

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université ABDERAHMANE MIRA – BEJAIA



Faculté de Technologie

Département de génie électrique

Projet fin d'étude

En vue de L'obtention du diplôme master en électrotechnique

Spécialité : Automatismes industriels

Thème

Étude et conception d'un variateur de vitesse  
pour moteur asynchrone à base de  
microcontrôleur

Présenté par :

Mr. BELAIDI Abdenour

Mr. BAGOU Youva

Dirigé par :

Mr. FELLA Boualem

Promotion : 2023-2024

# Résumé

Ce projet de fin d'études porte sur l'étude et la conception d'un variateur de vitesse d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil en utilisant différentes méthodes de commande. Un microcontrôleur PIC a été utilisé comme outil de commande pour implémenter ces techniques. Le projet se divise en quatre chapitres principaux : une introduction aux généralités de l'électronique de puissance, une présentation des logiciels et des microcontrôleurs utilisés, une analyse des différentes techniques de commande des variateurs, et enfin, une discussion des résultats obtenus à partir des simulations réalisées.

**Mots-clés :** Moteur asynchrone, variateur de vitesse, PIC16F877A, PIC18F25K22.

# Abstract

This final year project focuses on the study and design of a speed controller for a squirrel cage induction motor using different control methods. A PIC microcontroller was used as the control tool to implement these techniques. The project is divided into four main chapters : an introduction to the fundamentals of power electronics, a presentation of the software and microcontrollers used, an analysis of the various control techniques for speed controllers, and finally, a discussion of the results obtained from the simulations conducted. Keywords :

**Keywords :** Induction motor, speed controller, PIC16F877A, PIC18F25.

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents, dont l'amour, le soutien inconditionnel et les sacrifices m'ont permis de réussir. Mes chers parents vous avez été mes piliers, mes guides et mes confidents. Vos encouragements constants et votre foi en moi, même dans les moments de doute, m'ont donné la force de persévérer. Vous avez toujours été là pour me conseiller, m'écouter et m'encourager. Votre patience, votre sagesse et votre dévouement ont été une source inestimable de réconfort et de motivation. Je vous suis infiniment reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi. Cette réussite est autant la vôtre que la mienne.

Je le dédie aussi mes chers frères et ma chère sœur, pour votre soutien indéfectible et vos mots d'encouragement. Vous êtes ma source de motivation et de joie.

Enfin, à mes amis, pour votre aide, votre amitié et vos précieux conseils. Votre présence a été cruciale tout au long de ce parcours.

**BAGOU Youva**

# Dédicace

Je dédie mon travail à mon père et ma mère, qui m'ont toujours soutenu et inspiré à être la meilleure version de moi-même. Votre amour et vos sacrifices sont la fondation sur laquelle je construis ma vie. À mes frères, Noredine et Belkacem, pour tous les moments de complicité, de rires et de soutien fraternel. Vous êtes mes premiers amis et mes modèles. À mes copains de chambre, pour toutes les nuits de discussions, les éclats de rire et la camaraderie inestimable. Vous rendez chaque jour plus lumineux et chaque défi plus supportable. Et à tous mes amis, pour les souvenirs partagés, les aventures vécues et l'amitié indéfectible. Vous enrichissez ma vie de joie, de rires et de soutien inconditionnel.

Merci à chacun de vous d'être une partie si précieuse de ma vie.

**BELAIDI Abdenour**

# Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui nous a guidés et soutenus tout au long de ce projet. C'est par Sa grâce que nous avons pu surmonter les défis et mener à bien notre mémoire de fin d'études.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant, Monsieur FELLA Boualam, pour son encadrement, ses conseils précieux et son soutien constant durant toute cette période. Son expertise et sa patience ont été inestimables dans la réalisation de ce travail.

Nos parents méritent également une mention spéciale pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de notre parcours académique. Leur confiance en nous a été une source d'inspiration et de motivation.

Nous remercions chaleureusement notre ami BENAMARA Abderraouf, dont l'aide dans l'organisation de notre mémoire a été cruciale. Sa disponibilité et son soutien ont grandement facilité notre travail, nous permettant de rester concentrés et méthodiques.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à tous nos autres amis pour leur soutien moral, leurs encouragements et leurs conseils tout au long de ce projet. Leur camaraderie a été une source de force et de motivation.

À tous, nous exprimons notre profonde gratitude et notre reconnaissance.

# Table des matières

## Table des figures

Introduction générale	1
<b>I Généralités sur l'électronique de puissance et le moteur asynchrone</b>	<b>3</b>
I.1 Les interrupteurs à semi-conducteurs	2
I.1.1 La diode	2
I.1.2 Thyristor	3
I.1.2.1 Type de thyristor	3
I.1.3 Transistor	4
I.1.3.1 Types de transistor	4
I.2 Convertisseurs statiques	6
I.2.1 Redresseur AC/DC	7
I.2.2 Hacheur DC/DC	7
I.2.3 Gradateur	8
I.2.4 Onduleur	8
I.2.5 Cyclo-convertisseur	9
I.3 Classification des onduleurs	9
I.3.1 Onduleurs non autonomes	10
I.3.2 Onduleurs autonomes	10
I.3.2.1 Les onduleurs de tension	10
I.3.3 Les onduleurs de courant	10
I.4 Type des onduleurs	11
I.4.1 Onduleur monophasé	11
I.4.2 Onduleur triphasé	11
I.5 Moteur asynchrone	12
I.5.1 Constitution de moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil	12
I.5.2 Principe de fonctionnement	14
<b>II Étude des micro-contrôleurs et logiciels utilisés</b>	<b>16</b>
II.1 Description générale du PIC16F877A	15

II.1.1	Éléments essentiels du PIC 16F877A . . . . .	15
II.1.2	Description et structure interne . . . . .	16
II.1.3	Les éléments de base du PIC 16F877A . . . . .	17
II.1.3.1	L'horloge . . . . .	17
II.1.3.2	Les mémoires internes . . . . .	18
II.1.3.3	Les Timers . . . . .	18
II.1.3.4	Les Ports d'entrée/sortie . . . . .	19
II.1.4	Le module de conversion A/N . . . . .	19
II.2	Description générale du PIC18F25K22 . . . . .	20
II.2.1	Caractéristiques essentiels du PIC18F25K22 . . . . .	20
II.2.2	Description et structure interne . . . . .	22
II.2.3	Les éléments de base du PIC18F25K22 . . . . .	22
II.2.3.1	L'horloge . . . . .	22
II.2.3.2	Circuit de RESET . . . . .	23
II.2.3.3	Les TIMERS . . . . .	24
II.2.3.4	Les Ports d'entrée/sortie . . . . .	24
II.2.4	Le module de conversion A/N . . . . .	25
II.3	MikroC Pro for PIC . . . . .	26
II.3.1	Environnement du logiciel . . . . .	26
II.3.2	Options de l'IDE . . . . .	27
II.3.3	Les Bibliothèques de MikroC . . . . .	29
II.3.3.1	Bibliothèques spécifiques au matériel PIC . . . . .	29
II.3.3.2	Bibliothèques ANSI C standard . . . . .	30
II.3.4	Bibliothèques diverses . . . . .	30
II.4	Proteus Professional . . . . .	30
<b>III</b>	<b>variateur de vitesse d'un moteur asynchrone</b>	<b>33</b>
III.1	Fonctions des variateurs de vitesse . . . . .	32
III.2	Schéma synoptique du variateur de vitesse . . . . .	32
III.3	Les parties principales d'un variateur de vitesse . . . . .	33
III.3.1	Redresseur . . . . .	33
III.3.2	Filtrage . . . . .	33
III.3.3	La conversion DC - AC . . . . .	34
III.4	Méthodes de réglage de la vitesse d'un moteur asynchrone : . . . . .	34
III.4.1	Action sur la tension d'alimentation : . . . . .	34
III.4.1.1	Mode opératoire : . . . . .	34
III.4.2	Action sur la résistance secondaire . . . . .	35

III.4.3	Action sur la fréquence d'alimentation . . . . .	35
III.4.3.1	Mode opératoire : . . . . .	37
III.4.3.2	Avantages du réglage par action sur la fréquence : . . . . .	37
III.4.4	Les techniques de commande d'un onduleur . . . . .	37
III.4.4.1	Commande pleine onde . . . . .	37
III.4.4.2	La commande MLI (Modulation de largeur d'impulsion) . . . . .	38
III.4.5	Principe de la commande MLI . . . . .	38
III.4.5.1	Les types de la commande MLI . . . . .	39
III.4.6	Module CCP (CAPTURE/COMPARE/PWM MODULES) . . . . .	40
III.4.6.1	Le mode PWM (Pulse Width Modulation) . . . . .	41
III.4.6.2	Principe de fonctionnement du mode PWM . . . . .	41
III.4.6.3	Les registres utilisés . . . . .	41
III.4.6.4	Configuration du module CCP en mode PWM . . . . .	42
III.4.6.5	Les formules de calcul . . . . .	42
III.5	Les composants de commande, isolation galvanique, alimentation stabilisée et affichage . . . . .	43
III.5.1	Driver (IR2112) . . . . .	43
III.5.1.1	Description des pins . . . . .	43
III.5.1.2	Son rôle dans la commande d'un onduleur . . . . .	43
III.5.1.3	Montage Bootstrap . . . . .	44
III.5.2	Optocoupleur (PC817) . . . . .	44
III.5.2.1	Description des pins . . . . .	45
III.5.2.2	Alimentation stabilisée . . . . .	45
III.5.3	Ecran LCD . . . . .	46
III.5.3.1	Description des pins . . . . .	47
III.5.3.2	Schéma de Connexion avec un Micro-contrôleur . . . . .	48
<b>IV</b>	<b>Conception de la commande numérique et simulation</b>	<b>49</b>
IV.1	Simulation d'un variateur de vitesse . . . . .	45
IV.1.1	Conception du schéma global . . . . .	45
IV.1.2	Algorithme de fonctionnement . . . . .	46
IV.1.3	Bloc de pilotage . . . . .	47
IV.1.4	Bloc d'alimentation stabilisées : . . . . .	48
IV.1.5	Bloc de commande . . . . .	49
IV.1.5.1	Bloc de la commande monophasé . . . . .	49
IV.1.5.2	Bloc de la commande triphasé . . . . .	50
IV.1.6	Bloc de puissance . . . . .	51

IV.1.6.1 Bloc de puissance monophasé . . . . .	51
IV.1.6.2 Bloc de puissance triphasé . . . . .	52
IV.1.7 Bloc d'isolation galvanique : . . . . .	53
IV.1.8 Bloc d'affichage : . . . . .	53
IV.1.9 Cas d'un variateur de vitesse monophasé : . . . . .	54
IV.1.10 Cas d'un variateur de vitesse triphasé . . . . .	54
<b>Conclusion générale</b>	<b>56</b>

# Table des figures

I-1	symbole d'une diode . . . . .	2
I-2	symbole d'un thyristor . . . . .	3
I-3	symbole d'un thyristor GTO . . . . .	3
I-4	symbole d'un thyristor triac . . . . .	4
I-5	symbole d'un thyristor triac . . . . .	4
I-6	symboles des Transistors bipolaires NPN et PNP . . . . .	5
I-7	symbole d'un Transistor MOS . . . . .	5
I-8	symbole d'un Transistor IGBT . . . . .	6
I-9	Convertisseurs statiques . . . . .	7
I-10	Schéma d'un Redresseur monophasé et l'allure de la tension . . . . .	7
I-11	schéma d'un hacheur et l'allure de sa tension . . . . .	8
I-12	schéma d'un Gradateur . . . . .	8
I-13	schéma d'un onduleur et son allure de tension . . . . .	9
I-14	Structure d'un cyclo-convertisseur . . . . .	9
I-15	schéma d'un Onduleurs de tension . . . . .	10
I-16	schéma d'un Onduleur de courant . . . . .	11
I-17	montage d'un onduleur monophasé (pont complet) . . . . .	11
I-18	Montage d'un onduleur triphasé . . . . .	12
I-19	moteur asynchrone triphasé . . . . .	12
I-20	Stator d'un moteur asynchrone . . . . .	13
I-21	Rotor d'un moteur asynchrone . . . . .	14
I-22	fonctionnement d'un moteur asynchrone . . . . .	14
II-1	le boîtier de pic16f877A . . . . .	16
II-2	Structure interne du PIC16F877A . . . . .	17
II-3	module CAN du pic 16F877A . . . . .	20
II-4	le boîtier du PIC18F25K22 . . . . .	21
II-5	Structure interne du PIC18F25K22 . . . . .	22
II-6	Schéma de fonctionnement du système d'oscillateur simplifié . . . . .	23
II-7	Diagramme du module CAN . . . . .	25

II-8	vue générale d'IDE . . . . .	26
II-9	Les options du menu fichier . . . . .	27
II-10	Modification des options du menu . . . . .	27
II-11	les options de la barre d'outils du projet . . . . .	28
II-12	les options de la barre d'outils build . . . . .	28
II-13	Fenêtre des paramètres du projet . . . . .	29
II-14	Fenêtre de capture schématique . . . . .	31
II-15	Barre de menus . . . . .	31
II-16	Commandes des Fichiers et Projet . . . . .	31
II-17	Commande d'affichage . . . . .	31
II-18	Commandes Édition et Bibliothèque . . . . .	31
II-19	Commandes Outils . . . . .	31
II-20	Commandes Édition et Bibliothèque . . . . .	32
II-21	Barre d'outils de sélection de mode . . . . .	32
III-1	Schéma synoptique du variateur de vitesse . . . . .	32
III-2	Schéma global d'un variateur de vitesse . . . . .	33
III-3	Redresseur triphasé non commandé . . . . .	33
III-4	Moteur asynchrone alimenté par gradateur . . . . .	35
III-5	Schéma électrique illustrant la résistance secondaire additionnelle . . . . .	35
III-6	Caractéristique $C(\Omega')$ à flux constant . . . . .	36
III-7	Variation de la fréquence statorique via onduleur autonome . . . . .	37
III-8	Structure d'un onduleur de tension / L'état des interrupteurs . . . . .	38
III-9	variation du rapport cyclique . . . . .	39
III-10	générations d'un signal MLI analogique . . . . .	39
III-11	générations d'un signal MLI numérique . . . . .	40
III-12	Diagramme simplifié du bloc PWM . . . . .	40
III-13	Principe de fonctionnement du module PWM . . . . .	41
III-14	diagramme block des TMIER 2,4,6 . . . . .	42
III-15	le composant IR2112 sur Proteus . . . . .	43
III-16	montage bootstrap . . . . .	44
III-17	le composant PC817 sur Proteus . . . . .	45
III-18	Schéma synoptique d'une alimentation stabilisée . . . . .	45
III-19	bloc d'alimentation stabilisée . . . . .	46
III-20	Écran LCD16x2 sur Proteus . . . . .	46
III-21	Schéma de connexion d'un écran LCD 16x2 . . . . .	48
IV-1	Schéma globale d'un variateur de vitesse monophasé . . . . .	45

IV-2	Schéma globale d'un variateur de vitesse triphasé . . . . .	45
IV-3	Algorithme de fonctionnement . . . . .	46
IV-4	Bloc de pilotage monophasé . . . . .	47
IV-5	Bloc de pilotage triphasé . . . . .	47
IV-6	signaux à la sortie des driver (monophasé) . . . . .	48
IV-7	signaux à la sortie des driver (triphase) . . . . .	48
IV-8	Bloc d'alimentation stabilisées . . . . .	48
IV-9	schéma du bloc de la commande monophasée . . . . .	49
IV-10	signaux de la commande monophasé . . . . .	49
IV-11	schéma du bloc de la commande triphasée . . . . .	50
IV-12	signaux de la commande triphasée . . . . .	50
IV-13	Bloc de puissance pour variateur de vitesse monophasé . . . . .	51
IV-14	tension de sortie monophasé avant le filtrage . . . . .	51
IV-15	tension de sortie monophasé après le filtrage . . . . .	51
IV-16	Bloc de puissance pour variateur de vitesse triphasé . . . . .	52
IV-17	tension de sortie triphasé avant le filtrage . . . . .	52
IV-18	tension de sortie triphasé après le filtrage . . . . .	52
IV-19	Bloc d'isolation galvanique . . . . .	53
IV-20	Bloc d'affichage . . . . .	53
IV-21	tension de sortie pour une consigne = 50% . . . . .	54
IV-22	tension de sortie pour une consigne = 100% . . . . .	54
IV-23	tension de sortie pour une consigne = 50% . . . . .	54
IV-24	tension de sortie pour une consigne = 100% . . . . .	54

## Liste des Abréviations

1. **Jonction PN** : Jonction positif, négatif.
2. **SCR** : Silicon Controlled Rectifier.
3. **GTO** : Gate Turn Off thyristor.
4. **NPN** : négatif, positif, négatif.
5. **PNP** : positif, négatif, positif.
6. **MOS** : Métal Oxyde Semi-conducteur.
7. **MOSFET** : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.
8. **IGBT** : Insulated Gate Bipolar Transistor.
9. **AC-DC** : Courant Alternatif - Courant Continu.
10. **DC/DC** : Courant Continu - Courant Continu.
11. **AC-AC** : Courant Alternatif - Courant Alternatif.
12. **DC-AC** : Courant Continu - Courant Alternatif.
13. **EEPROM** : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.
14. **RAM** : Random Access Memory.
15. **USART** : Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter.
16. **SSP** : Synchronous Serial Port.
17. **I2C** : Inter-Integrated Circuit.
18. **CCP** : Capture/Compare/PWM modules.
19. **LP** : Low-Power Crystal.
20. **XT** : Crystal/Resonator.
21. **HS** : High-Speed Crystal/Resonator.
22. **RC** : Résistor/Capacitor.
23. **SFR** : Spécial Function Registers.
24. **GPR** : General Purpose Registers.
25. **EEAR** : EEPROM Address Register.
26. **EEADR<sub>H</sub>** : EEPROM Address Register High.
27. **CAN** : Convertisseur analogique, numérique.
28. **IDE** : Integrated Development Environment.
29. **MLI** : Modulation de Largeur d'Impulsion.
30. **PWM** : Pulse Width Modulation.
31. **V<sub>CC</sub>** : Voltage at the Collector to Collector.
32. **V<sub>B</sub>** : Voltage at the Base.

- 33. **VS** : Supply Voltage.
- 34. **HO** : High Output.
- 35. **LO** : Low Output.
- 36. **HIN** : High Input.
- 37. **LIN** : Low Input.
- 38. **COM** : Common.
- 39. **SD** : Shutdown.
- 40. **LED** : Light Emitting Diode.
- 41. **LCD** : Liquid Crystal Display.
- 42. **VSS** : Source de tension.
- 43. **VDD** : Source de Tension Positive.
- 44. **VEE** : Source de Tension Négative.
- 45. **RS** : Register Select.
- 46. **RW** : Read/Write.
- 47. **E** : Enable.

# Introduction générale

Les moteurs asynchrones, également connus sous le nom de moteurs à induction, sont largement utilisés dans l'industrie en raison de leur robustesse, de leur faible coût et de leur facilité de maintenance. Ils sont essentiels dans divers domaines, allant des applications industrielles lourdes aux appareils électroménagers. Cependant, pour maximiser leur efficacité et répondre aux besoins variés des applications modernes, il est souvent nécessaire de contrôler leur vitesse de rotation. C'est là qu'intervient le variateur de vitesse, un dispositif électronique qui a vraiment évolué dans les années 1970 et 1980 grâce à l'apparition des transistors de puissance tels que les IGBT et les MOSFET, ce qui a permis des conceptions plus compactes et plus efficaces.

Les variateurs de vitesse jouent un rôle important dans le contrôle des moteurs asynchrones. Ils permettent d'ajuster la vitesse de rotation du moteur en fonction des exigences spécifiques de l'application, ce qui améliore l'efficacité énergétique et la performance globale du système. Les variateurs de vitesse modernes utilisent des technologies avancées de semi-conducteurs pour fournir un contrôle précis et fiable. Ils peuvent non seulement réguler la vitesse, mais aussi optimiser le couple et la puissance délivrée, réduisant ainsi l'usure mécanique et prolongeant la durée de vie des équipements. L'intégration des microcontrôleurs dans ces dispositifs a permis d'augmenter la flexibilité et la précision des contrôles, ouvrant la voie à des applications encore plus sophistiquées.

Le contrôle de la vitesse des moteurs asynchrones présente plusieurs défis techniques. Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons à la conception d'une commande numérique à base de micro-contrôleur PIC pour un onduleur autonome alimentant le moteur.

Notre travail est basé sur une approche méthodologique en plusieurs étapes sera adoptée :

- Le premier chapitre sera consacré à la description des différents composants de l'électronique de puissance tels que les interrupteurs électroniques et convertisseurs statiques, ainsi que le moteur asynchrone à cage.
- Le deuxième chapitre présentera les deux logiciels utilisés durant l'étude (Proteus et MikroC for PIC), et les deux microcontrôleurs utilisés (PIC16F877A et PIC18F25K22).
- Le troisième chapitre traitera des techniques de la commande d'un variateur de vitesse.

- Dans le quatrième chapitre, nous détaillerons la conception de la carte de commande numérique ainsi que l'élaboration des programmes des PICs utilisés et nous présenterons les résultats expérimentaux obtenus.
- Une conclusion générale viendra clôturer notre travail.

# Chapitre I

Généralités sur l'électronique de  
puissance et le moteur asynchrone

## Introduction

Les interrupteurs à semi-conducteurs et les convertisseurs jouent un rôle central dans le domaine de l'électronique moderne, en particulier dans la gestion et la transformation de l'énergie électrique. Les interrupteurs à semi-conducteurs, tels que les transistors et les thyristors, permettent un contrôle précis et efficace du flux de courant électrique, favorisant ainsi des performances supérieures et une fiabilité accrue par rapport aux interrupteurs mécaniques traditionnels.

## I.1 Les interrupteurs à semi-conducteurs

Les interrupteurs semi-conducteurs sont des composants électroniques dont le rôle est de modifier le courant électrique dans un circuit. Contrairement à l'interruption mécanique conventionnelle qui utilise des contacts métalliques pour compléter ou briser un circuit, l'interrupteur à semi-conducteur recourt à des métaux semi-conducteurs tels que le silicium et le carbure de silicium pour accomplir cette fonction.

Voici quelques types d'interrupteurs à semi-conducteurs :

### I.1.1 La diode

La diode est un composant non commandé qui permet de laisser passer le courant uniquement dans un sens, sous réserve qu'une tension positive lui soit appliquée. Les diodes peuvent également agir comme des dispositifs de protection contre les surtensions. Elles sont généralement placées en parallèle avec les composants sensibles aux surtensions. Quand une surtension se produit, la diode permet à un courant sûr de passer, protégeant ainsi les composants sensibles.



FIGURE I-1 – symbole d'une diode

## I.1.2 Thyristor

Il s'agit d'une diode commandée utile à la réalisation d'un redresseur commandé, connu sous le nom de "Silicon Controlled Rectifier" (SCR), ce qui signifie "Redresseur commandé au silicium". Le déclenchement de ce composant se produit lorsque la tension à ses bornes est positive et qu'une impulsion de déclenchement est appliquée à sa gâchette. Le blocage du thyristor est automatique lorsque le courant qui le traverse devient nul. À ce moment-là, et pour éviter tout ré-allumage involontaire, la tension appliquée au thyristor doit être négative [1].

