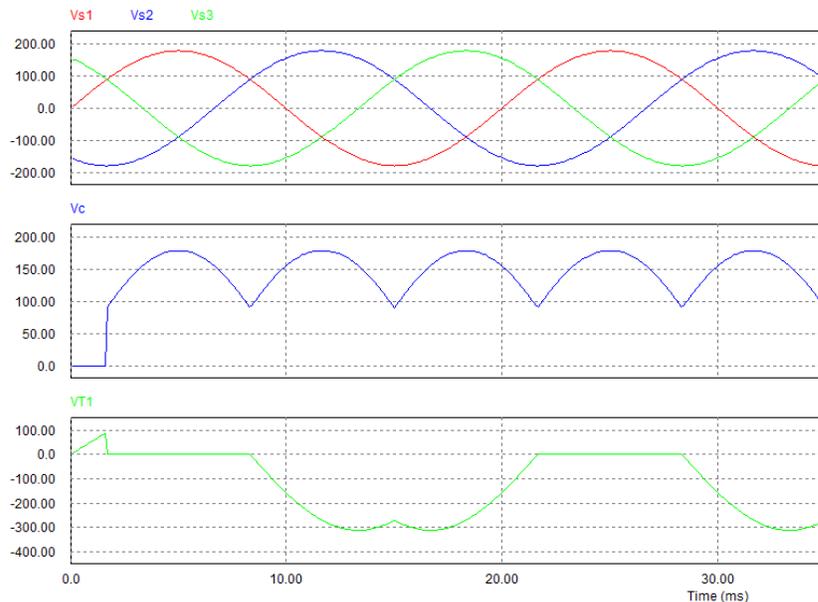


FIGURE 1.15 – Allures des tensions

b) Le redresseur triphasés double alternance tout thyristor

Le circuit de principe est donné sur la figure 1.16.

Principe de fonctionnement

Le pont PD3 à 6 thyristors est alimenté par une source triphasée sinusoïdale équilibrée. Les thyristors fonctionnent avec un retard à l'amorçage d'angle α . Il y a en permanence un et un seul thyristor conducteur parmi T1, T2 et T3 d'une part, et un et un seul parmi T4, T5 et T6 [5].

Les formes d'ondes sont représentées sur la figure 1.17.

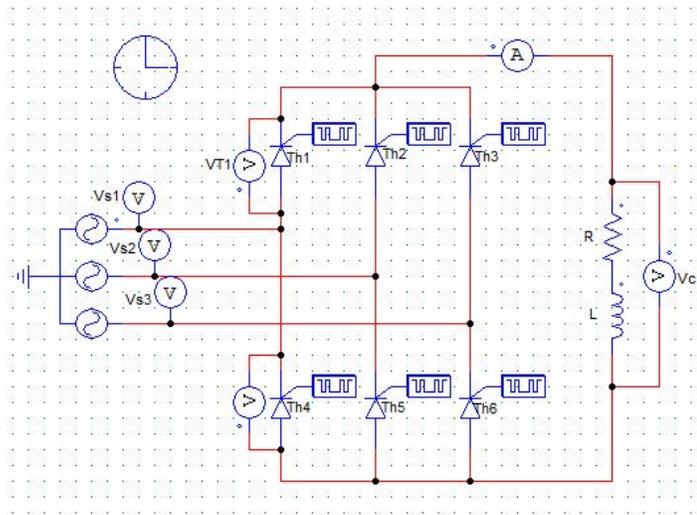


FIGURE 1.16 – Redresseurs triphasés double alternance

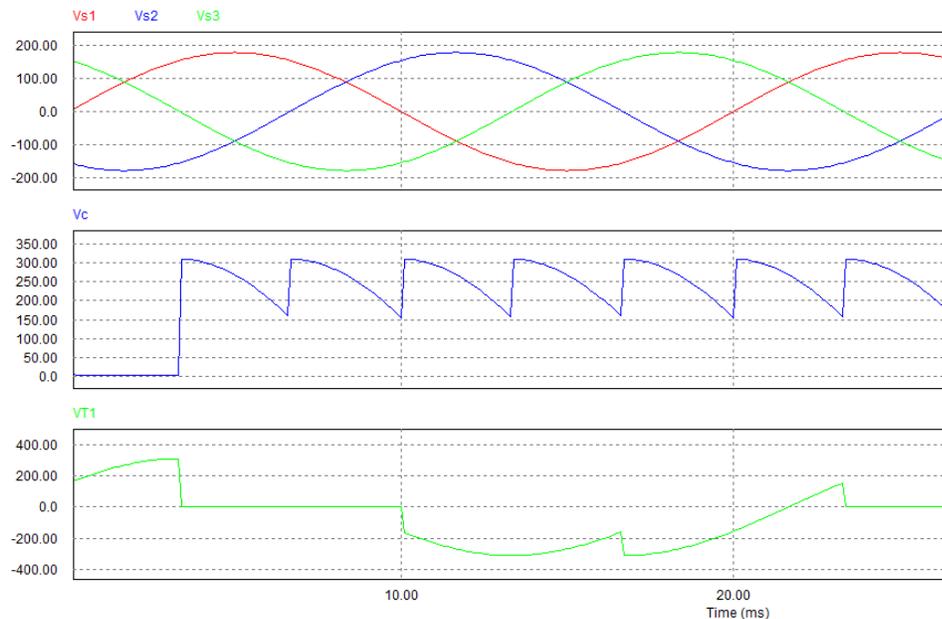


FIGURE 1.17 – Allures des tensions

1.5 Les redresseurs à MLI

Dans le souci de fournir aux consommateurs une bonne qualité de l'énergie électrique, même dans les conditions de fonctionnement les plus perturbées, les redresseurs à MLI sont proposés comme solution avancée de dépollution des réseaux électriques. En effet, les redresseurs à MLI peuvent s'adapter aux évolutions de la charge et du réseau électrique et ceci sans toucher aux installations du fournisseur d'énergie et du consommateur.

1.5.1 Structure générale du redresseur à MLI

La technologie employée consiste à modifier la structure interne du redresseur en remplaçant les thyristors par des interrupteurs entièrement commandables à l'ouverture et à la fermeture. Les transistors MOSFET sont employés pour les moyennes et petites puissances, alors que ce sont les transistors IGBT ou thyristor GTO pour les fortes puissances. Des diodes placées en anti-parallèle sont montées avec ces interrupteurs pour les rendre bi-directionnels [6].

Pour la commande des interrupteurs, on utilise une technique de la modulation de largeur d'impulsion (MLI).

Selon le type de structure utilisé, nous distinguons deux types de redresseurs à MLI :

- les redresseurs à MLI de courant ;
- les redresseurs à MLI de tension.

La figure 1.18 montre le schéma de principe d'un redresseur à MLI.

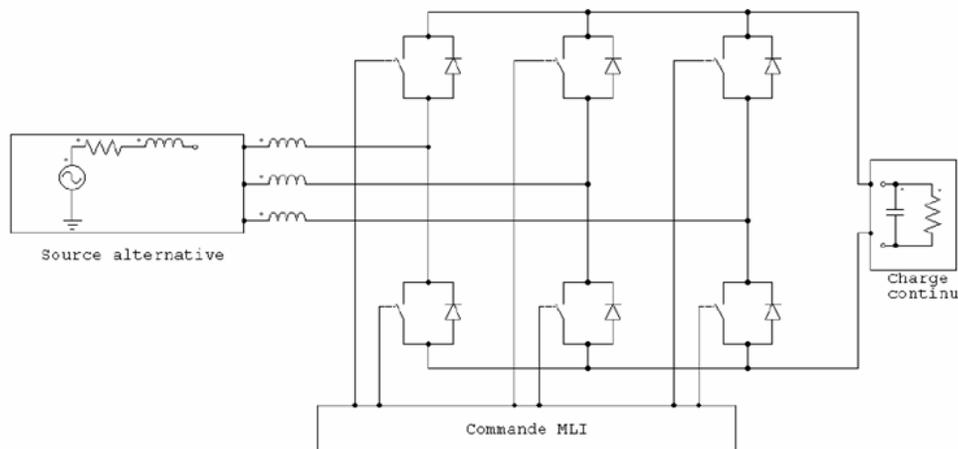


FIGURE 1.18 – Structure de principe d'un redresseur MLI

1.5.2 Principe de fonctionnement des redresseurs à MLI

La réversibilité en courant de l'onduleur MLI de tensions autorise son fonctionnement en redresseur à MLI de courant. Il s'agit alors d'alimenter une charge (passive ou active) en continu à partir d'un réseau alternatif, le courant prélevé sur ce réseau étant sinusoïdal et éventuellement, en phase avec la tension, un facteur de puissance très proche de l'unité est également envisageable avec ce type de redresseur. On peut aussi régler, par le contrôle l'énergie réactive absorbée ou fournie. Toutefois, ce redresseur peut être à structure courant ou à structure tension [6].

1.5.3 Redresseur à MLI de courant

La topologie du redresseur à MLI de courant est illustrée sur la figure 1.19. Le redresseur assure la conversion d'énergie entre une source de tension alternative et un récepteur de courant continu. Les interrupteurs sont unidirectionnels en courant, mais bidirectionnels en tension. L'utilisation des techniques MLI conduit à un courant coté alternatif ayant une pollution harmonique contrôlée.