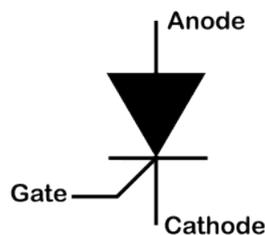


FIGURE I-2 – symbole d'un thyristor

### I.1.2.1 Type de thyristor

**Thyristor GTO** C'est un type de thyristor capable d'être activé et désactivé par un signal de commande, ce qui permet un contrôle plus flexible et précis des circuits de puissance. Les GTO sont utilisés principalement dans les applications nécessitant un contrôle de puissance dynamique et rapide, comme les entraînements de moteurs à haute puissance, les convertisseurs de puissance, et les systèmes de traction électrique. Leur capacité à gérer de grandes quantités de courant et de tension, ainsi que leur aptitude à commuter rapidement, en fait un choix idéal pour ces applications.

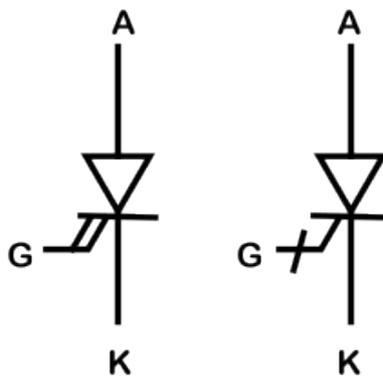


FIGURE I-3 – symbole d'un thyristor GTO

**Triac (Triode for Alternating Current)** : C'est un type de thyristor capable de conduire le courant dans les deux directions, ce qui le distingue des autres thyristors. Le Triac est activé par une impulsion de gâchette et reste conducteur jusqu'à ce que le courant à travers lui tombe en dessous d'un certain seuil.

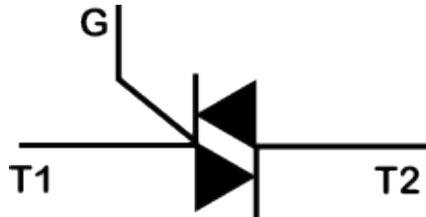


FIGURE I-4 – symbole d'un thyristor triac

### I.1.3 Transistor

C'est un composant électronique semi-conducteur utilisé pour amplifier ou commuter des signaux électriques. Il fonctionne en contrôlant le flux de courant entre deux de ses trois terminaux : l'émetteur, la base et le collecteur pour un transistor bipolaire à jonction (BJT), ou la source, la grille et le drain pour un transistor à effet de champ (FET). Les transistors peuvent agir comme des interrupteurs ou des amplificateurs. En tant qu'interrupteurs, ils permettent le contrôle de grands courants avec de faibles signaux, ce qui est crucial pour les circuits numériques. En tant qu'amplificateurs, ils augmentent la puissance des signaux faibles, ce qui est essentiel pour les circuits analogiques comme les amplificateurs audio.

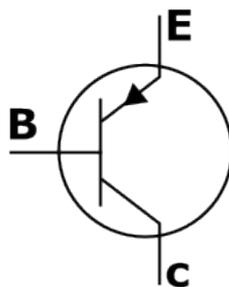


FIGURE I-5 – symbole d'un thyristor triac

#### I.1.3.1 Types de transistor

**Transistor bipolaire** C'est un type de transistor qui utilise deux types de porteurs de charge, les électrons et les trous, pour conduire le courant. Il est constitué de trois couches de matériau semi-conducteur de types P et N, formant deux jonctions P-N. Les trois couches sont appelées l'émetteur, la base et le collecteur.

Il existe deux types de transistors bipolaires :

1. **NPN** : Le type de transistor où une couche de matériau de type p est prise en sandwich entre deux couches de matériau de type N.
2. **PNP** : Le type de transistor où une couche de matériau de type n'est prise en sandwich entre deux couches de matériau de type P.

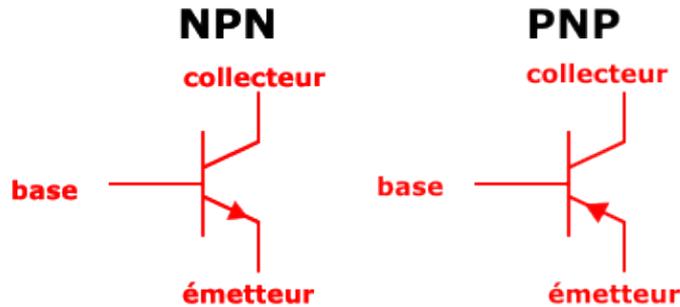


FIGURE I-6 – symboles des Transistors bipolaires NPN et PNP

**Transistor MOS** Le transistor MOS (Métal-Oxyde-Semi-conducteur), également connu sous le nom de MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), est un type de transistor à effet de champ. Il offre l'avantage d'une commande relativement simple nécessitant peu de puissance, tout en pouvant fonctionner à des fréquences élevées. Lorsqu'une tension  $V_{GS}$  est appliquée entre la grille et la source, dépassant une tension de seuil  $V_{th}$ , un canal est formé, connectant les deux zones  $N^+$  et  $N^-$ . Cela facilite le mouvement des électrons de la source dopée  $N^+$  vers le drain, permettant ainsi la conduction du MOSFET. Pour le mettre hors conduction, il suffit de supprimer le canal en réduisant la tension  $V_{GS}$  entre la grille et la source en dessous de la tension de seuil  $V_{th}$  [1].

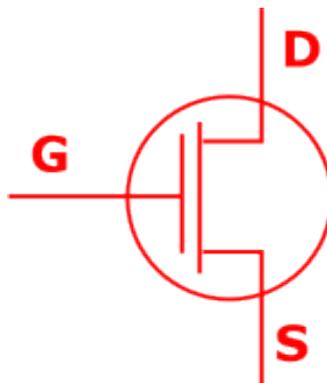


FIGURE I-7 – symbole d'un Transistor MOS

**L'IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)** L'IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) est un type de transistor hybride qui intègre un transistor à effet de champ MOSFET à l'entrée et un transistor bipolaire à la sortie. Cette conception combine les avantages du transistor bipolaire, comme une faible chute de tension à l'état passant et une tension directe [1].



FIGURE I-8 – symbole d'un Transistor IGBT

## I.2 Convertisseurs statiques

Les convertisseurs statiques sont des dispositifs électroniques à semi-conducteurs qui peuvent altérer la forme et/ou la fréquence d'un courant électrique. Ils sont construits à partir de circuits électroniques permettant de connecter deux réseaux électriques avec des courants de nature différente. Cette connexion est établie de manière périodique et unidirectionnelle en reliant les bornes des deux réseaux de manière déterminée afin de réaliser la conversion souhaitée.

Il existe deux types de sources principales :

- Les sources de tension continues, définies par une valeur  $U$  de tension.
- Les sources de tension alternatives, caractérisées par la tension efficace et la fréquence  $f$ .

Les interrupteurs électroniques les plus couramment utilisés dans les convertisseurs statiques sont les diodes, les thyristors, les thyristors GTO, les transistors bipolaires, les MOSFET et les IGBT. Les convertisseurs statiques peuvent être classés selon différents critères [2].

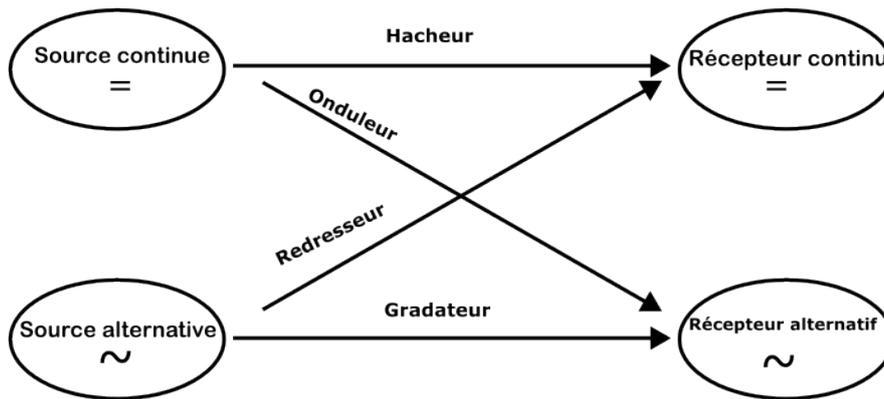


FIGURE I-9 – Convertisseurs statiques

### I.2.1 Redresseur AC/DC

Ce sont des convertisseurs AC-DC qui transforment une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle. Lorsqu'ils sont commandés, la valeur moyenne de la tension produite peut être ajustée. [2]

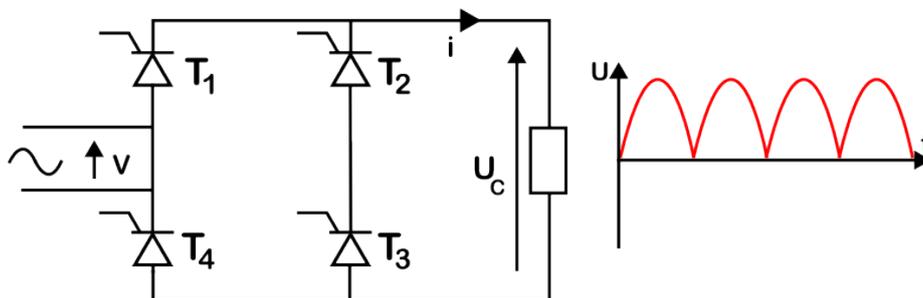


FIGURE I-10 – Schéma d'un Redresseur monophasé et l'allure de la tension

### I.2.2 Hacheur DC/DC

L'hacheur est un commutateur électronique fonctionnant de manière périodique. Il est alimenté par une source de tension continue fixe et peut fournir à une charge une tension continue variable.

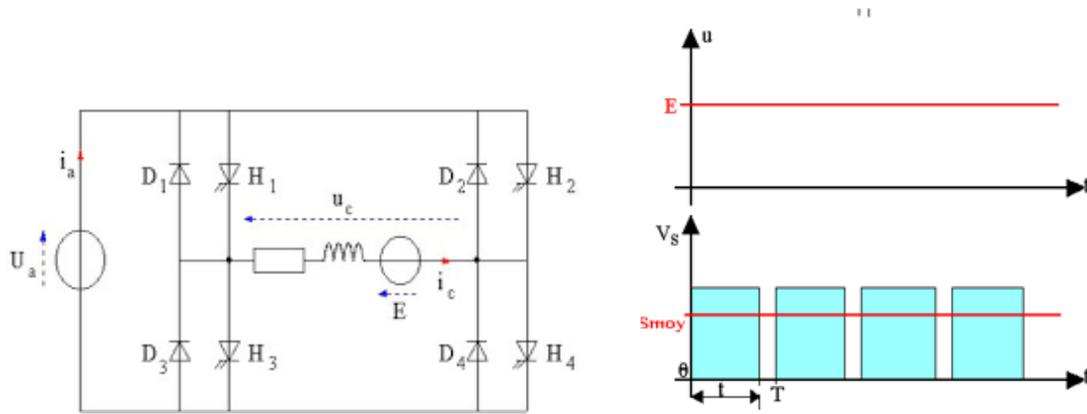


FIGURE I-11 – schéma d'un hacheur et l'allure de sa tension

### I.2.3 Gradateur

Les convertisseurs AC-AC sont des dispositifs polyvalents et performants qui proposent une multitude de fonctionnalités pour convertir la puissance CA. Leur utilisation s'étend à diverses

applications telles que la variation de tension, le changement de fréquence, le couplage d'impédances et l'alimentation des systèmes triphasés.

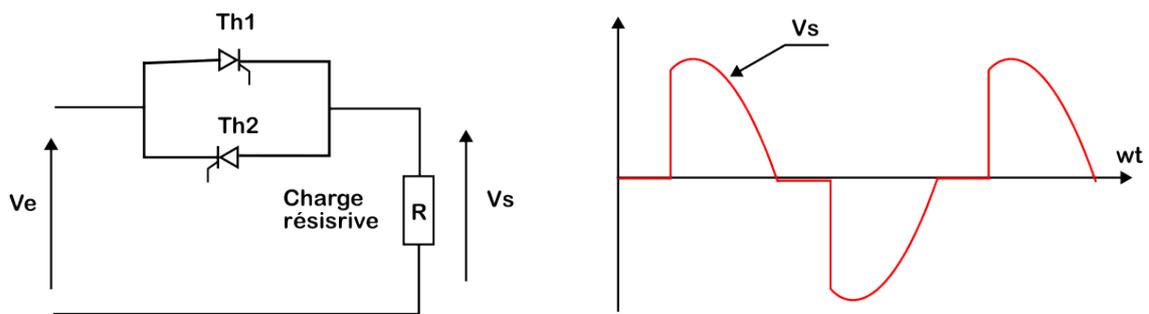


FIGURE I-12 – schéma d'un Gradateur

### I.2.4 Onduleur

Ce sont des convertisseurs DC-AC, ce qui signifie qu'ils transforment une tension continue en une tension alternative. Lorsqu'ils effectuent cette transformation, on les appelle des onduleurs de tension. De même, lorsqu'ils convertissent un courant continu en un courant alternatif, on les nomme des mutateurs.

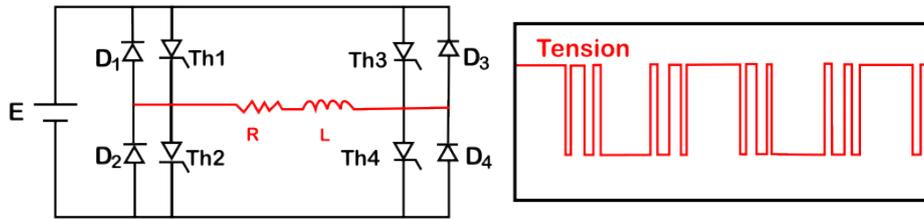


FIGURE I-13 – schéma d'un onduleur et son allure de tension

### I.2.5 Cyclo-convertisseur

Un cyclo-convertisseur est un type spécifique de convertisseur de puissance utilisé pour convertir une tension alternative de fréquence fixe en une tension alternative de fréquence variable. [1]

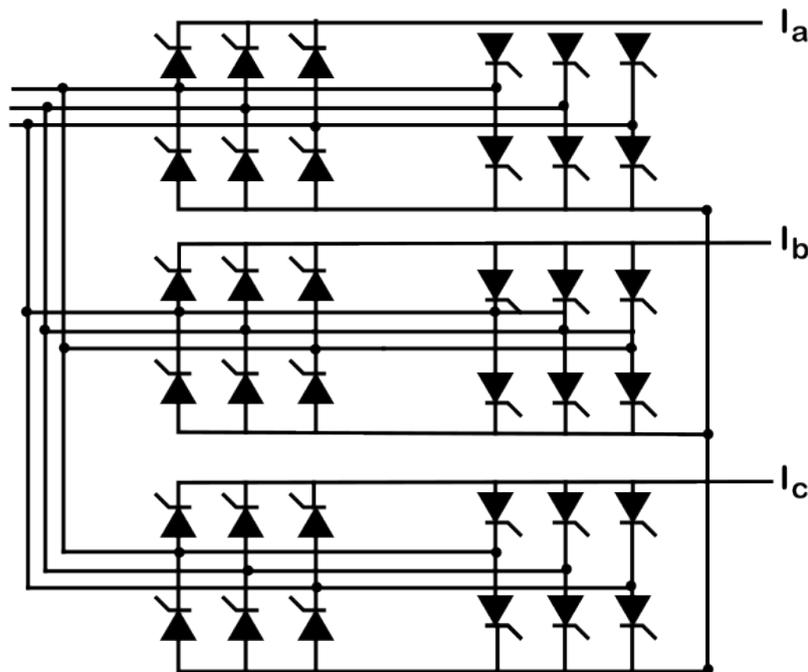


FIGURE I-14 – Structure d'un cyclo-convertisseur

## I.3 Classification des onduleurs

Il existe une distinction fondamentale à faire entre deux grandes familles d'onduleurs : les Onduleurs non autonomes et les onduleurs autonomes.

### I.3.1 Onduleurs non autonomes

Un onduleur non autonome est un dispositif constitué d'un montage redresseur tout thyristors (pont Gratz), qui, avec l'aide du réseau auquel il est connecté, permet de fonctionner en tant qu'onduleur. Les thyristors sont commandés uniquement lors de leur fermeture, et la commutation est dite "naturelle", contrairement à celle d'un onduleur autonome. Ce type d'onduleur est principalement utilisé dans les variateurs de vitesse pour les moteurs alternatifs de très forte puissance. [3]

### I.3.2 Onduleurs autonomes

Un onduleur est qualifié d'autonome lorsqu'il exploite une source d'énergie interne dédiée à la commutation des thyristors ou d'autres semi-conducteurs. Dans ce cas, il devient possible de contrôler la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie. Un onduleur autonome dépend principalement des caractéristiques du générateur et du récepteur avec lesquels il est connecté, ce qui permet de distinguer deux types principaux. [3]

#### I.3.2.1 Les onduleurs de tension

On dit onduleur de tension, un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue.

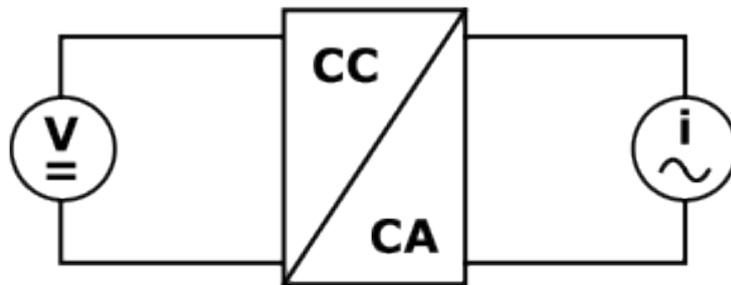


FIGURE I-15 – schéma d'un Onduleurs de tension

### I.3.3 Les onduleurs de courant

Un onduleur de courant, également connu sous le nom de commutateur de courant, est alimenté par une source de courant continu. Cela signifie qu'il est alimenté par une source dotée d'une inductance interne si grande que le courant "i" qui la traverse reste pratiquement constant malgré les variations de la tension "u" à ses bornes. [4]

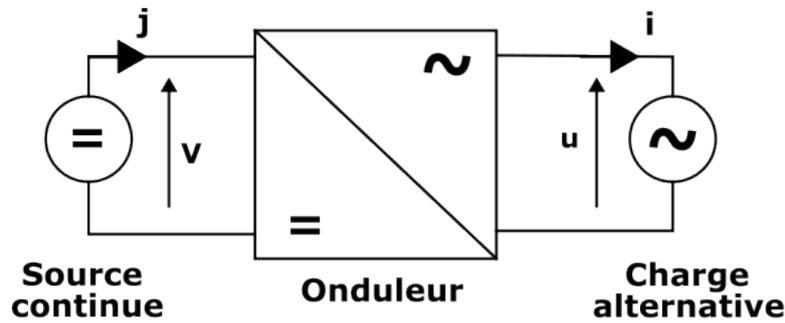


FIGURE I-16 – schéma d'un Onduleur de courant

## I.4 Type des onduleurs

### I.4.1 Onduleur monophasé

Le principe de base consiste à connecter, alternativement dans un sens puis dans l'autre, une source de tension continue à une charge de manière à lui imposer une alimentation en tension alternative. Les structures possibles sont : un demi-pont d'interrupteurs électroniques nécessitant deux sources d'alimentation ou un pont complet avec quatre interrupteurs électroniques.

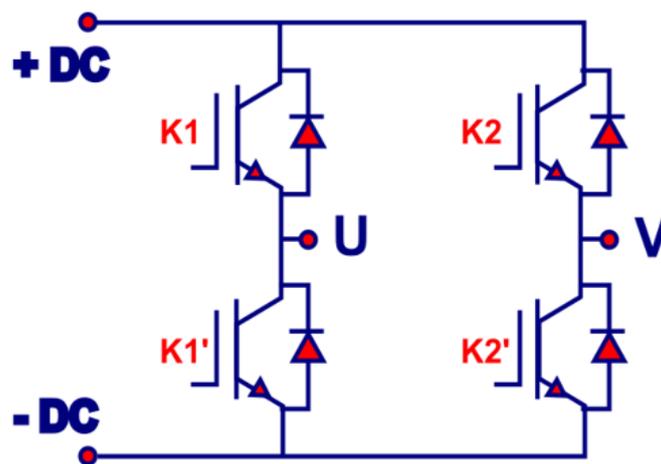


FIGURE I-17 – montage d'un onduleur monophasé (pont complet)

### I.4.2 Onduleur triphasé

L'onduleur triphasé en pont est constitué de trois cellules de commutation (trois bras). On retrouve évidemment une structure différentielle dans laquelle les tensions triphasées sont obtenues de façon composées sur les trois bornes de sortie. [2]

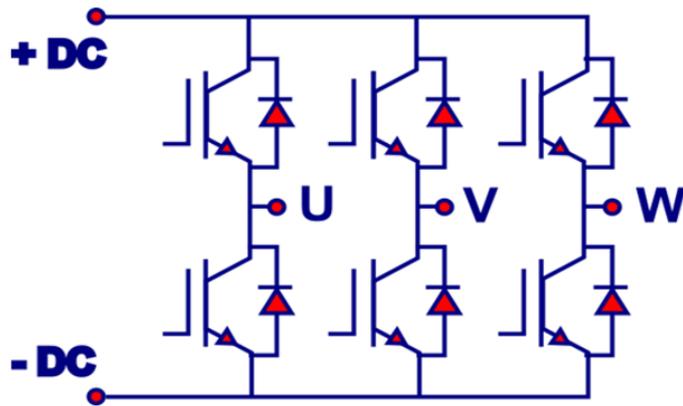


FIGURE I-18 – Montage d'un onduleur triphasé

## I.5 Moteur asynchrone

Un moteur asynchrone à cage est un type de moteur électrique couramment utilisé dans diverses applications industrielles et domestiques en raison de sa robustesse, de sa simplicité et de son coût relativement bas. [5]



FIGURE I-19 – moteur asynchrone triphasé

### I.5.1 Constitution de moteur asynchrone triphasé à cage d'écuriel

Le moteur asynchrone triphasé comprend deux parties, l'une fixe appelée stator et l'autre mobile appelée rotor.

- Stator : Le stator est la partie fixe du moteur, constitué d'une carcasse en fonte ou en alliage léger, renfermant une couronne de tôles minces (environ 0,5 mm d'épaisseur) en acier au silicium. Ces tôles sont isolées entre elles par oxydation

ou par un vernis isolant et sont munies d'encoches où se placent les enroulements statoriques destinés à produire le champ tournant. Dans un moteur triphasé, il y a un minimum de trois enroulements, décalés de  $120^\circ$  les uns par rapport aux autres. Chaque enroulement est constitué de plusieurs bobines formant ensemble un cylindre creux. Lorsque les enroulements du stator sont parcourus par un courant triphasé, ils produisent un champ magnétique tournant à la vitesse de synchronisme.