Cette structure est souvent dotée d'un filtre LC du second ordre du côté alternatif [6].

Dans le fonctionnement en redresseur à MLI de courant, le réseau alternatif impose la valeur de la tension à l'entrée du convertisseur.

Le redresseur MLI de courant ne peut donc fonctionner qu'en élévateur de tension continu.

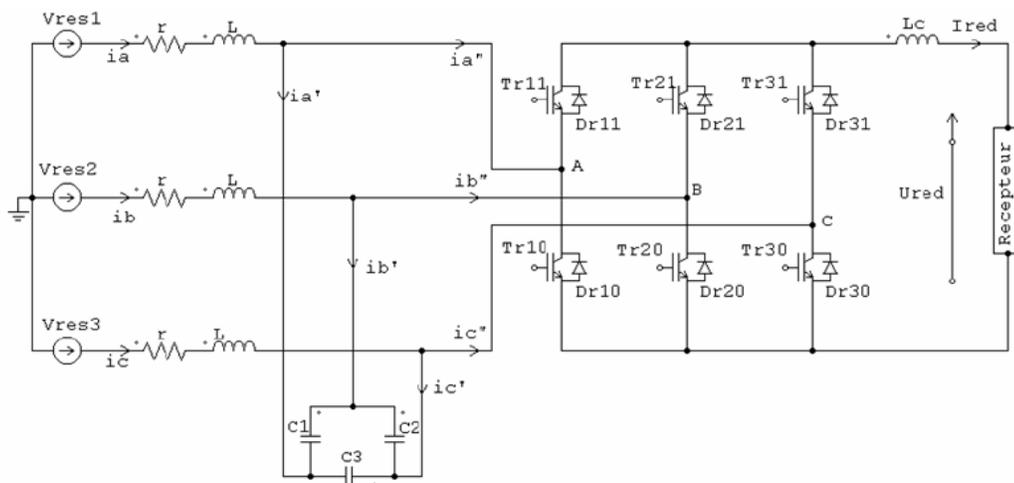


FIGURE 1.19 – Redresseur MLI de courant triphasé à deux niveaux

1.5.4 Redresseur à MLI de tension

Le redresseur à MLI de tension est basé sur une structure d'onduleur de tension représenté sur la figure 1.20. Chaque interrupteur est constitué d'un IGBT (composant commandé à l'amorçage et au blocage) et d'une diode en anti-parallèle. Cet interrupteur est unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant.

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

Ce redresseur à MLI permet d'atteindre un facteur de puissance très proche de l'unité et régler, via la commande, la direction du flux de l'énergie réactive : absorbée ou fournie [6].

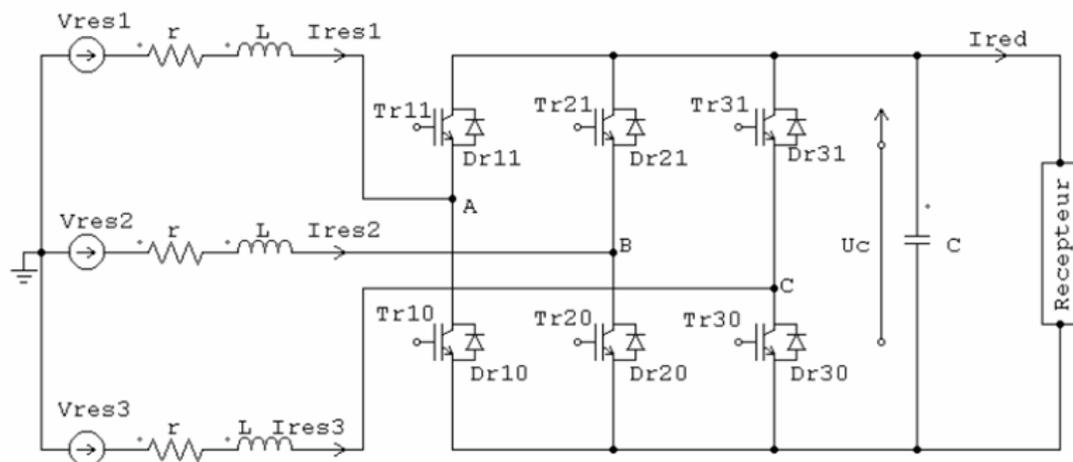


FIGURE 1.20 – Redresseur à MLI de tension triphasé à deux niveaux

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les principaux composants de puissance utilisés actuellement dans le domaine des convertisseurs. Une classification des principaux convertisseurs de puissance nous a été donnée. Enfin, nous avons éré les montages dédiés aux convertisseurs alternatif-continu les plus utilisés en ' électronique de puissance . Le chapitre suivant traite des aspects matériel de notre projet, des différents circuits utilisés et les fonctions respectives qu'ils doivent remplir afin de satisfaire le cahier des charges.

Chapitre 2

Conception des cartes "Commande" et "Interface galvanique"

2.1 Introduction

L'objectif est de réaliser une carte numérique basé sur un microcontrôleur, qui permet l'amorçage des thyristors d'un convertisseur alternatif-continu, et ainsi servir de générateur d'impulsions synchronisés sur le réseau pour le déclenchement des thyristors d'un dispositif redresseur à thyristors.

Nous avons à cet effet privilégié une loi de commande linéaire de type "arc cos". En effet la plupart des convertisseurs alimentés par un réseau à courant alternatif nécessitent des dispositifs de commande synchrones à ce réseau. En particulier, dans les convertisseurs alternatif-continu et alternatif-alternatif, l'élément de puissance est constitué par un ou plusieurs thyristors alimentant une charge à partir du réseau. A titre d'exemple, dans la réalisation d'un asservissement, il est en général souhaitable, sinon indispensable, que la majorité des éléments de la chaîne soient linéaires.

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

Le chapitre présent concerne l'étude et la conception des différents circuits nécessaire à la réalisation de la carte de commande à base du microcontrôleur PIC 16f877 et celle de l'"Interface Amplification/Isolation galvanique", suivant une démarche progressive et en tenant compte des exigences du cahier des charges.

2.2 Schéma synoptique du projet

La figure 2.1 donne le schéma synoptique du dispositif de commande proposé.

Les fonctions qu'ils doit satisfaire sont :

- prendre l'image de la tension du réseau ;
- détecter les passage par zéro de la tension du réseau ;
- déterminer les instants d'amorçage des thyristors et générer les impulsions correspondantes ;
- afficher les valeurs des angles de retard à l'amorçage ;
- adapter les impulsions (amplification) ;
- séparer l'unité de traitement de l'étage de puissance (isolation galvanique).

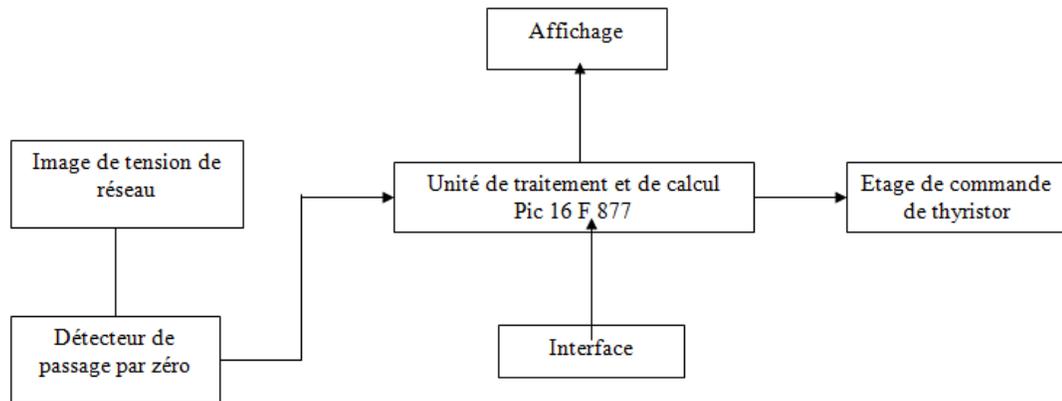


FIGURE 2.1 – Schéma synoptique du dispositif de commande proposé

2.3 Commande linéaire en "arc cos"

Dans un but de clarté, nous présentons ci-dessous le principe de la commande linéaire "arc cos" en s'appuyant sur le cas élémentaire du redresseur contrôlé simple alternance décrit sur la figure 2.2.

2.3.1 Principe de la commande en "arc cos"

Dans le système de la figure 2.2, si la charge est suffisamment inductive, le débit du courant i_0 sera continu (alimentation en tension - récepteur de courant) et la tension v_0 aux bornes de la charge est imposée [7].

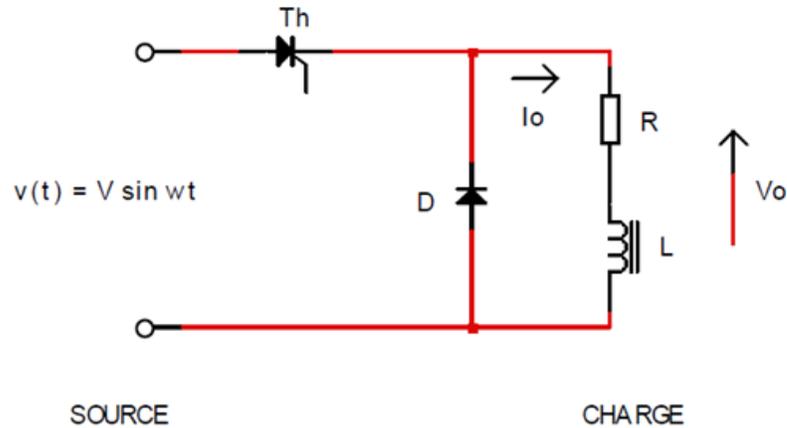


FIGURE 2.2 – Redressement commandé simple alternance

La figure 2.3 représente le chronogramme de la tension v_0 obtenue en sortie aux bornes de la charge.

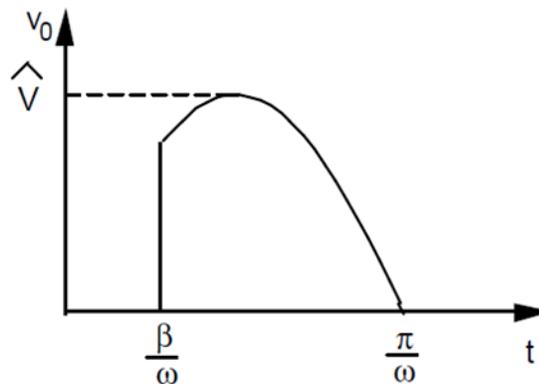


FIGURE 2.3 – Chronogramme de la tension obtenue aux bornes de la charge

Calculons la valeur moyenne V_0 de la tension $v_0(t)$.

$$V_0 = 1/T \int v(t) \cdot \sin \omega t \cdot dt$$

où β est l'angle de retard à l'amorçage qui est nécessairement borné : $\beta \in [0, \pi]$

$$\text{on obtient : } V_0 = (V/2\pi) \cdot (1 + \cos \beta)$$

la valeur moyenne V_0 contient un terme en $\cos \beta$, dans le cas où l'on désire une fonction linéaire de la tension de commande V_c , il faut que :

$$\cos \beta = k \cdot V_c \quad \text{avec} \quad \beta = \arccos k \cdot V_c$$

Cette relation donne le nom de la commande dite en "arc cos" pour laquelle on obtient :

$$V_o = (V/2\pi).(1 + k.V_c)$$

Le bornage de $k.V_c$ est le suivant : $k.V_c \in [1, 1]$.

Ceci permet à la valeur moyenne d'explorer toute la dynamique de réglage de la valeur moyenne V_0 entre 0 et $(V/2\pi)$.

2.3.2 Synoptique de la commande en "arc cos"

Le schéma synoptique du montage permettant une commande linéarisée en "arc cos" est représenté figure 2.4.

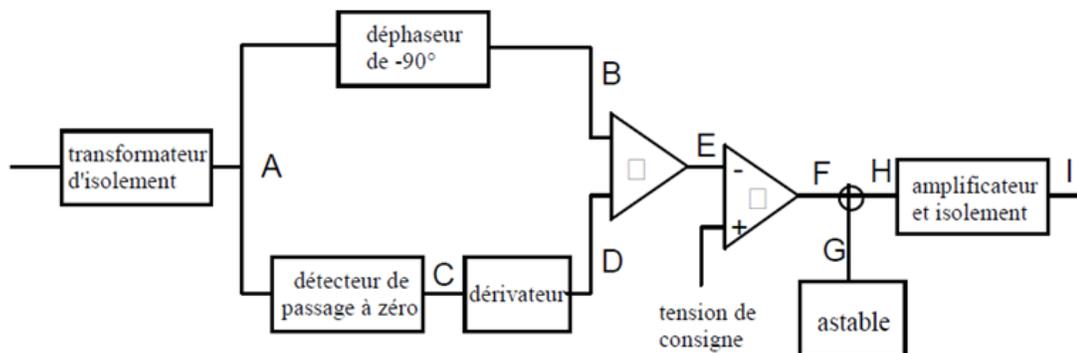


FIGURE 2.4 – Synoptique général de la commande en "arc cos"

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

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

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

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

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

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

- la possibilité de transmission du courant de gâchette par transformateur d'isolement de petite taille,
- la certitude d'un amorçage même sous très faible intensité du circuit de puissance.

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

L'amplificateur d'isolement fournit alors au circuit gâchette -cathode du thyristor de puissance un courant impulsionnel I [7].

2.4 Etude des solutions retenues

2.4.1 Image de la tension réseau et détection du passage par zéro

L'image de la tension du réseau, prélevée par le transformateur d'isolement TR1, sert de référence pour calculer le retard à l'amorçage des thyristors et afin de synchroniser les impulsions générés par le système déclencheur avec la tension du secteur.

La figure 2.5 représente le circuit détecteur de passage par zéro.

Analyse

Le signal sinusoïdal (image de réseau) a été écrêté au moyen des diodes D1 et D2, puis appliqué aux bornes de l'AOP. La résistance R1 a pour rôle de limiter le courant traversant les deux diodes. L'AOP fonctionnant en boucle ouverte, il bascule soit à $+V_{cc}$, soit à $-V_{cc}$, selon que la tension ϵ soit égale, positive ou négative.

En effet :

- si $V_+ > V_-$ alors $V_s = +V_{sat}$
- si $V_+ < V_-$ alors $V_s = -V_{sat}$

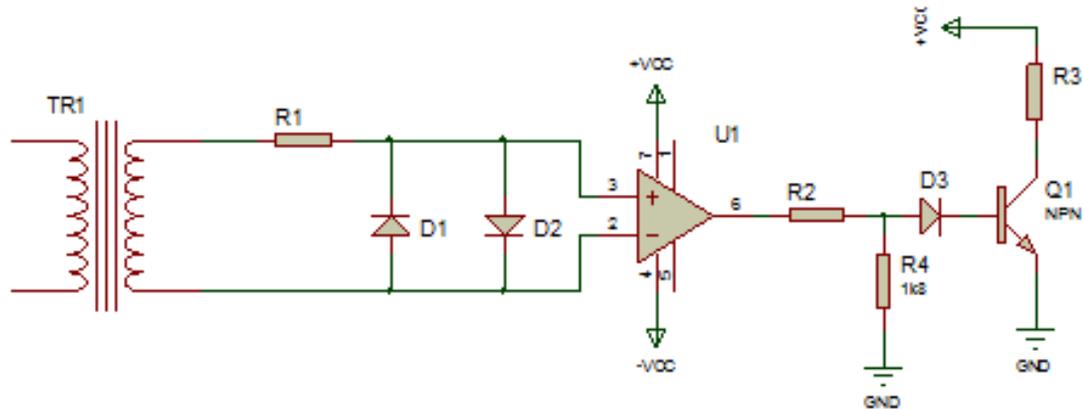


FIGURE 2.5 – Circuit détecteur de passage par zéro

A la sortie du comparateur LM741 nous aurons un signal carré d'amplitude 5 V, donc on va mettre une diode de type 1N4148 pour éliminer la partie négative du signal.

A la sortie de la diode, nous utilisons un transistor de type 2N2222 que nous faisons fonctionner en commutation.

Lorsque V_e est comprise entre -0.6 V et +0.6 V les deux diodes D1 et D2 seront bloquées. Le courant traversant les deux diodes sera nul, si $V_e > 0.6$ V donc D1 sera passante.

Déterminons alors le courant :

Le transformateur utilisé a une puissance $P = 3$ VA.

$$I_{max} = 3/12 = 250 \text{ mA} \quad \text{soit : } I = 20 \text{ mA}$$

$$R_e \geq U/I$$

$$\text{Application numérique : } R_e \geq 12/0,02 = 600 \Omega$$

Nous choisirons : $R = 1K\Omega$

2.4.2 Circuit d'amplification et d'isolation galvanique

La figure 2.6 représente le circuit d'amplification du courant et d'isolation galvanique. Il comporte essentiellement un transistor NPN et un transformateur d'impulsion.

Analyse

Pour protéger l'unité de traitement (PIC 16f877) du mauvais fonctionnement on doit procéder par sa séparation de la partie commande qui va stimuler les thyristors. Pour cette raison on fait recourt à un composant électronique (transformateur d'impulsion).