FIGURE I-20 – Stator d'un moteur asynchrone

- Rotor : L'enroulement d'un rotor à cage est constitué de barres de cuivre nues placées dans des encoches spécialement conçues à cet effet. Ces barres, qui sont la partie conductrice principale du rotor, sont fixées à chaque extrémité par deux anneaux conducteurs. Ces anneaux, souvent en cuivre ou en aluminium, court-circuitent les barres, formant ainsi un circuit fermé. L'ensemble de ces barres et anneaux prend la forme caractéristique d'une cage d'écureuil, d'où le nom "rotor à cage d'écureuil". Cette configuration est essentielle pour le fonctionnement du moteur asynchrone, car elle permet l'induction de courants dans le rotor, qui interagissent avec le champ magnétique tournant du stator pour produire le couple nécessaire à la rotation du moteur. La conception du rotor à cage d'écureuil est particulièrement appréciée pour sa simplicité, sa robustesse et son efficacité dans de nombreuses applications industrielles.

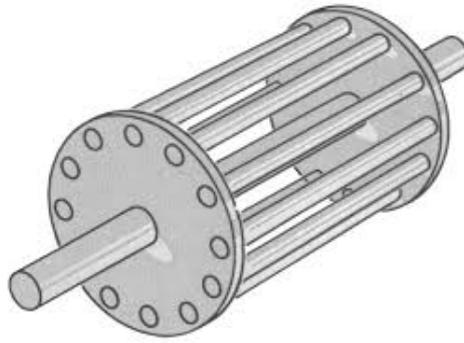


FIGURE I-21 – Rotor d'un moteur asynchrone

### I.5.2 Principe de fonctionnement

Le moteur asynchrone triphasé fonctionne sur le principe de l'induction électromagnétique. Lorsque le courant triphasé traverse les enroulements du stator, il crée un champ magnétique tournant à une vitesse synchrone déterminée par la fréquence de l'alimentation et le nombre de pôles du moteur. Ce champ magnétique tournant induit des courants dans les barres conductrices du rotor, généralement de type cage d'écureuil. Les courants induits génèrent leur propre champ magnétique, qui interagit avec le champ tournant du stator pour produire un couple qui fait tourner le rotor. La vitesse de rotation du rotor est légèrement inférieure à celle du champ magnétique tournant, cette différence étant appelée glissement. Le glissement est essentiel pour maintenir l'induction de courants dans le rotor et, par conséquent, la production de couple. Le moteur asynchrone triphasé est largement apprécié pour sa robustesse, sa simplicité de construction et son efficacité dans une variété d'applications industrielles.

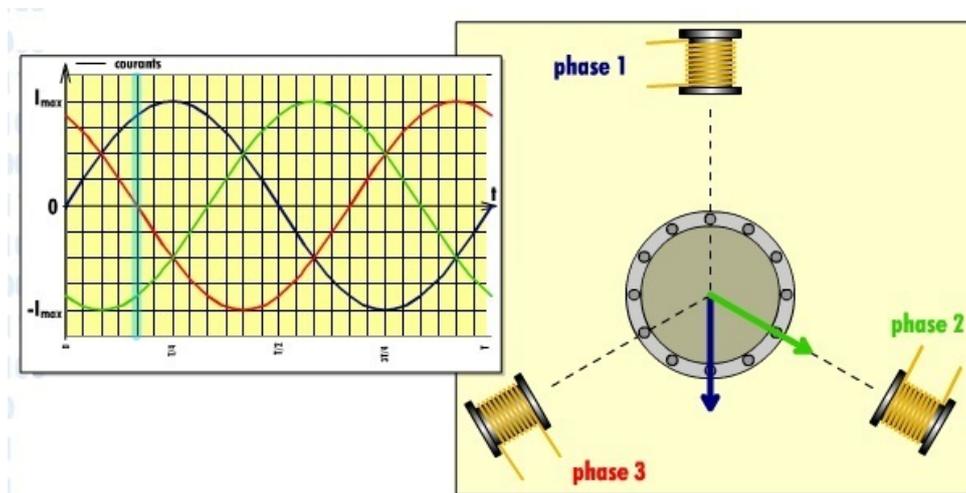


FIGURE I-22 – fonctionnement d'un moteur asynchrone

## **Conclusion**

En conclusion, ce premier chapitre a posé les généralités essentielles sur les semi-conducteurs, les convertisseurs de puissance et les onduleurs, ainsi que sur le fonctionnement du moteur asynchrone. Ces éléments sont fondamentaux pour la conception d'un variateur de vitesse qui est le sujet de notre projet.

## Chapitre II

# Étude des micro-contrôleurs et logiciels utilisés

### Introduction

Un micro-contrôleur est un circuit intégré plaçant les éléments nécessaires à un ordinateur : le processeur, les mémoires « mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données », des unités périphériques et certaines interfaces d'entrée/sortie. Les micro-contrôleurs sont caractérisés par un niveau d'intégration plus élevé, une consommation électrique plus faible « quelques milliwatts en mode fonctionnement, quelques nano watts en mode veille », et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels. Par rapport à des systèmes électroniques réalisés à l'aide de microprocesseurs et d'autres composants distincts, les micro-contrôleurs permettent de réduire la taille, la consommation électrique et le coût des produits. Ils ont donc permis la diffusion de l'informatique dans le domaine de l'industrie pour la commande et le contrôle des systèmes. Les micro-contrôleurs sont notamment utilisés dans les systèmes embarqués, comme les contrôleurs des moteurs automobiles, les télécommandes, les machines de bureau, l'électroménager, les jouets, la téléphonie mobile, etc. De nombreux fabricants se sont positionnés sur le marché des micro-contrôleurs, la société américaine Micro-chip a développé un micro-contrôleur CMOS « Complementary Metal Oxide Semi-conductor » dénommé PIC ; cette dénomination est sous copyright de Micro-chip, donc les autres fabricants ont été empêchés de l'utiliser pour leur propre micro-contrôleur. Actuellement, ce micro-contrôleur est fortement déployé.

## II.1 Description générale du PIC16F877A

Les PIC sont des micro-contrôleurs à architecture RISC (Reduce Instructions Construction Set), ou encore composant à jeu d'instructions réduit. L'avantage est que plus on réduit le nombre d'instructions, plus leur décodage sera rapide ce qui augmente la vitesse de fonctionnement du micro-contrôleur. La famille des PIC est subdivisée en 3 grandes familles :

- La famille Base-Line, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.
- La famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie les 16F8xx).
- La famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits (les PIC 18Fxxx).

### II.1.1 Éléments essentiels du PIC 16F877A

- Une RAM donnée de 368 octets.
- Une mémoire EEPROM de 256 octets.
- 05 ports d'entrée sortie, A (6 bits), B (8 bits), C (8 bits), D (8 bits) et E (3 bits).

- Convertisseur Analogiques numériques 10 bits à 8 entrées sélectionnables.
- USART, Port série universel, mode asynchrone (RS232) et mode synchrone.
- SSP, Port série synchrone supportant I2C.
- Trois TIMERS avec leurs Prescalers, TMR0, TMR1, TMR2.
- Deux modules de comparaison et Capture CCP1 et CCP2.
- Tension de fonctionnement de 2 à 5V [6].

## II.1.2 Description et structure interne

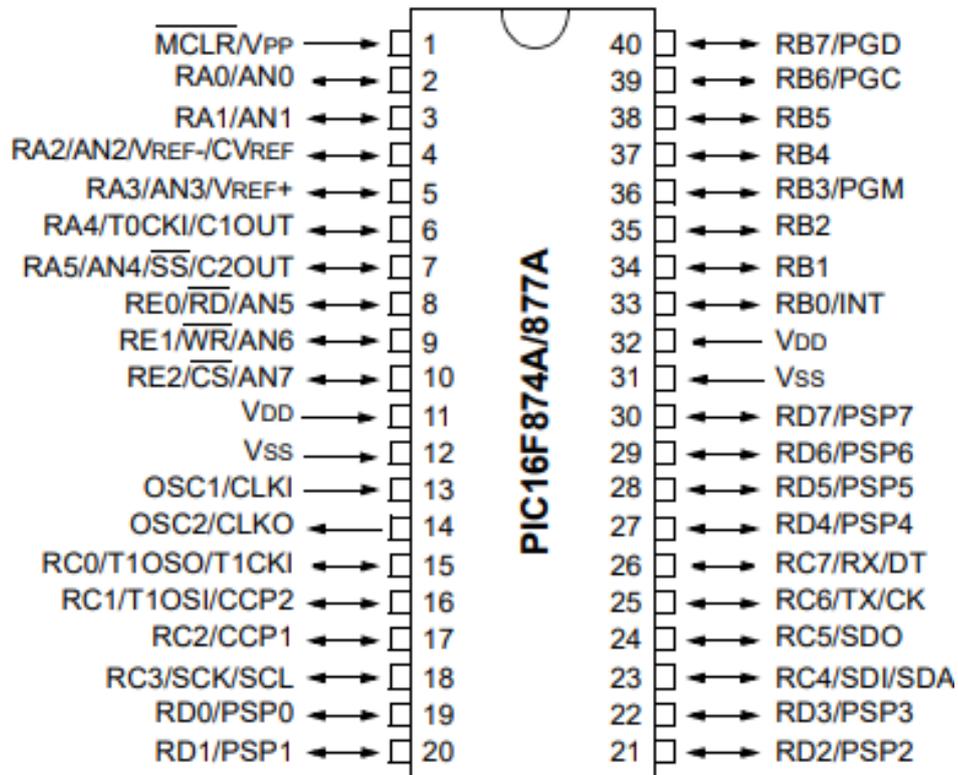


FIGURE II-1 – le boîtier de pic16f877A

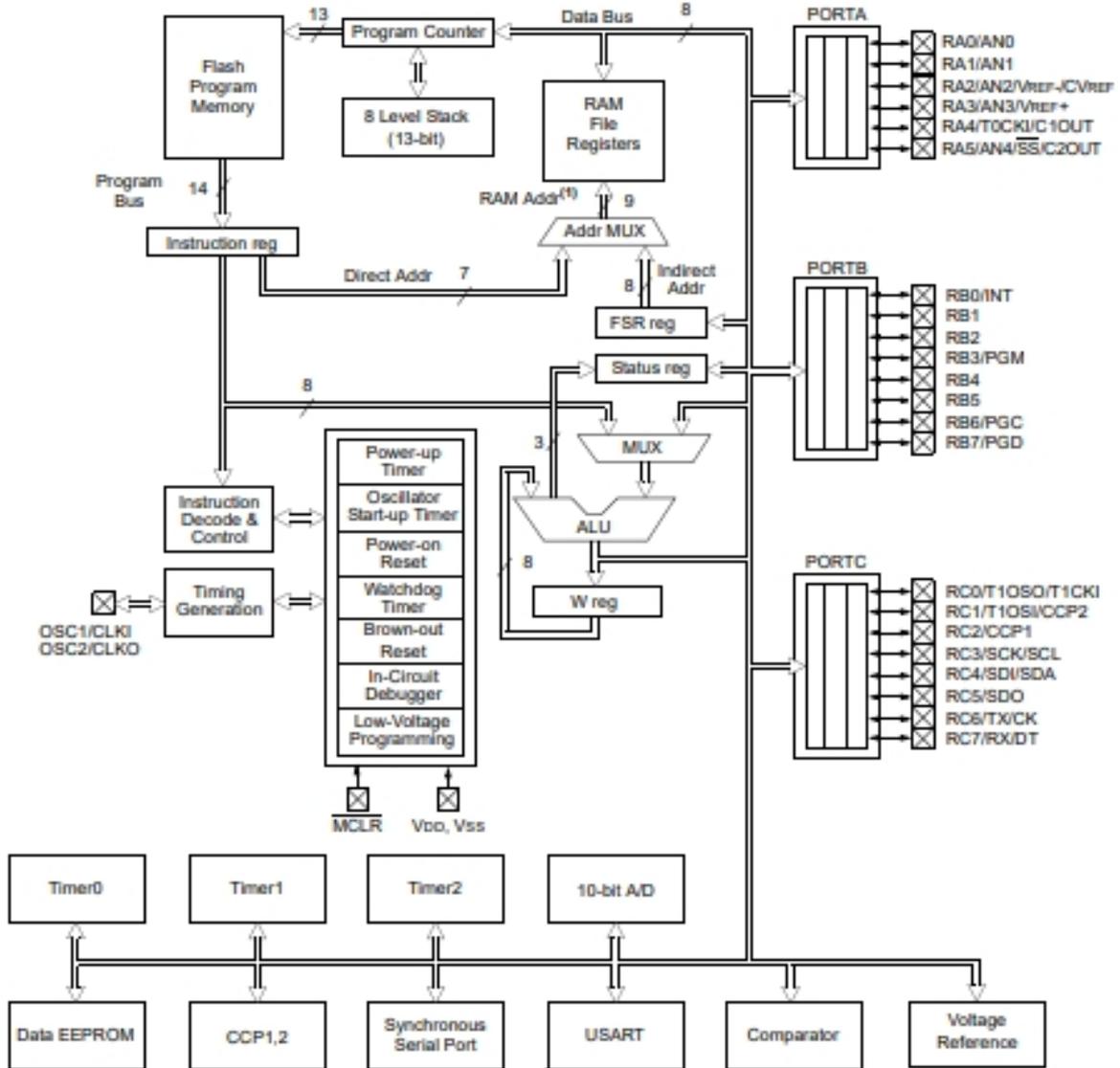


FIGURE II-2 – Structure interne du PIC16F877A

## II.1.3 Les éléments de base du PIC 16F877A

### II.1.3.1 L'horloge

Le rôle de l'horloge est de cadencer le rythme d'exécution des instructions. Il y a 4 modes possibles pour réaliser l'horloge :

- LP Low-Power Crystal.
- XT Crystal/Resonator.
- HS High-Speed Crystal/Resonator.
- RC Résistor/Capacitor.

### II.1.3.2 Les mémoires internes

a) **La mémoire RAM :** L'espace mémoire RAM adressable est de 512 positions de 1 octet chacune : 96 positions sont réservées au SFR (Spécial Function Registers) qui sont les registres de configuration du PIC. Les 416 positions restantes constituent les registres GPR (General Purpose Registers) ou RAM utilisateur. Sur le PIC16F877, 3 blocs de 16 octets chacun ne sont pas implantés physiquement d'où une capacité de RAM utilisateur de 368 octets. Pour accéder à la RAM. [6]

b) **La mémoire FLASH :** C'est une mémoire programme de taille 8ko. Chaque case mémoire unitaire est de taille 13 bits. Cette mémoire est de type mémoires stable, c'est-à-dire qu'on peut réécrire dessus à volonté, car le PIC16F877A est caractérisé par la possibilité d'écrire des données. La zone mémoire est caractérisée par une adresse de 13 bits, alors ceci nous impose donc pour l'adressage les registres EEAR et EEADRH. De même, nous aurons pour les données, les registres EEDATA et EEDATH.

c) **L'EPROM Interne :** Le pic 16F877A contient également la mémoire électriquement effaçable, Ce type de mémoire est d'accès plus lent. Pour gérer cette EEPROM on a besoin de quatre registres, à savoir EEDR, EEDATA, EECON1 et EECON2. L'adresse relative de l'accès EEPROM est donc comprise entre 0000 et 00FF ce qui nous permet d'utiliser un registre de huit bit pour définir cette adresse.

### II.1.3.3 Les Timers

a) **Timer 0 :** Timer 0 est le plus simple des trois, c'est un registre de 8 bits avec pré diviseur. Il est capable de générer une interruption qui se produit lorsque le timer0 déborde de FFh à 00h.

b) **Timer 1 :** Le timer1 est constitué essentiellement d'un registre de 16 bits divisé en deux registres de 8bits : TMR1L pour les bits de poids faible et TMR1H pour les bits de poids fort. Ils peuvent être tous deux lus et écrit à leur adresse, le TMR1 fonctionne au moyen du registre T1CON, il peut utiliser trois sources d'horloges différentes en mode timer, il utilise l'horloge instruction en mode compteur il peut utiliser un signal externe appliqué à la patte T1OSO/T1CKI, ou bien le signal d'un oscillateur qui est lui propre réalise en connectant un quartz entre les pattes T1OSO et T1OSI.

c) **Timer 2 :** Le timer2 est composé d'un registre de 8 bits appelé TMR2 associé à un pré diviseur et un post-diviseur ainsi qu'un registre dit de période appelé PR2 dont le contenu augmente partir de 00 au rythme de l'horloge du pic divisé par quatre.

### II.1.3.4 Les Ports d'entrée/sortie

Le PIC 16F877 comporte 5 ports d'entrée/sortie :

- Port A : 6 lignes I/O digital ou entrées analogiques.
- Port B : 8 lignes I/O digital.
- Port C : 8 lignes I/O digital avec d'autres fonctionnalités.
- Port D : 8 lignes I/O digital.
- Port E : 3 lignes I/O digital ou entrées analogiques.

Ces ports sont bidirectionnels, leur configuration se fait par des registres spécifiques (TRISX) par exemple TRISB configure le Port B :

Bit  $i$  de TRISB = 0  $\rightarrow$  Bit  $i$  de PORTB est configuré en sortie.

Bit  $i$  de TRISB = 1  $\rightarrow$  bit  $i$  de PORTB est configuré en entrée.

### II.1.4 Le module de conversion A/N

Ce module est constitué d'un convertisseur Analogique Numérique 10 bits dont l'entrée analogique peut être connectée sur l'une des 8 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 Vdd, Vss, Vref+ ou Vref- [6].

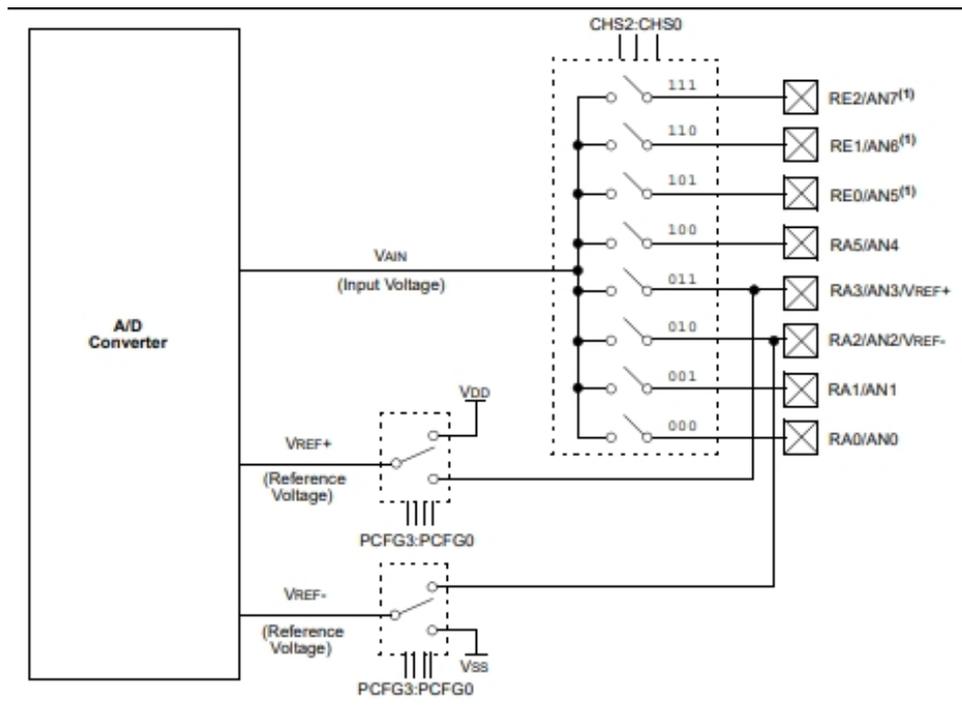


FIGURE II-3 – module CAN du pic 16F877A

## II.2 Description générale du PIC18F25K22

Le PIC18F25K22 fait partie de la famille des micro-contrôleurs PIC18(L) F2X/4XK22 développée par Micro-chip Technology. Cette famille a été conçue pour offrir des performances élevées à un prix abordable, il a été développé pour répondre aux besoins des applications nécessitant des performances élevées, une mémoire flash importante et une faible consommation d'énergie.

### II.2.1 Caractéristiques essentiels du PIC18F25K22

Les caractéristiques essentielles du PIC sont :

- Une mémoire programme de type EEPROM flash de 1024 octets.
- Une RAM donnée de 3896 octets.
- Cinq ports d'entrée sortie : A (sur 8bits), B (sur 8bits), C (sur 8bits), E (seul bit RE3 en lecture seule).
- Convertisseur Analogiques numériques 10 bits, jusqu'à 30 canaux externes.
- Fonctionnement de 2,3 V à 5,5 V.
- Alimentation unique 3V.
- Deux modules Capture/Comparaison/PWM (CCP).
- Cinq modules CCP : CCP1, CCP2, CCP3, CCP4, CCP5
- Une, deux ou quatre sorties PWM.

- SPI 3 fils (prend en charge les quatre modes).
- Module I2C
- Sept TIMERS : TMR0, TMR1, TMR2, TMR3, TMR4, TMR5, TMR6. [7]

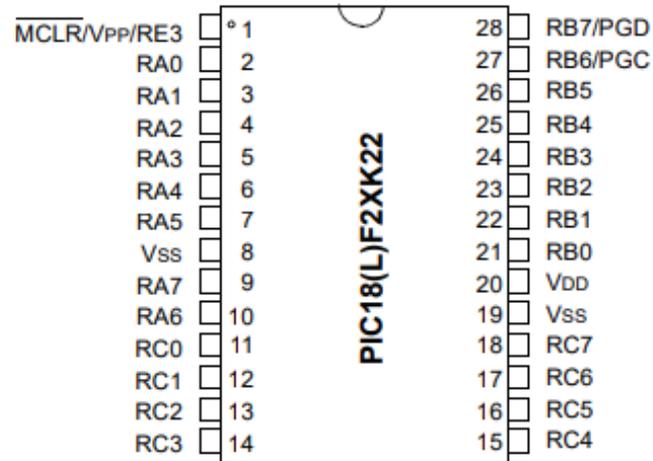


FIGURE II-4 – le boîtier du PIC18F25K22

## II.2.2 Description et structure interne

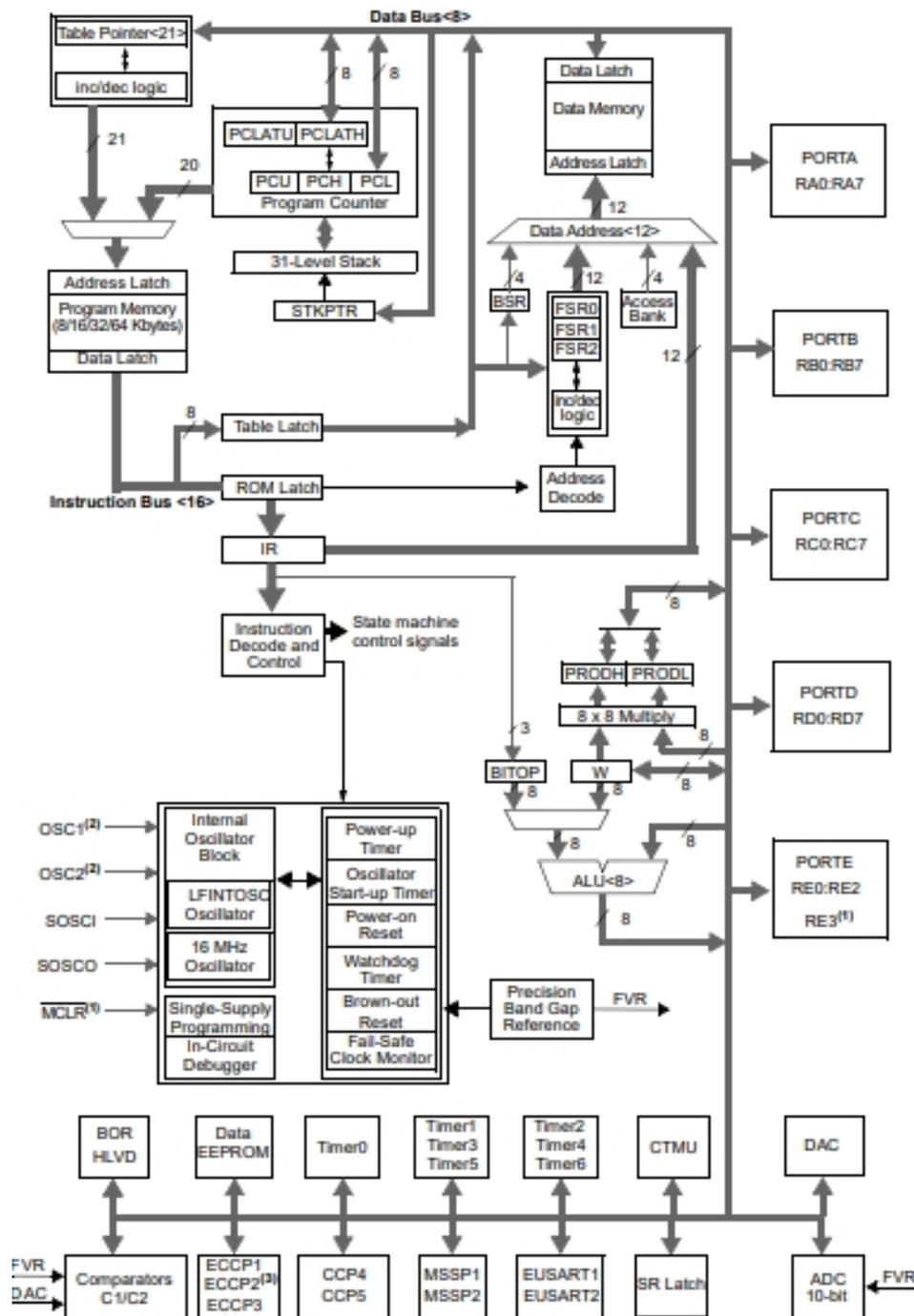


FIGURE II-5 – Structure interne du PIC18F25K22

## II.2.3 Les éléments de base du PIC18F25K22

### II.2.3.1 L'horloge

L'horloge du PIC joue un rôle essentiel en synchronisant les opérations du processeur, du bus et des périphériques. Il y a six modes possibles pour réaliser l'horloge

- RC External Resistor/Capacitor
- LP Low-Power Crystal
- XT Crystal/Resonator
- INTOSC internal oscillator
- HS High-Speed Crystal/Resonator
- EC External Clock.

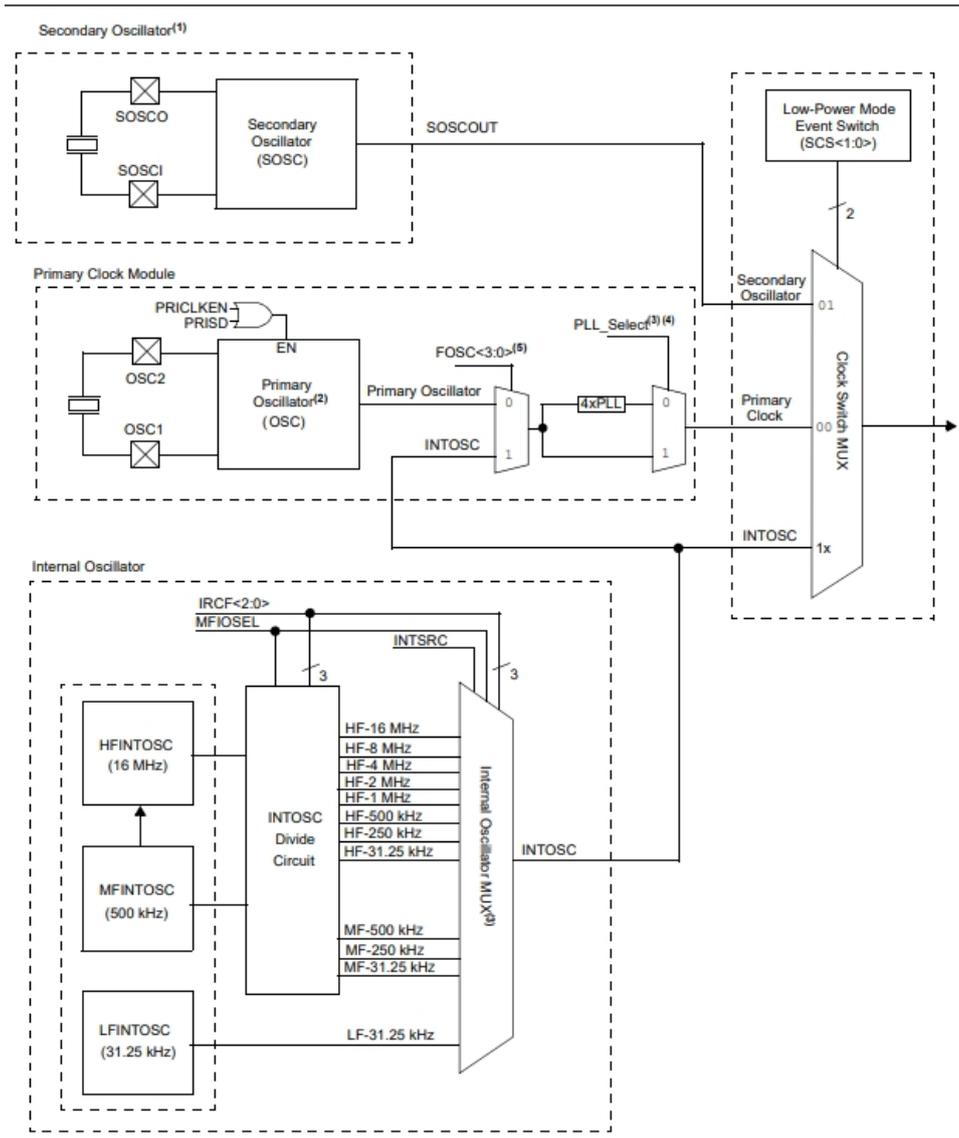


FIGURE II-6 – Schéma de fonctionnement du système d'oscillateur simplifié

### II.2.3.2 Circuit de RESET

En résumé, le circuit de RESET joue un rôle essentiel pour garantir le bon fonctionnement du micro-contrôleur PIC en initialisant le système dans un état connu et sûr au démarrage. Quelques types de réinitialisations (RESET) pour PIC18F25K22

- Réinitialisation à la mise sous tension (POR).

- Réinitialisation du MCLR pendant le fonctionnement normal.
- Réinitialisation du MCLR pendant les modes de gestion de l'alimentation.
- Réinitialisation de la minuterie de surveillance (WDT) (pendant exécution).

### II.2.3.3 Les TIMERS

Un TIMER dans un micro-contrôleur PIC est un composant permettant de mesurer des temps, générer des temporisations ou générer des événements synchrones. Son utilisation est principalement orientée sur la temporisation des opérations, la gestion d'évènements de période ou la génération de déclenchements en fonction du temps. Peut être utilisé pour de nombreuses applications comme la génération de signaux d'horloge, le déclenchement d'évènements, la gestion de période.[7]

#### TIMER 0

- Le registre est sur 8 bits.
- Source d'horloge sélectionnable (interne ou externe).
- Registre lisible et inscriptible (R/W).
- Le registre T0CON contrôle tous aspects du fonctionnement du module.

#### TIMER1/3/5 (WITH GATE CONTROL)

- Les registre des trois modules sont sur 16 bits.
- Source d'horloge interne ou externe programmable
- Registres lisibles et inscriptibles (R/W).
- Les registre TxCON(x=1,3,5) contrôlent tous aspects du fonctionnement des modules.
- Les registres TxGCON (x=1,3,5) pour le gâte control.

#### TIMER2/4/6

- Les registres des trois modules sont sur 8 bits.
- Registres lisibles et inscriptibles (R/W).
- Postscaler (1 :1,1 :2,1 :4,1 :8, 1 :16).
- Les registre TxCON(x=2,4,6) contrôlent tous aspects du fonctionnement des modules.

### II.2.3.4 Les Ports d'entrée/sortie

Le PIC18F25K22, dispose de quatre PORT d'E /S (A, B, C, E) est chaque PORT dispose de cinq registres pour son fonctionnement qui sont :

- Registre TRIS, pour définir la direction des données.

- Registre PORT, pour lire les niveaux sur les broches du PIC.
- Registre LAT, pour le verrouillage des sorties.
- Registre ANSEL, pour le contrôle d'entrées analogiques
- Registre SLRCON, pour le contrôle de la vitesse de balayage des ports.

## II.2.4 Le module de conversion A/N

Le convertisseur analogique-numérique (CAN) est un dispositif électronique qui convertit un signal analogique en un signal numérique. Ce processus de conversion implique de prendre un signal d'entrée analogique et de le convertir en une valeur numérique, dans le cas de notre PIC le convertisseur génère un résultat binaire de 10 bits par étapes successives et stocke le résultat de la conversion dans le Registres de résultats ADC (ADRESL et ADRESH).

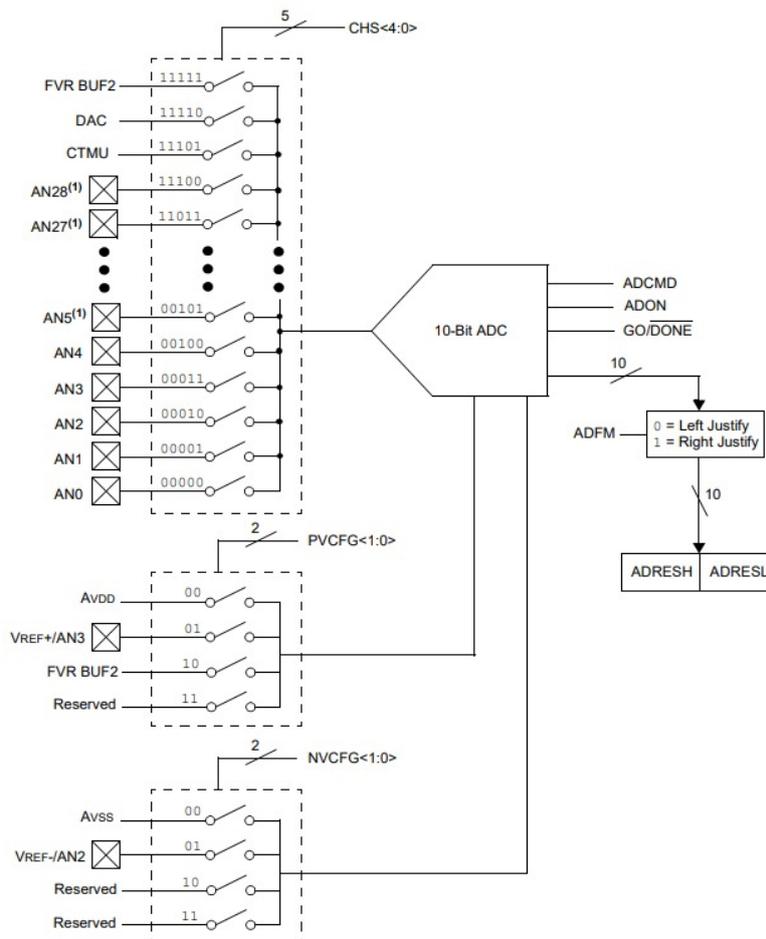


FIGURE II-7 – Diagramme du module CAN

## II.3 MikroC Pro for PIC

MikroC Pro for PIC est un environnement de développement intégré (IDE) conçu spécifiquement pour la programmation des micro-contrôleurs PIC. C'est un compilateur (ANSI C) qui prend en charge la plupart des instructions et des fonctionnalités du langage C. Ce logiciel prend en charge un large éventail de micro-contrôleurs PIC, ainsi que des bibliothèques pour les périphériques tels que l'ADC, le CAN, l'I2C, le PWM, l'UART, l'USB, et bien d'autres.[8]

### II.3.1 Environnement du logiciel

MikroC PRO for PIC offre une gamme de fonctionnalités pour faciliter le développement de projets. Les fonctionnalités clés incluent une mise en évidence de la syntaxe réglable, un pliage de code, un assistant pour la correction automatique des fautes de frappe. Le Code Explorer permet une gestion efficace des projets, tandis que le Chef de Projet permet la gestion de plusieurs projets simultanément. Les paramètres généraux du projet peuvent être définis dans la fenêtre Paramètres du projet, et le gestionnaire de bibliothèques facilite la gestion des bibliothèques utilisées dans un projet. La fenêtre d'erreur affiche toutes les erreurs détectées lors de la compilation et de la liaison. Le simulateur logiciel au niveau source permet de déboguer la logique exécutable étape par étape. L'Assistant Nouveau projet est un moyen rapide et simple de créer un projet, et les fichiers d'aide sont sensibles à la syntaxe et au contexte. De plus, le correcteur orthographique souligne les identifiants inconnus du projet, aidant ainsi le programmeur à détecter les problèmes potentiels tôt dans le processus de développement.

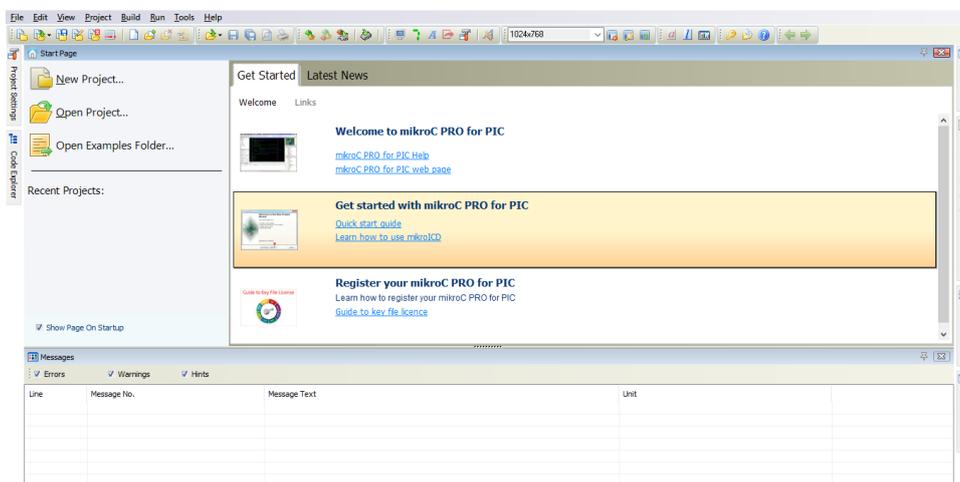


FIGURE II-8 – vue générale d'IDE

## II.3.2 Options de l'IDE

### Options du menu fichier

File	Description
 <b>N</b> ew Unit    Ctrl+N	Open a new editor window.
 <b>O</b> pen    Ctrl+O	Open source file for editing or image file for viewing.
<b>R</b> ecent Files    ▶	Reopen recently used file.
 <b>S</b> ave    Ctrl+S	Save changes for active editor.
 <b>S</b> ave <b>A</b> s...	Save the active source file with the different name or change the file type.
 <b>C</b> lose    Alt+F4	Close active source file.
 <b>P</b> rint...    Ctrl+P	Print Preview.
 <b>E</b> xit    Alt+X	Exit IDE.

FIGURE II-9 – Les options du menu fichier

### Modifier les options du menu

Edit	Description
 <b>U</b> ndo    Ctrl+Z	Undo last change.
 <b>R</b> edo    Shift+Ctrl+Z	Redo last change.
 <b>C</b> ut    Ctrl+X	Cut selected text to clipboard.
 <b>C</b> opy    Ctrl+C	Copy selected text to clipboard.
 <b>P</b> aste    Ctrl+V	Paste text from clipboard.
 <b>D</b> elete	Delete selected text.
<b>S</b> elect <b>A</b> ll    Ctrl+A	Select all text in active editor.
 <b>F</b> ind...    Ctrl+F	Find text in active editor.
 <b>F</b> ind <b>N</b> ext    F3	Find next occurrence of text in active editor.
 <b>F</b> ind <b>P</b> revious    Shift+F3	Find previous occurrence of text in active editor.
 <b>R</b> eplace...    Ctrl+R	Replace text in active editor.
 <b>F</b> ind <b>I</b> n <b>F</b> iles...    Alt+F3	Find text in current file, in all opened files, or in files from desired folder.
 <b>G</b> oto <b>L</b> ine...    Ctrl+G	Goto to the desired line in active editor.
<b>A</b> dvanced    ▶	Advanced Code Editor options

FIGURE II-10 – Modification des options du menu

### Barre d'outils du projet

Icon	Description
	New project
	Open Project
	Save Project
	Close current project.
	Edit project settings.
	Add existing project to project group.
	Remove existing project from project group.
	Add File To Project
	Remove File From Project

FIGURE II-11 – les options de la barre d'outils du projet

### Barre d'outils Build

Icon	Description
	Build current project.
	Build all opened projects.
	Build and program active project.
	Start programmer and load current HEX file.
	Open assembly code in editor.
	Open listing file in editor.
	View statistics for current project.

FIGURE II-12 – les options de la barre d'outils build

### Fenêtre paramètres du projet

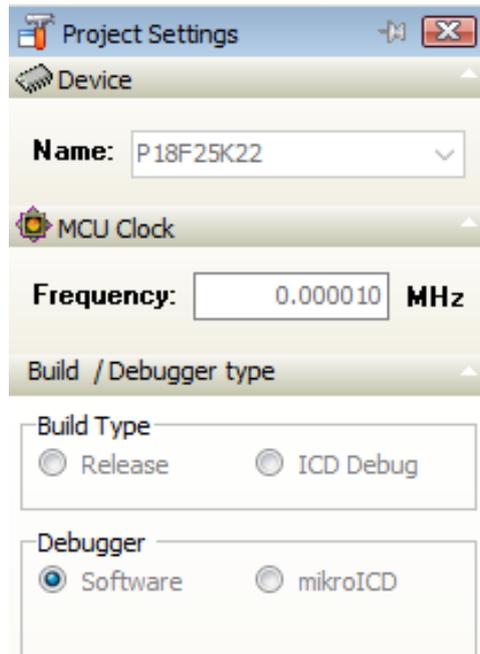


FIGURE II-13 – Fenêtre des paramètres du projet

## II.3.3 Les Bibliothèques de MikroC

Afin de faciliter la programmation, MikroC PRO for PIC fournit un ensemble de bibliothèques. Ces dernières se divisent en trois catégories, qui sont [8] :

### II.3.3.1 Bibliothèques spécifiques au matériel PIC

Dans cette catégorie on trouve 32 bibliothèques, parmi eux on trouve

#### **Bibliothèque ADC : Elle contient trois fonctions**

- ADC\_Init : initialise le module ADC interne du PIC.
- ADC\_Get\_Sample : La fonction récupère la valeur analogique du canal désigné.
- ADC\_Read : la même chose que la fonction précédente. Mais (ADC\_Get\_Sample) nous donne plus de précision.

#### **Bibliothèque LCD : Elle contient six fonctions**

- Lcd\_Init : initialisation du module.
- Lcd\_Out : Imprime le texte sur l'écran LCD à partir de la position spécifiée.
- Lcd\_Out\_Cp : Imprime le texte sur l'écran LCD à la position actuelle du curseur.
- Lcd\_Chr : Imprime le caractère sur l'écran LCD à la position spécifiée.

- Lcd\_Chr\_Cp : Imprime le caractère sur l'écran LCD à la position actuelle du curseur.
- Lcd\_Cmd : Envoie la commande à l'écran LCD.

### **Bibliothèque PWM : Elle contient quatre fonctions**

- PWMx\_Init : initialisation du module PWM.
- PWMx\_Set\_Duty : Définit le rapport cyclique.
- PWMx\_Start : Démarre le module.
- PWM1\_Stop : Arrête le module.

### **II.3.3.2 Bibliothèques ANSI C standard**

Elle contient quatre bibliothèques qui sont :

- Bibliothèque de types ANSI C
- Bibliothèque mathématique ANSI C
- Bibliothèque ANSI C Stdlib
- Bibliothèque de chaînes ANSI C

### **II.3.4 Bibliothèques diverses**

- Bibliothèque de boutons
- Bibliothèque de conversions
- Bibliothèque d'impression
- Bibliothèque Setjmp
- Bibliothèque de sprints
- Bibliothèque de temps
- Bibliothèque de trigonométrie

## **II.4 Proteus Professional**

En résumé, Proteus est une suite logicielle puissante et polyvalente qui offre une grande variété de fonctionnalités pour la conception et la simulation électronique, ainsi que pour la création de circuits imprimés. Elle est très appréciée dans le domaine de l'électronique pour sa facilité d'utilisation et ses nombreuses fonctionnalités. [9]



FIGURE II-14 – Fenêtre de capture schématique

Les principaux éléments

- Barre de menus : Elle regroupe toutes les commandes principales pour créer, modifier et simuler des circuits dans Proteus.

File Edit View Tool Design Graph Debug Library Template System Help

FIGURE II-15 – Barre de menus

- Barres d'outils de commande : cette barre nous donne un accès rapide aux principales fonctions du logiciel.



FIGURE II-16 – Commandes des Fichiers et Projet



FIGURE II-17 – Commande d'affichage



FIGURE II-18 – Commandes Édition et Bibliothèque



FIGURE II-19 – Commandes Outils

Barre d'outils d'orientation : La barre d'outils d'orientation a pour rôle de permettre aux utilisateurs de gérer l'orientation des objets.



FIGURE II-20 – Commandes Édition et Bibliothèque

Barre d'outils de sélection de mode : La barre d'outils de sélection de mode dans Proteus 8 Professional joue un rôle crucial en permettant aux utilisateurs de choisir parmi les différents modes d'édition disponibles, tels que le mode principal, le mode gadgets et le mode graphique.



FIGURE II-21 – Barre d'outils de sélection de mode

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une description générale du micro-contrôleur utilisé ainsi que les deux logiciels MikroC for PIC et Proteus 8 employés dans notre projet. Le choix de ces logiciels s'explique par nos connaissances préalables et leur facilité d'utilisation.