Etude du montage

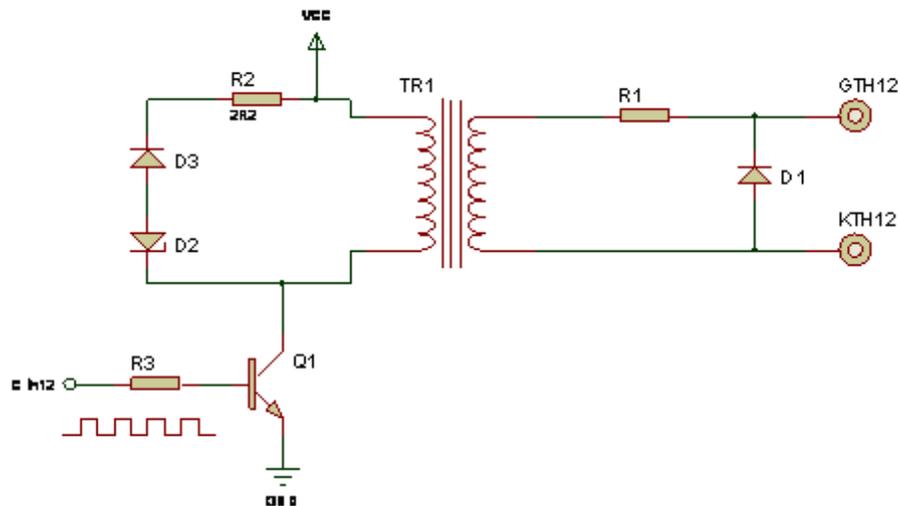


FIGURE 2.6 – Etage amplification du courant et d'isolation galvanique

a) Amplificateur de courant

A la sortie du Pic 16f877, le signal formé d'impulsions (train d'impulsion) n'est pas assez puissant pour pouvoir amorcer le thyristor pour cette raison nous sommes amenés à réaliser un circuit d'amplification de courant, utilisant le transistor bipolaire Q_1 , afin de piloter le thyristor à partir de sa gâchette

Calcul de la résistance de base R_3

$$R_3 = (U - V_{BE})/I_B \quad \text{or} \quad V_{BE}=0,6 \text{ V}$$

$$I_B = I_C/\beta$$

Application numérique : $I_B=150/100=1,5 \text{ mA}$

$$\text{Donc : } R_B \geq (5 - 0.6)/1.5 = 3K\Omega$$

Nous choisirons : $R_B \geq 4,7K\Omega$

b) Transformateur d'impulsion

Les transformateurs d'impulsion 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.

2.4.3 Afficheur LCD

Présentation

Les afficheurs à cristaux liquides sont des modules compacts intelligents et nécessitant peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Un microprocesseur en technologie CMOS diminue considérablement leurs consommation ($<0.1\text{mW}$) ils sont pratiquement seuls à être utilisée sur les appareils à alimentation par piles. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et ne diffèrent les uns des autres, non par leurs dimensions (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristique technique et leurs tensions de service. Certains sont dotés d'un rétro-éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des leds montées derrière l'écran du module, cependant cet éclairage est gourmand en intensité (250 mA max).

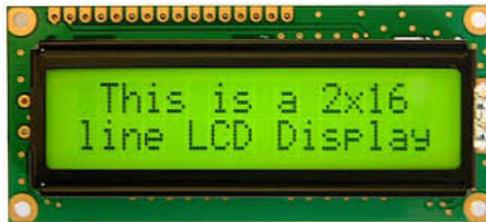


FIGURE 2.7 – Afficheur LCD avec 2 lignes de 16 caractères

Principe de fonctionnement

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres caractères [8].

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

Description

- Connexion de l'afficheur

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

- Utilisation des ports pour envoyer une instruction

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

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

- La commande

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

Le programme n'est ni gourmand en taille mémoire (moins de 270 instructions, en comptant les timers), ni en RAM.

L'exécution est préalablement plus longue mais le coût de l'affichage se fait à temps court.

2.4.4 Alimentations

On désire réaliser une alimentation stabilisée pour alimenter d'une part la carte de commande en +5 Volts continu, et d'autre part une alimentation symétrique de +5/-5 Volts pour polariser les amplificateurs opérationnels.

Le montage représenté sur la figure 2.8 montre le schéma de principe d'une alimentation positive devant délivrer une tension V_s .

Ce circuit comporte :

- un transformateur ;
- un pont de diode ;
- un condensateur de filtrage ;
- un régulateur intégré.

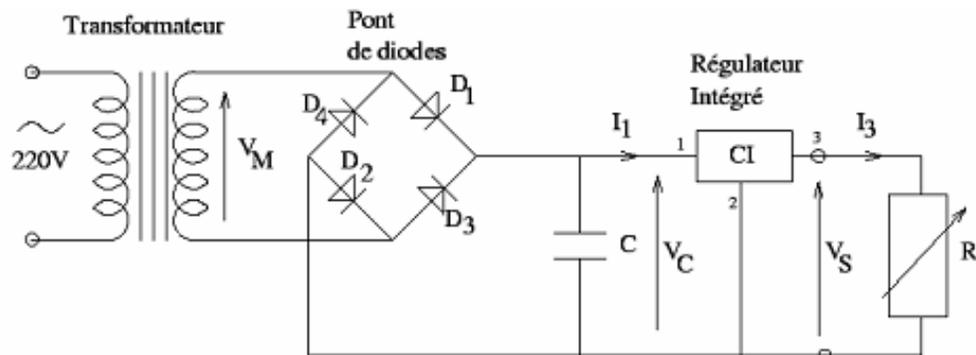


FIGURE 2.8 – Schéma d'une alimentation simple $+V_s$

Fonctionnement du montage

Le transformateur génère une tension sinusoïdale d'amplitude V_M et de fréquence $f=50\text{Hz}$ (fréquence de secteur). Cette tension est redressée sur deux alternances par le pont de diodes. L'association pont de diodes-capacité forme un détecteur de crête. En absence de charge R , la tension aux bornes de la capacité est continue et égale à $V_M - 2.V_d$.

Le régulateur est un circuit intégré qui génère une tension constante entre ses broches 2 et 3 lorsque la tension entre ses bornes 2 et 3 est supérieure à un seuil noté V_T .

De plus, le courant sortant de la broche 2 est négligeable. Le courant débité par le circuit provient donc de son entrée 1 soit $I_1 = I_3$. En charge, le courant débité par le CI va venir décharger la capacité C , le courant de décharge est $I_3 = V_S/R$ et il reste constant tant que la tension V_c aux bornes du condensateur reste supérieur a la tension seuil V_T du régulateur.

Pour un fonctionnement normal du montage, il faut que quelque soit la charge, la tension aux bornes de la capacité soit supérieur à la tension de seuil du régulateur.

Choix des différents éléments

1. Choix du régulateur

Ce choix se fait à partir de la tension désiré et du courant I_{max} .

2. Choix du transformateur

Deux points sont à prendre en considération lors d'un choix du transformateur, la puissance qu'il doit fournir et son rapport de transformation m .

3. Choix de la capacité C

Pour : $V_S=5\text{ V}$ et $I_{max}=0.25\text{ A}$, on a $C_{min}=152\mu F$

On prendra la valeur normalisée $2200\mu F$

4. Choix du pont de diodes

A l'instant proche de t_2 , les diodes du pont se débloquent et il apparaît alors un pic de courant limitée par la résistance de sortie du transformateur. Le calcul de ce PIC est complexe, aussi on choisi en général, un pont de diode pouvant débiter un courant égale à 5 fois le courant I_{max} .

Circuit de l'alimentation proposé

L'alimentation des amplificateurs opérationnels (LM741) ce fait à l'aide d'une alimentation stabilisée délivrant une tension double et symétrique de valeus $+5\text{ V}/-5\text{ V}$. En se basant sur l'étude précédente nous avons choisi le montage représenté sur la figure 2.9, qui comporte deux régulateur, l'un délivrant $+5\text{ V}$ (L7805) et l'autre -5 V (L7905).

L'alimentation de la carte de commande sera ainsi prise sur la sortie +5 V.
Des condensateurs de filtrage seront ajoutés en entrée et en sortie des régulateurs.

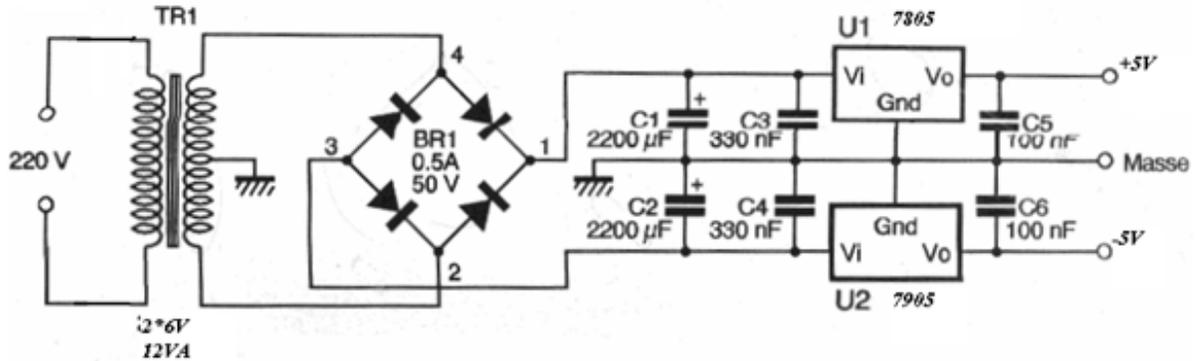


FIGURE 2.9 – Montage de l'alimentation proposée

2.5 Conclusion

Nous avons traité dans ce chapitre l'aspect matériel de notre projet. Aussi les différents circuits utilisés ont été présentés et étudiés. Le prochain chapitre est consacré à la présentation des microcontrôleurs PIC de la société MICROCHIP, et particulièrement le PIC 16f877, que nous avons utilisé pour réaliser les fonctions de la carte de commande.

Chapitre 3

Programmation du microcontrôleur PIC 16f877

3.1 Introduction

Ce chapitre est présente brièvement l'architecture générale et les caractéristiques du microcontrôleur PIC 16f877 de la société MICROCHIP et à sa programmation. En fin de chapitre, un organigramme général pour la programmation de la carte de commande, ce dernier pourra servir pour générer les codes correspondant aux différents montages redresseurs envisagés, aussi bien en langage *C* que *Pascal* par exemple.

Dans notre projet ce composant programable sert d'unité de traitement et de calcul.

Le choix du microcontrôleur : Pourquoi le PIC 16f877

Le choix d'un microcontrôleur est primordial car c'est de lui que dépendront en grande partie les performances, la taille et la facilité d'utilisation de l'application envisagée. En fait ce choix est imposé dans le cahier de charge. La société Microchip offre une vaste gamme de microcontrôleur. Afin de choisir un PIC adéquat à notre projet, nous avons pensée à l'utilisation du PIC 16f877, qui a un nombre de ports entré/sortie suffisant. Il possède 40 broches et une mémoire de programme de type flash de 8 Ko, une fréquence de 20 MHz, ce qui dans notre cas est largement suffisant.

De plus le PIC 16f877 possède un jeu instructions puissant, et permet donc le développement de programme simple et réduit. Les PIC 16f873 et PIC 16f874 présentent que peu d'intérêt par rapport au 16f877, en effet ils possèdent moins de mémoires de programme et sont commercialisé à peu près au même prix. Tandis que le célèbre PIC 16f84 est aujourd'hui obsolète, et ne présente plus qu'un intérêt pédagogique.

3.2 Les microcontrôleurs

3.2.1 Généralités

Un microcontrôleur se présente comme étant une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, à savoir microprocesseur, des mémoires et des périphériques (ports, timers, convertisseurs). Chaque fabricant a sa ou ses familles de microcontrôleur. Une famille se caractérise par un noyau commun (le microprocesseur, le jeu d'instruction). Ainsi les fabricants peuvent présenter un grand nombre de pins qui s'adaptent plus au moins à certaines tâches. Mais un programmeur connaissant une famille n'a pas besoin d'apprendre à utiliser chaque membre, il lui faut connaître juste ces différences par rapport au père de la famille. Ces différences sont souvent, la taille des mémoires, la présence ou l'absence des périphériques et leurs nombres.

3.2.2 Les avantages du microcontrôleur

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

Nous allons voir que nombre d'entre eux découle du simple sens.

- Tout d'abord, un microcontrôleur intègre dans un seul et même boîtier ce qui, avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement en matériel et du circuit imprimé.
- Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresses et de donnée d'un composant à un autre.
- L'augmentation de la fiabilité du système puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimés diminue.
- Réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.

3.3 Les microcontrôleurs PIC (s)

3.3.1 Structure d'un microcontrôleur PIC

Les microcontrôleurs PIC, au même titre que les microprocesseurs, sont composés essentiellement de registres ayant chacun une fonction bien définie. Les PIC possèdent également des périphériques intégrés, tels qu'une mémoire EEPROM, un timer, des ports d'entrées/ sorties ou bien encore un convertisseur analogique/numérique [9].

Selon le type de PIC utilisé, on retrouvera en interne un certain nombre de registres et périphériques possédant des caractéristiques différentes. Les différences de caractéristiques selon le PIC utilisé sont :

- La taille de la RAM interne ;
- La mémoire EEPROM intégrée ;
- Le type de mémoire programme : FLASH ou EPROM et la taille de celle-ci ;
- Le timer intégré ;
- Les convertisseurs analogique/numérique intégrés.

3.3.2 Le microcontrôleur PIC16F877

Nous allons maintenant s'intéresser à la structure interne du PIC 16F877, avec lequel nous avons travaillé.

Le 16F877 est un microcontrôleur de MICROCHIP, fait partie intégrante de la famille des Mid Range dont la mémoire programme est capable d'accepter une fréquence d'horloge maximale de 20 Mhz [9].

Caractéristiques générales

Les particularités électriques

On constate que sur le schéma concernant le 16F877, on a deux connexions 'VSS' qui sont reliées à la masse. En fait, en interne, ces pins sont interconnectés. La présence de ces 2 pins s'explique pour une raison de dissipation thermique. Les courants véhiculés dans le PIC sont loin d'être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles.

1. Le timer

Un timer est un registre interne au micro contrôleur, celui-ci s'incrémente au grès d'un horloge, ce registre peut servir par exemple pour réaliser des temporisations, ou bien encore pour faire du comptage (par l'intermédiaire d'une broche spécifique : RA4/TOKI). Le PIC 16F876 possède trois timers sur 8 bits (il compte jusqu'à 256) configurable par logiciel.

2. Les ports entrée/sortie

On dispose de 33 broches d'entrées/sorties, chacune configurable soit en entrée soit en sortie (PORTA, PORTB, PORTC, PORTD, PORTE).

Un registre interne au PIC, nommé TRIS, permet de définir le sens de chaque broche d'un port d'entrées/sorties. En règle générale, un bit positionné à '0' dans le registre TRIS donnera une configuration en sortie pour la broche concernée; si ce bit est positionné à '1', ce sera une broche d'entrée.

a) Particularités du port A

Le 16F877 dispose de 5 canaux d'entrée analogique. Nous pouvons donc échantillonner successivement jusque 5 signaux différents avec ce composant. Les pins utilis sont les pins AN0 à AN4 (qui sont en fait les dénominations analogiques des pins RA0 à RA3 + RA5).

On peut noter également que les pins ANx sont des pins d'entrée. Il n'est donc pas question d'espérer leur faire sortir une tension analogique. Ceci nécessiterait un convertisseur numérique/analogique dont n'est pas pourvu notre PIC.

b) Particularités du port B

Hors de sa fonction principale autant que ports d'entrées /sorties, on note la pin RB0 qui, en configuration d'entrée, est de type "trigger de Schmitt" quand elle est utilisée en mode interruption "INT"; La lecture simple de RB0 se fait, elle, de façon tout à fait classique, en entrée de type TTL. Encore il y a (RB3-RB6-RB7) qui peuvent servir dans la programmation (en mode LVP) en cas d'absence de programmeur commercial.

c) Particularités du port C

C'est un port tout ce qu'il y a de plus classique, Or qu'il a deux pins qu'on utilisera plus tard dans la communication série avec le PC à travers (TX et RX) (pin17 et 18).

d) Particularités du port D

Un fois de plus, ce port fonctionne de façon identique aux autres, dans son mode de fonctionnement général.

Le registre TRISD comportera donc les 8 bits de direction.

e) Particularités du port E :

Ce port ne comporte que 3pins, RE0 à RE2, contrairement aux autres ports, les bits non concernés de TRISE sont implantés pour d'autres fonctions

3. L'oscillateur

L'horloge système peut être réalisée soit avec un quartz (a), soit avec une horloge extérieure (b), soit avec un circuit RC(c). Dans ce dernier cas, la stabilité du montage est limitée.

La fréquence maximale d'utilisation va dépendre du microcon-trôleur utilisé. Le suffixe indiqué sur le boîtier donne la nature de l'horloge à utiliser et sa fréquence maximale.

4. La broche MCLR

La broche MCLR permet de réaliser un Reset du circuit quand elle est placée à 0 Volt.

5. RESET

Cette broche sert à initialisé le microcontrôleur. Ce dernier dispose en interne d'un circuit de détection de niveau quand la tension Vdd est comprise entre 11,2 V et 1,7 V il démarre une procédure d'initialisation.

Cette broche peut être seulement reliée à Vdd si on n'a pas besoin de reset externe. Par contre si on souhaite implanter un bouton de remise à zéro on pourra câbler un simple réseau RC sur la broche MCLR.

3.4 Organigramme

La figure 3.1 représente un organigramme général pour la programmation de la carte de commande. Il pourra servir pour générer les codes correspondant aux différents montages redresseurs envisagés, tels que les redresseurs monophasés ou triphasés selon le besoin. Cette programmation pourra être effectué en langage assembleur, cependant l'emploi des langages *C* ou même *Pascal* sera plus commode.