# Chapitre III

## variateur de vitesse d'un moteur asynchrone

## Introduction

Les variateurs de vitesse, également appelés variateurs de fréquence, sont des dispositifs électroniques qui permettent le réglage de la vitesse de rotation des moteurs électrique. Ils jouent un rôle majeur dans beaucoup de domaines d'application, tels que l'industrie manufacturière, les systèmes de conditionnement d'air et les métros. La flexibilité et la précision de l'ajustement de la vitesse. Grâce à leurs capacités d'ajuster la fréquence du courant électrique fourni au moteur, les variateurs de vitesse offrent une grande flexibilité et une précision dans la régulation de la vitesse. Cela permet d'améliorer l'efficacité énergétique, de réduire les coûts et d'augmenter la durée de vie des équipements. Dans ce chapitre, nous allons explorer les principes de fonctionnement, et les différentes parties, des variateurs de vitesse.

### III.1 Fonctions des variateurs de vitesse

Les variateurs de vitesse sont pour remplir plusieurs taches :

- Contrôle de l'accélération et de la décélération.
- Freinage
- Variation et régulation de vitesse.
- Inversion du sens de rotation.
- Économies d'énergie.
- Allongement de la durée de vie.

### III.2 Schéma synoptique du variateur de vitesse

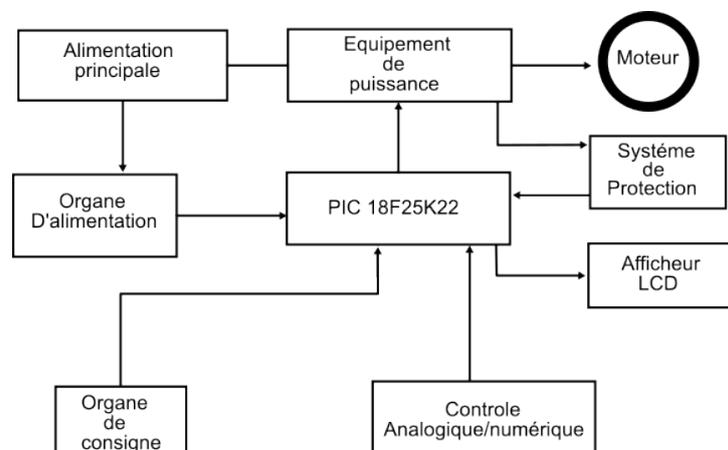


FIGURE III-1 – Schéma synoptique du variateur de vitesse

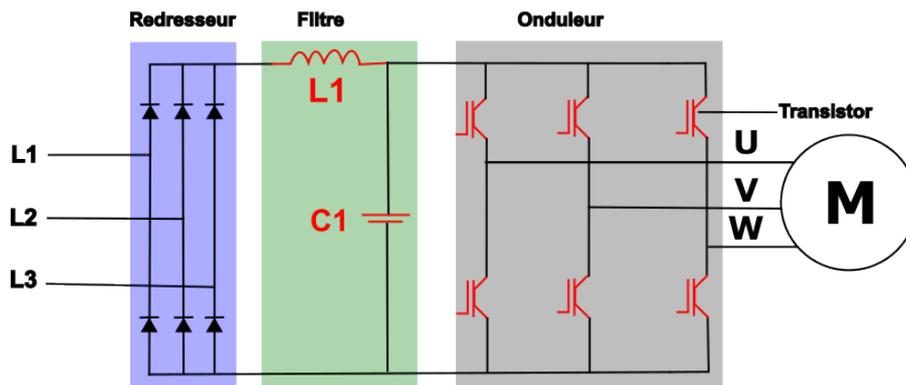


FIGURE III-2 – Schéma global d'un variateur de vitesse

### III.3 Les parties principales d'un variateur de vitesse

#### III.3.1 Redresseur

Pour fournir de manière continue de l'énergie à un appareil à partir d'un réseau électrique alternatif, on utilise un dispositif appelé redresseur, qui convertit le courant alternatif en courant continu. Et pour notre projet on utilisera un redresseur non commandés, équipés uniquement de diodes [10].

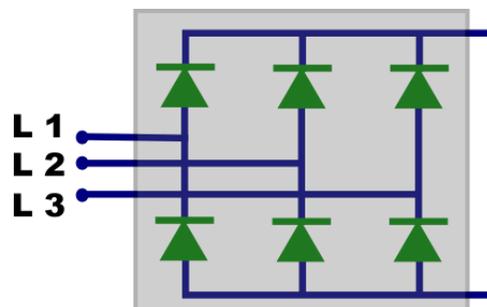


FIGURE III-3 – Redresseur triphasé non commandé

#### III.3.2 Filtrage

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres. Il existe plusieurs types de filtres, dont les plus connus sont :

- Filtre passe-haut.
- Filtre passe-bas.
- Filtre passe-bande.
- Filtre réjecteur de bande.

### III.3.3 La conversion DC - AC

Pour alimenter un moteur avec une tension alternative commandable à partir d'une tension continue, il est nécessaire d'utiliser un convertisseur qui assure cette conversion. Donc l'onduleur est le convertisseur idéal pour assurer cette conversion. En plus, l'onduleur permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace à l'aide d'une séquence adéquate de commande [11] .

## III.4 Méthodes de réglage de la vitesse d'un moteur asynchrone :

Les différents procédés envisageables en industrie consistent à bénéficier de la modification de la caractéristique mécanique couple-vitesse (équation III.1) résultant de la variation des paramètres intervenant dans l'expression du couple C [12]

$$C = \frac{p}{\omega} \frac{3V_s^2 \frac{R'_r}{g}}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + N_r^2 \omega^2}$$

Les paramètres sur lesquels on peut agir pour modifier la caractéristique mécanique sont :

- Action sur la tension d'alimentation( $V_s$ ).
- Action sur le rhéostat secondaire( $R'_r$ ).
- Action sur la fréquence d'alimentation (f).

### III.4.1 Action sur la tension d'alimentation :

Le procédé le plus simple pour faire varier la vitesse du moteur asynchrone consiste à alimenter la machine à fréquence constante et à faire varier la tension à ses bornes [13].

#### III.4.1.1 Mode opératoire :

Ce procédé utilise le fait qu'à glissement donné, le couple du moteur asynchrone est proportionnel au carré de la tension d'alimentation, sa mise en œuvre est très simple : il suffit d'interposer par exemple un gradateur triphasé entre le réseau et les bornes du moteur (voir Figure : III-4 ). Par phase, deux thyristors montés tête bêche contrôlent l'un l'aller, l'autre le retour. En retardant à chaque alternance (angle d'amorçage) l'entrée en conduction du redresseur correspondant, on diminue la tension appliquée au moteur.

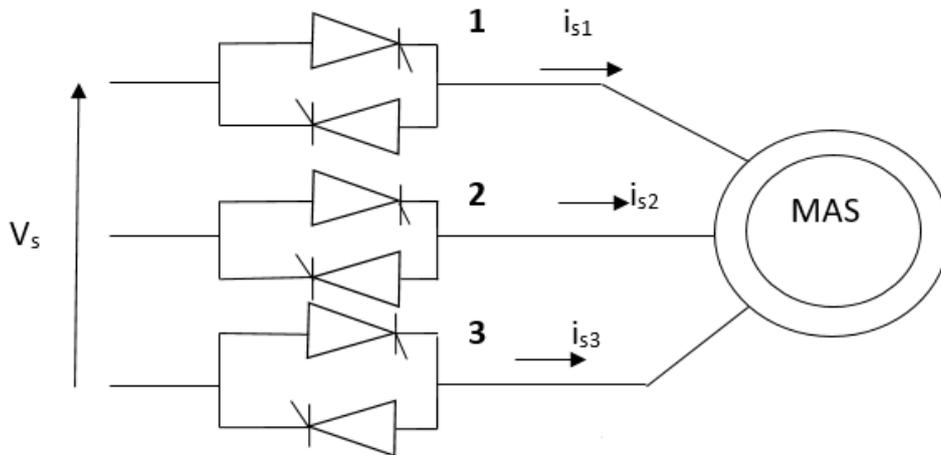


FIGURE III-4 – Moteur asynchrone alimenté par gradateur

Ce procédé est utilisé pour l'entraînement de charge dont le couple croît très vite avec la vitesse, par exemple pour l'entraînement de pompes ou de ventilateurs (dont le couple est sensiblement proportionnel au carré de la vitesse).

### III.4.2 Action sur la résistance secondaire

Cette méthode de variation de la vitesse d'un moteur asynchrone consiste en la variation de la résistance du rotor  $R_r$ , applicable au moteur à rotor bobiné. En effet, elle consiste à introduire ou enlever des résistances aux bagues du rotor [14] .

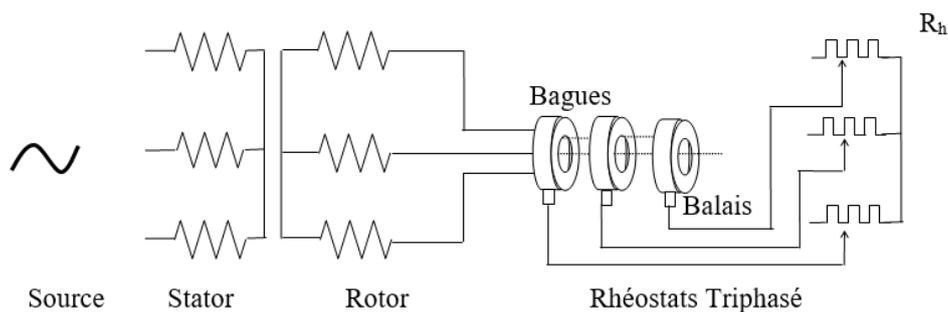


FIGURE III-5 – Schéma électrique illustrant la résistance secondaire additionnelle

### III.4.3 Action sur la fréquence d'alimentation

Pour obtenir un vrai réglage de vitesse d'un moteur asynchrone, il faut faire varier la fréquence des tensions qui l'alimentent.

En même temps que leur fréquence  $f_1$ , il faut varier la valeur  $V_s$  de ces tensions.

D'ordinaire on travaille à  $\frac{V_s}{f}$  constant. Si on néglige les résistances devant les réactances, la tension et les réactances étant proportionnelles à la fréquence. A courant donné, la puissance est proportionnelle à la fréquence, le couple est indépendant de celle-ci [14] .

$C_{max} = \frac{3P}{2\mathcal{N}^2} \left(\frac{V_s}{\omega}\right)^2$  Il faut noter que garder le rapport  $\frac{V_s}{f}$  constant reviendrait à maintenir le flux  $\Phi_m$  constant dans l'entrefer.

En effet, la relation de Boucherot appliquée au stator dans l'hypothèse ( $R_1 = 0$ ) donne

$$V_s = E_s = 4.44 \times f \times K_1 \times N_1 \times \Phi_m$$

$$\frac{V_s}{f} = C^{ste} \Rightarrow \Phi_m = C^{ste}.$$

Ainsi donc pour cette méthode de réglage, la vitesse de synchronisme n'étant plus imposée, la notion de glissement perd son intérêt.

Réintroduisons la présence explicite de la vitesse dans la relation du couple en remplaçant le glissement par

$$\mathcal{G} = \frac{\Omega - \Omega'}{\Omega} \text{ et } \omega = p \times \Omega \text{ On trouve } C = \frac{3P^2 \psi_1^2 \frac{R_r'}{\Omega - \Omega'}}{\left(\frac{R_r'}{\Omega - \Omega'}\right)^2 + \mathcal{N}^2 P^2}$$

Cherchant à opérer  $\psi_1$  constant, les caractéristiques  $C(\Omega')$  sont paramétrées par  $\Omega$ , c'est-à-dire la pulsation d'alimentation. Partant de la courbe correspondante aux conditions nominales de la tension et de la pulsation, on voit que la courbe est conservée lorsque la différence entre  $(\Omega - \Omega')$  est conservée, les courbes  $C(\Omega')$  à  $\psi_1$  constant se déduisent l'une de l'autre par une translation horizontale. La position de la courbe pour les différentes valeurs de  $\Omega$  ou  $\omega$  étant déterminée par l'abscisse à couple nul ( $\Omega' = \Omega$ )

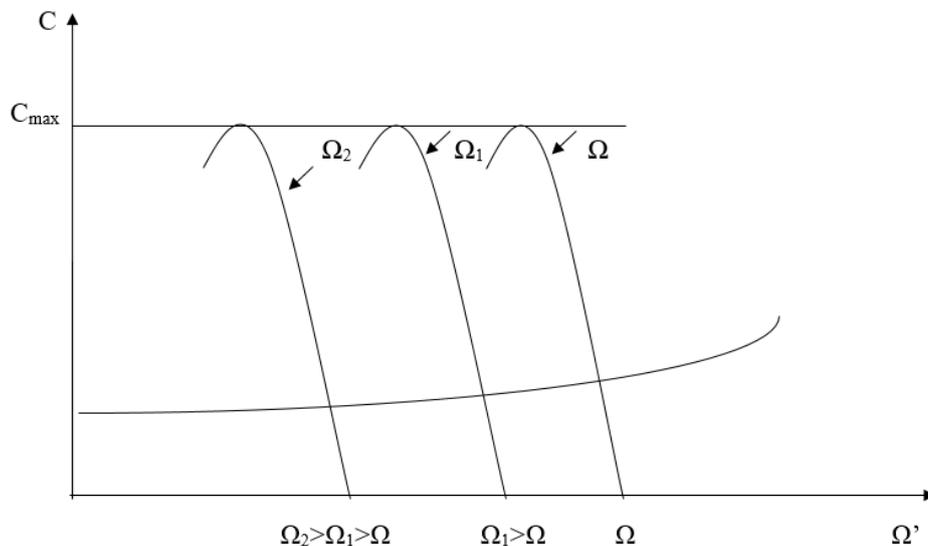


FIGURE III-6 – Caractéristique  $C(\Omega')$  à flux constant

### III.4.3.1 Mode opératoire :

Deux types de procédés sont utilisables pour obtenir à partir du réseau à tension et à fréquence constantes, les tensions de valeur et de fréquence variables :

- Conversion directe à partir du réseau : c'est la technique des cycloconvertisseurs.
- Emploi d'un redresseur et d'un onduleur autonome.

Dans ce qui suit nous nous intéressons au deuxième procédé en particulier.

Les tensions du réseau industriel sont redressées par un montage à diodes ou à thyristors. La tension continue obtenue est transformée par un onduleur autonome en tension alternative de fréquence variable ( $f'$ ).

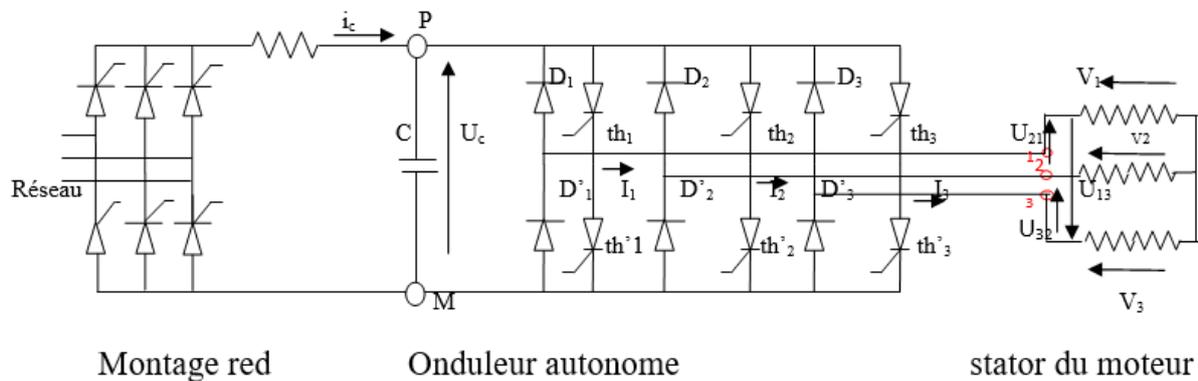


FIGURE III-7 – Variation de la fréquence statorique via onduleur autonome

### III.4.3.2 Avantages du réglage par action sur la fréquence :

- Pouvoir d'agir sur des moteurs ayant une haute gamme de puissances
- Bon rendement dû au fait que le glissement et le rapport  $v/f$  restent constants.
- Maintenance des caractéristiques électromécaniques et des commutations des thyristors.

## III.4.4 Les techniques de commande d'un onduleur

### III.4.4.1 Commande pleine onde

La commande pleine onde est une stratégie de commande d'onduleur qui implique la conduction de chaque interrupteur pendant toute la demi-période de la tension de sortie. Cette méthode est également connue sous le nom de "commande type 180°". Dans ce mode de commande, la fermeture d'un interrupteur coïncide avec l'ouverture de l'autre interrupteur placé sur le même bras, générant ainsi des signaux de commande complémen-

taires. Les interrupteurs sont commandés selon des intervalles de conduction spécifiques, par exemple, K1 est fermé pour  $\omega_t \in [0; \pi]$  et K2 est fermé pour  $[\frac{2\pi}{3}; \frac{5\pi}{3}]$  [15] .

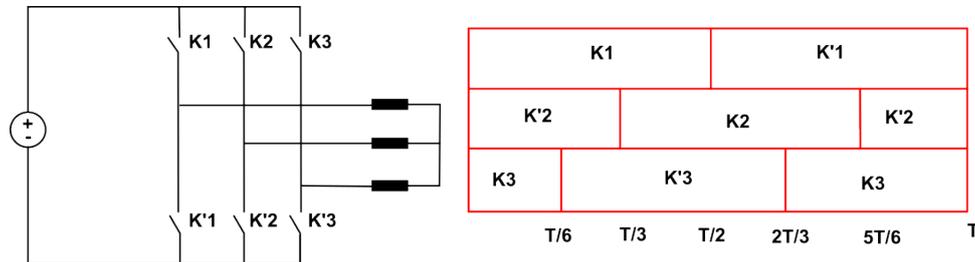


FIGURE III-8 – Structure d'un onduleur de tension / L'état des interrupteurs

- **Remarque :** La commande pleine onde est la plus simple à mettre en œuvre, mais elle produit une tension de sortie riche en harmoniques de basse fréquence, ce qui rend le filtrage difficile. Cela nous oriente vers une autre technique de commande qui est la commande MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion).

#### III.4.4.2 La commande MLI (Modulation de largeur d'impulsion)

La modulation de largeur d'impulsion (MLI ou PWM pour Pulse Width Modulation en anglais) est une technique utilisée en électronique pour contrôler la puissance fournie à une charge en variant le rapport cyclique d'un signal carré. [16]

#### III.4.5 Principe de la commande MLI

La MLI consiste à générer un signal carré dont le rapport cyclique varie en fonction d'un signal de commande. Le rapport cyclique est défini comme le rapport entre la durée pendant laquelle le signal est à l'état haut et la période totale du signal carré. En faisant varier le rapport cyclique, on peut contrôler la valeur moyenne du signal MLI, et donc la puissance fournie à une charge. [16]

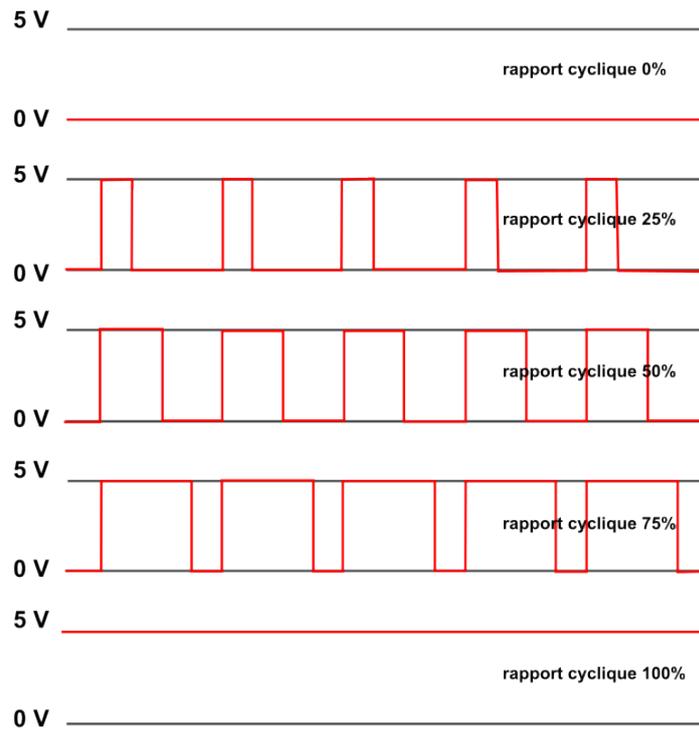


FIGURE III-9 – variation du rapport cyclique

### III.4.5.1 Les types de la commande MLI

**Commande analogique :** Le principe consiste à comparer un signal de référence analogique (sinusoïdal) avec une porteuse triangulaire ou dents de scie. Les instants de commutation sont définis par les intersections entre la commande et la porteuse. [16]

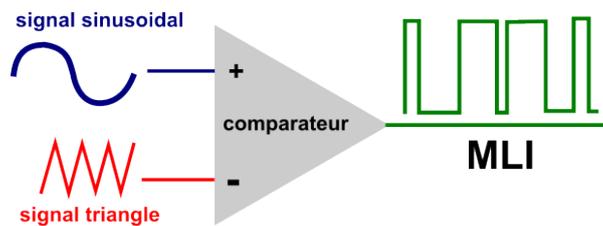


FIGURE III-10 – génération d'un signal MLI analogique

**Commande numérique :** Elle est basée sur l'utilisation des micro-contrôleurs qui assurent la génération des impulsions en se servant d'un programme définissant les angles d'amplitudes calculés au préalable. Cette technique a apporté une grande amélioration significative en matière de simplicité et performance du circuit de commande. [16]

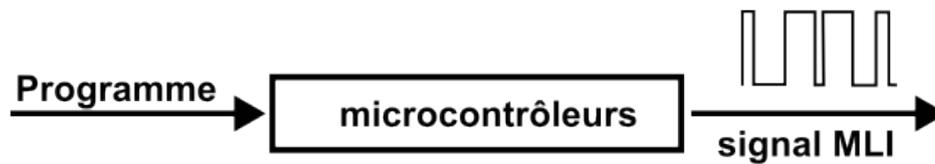


FIGURE III-11 – génération d'un signal MLI numérique

- Dans notre projet on utilisera la technique numérique. Afin d'utiliser cette méthode, les micro-contrôleurs ont un module appelé CCP (CAPTURE/COMPARE/PWM MODULES), ce dernier facilite la génération des signaux MLI.

### III.4.6 Module CCP (CAPTURE/COMPARE/PWM MODULES)

Le module CCP (Capture Compare PWM) est un périphérique interne aux micro-contrôleurs PIC qui peut fonctionner selon trois modes différents, Le mode comparaison, Le mode capture et Le mode modulation de largeur d'impulsion. Ce dernier mode permet de générer des signaux PWM en utilisant le module CCP conjointement avec l'un des timer existant sur le micro-contrôleur. Le registre CCPXCON configure le module CCP et le registre CCPRXL, en association avec CCPXCON, fixe le rapport cyclique du signal PWM généré. Le PIC qu'on va utiliser (PIC18F25K22) a cinq modules CCP (CCP1, CCP2, CCP3, CCP4 et CCP5).