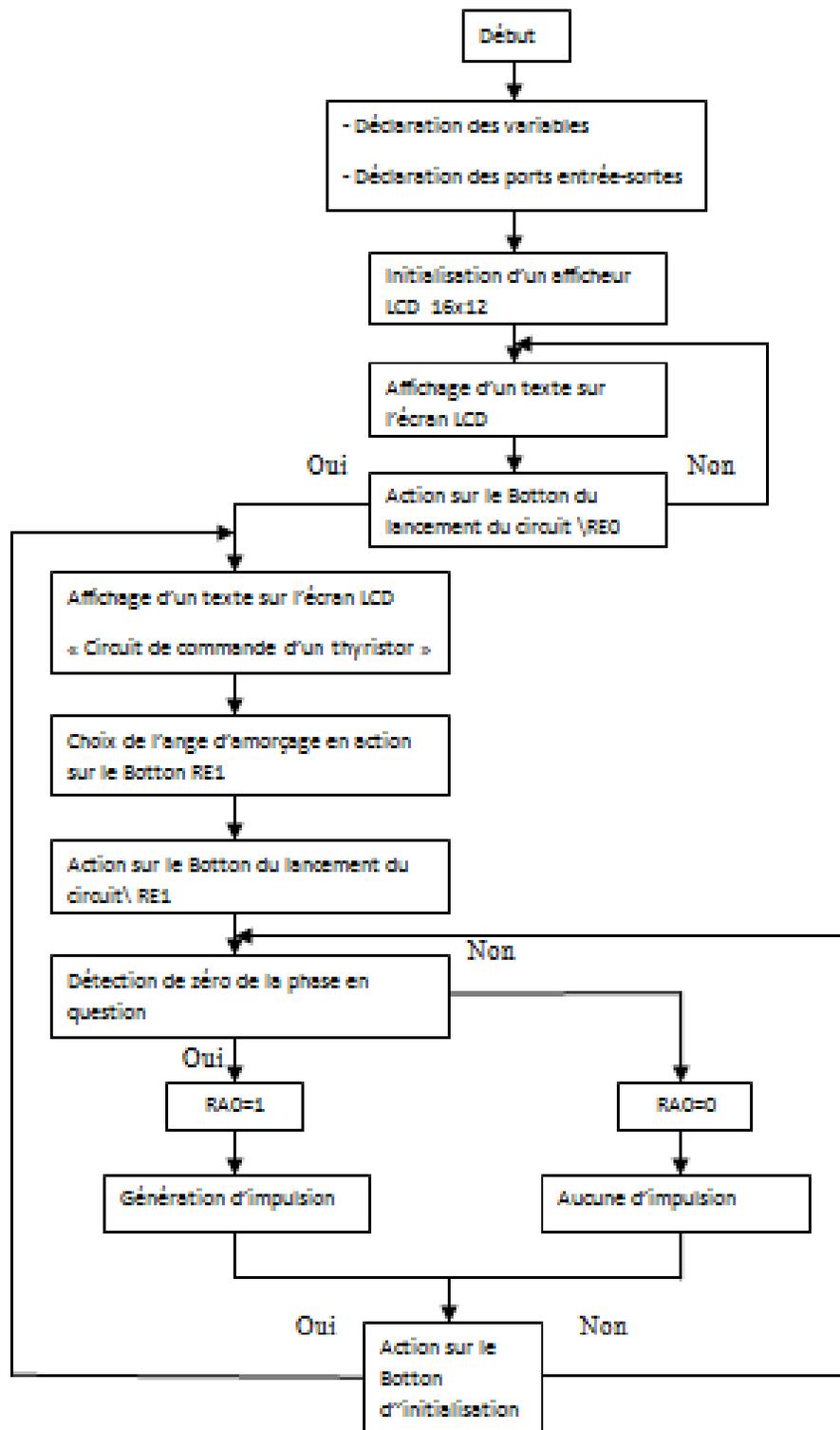


FIGURE 3.1 – Organigramme général de programmation

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentée l'architecture et les caractéristiques du microcontrôleur PIC 16f877 et un organigramme général pour la programmation de la carte de commande. Ce nous a permis de nous familiariser avec la programmation de ce type de microcontrôleur et d'exploiter ce composant d'une manière correcte.

Chapitre 4

Résultats et problèmes rencontrés

4.1 Introduction

Ce dernier chapitre concerne la phase finale dans la réalisation du prototype de ce projet. Nous y abordons les difficultés que nous avons rencontrées. Nous y présentons également quelques résultats expérimentaux afin de valider les performances du déclencheur réalisé.

4.2 Difficultés rencontrées

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

- Nous avons rencontré des difficultés pour trouver la documentation de l'afficheur LCD disponible au magasin de la faculté, et en particulier son plan de brochage.
- La programmation du même composant, nous a aussi causé quelques problèmes que nous avons pu résoudre avec le temps et quelques recherches.
- Certains composants n'étaient pas disponibles dans le magasin de la faculté, par exemple les transformateurs d'impulsion, de ce fait nous les avons achetés dans le commerce. Pour cette raison dans une suite de ce projet, il serait intéressant de réaliser l'isolation galvanique à l'aide de photo-coupleurs par exemple.
- Lors de la réalisation des circuits imprimés, nous avons obtenus des cartes avec des ruptures ou des fissures de piste, et par conséquent nous avons été dans l'obligation de les refaire plusieurs fois.

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

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

4.3 Aboutissement et résultats obtenus

Malgré les problèmes rencontrés, notre projet a abouti en respectant le cahier des charges, comme le montre les résultats ci-dessous exposés.



FIGURE 4.1 – Photographie du déclencheur terminé

Signaux obtenus

Nous avons obtenus différents signaux pour un angle de retard à l'amorçage $\alpha = 90^\circ$.

- Figure 4.2 : Signal carée indiquant le passage par zéro de la tension du réseau et le signal montrant le train d'impulsion.
- Figures 4.3 : Signal d'entrée et de sortie du transformateur d'impulsion.

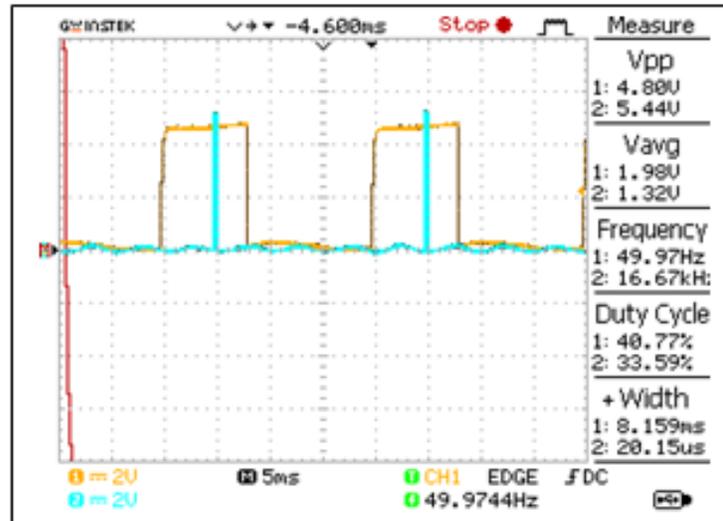


FIGURE 4.2 – Signal carée du passage par zéro de la tension réseau et le signal du train d'impulsion

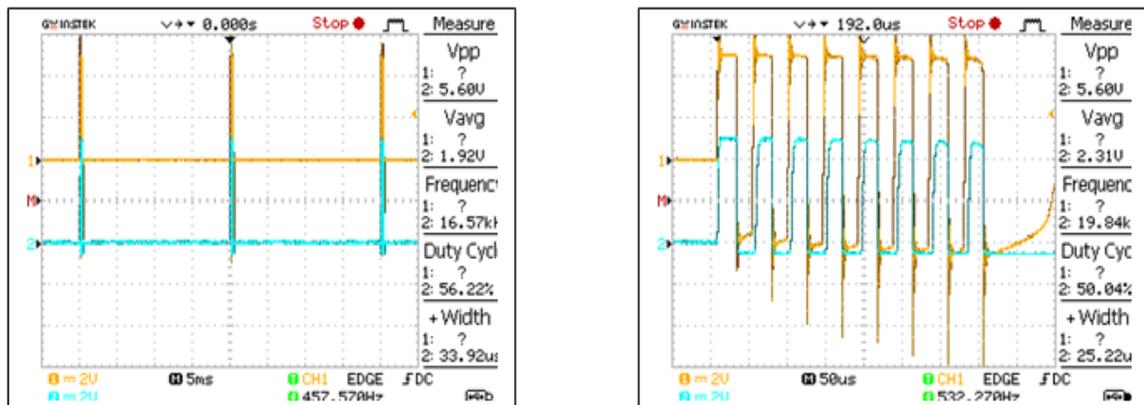


FIGURE 4.3 – d'entrée et de sortie du transformateur d'impulsion

Remarque

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

4.4 Tableau du coût estimatif du projet

Pour cloturer ce travail, nous avons fait une étude afin de déterminer le coût estimatif du projet. Tous les prix des composants sont donnés dans le tableau 4.1.

Composants	Prix unitaire(DA)	Quantité	Prix total(DA)
Résistance 1K Ω	3	8	24
Résistance 2,2K Ω	3	3	9
Résistance 4,7K Ω	3	3	9
Résistance 10K Ω	3	13	39
Résistance 100K Ω	3	3	9
Résistance variable	10	1	10
Condensateur 2200 μ F	35	2	70
Condensateur 1nF	5	4	20
Condensateur 1 μ F	5	1	5
Diode 1N4148	2	10	20
Diode 1N4007	8	12	96
Diode zéner 6,3V	10	6	60
Diode-LED rouge	5	2	10
PIC 16f877	750	1	750
L7805CV	35	1	35
L7905CV	45	1	45
LM741	50	3	150
Transistor 2N2222	20	9	180
Afficheur LCD	1 100	1	1 100
Oscillateur quartz 4MHz	70	1	70
Bornier 2 broches	5	12	60
Connecteur -H20	10	1	10
Transformateurs 220V/2x12V	600	1	600

Total = 3 387 DA

TABLEAU 4.1 – Coût estimatif en Dinars (DA)

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous abordons les difficultés que nous avons rencontrées lors de cette période de réalisation de notre projet. Des résultats expérimentaux montrent des performances du déclencheur et son bon fonctionnement. Les résultats obtenus sont très satisfaisants et conforme au cahier des charges imposé.

Conclusion générale

Le but principal de notre travail concernait l'étude et la réalisation pratique d'un déclencheur à base d'un microcontrôleur PIC 16f877 pour ponts redresseurs triphasés à thyristors, en respectant un cahier des charge imposé. Ce système devant permettre l'amorçage des thyristors d'un convertisseur alternatif-continu, et ainsi servir de générateur d'impulsions synchronisés sur le réseau pour le déclenchement des thyristors pour divers redresseurs monophasés ou triphasés.

- Le premier chapitre passe en revue les différents montages utilisés dans les convertisseurs alternatif-continu commandés.
- Le deuxième chapitre donne une description détaillée de la partie commande des thyristors avec les différents étage la constituant.
- Le troisième chapitre décrit la structure du microcontrôleur choisi ainsi que sa programmation. Ensuite un algorithme général pour la programmation de la carte de commande pour les différents redresseurs monophasé ou triphasé à thyristors.
- Le quatrième chapitre est consacré aux difficultés rencontrées et expose quelques résultats expérimentaux obtenus validant le bon fonctionnement.

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

- Le remplacement des transformateurs d'impulsion réalisant l'isolation galvanique par des photo-coupleurs.
- La réalisation des différentes cartes redresseurs monophasés et triphasés de puissances à thyristors.
- Le développement des programmes en langage *C* concernant les différents redresseurs.
- L'intégration du déclencheur réalisée dans une commande numérique de vitesse ou de position pour un moteur à courant continu, avec les boucles de régulation correspondante.

En conclusion à titre personnel, ce projet de fin d'étude nous a permis de nous enrichir dans les domaines de l'informatique et de la programmation des microcontrôleurs en découvrant des logiciels tels que "PROTEUS" (ISIS et ARES), MPLAB, et le traitement de texte LATEX.

Ce projet a également été une source de découverte dans la conduite de projet, il nous a donné une idée sur la complémentarité entre la théorie et la pratique et nous a permis de nous confronter à la réalité et aux difficultés de la pratique.

Bibliographie

- [1] Cyril W. LANDER. Electronique de puissance, Mc-Graw Hill, 1989.
- [2] Guy SÉGUIER. Electronique de puissance, 8ème édition, Dunod, 2004.
- [3] Hervé LABORNE. Convertisseurs assistés par un réseau alternatif (Tome 1 et 2), Eyrolles, 1989-1992.
- [4] Guy SÉGUIER. Les Convertisseurs de l'électronique de puissance, Dunod, 2004.
- [5] Goumat BAYA. Etude harmonique des convertisseurs de puissance, 1995.
- [6] Nouri BELHOUCHE. Fonctionnement à fréquence en utilisant des technique com-mand avancées, 2011.
- [7] J. REDOUTEY. Circuit de commande en electronique de puissance.
- [8] SperkFun Eleectronique : Datasheet du LCD
- [9] Besekhria LEMBAREK, Nadir MAATAR. Conception d'une carte de commande de la machine a courant continu par un microcontroleur PIC 16f877a, 2009.
- [10] MICROCHIP. Picmicro mid-range mcu family reference manual. 1997.
- [11] National Semiconductor : Datasheet LM741

Annexe

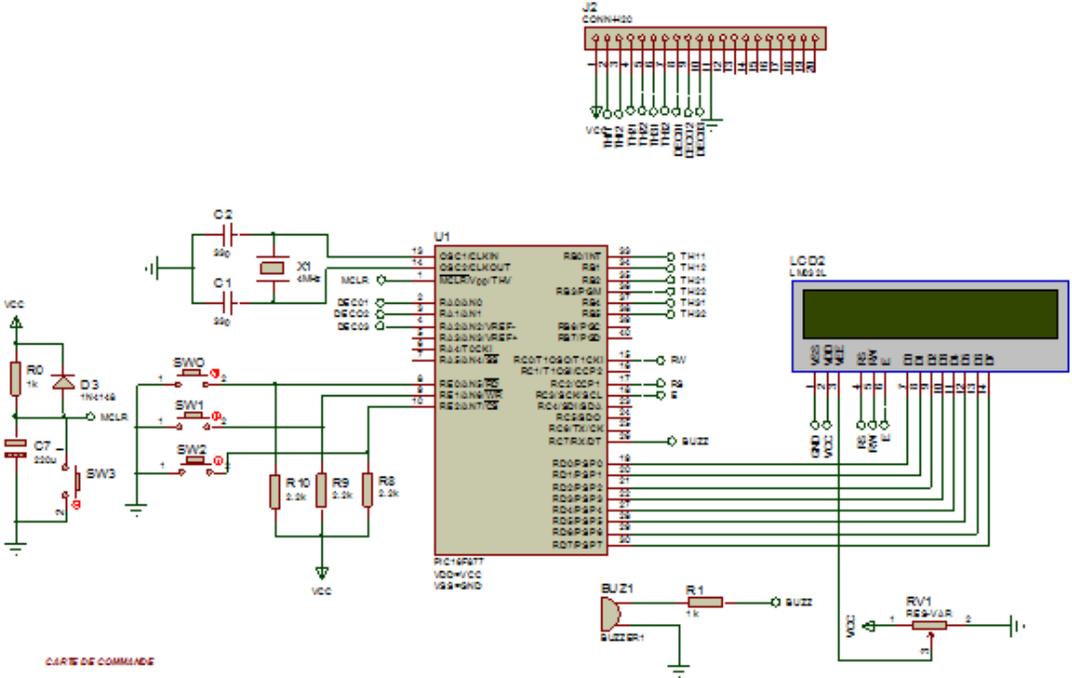


FIGURE A1 – Carte de commande (ISIS)

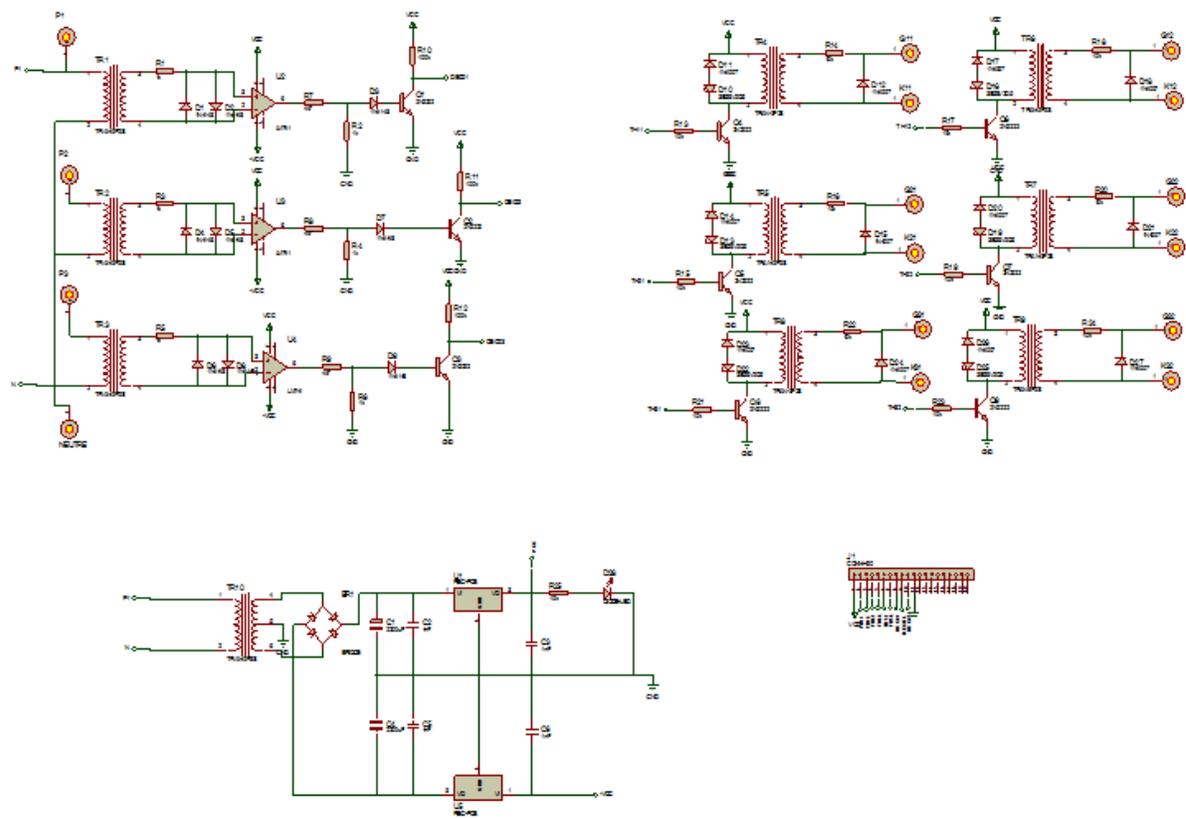
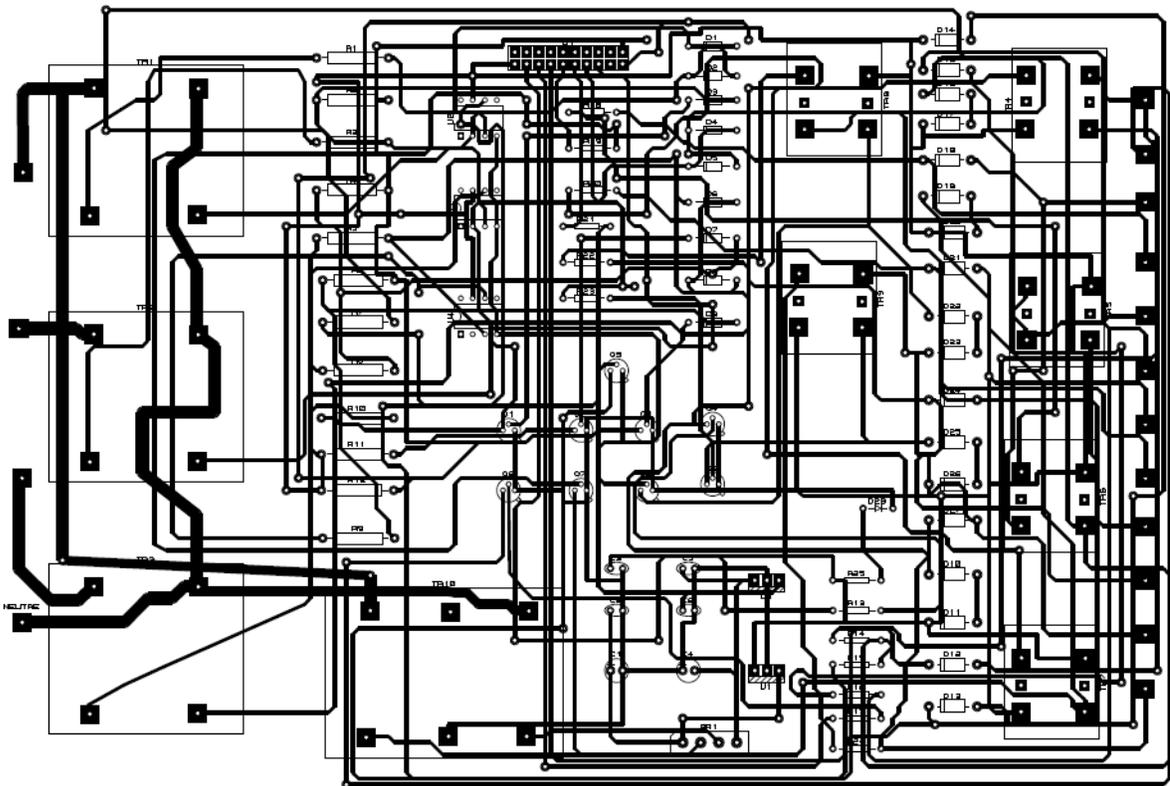