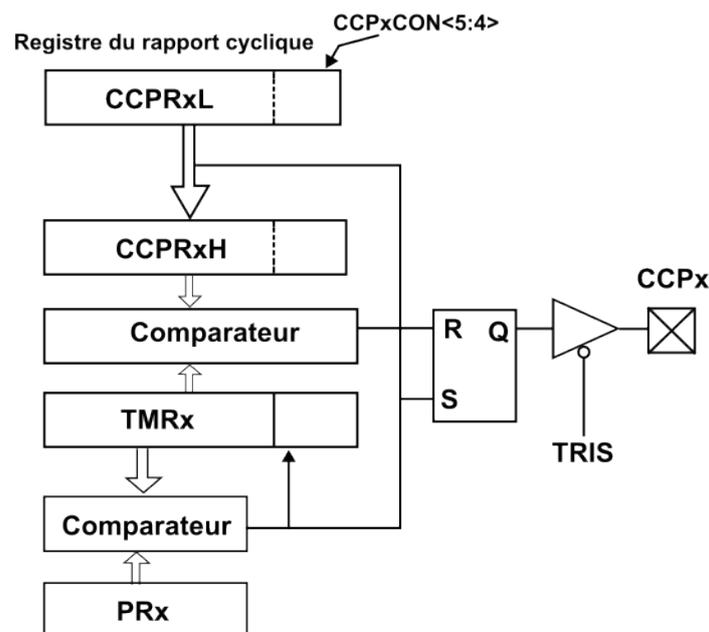


FIGURE III-12 – Diagramme simplifié du bloc PWM

### III.4.6.1 Le mode PWM (Pulse Width Modulation)

Le modulateur PWM est un élément essentiel dans pas mal de montage électronique :

- Variateur de vitesse des moteurs.
- Variateur de luminosité des lampes.
- Commande des convertisseurs DC Commande des convertisseurs DC-DC, DC-AC et AC- AC et AC-DC.
- Convertisseur numérique analogique avec un filtre passe bas à la sortie PWM.

### III.4.6.2 Principe de fonctionnement du mode PWM

L'horloge alimente le PREDIVISEUR, qui à son tour, alimente le registre TMRx pour l'incrémenter. La valeur du registre TMRx est ensuite comparée avec celle du registre PRx. Au moment de l'égalité, le registre TMRxIF se déborde ce qui déclenche un événement d'incrément, et la logique interne du module TIMERx génère un RESET (remise à zéro) du registre TMRx, initiant ainsi une nouvelle période (la période de comptage est égale à la valeur du registre PR2 plus 1 [PERIOD = PRx + 1]) [7].

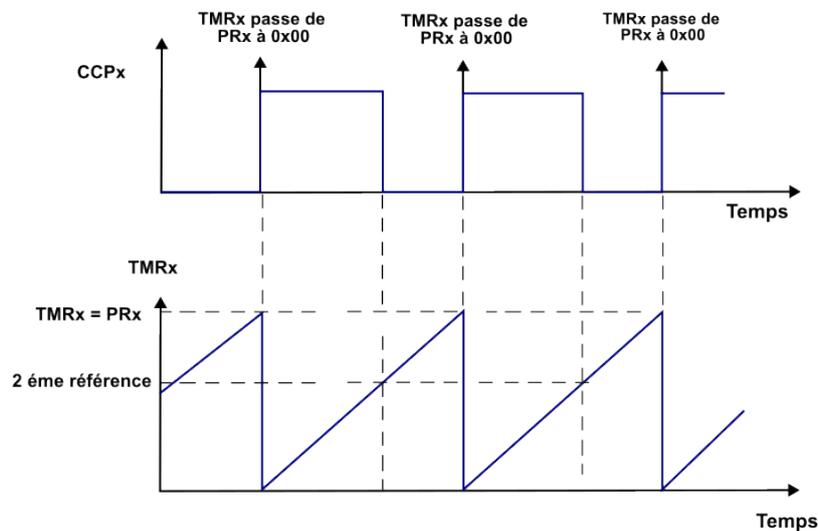


FIGURE III-13 – Principe de fonctionnement du module PWM

### III.4.6.3 Les registres utilisés

Afin de configurer le module PWM on aura besoin de trois registres

**Le registre PRx :** Ce registre définit la période du signal PWM. Il détermine la fréquence de PWM en conjonction avec le prescaler.

**Le registre TxCON :** C'est un registre de contrôle des TIMERS 2,4,6, car le module PWM du micro-contrôleur choisi utilise ces timer pour générer des signaux PWM .il est sur 8 bits Bit 7 non implémenté. Bits 6-3 **TxOUTPS<3 :0>** : servent à sélectionner le facteur de pré diviseur pour l'horloge d'entrée des TIMERS 2,4,6. Bit 2 **TMRxON** sert à activé les TIMER 2,4 ,6. Bit 1-0 **TxCKPS<1 :0>** servent à sélectionner le facteur de pré division de l'horloge pour le TIMER2 [6].

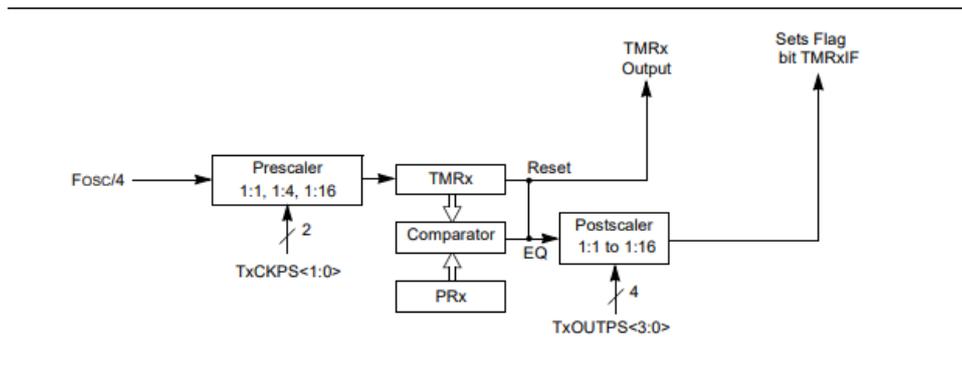


FIGURE III-14 – diagramme block des TMIER 2,4,6

#### III.4.6.4 Configuration du module CCP en mode PWM

Le module CCP a trois mode possible, afin de le configurer en mode PWM, il faut suivre les étapes suivantes : Configuration du registre TxCON. Configuration des PINs utilisés pour générer les signaux PWM en sorties à l'aide du registre TRISx. Configuration du TIMER utilisé (PRx, PRESCALER). CCPxCON en mode PWM. Charger le rapport cyclique dans CCPxL : CCPxX : CCPxY.

#### III.4.6.5 Les formules de calcul

Calcul de la période de signal à la sortie de module :

$$Periode = (PR2 + 1) \times 4 \times TOSC \times PRESCALER$$

$$F_{PWM} = 1/Periode$$

Calcul de rapport cyclique :

$$DC = V \times T \times PRESCALER$$

Calcul de la résolution :

$$RESOLUTION = \frac{\log(\frac{F_{OSC}}{F_{PWM}})}{\log 2} Bits$$

## III.5 Les composants de commande, isolation galvanique, alimentation stabilisée et affichage

### III.5.1 Driver (IR2112)

Le IR2112 est un pilote de grille (driver) pour transistors MOSFET et IGBT, conçu pour les applications de commande de haute tension. Capable de fonctionner avec des tensions allant jusqu'à 600V, il intègre des sorties haute et basse permettant de contrôler des transistors en configuration half-bridge. Ses fonctionnalités incluent la protection contre les courts-circuits, les sous-tensions et les surintensités, ce qui en fait un choix idéal pour les onduleurs, les contrôleurs de moteurs et les alimentations à découpage [17].

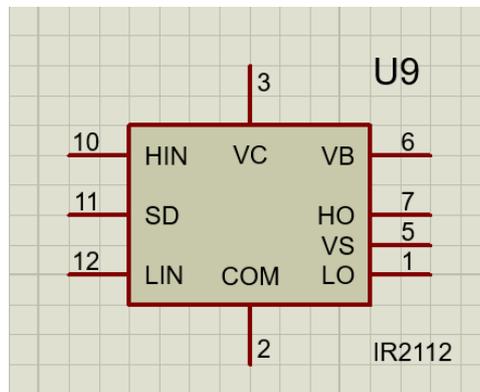


FIGURE III-15 – le composant IR2112 sur Proteus

#### III.5.1.1 Description des pins

- **VCC (Pin 3)** : Tension d'alimentation du driver (15V typiquement).
- **VB (Pin 6)** : Tension d'alimentation flottante de la grille haute
- **VS (Pin 5)** : Point de retour pour le canal de haute tension.
- **HO (Pin 7)** : Sortie de commande de la grille haute.
- **LO (Pin 1)** : Sortie de commande de la grille basse.
- **HIN (Pin 10)** : Entrée de commande pour la sortie haute.
- **LIN (Pin 12)** : Entrée de commande pour la sortie basse.
- **COM (Pin 2)** : Masse de l'alimentation basse tension.
- **SD (Pin 11)** : Broche de désactivation (Shutdown).

#### III.5.1.2 Son rôle dans la commande d'un onduleur

Le IR2112 est souvent utilisé pour commander les transistors MOSFET ou IGBT. Dans un onduleur, il est crucial de pouvoir contrôler précisément les transistors de puissance

pour convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC). Le IR2112 permet de piloter les grilles des transistors MOSFET ou IGBT de manière efficace, en fournissant des impulsions de haute puissance nécessaires pour la commutation rapide.

### III.5.1.3 Montage Bootstrap

Pour assurer le bon pilotage des IGBT, il est nécessaire d'utiliser un montage spécifique appelé montage bootstrap. Cette technique permet d'obtenir une tension de commande plus élevée que la tension d'alimentation principale, ce qui permet de piloter efficacement les transistors de demi-pont ou de pont complet. Le montage utilise un condensateur bootstrap et une diode pour charger et maintenir la tension nécessaire à l'activation des [17].

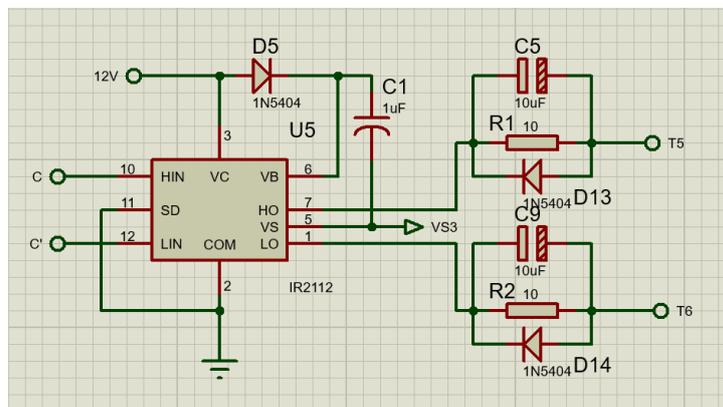


FIGURE III-16 – montage bootstrap

### III.5.2 Optocoupleur (PC817)

L'utilisation de l'Optocoupleur, également appelé opto-isolateur ou optique isolateur, est essentielle pour isoler la partie commande de la partie de puissance. Cette technologie repose sur la conception d'un dispositif qui assure une isolation électrique tout en permettant la transmission de signaux optiques.

Le PC817 est un Optocoupleur couramment utilisé, offrant une isolation électrique jusqu'à 5000 Vrms entre l'entrée et la sortie. Il nécessite généralement un courant direct de la LED d'environ 20 mA pour son activation. Avec une tension de saturation du collecteur-émetteur typiquement entre 0.1 et 0.3 V, il assure une réponse rapide avec un temps de quelques microsecondes [18] .

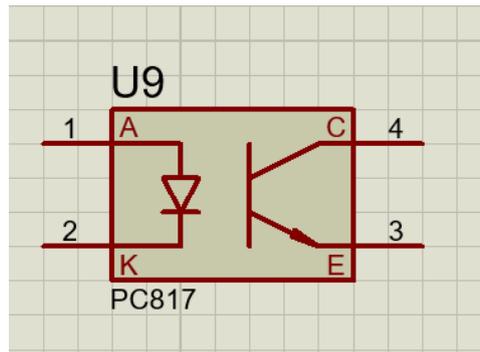


FIGURE III-17 – le composant PC817 sur Proteus

### III.5.2.1 Description des pins

- **A (pin1)** : Anode de la LED.
- **K (pin2)** : Cathode de la LED.
- **E (pin3)** : Émetteur du photo-transistor.
- **C (pin4)** : Collecteur du photo-transistor.

### III.5.2.2 Alimentation stabilisée

Afin d'assurer l'alimentation du bloc de pilotage par une tension de 15V (DC) et le bloc d'affichage par une tension de 5V (DC), il est nécessaire d'insérer ce bloc qui contient de circuits qui peuvent fournir les deux tensions désirer.

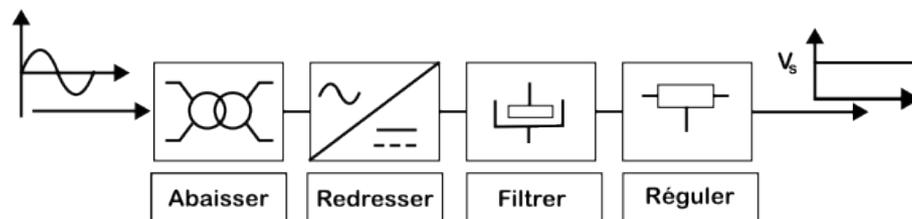


FIGURE III-18 – Schéma synoptique d'une alimentation stabilisée

Chaque composant a un rôle spécifique

- TR1 et TR3 abaissent la tension AC à une tension AC plus basse adaptée pour le redressement.
- BR1 et BR3 redressent la tension AC abaissée pour la convertir en une tension DC.
- C1 et C7 (2200 $\mu$ F) lissent la tension DC en réduisant l'ondulation.
- C2 et C8 (300nF) fournissent une capacité supplémentaire pour éliminer les ondulations à haute fréquence restantes.

- U1 (7805) régule la tension redressée et filtrée à une sortie stable de 5V DC.
- U3 (7815) régule la tension redressée et filtrée à une sortie stable de 15V DC.
- C3 et C9 (100nF) stabilisent la sortie des régulateurs de tension en filtrant les petites variations de tension.
- D1 et D3 assurent la protection contre les surtensions et empêchent le retour de courant.

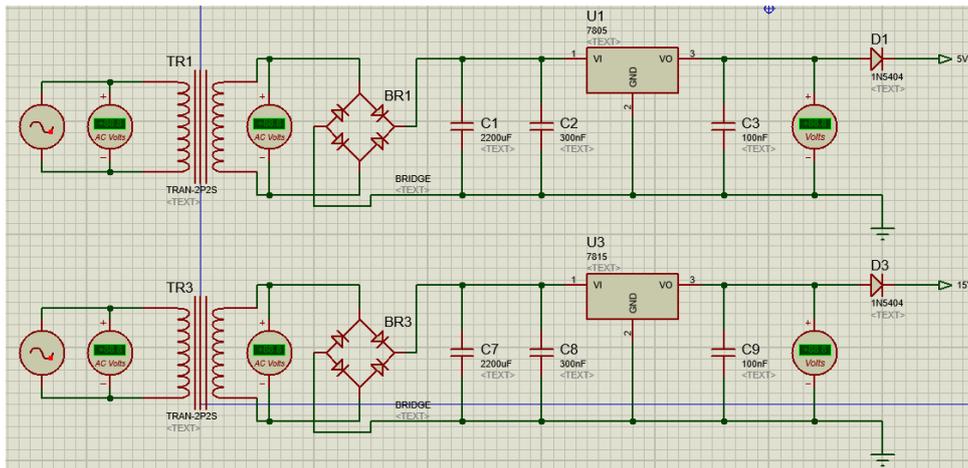


FIGURE III-19 – bloc d'alimentation stabilisée

### III.5.3 Ecran LCD

Un LCD 16x2 est un écran à cristaux liquides capable d'afficher 16 caractères sur 2 lignes, soit un total de 32 caractères. Il utilise la technologie des cristaux liquides et est souvent doté d'un rétro-éclairage LED pour une meilleure visibilité. Il fonctionne généralement à 5V et utilise un contrôleur intégré, comme le HD44780, pour gérer l'affichage des caractères via une interface parallèle ou série. Ce type d'affichage est largement utilisé dans des applications électroniques telles que les micro-contrôleurs, les systèmes embarqués, et divers projets de bricolage et de prototypage [19] .

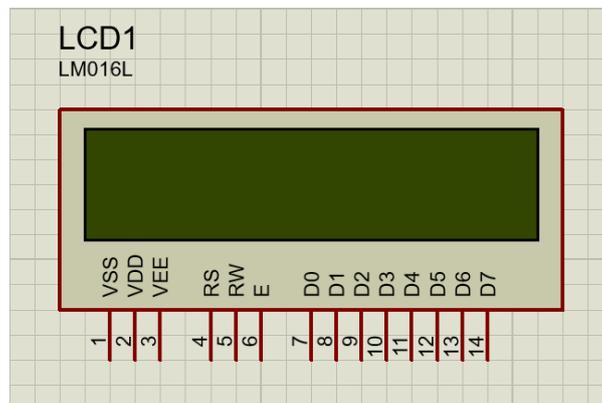


FIGURE III-20 – Écran LCD16x2 sur Proteus

### III.5.3.1 Description des pins

- **VSS (Pin 1)** : Masse (GND).
- **VDD (Pin 2)** : Alimentation positive.
- **VEE (Pin 3)** : Contraste de l'affichage.
- **RS (Pin 4)** : Sélection de registre (Register Select). Cette broche détermine si les données envoyées sont des commandes ( $RS = 0$ ) ou des données de caractères ( $RS = 1$ ).
- **RW (Pin 5)** : Lecture/écriture (Read/Write).  $RW = 0$  pour l'écriture et  $RW = 1$  pour la lecture.
- **E (Pin 6)** : Enable. Cette broche permet de lire ou d'écrire des données en passant de bas en haut.
- **D0 à D7 (Pins 7 à 14)** : Lignes de données. Ces broches transportent les bits de données entre le micro-contrôleur et le LCD. En mode 4 bits, seules D4 à D7 sont utilisées (Mode 4bits).

### III.5.3.2 Schéma de Connexion avec un Micro-contrôleur

- **Pin 1 (VSS)** : Connectée à GND.
- **Pin 2 (VDD)** : Connectée à +5V.
- **Pin 3 (V0)** : Connectée à GND ou bien à un potentiomètre.
- **Pin 4 (RS)** : Connectée à une broche numérique.
- **Pin 5 (RW)** : Connectée à GND.
- **Pin 6 (E)** : Connectée à une broche numérique.
- **Pins 7-10 (D0-D3)** : Non connectées (si on veut l'utiliser en mode 4 bits).
- **Pins 11-14 (D4-D7)** : Connectée à des broches numériques.

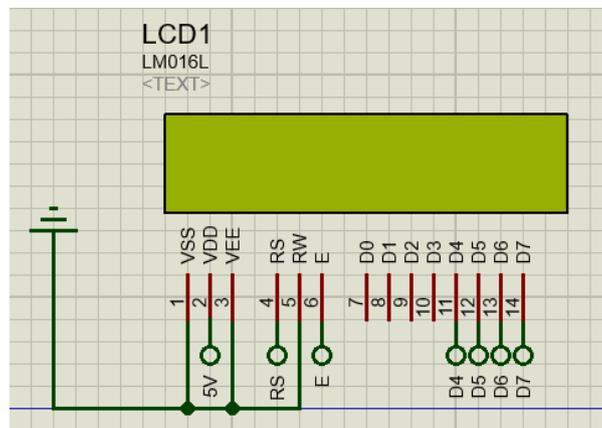


FIGURE III-21 – Schéma de connexion d'un écran LCD 16x2

## Conclusion

Ce chapitre a fourni une analyse des fonctions et des parties principales des variateurs de vitesse, en soulignant l'importance des onduleurs triphasés et des techniques de modulation de largeur d'impulsion (MLI) pour le contrôle précis des moteurs. La compréhension des schémas synoptiques et des modules PWM a permis de mettre en évidence les méthodes essentielles pour l'optimisation et l'implémentation pratique de la commande des variateurs de vitesse dans les applications industrielles.

# Chapitre IV

## Conception de la commande numérique et simulation

## Introduction

Après avoir étudié le principe de fonctionnement des variateurs de vitesse, ainsi que le concept de la modulation de largeur d'impulsions (PWM), nous allons décrire dans ce chapitre les étapes suivies et les parties principales de ce dispositif dans le but de réaliser notre simulation.