FIGURE A2 – Carte d'interface (ISIS)



A.3 – Routage de la carte d'interface (ARES)

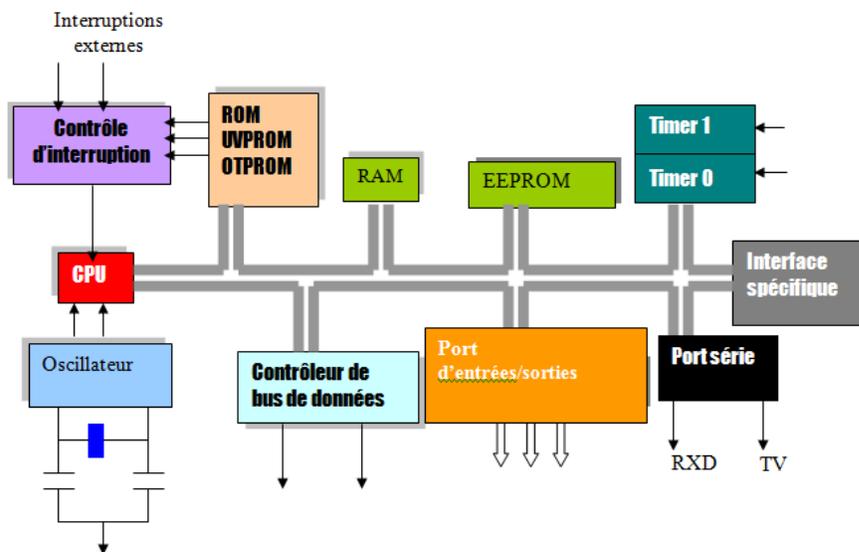


FIGURE A.4 – Structure interne d'un microcontrôleur [10]

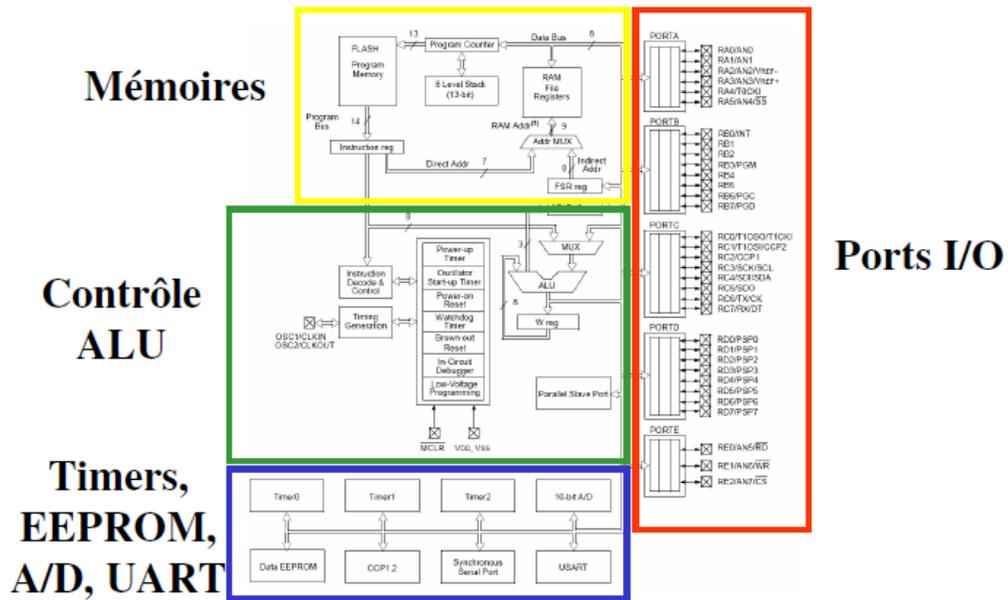


FIGURE A.5 – Schéma bloc d'un PIC [10]

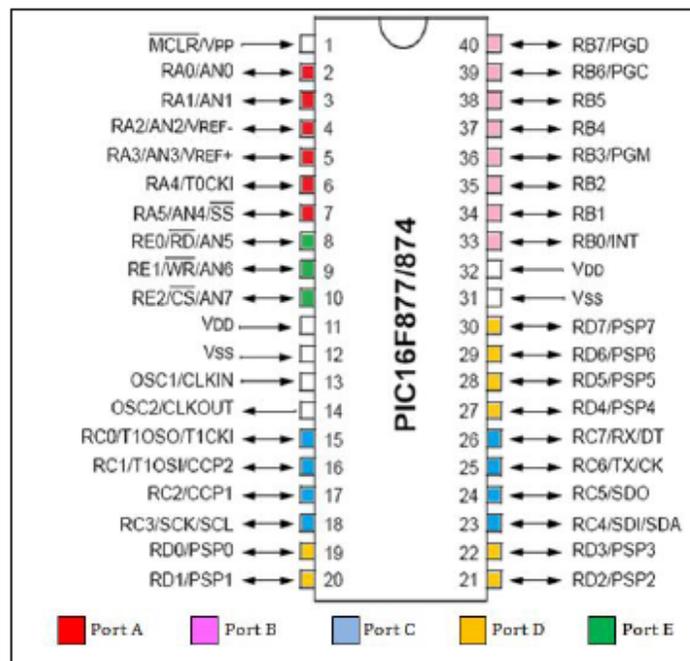


FIGURE A.6 – Brochage du 16f877 [10]

PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz			
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions

FIGURE A.7 – Datasheet des PIC(s) 16f87X [10]

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

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

Electronical characteristics						
Item	Symbol	Condition	Standard			Unit
			Min	Typ	Max	
Input voltage	VDD	+5V	4.7	5.0	5.5	V
		+3.3V	2.7	3.0	5.3	V
Supply current	I _{DD}	VDD=5V	-----	1.5	4	mA
		-20°C	-----	-----	-----	
		0 °C	4.7	5.0	5.5	
		25°C	4.3	4.5	4.7	
Recommended LCD riling voltage for normal temp version module	VDD-V0	50°C	4.1	4.3	4.5	V
		70°C	-----	-----	-----	
LED forward voltage	VF	25°C	-----	4.2	4.6	V
LED forward current	IF	25°C	-----	120	160	mA
EL power supply current	I _{EL}	V _{IL} =110V AC 400Hz	-----	-----	-----	mA

Display character address code:
 Display position

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

FIGURE A.8 – Datasheet de l’afficheur LCD [8]

Résumé

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

Mots clés :

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

Abstract

The aim of this work consists in carrying the design and construction of a device, based on a PIC 16f877 microcontroller, dedicated to ordering of different AC-DC converters controlled, single phase or three phases. The different rectifying circuits are reviewed and the technological solution used, based on a linearized control called "arc cos", for synchronizing pulses delivered to the power grid, is presented. The design of the trigger system, the detailed description of the different circuits and components used are discussed. An example of general flowchart for programming the micro-controller is also exposed. Then, the difficulties encountered during the different steps of the realization are listed and the experimental results are confirming the correct operation and the performances of the trigger system. A technical and economic study has given an estimate of the project cost. Finally, a conclusion summarizes all the work presented and perspectives for future work are proposed.

Keywords:

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