## IV.1 Simulation d'un variateur de vitesse

### IV.1.1 Conception du schéma global

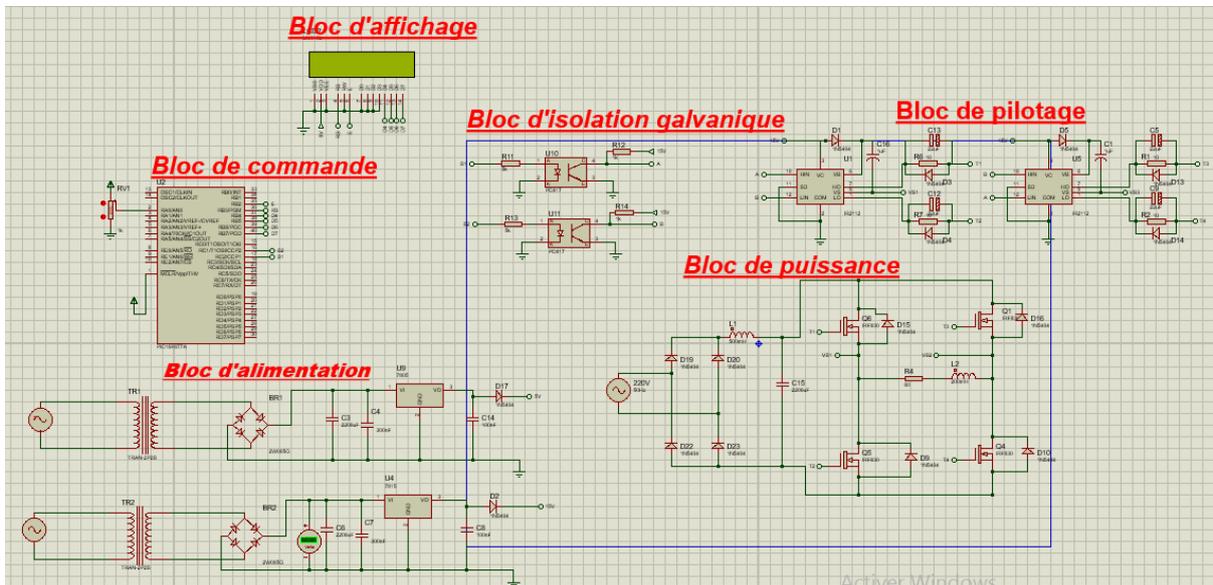


FIGURE IV-1 – Schéma globale d'un variateur de vitesse monophasé

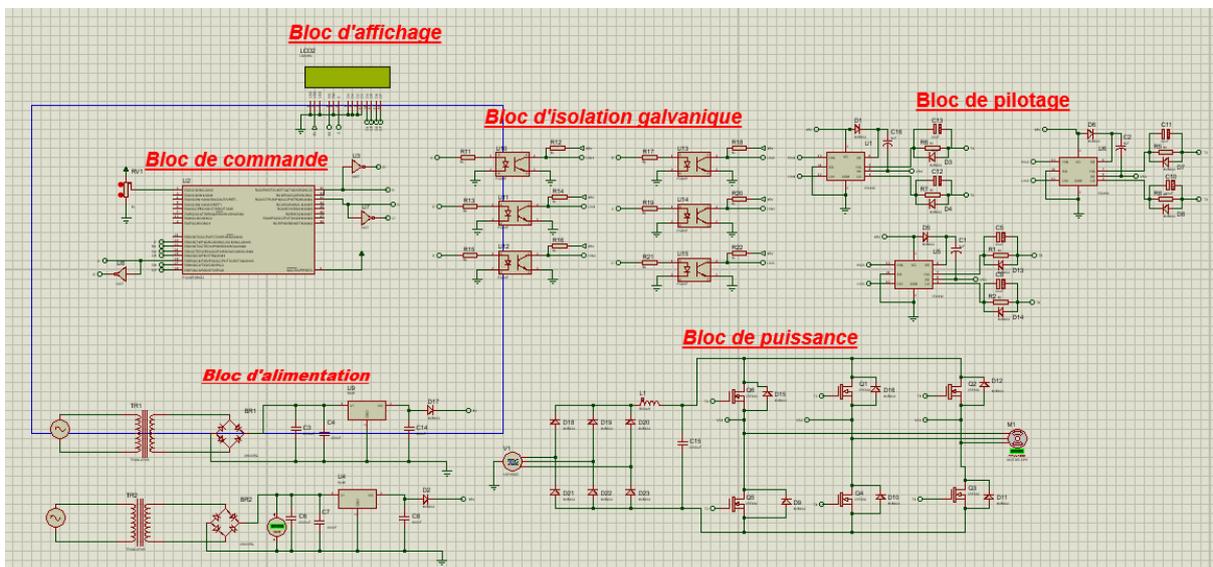


FIGURE IV-2 – Schéma globale d'un variateur de vitesse triphasé

### IV.1.2 Algorithme de fonctionnement

Pour comprendre la logique suivie dans le programme conçu pour générer les signaux de commande monophasés ou triphasés, nous proposons les algorithmes suivants :

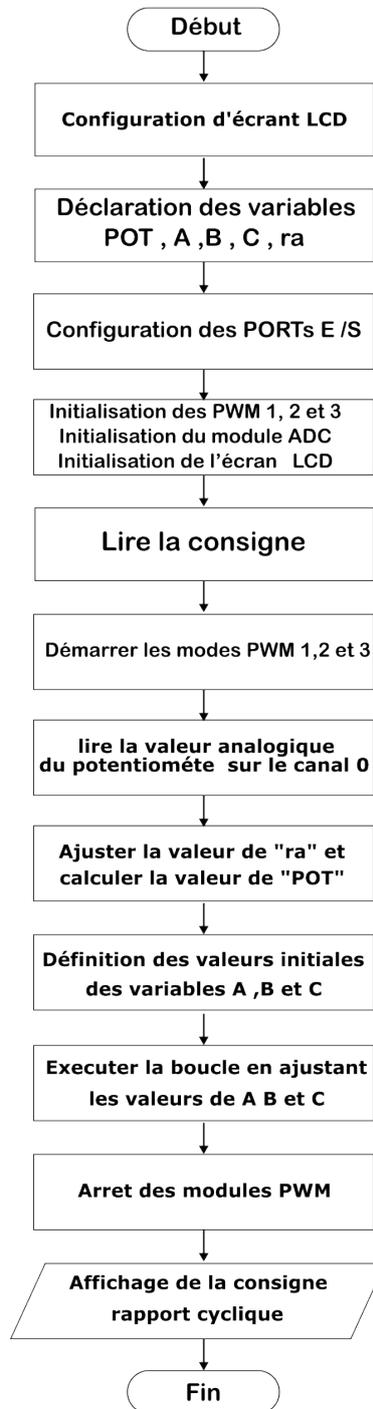


FIGURE IV-3 – Algorithme de fonctionnement

### IV.1.3 Bloc de pilotage

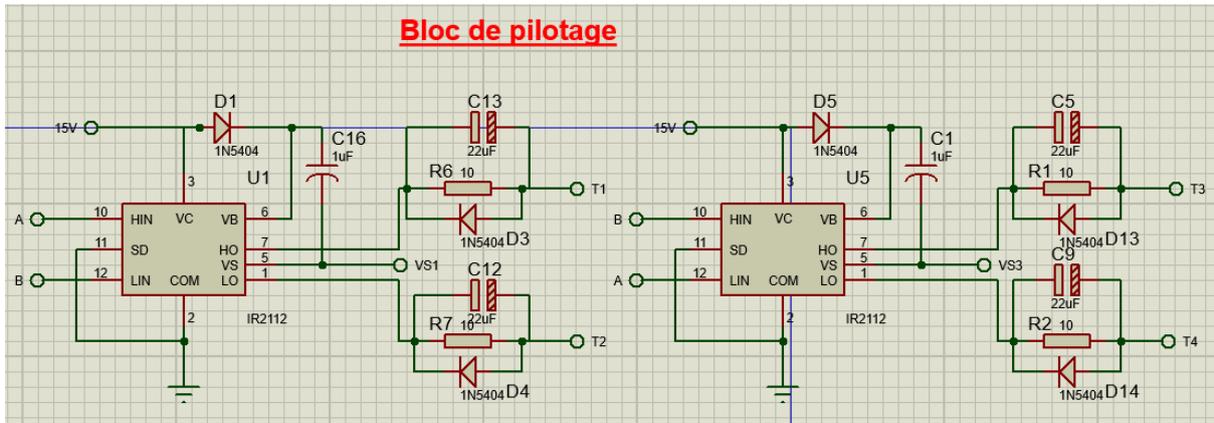


FIGURE IV-4 – Bloc de pilotage monophasé

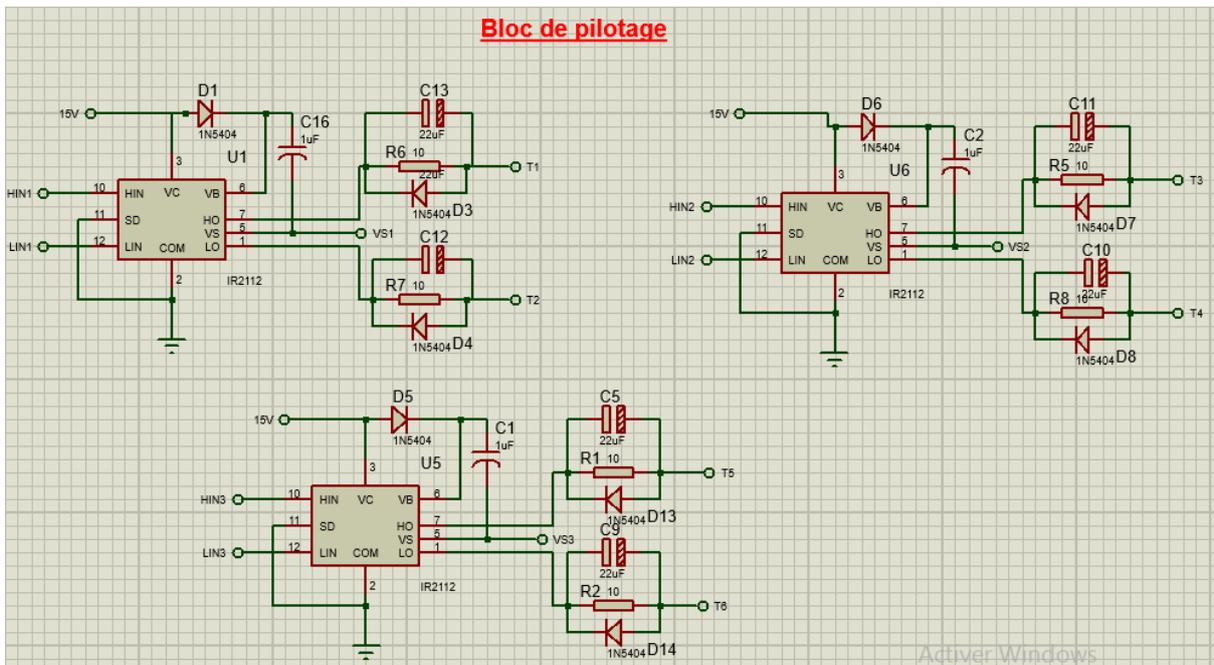


FIGURE IV-5 – Bloc de pilotage triphasé

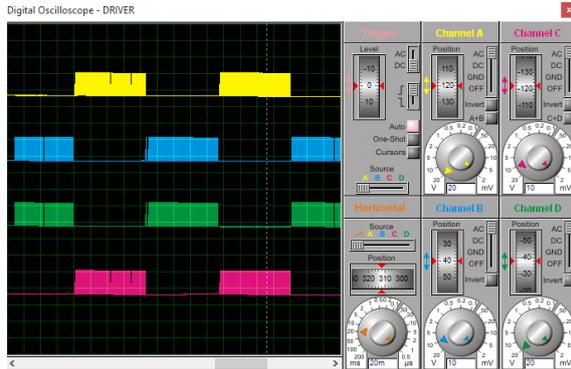


FIGURE IV-6 – signaux à la sortie des driver (monophasé)

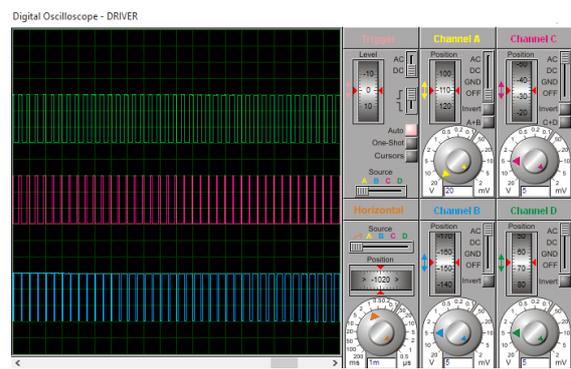


FIGURE IV-7 – signaux à la sortie des driver (triphasé)

**Interprétation :** En comparant les signaux d'entrée et de sortie du driver (IR2112), on observe que ces signaux sont amplifiés, ce qui illustre le rôle de ce composant. De plus, le driver génère un temps mort pour assurer la sécurité contre les courts-circuits.

#### IV.1.4 Bloc d'alimentation stabilisées :

Afin d'assurer l'alimentation du bloc de pilotage et le bloc d'isolation galvanique par une tension de 15V (DC) et du bloc d'affichage par une tension de 5V (DC), il est nécessaire d'insérer ce module contenant des circuits capables de fournir les deux tensions désirées. Les valeurs affichées sur les voltmètres confirment que les deux circuits fonctionnent correctement.

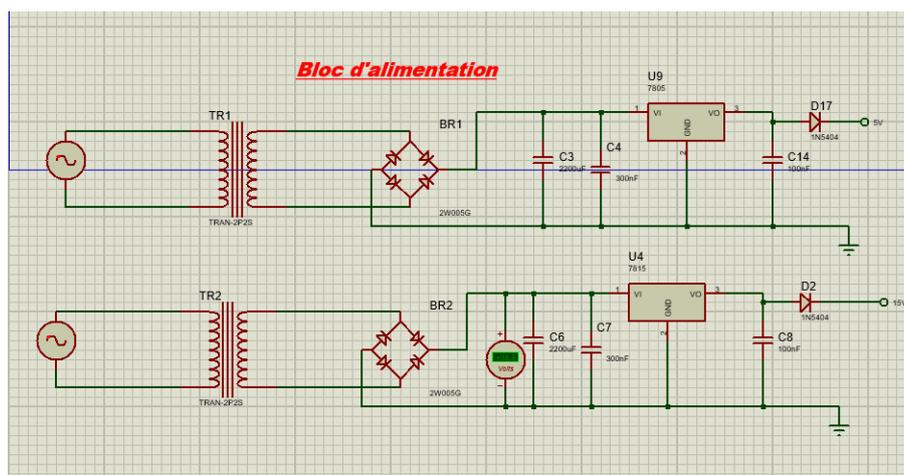


FIGURE IV-8 – Bloc d'alimentation stabilisées

## IV.1.5 Bloc de commande

### IV.1.5.1 Bloc de la commande monophasé

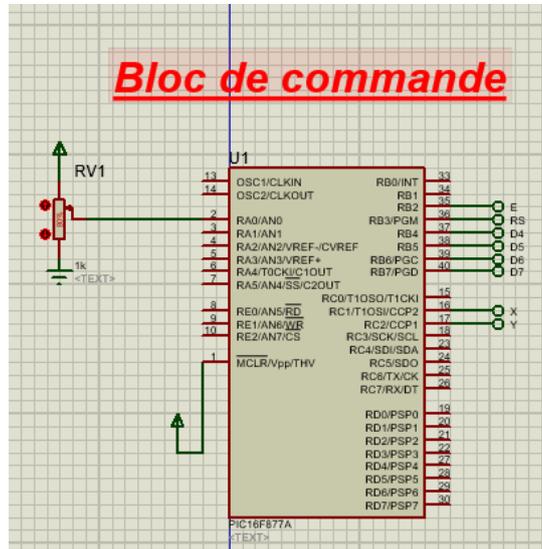


FIGURE IV-9 – schéma du bloc de la commande monophasée

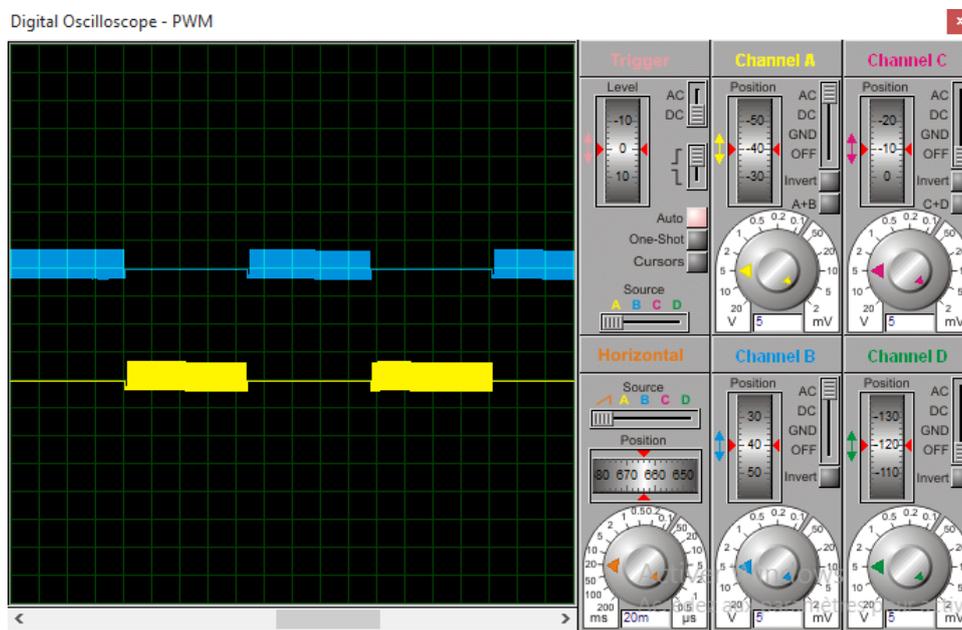


FIGURE IV-10 – signaux de la commande monophasé

**Interprétation :** Pour la commande d'un onduleur monophasé, deux signaux PWM sont nécessaires. Un micro-contrôleur doté de deux modules CCP est donc suffisant. C'est pourquoi nous avons choisi le PIC16F877A, qui dispose de deux modules CCP. Les signaux sont décalés d'une demi-période l'un par rapport à l'autre afin d'assurer une commande efficace des deux bras de l'onduleur.

IV.1.5.2 Bloc de la commande triphasé

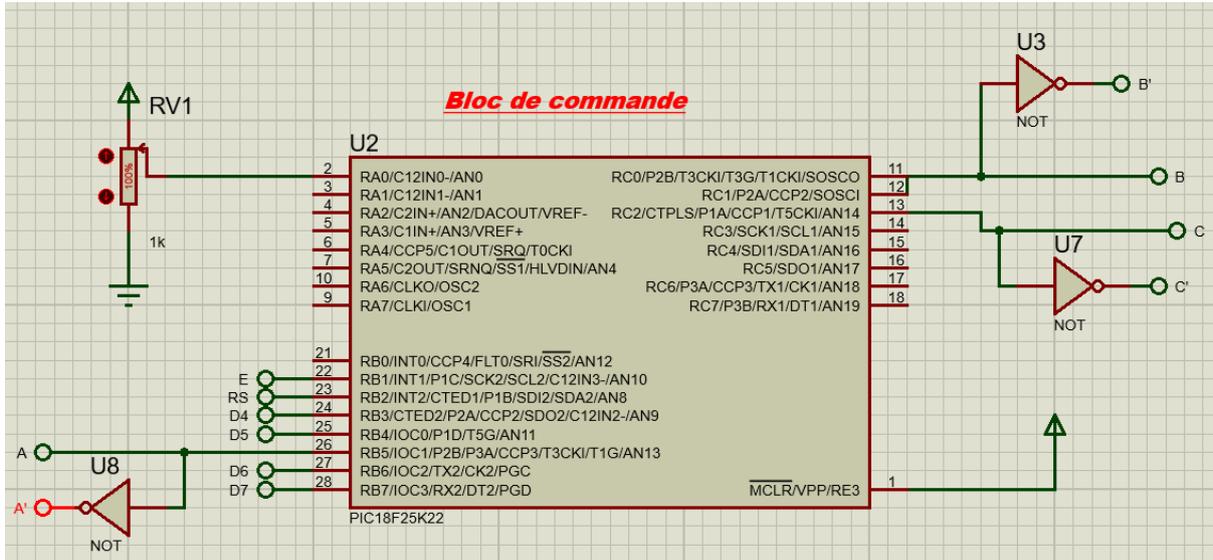


FIGURE IV-11 – schéma du bloc de la commande triphasée

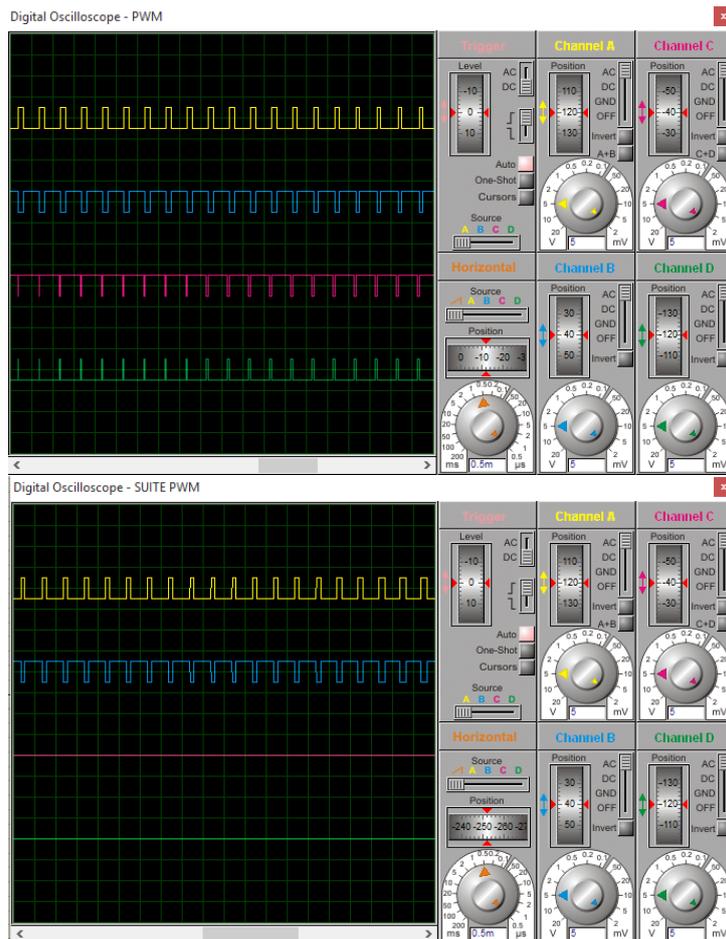


FIGURE IV-12 – signaux de la commande triphasée

**Interprétation :** Pour commander un onduleur triphasé, trois signaux PWM sont nécessaires. Le PIC16F877A ne pouvant pas assurer cette tâche, il est nécessaire d'utiliser un autre micro-contrôleur doté d'au moins trois modules CCP. Le PIC18F25K22 est largement suffisant, car il contient dix modules CCP.

## IV.1.6 Bloc de puissance

### IV.1.6.1 Bloc de puissance monophasé

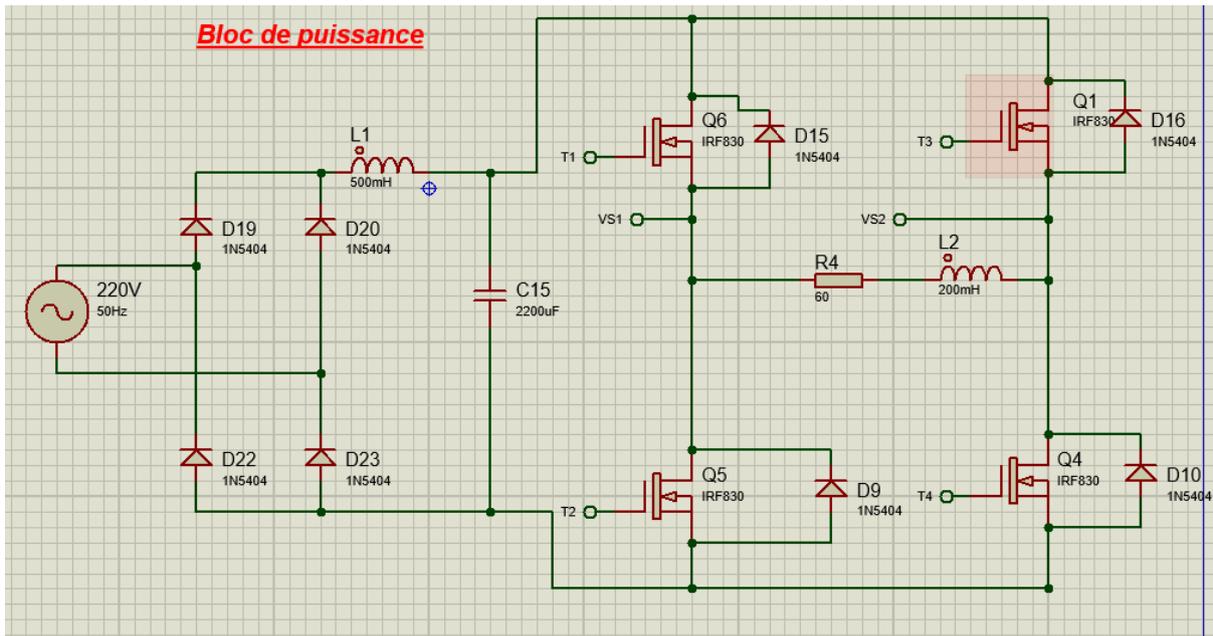


FIGURE IV-13 – Bloc de puissance pour variateur de vitesse monophasé

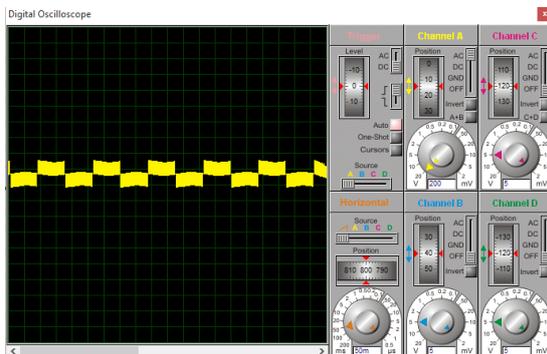


FIGURE IV-14 – tension de sortie monophasé avant le filtrage

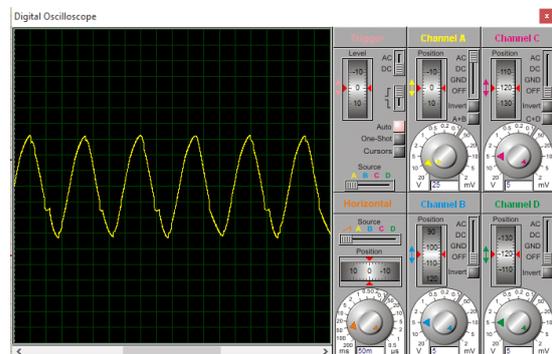


FIGURE IV-15 – tension de sortie monophasé après le filtrage

**Interprétation :** L'onduleur monophasé est alimenté par une tension continue redresser de 15V. Après la conversion, on obtient une tension alternative d'une faible amplitude sous forme de créneaux (voir numéro de la figure). Après l'insertion d'un transformateur élévateur et d'un filtre, on obtient une tension sinusoïdale d'amplitude suffisante pour alimenter une charge.

#### IV.1.6.2 Bloc de puissance triphasé

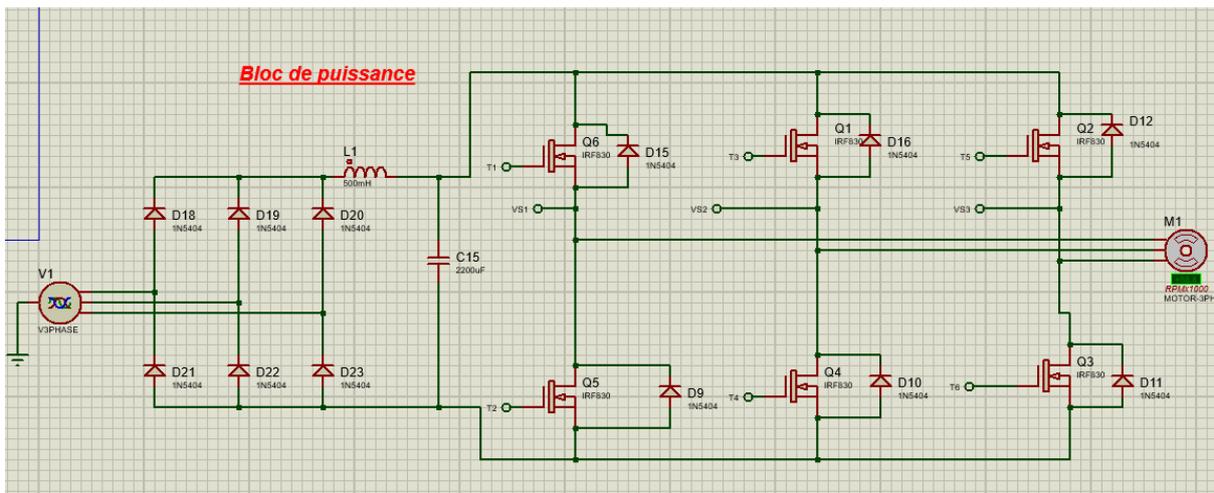


FIGURE IV-16 – Bloc de puissance pour variateur de vitesse triphasé

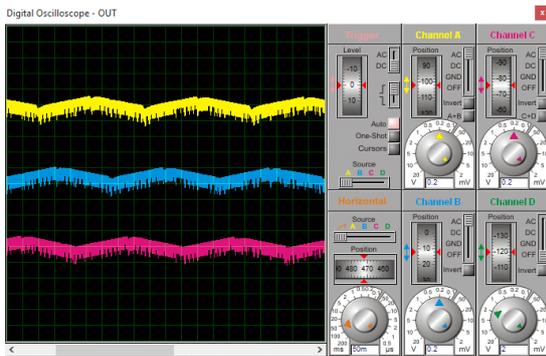


FIGURE IV-17 – tension de sortie triphasé avant le filtrage

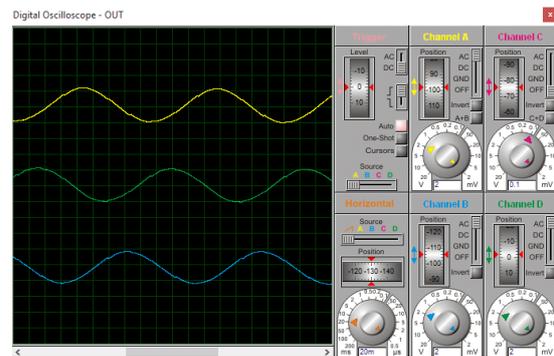


FIGURE IV-18 – tension de sortie triphasé après le filtrage

**Interprétation :** L'onduleur triphasé est alimenté par une tension continue redresser de 15V. Après la conversion, on obtient une tension alternative d'une faible amplitude sous forme de créneaux (voir numéro de la figure). Après l'insertion de trois transformateurs élévateurs de tensions afin réaliser un transformateur triphasé et d'un filtre, on obtient une tension sinusoïdale d'amplitude suffisante pour alimenter une charge triphasée.

### IV.1.7 Bloc d'isolation galvanique :

Les opto-coupleurs transmettent les signaux de la partie de commande vers la partie de puissance en offrant une isolation galvanique pour assurer la sécurité de la carte de commande.

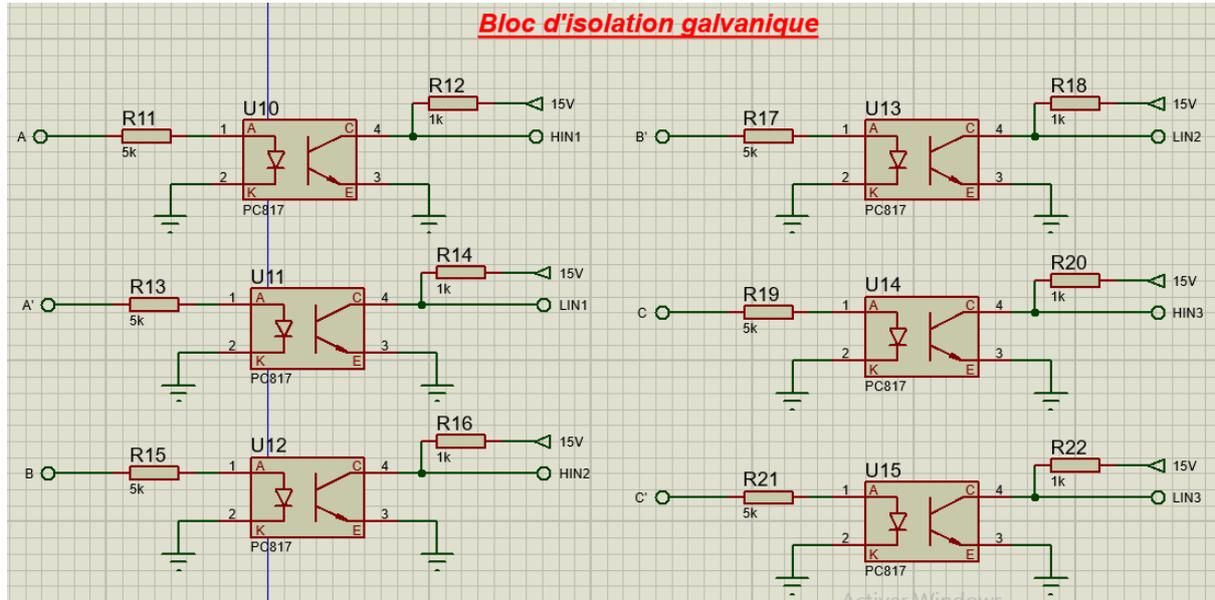


FIGURE IV-19 – Bloc d'isolation galvanique

### IV.1.8 Bloc d'affichage :

Afin de visualiser les valeurs du rapport cyclique (la consigne) en temps réel et à chaque variation, un écran LCD a été intégré. Cet écran reçoit les données directement du bloc de commande (micro-contrôleur) et est alimenté en 5V DC grâce à une alimentation stabilisée.

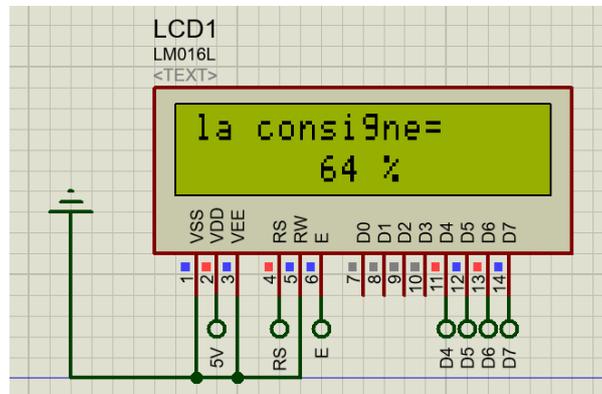


FIGURE IV-20 – Bloc d'affichage

### IV.1.9 Cas d'un variateur de vitesse monophasé :

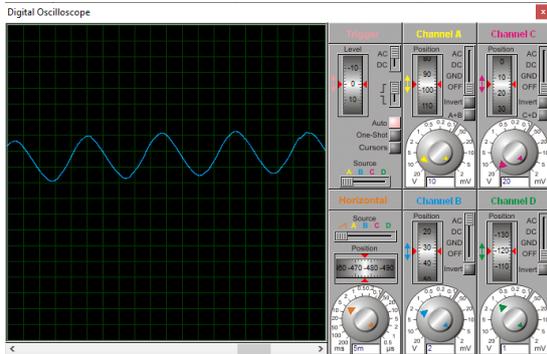


FIGURE IV-21 – tension de sortie pour une consigne = 50%

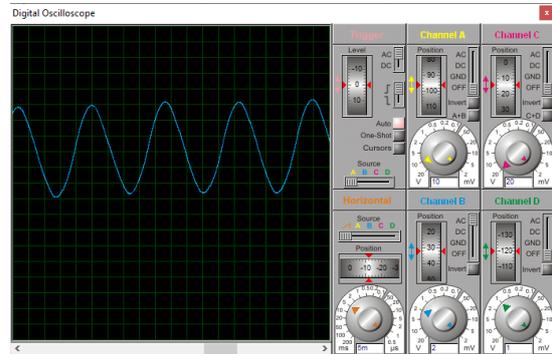


FIGURE IV-22 – tension de sortie pour une consigne = 100%

**Interprétation :** En variant la consigne qui est le rapport cyclique pour deux valeur différentes (consigne = 50% et 100%) à l'aide d'un potentiomètre, l'amplitude de la tension de sortie varie tout en maintenant la fréquence fixe à 50 Hz. Ce qui affirme le bon fonctionnement du variateur de tension monophasé.

### IV.1.10 Cas d'un variateur de vitesse triphasé

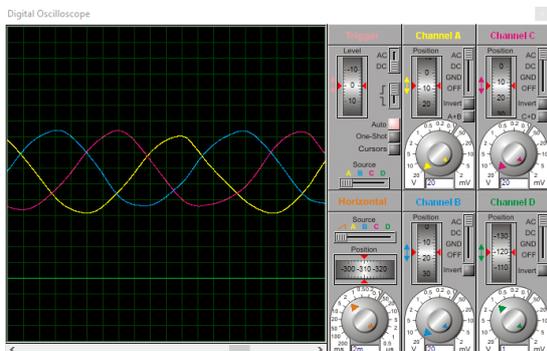


FIGURE IV-23 – tension de sortie pour une consigne = 50%

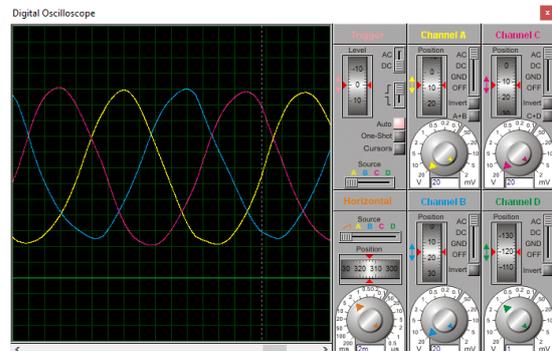


FIGURE IV-24 – tension de sortie pour une consigne = 100%

**Interprétation :** Pour le variateur de vitesse triphasé, les trois signaux sont décalés de  $120^\circ$  l'un par rapport à l'autre. Les tensions de sortie varient en fonction de la valeur du rapport cyclique. On remarque la variation des trois tensions de sortie de la même manière et avec la même amplitude pour une fréquence fixe de 50 Hz tout au long de la simulation.

## **Conclusion**

Ce chapitre conclut le projet en présentant les différentes parties essentielles à la conception d'un variateur de vitesse monophasé ou triphasé, en expliquant leurs rôles et leur complémentarité l'un par rapport à l'autre. Enfin, ce chapitre inclut l'interprétation des résultats obtenus.

# Conclusion Générale

Tout au long de notre projet, nous avons étudié et conçu un variateur de vitesse pour moteur asynchrone à commande numérique basé sur un circuit programmable qui est le pic de Microchip. Ce circuit donne l'avantage de réduire la taille de la carte de commande, les erreurs et les coûts de fabrication, sans oublier la fiabilité et l'application à différents systèmes juste en réinjectant un autre programme.

la démarche suivie pour réaliser notre projet a été la suivante :

- Le premier chapitre a été un ensemble de généralités sur l'électronique de puissance et les moteurs asynchrones à cage.
- Le deuxième chapitre présente les deux micro-contrôleurs utilisés, qui jouent un rôle crucial dans notre projet pour leur efficacité en termes de commande, ainsi que le logiciel de programmation mikroC for PIC et le logiciel de simulation Proteus.
- Le troisième chapitre a exposé les différentes méthodes possibles pour varier la vitesse d'un moteur asynchrone et les différents composants utilisés dans la conception de ce projet.
- Le quatrième chapitre a présenté les résultats de notre simulation.

Comme perspectives pour ceux qui veulent développer ce travail à l'avenir, nous suggérons de se baser sur :

- L'optimisation des programmes en C utilisés.
- La réalisation pratique du projet.
- L'exploration des avancées récentes dans les technologies de variateurs de vitesse.

# Annexe A

## IR2112

International  
**IR** Rectifier

Data Sheet No. PD60026 revS

**IR2112(-1-2)(S)PbF**

### HIGH AND LOW SIDE DRIVER

#### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
- Fully operational to +600V
- Tolerant to negative transient voltage  $dV/dt$  immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
- Separate logic supply range from 3.3V to 20V
- Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

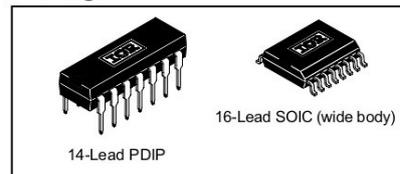
#### Description

The IR2112(S) is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL outputs, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

#### Product Summary

$V_{\text{OFFSET}}$	600V max.
$I_{\text{O}+/-}$	200 mA / 420 mA
$V_{\text{OUT}}$	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	125 & 105 ns
Delay Matching	30 ns

#### Packages



#### Typical Connection

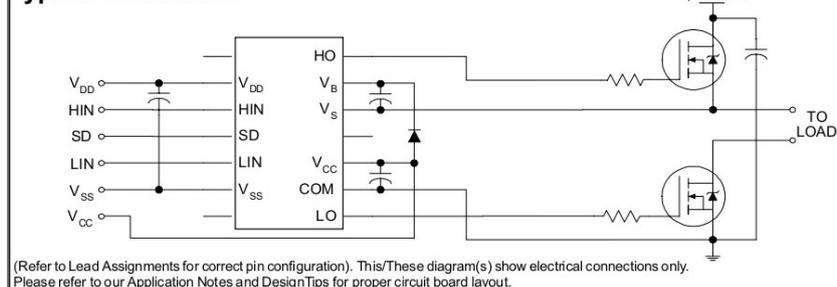


FIGURE A-1 – Datasheet du driver IR2112



# Annexe B

## PC817X

**SHARP**

PC817X Series

### PC817X Series

\*4-channel package type is also available.  
(model No. **PC847X Series**)

### DIP 4pin General Purpose Photocoupler



#### ■ Description

**PC817X Series** contains an IRED optically coupled to a phototransistor.

It is packaged in a 4pin DIP, available in wide-lead spacing option and SMT gullwing lead-form option.

Input-output isolation voltage(rms) is 5.0kV.

Collector-emitter voltage is 80V(\*) and CTR is 50% to 600% at input current of 5mA.

#### ■ Features

1. 4pin DIP package
2. Double transfer mold package (Ideal for Flow Soldering)
3. High collector-emitter voltage ( $V_{CE0}$ :80V(\*)
4. Current transfer ratio (CTR : MIN. 50% at  $I_F=5$  mA,  $V_{CE}=5$ V)
5. Several CTR ranks available
6. High isolation voltage between input and output ( $V_{iso(rms)}$  : 5.0 kV)

(\*) Up to Date code "P7" (July 2002)  $V_{CE0}$  : 35V.  
From the production Date code "J5" (May 1997) to "P7" (July 2002), however the products were screened by  $BV_{CE0} \geq 70$ V.

#### ■ Agency approvals/Compliance

1. Recognized by UL1577 (Double protection isolation), file No. E64380 (as model No. **PC817**)
2. Package resin : UL flammability grade (94V-0)

#### ■ Applications

1. I/O isolation for MCUs (Micro Controller Units)
2. Noise suppression in switching circuits
3. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

FIGURE B-1 – Datasheet de l'opto-coupleur PC817X

# Annexe C

## PIC16F87XA

### PIC16F87XA

#### 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz			
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)			
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
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
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

FIGURE C-1 – Datasheet du micro-contrôleur PIC16F877A

# Annexe D

## PIC18(L)F2X/4XK22

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F23K22 PIC18LF23K22	PIC18F24K22 PIC18LF24K22	PIC18F25K22 PIC18LF25K22	PIC18F26K22 PIC18LF26K22	PIC18F43K22 PIC18LF43K22	PIC18F44K22 PIC18LF44K22	PIC18F45K22 PIC18LF45K22	PIC18F46K22 PIC18LF46K22
Program Memory (Bytes)	8192	16384	32768	65536	8192	16384	32768	65536
Program Memory (Instructions)	4096	8192	16384	32768	4096	8192	16384	32768
Data Memory (Bytes)	512	768	1536	3896	512	768	1536	3896
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	1024	256	256	256	1024
I/O Ports	A, B, C, E <sup>(1)</sup>	A, B, C, E <sup>(1)</sup>	A, B, C, E <sup>(1)</sup>	A, B, C, E <sup>(1)</sup>	A, B, C, D, E			
Capture/Compare/PWM Modules (CCP)	2	2	2	2	2	2	2	2
Enhanced CCP Modules (ECCP) - Half Bridge	2	2	2	2	1	1	1	1
Enhanced CCP Modules (ECCP) - Full Bridge	1	1	1	1	2	2	2	2
10-bit Analog-to-Digital Module (ADC)	2 internal 17 input	2 internal 17 input	2 internal 17 input	2 internal 17 input	2 internal 28 input	2 internal 28 input	2 internal 28 input	2 internal 28 input
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN 28-pin UQFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN 28-pin UQFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 40-pin UQFN 44-pin QFN 44-pin TQFP			
Interrupt Sources	33							
Timers (16-bit)	4							
Serial Communications	2 MSSP 2 EUSART							
SR Latch	Yes							
Charge Time Measurement Unit Module (CTMU)	Yes							
Programmable High/Low-Voltage Detect (HLVD)	Yes							
Programmable Brown-out Reset (BOR)	Yes							
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Overflow, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR, WDT							
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled							
Operating Frequency	DC - 64 MHz							

Note 1: PORTE contains the single RE3 read-only bit.

PIC18(L)F2X/4XK22

FIGURE D-1 – Datasheet du micro-contrôleur PIC18(L)F2X/4XK22

## Programme d'un variateur de vitesse monophasé

```
1  sbit LCD_RS at RB3_bit;
2  sbit LCD_EN at RB2_bit;
3  sbit LCD_D4 at RB4_bit;
4  sbit LCD_D5 at RB5_bit;
5  sbit LCD_D6 at RB6_bit;
6  sbit LCD_D7 at RB7_bit;
7
8  sbit LCD_RS_Direction at TRISB3_bit;
9  sbit LCD_EN_Direction at TRISB2_bit;
10 sbit LCD_D4_Direction at TRISB4_bit;
11 sbit LCD_D5_Direction at TRISB5_bit;
12 sbit LCD_D6_Direction at TRISB6_bit;
13 sbit LCD_D7_Direction at TRISB7_bit;
14
15 int A;
16 Lcd_Init();
17
18 void main(){
19     unsigned int ra;
20     int POT;
21     float duty;
22     char DC_txt[15];
23
24     // Configuration des ports
25     PORTA = 0;
26     TRISA = 1;
27     PORTB = 0;
28     TRISB = 0;
29     PORTC = 0;
30     TRISC = 0;
31
32     // Initialisation des modules PWM
33     PWM1_Init(500);
34     PWM2_Init(500);
35
36     // Initialisation du module ADC
37     ADC_Init();
```

```
38
39 // Initialisation de l'afficheur LCD
40 Lcd_Init();
41 Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
42 Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
43 Lcd_Out(1, 1, "PWM");
44
45 PWM1_Start();
46 PWM2_Start();
47
48 while(1){
49     // Lecture de la valeur ADC
50     ra = ADC_Get_Sample(0);
51     ra = (ra + 1) / 4;
52     POT = (ra * 100) / 256;
53     A = 0;
54
55     PWM1_Start();
56     PWM2_Start();
57     PWM2_Stop();
58
59     // Augmentation progressive du rapport cyclique du PWM1
60     while (A <= 255) {
61         PWM1_Set_Duty(POT * A / 100);
62         PWM2_Set_Duty(0);
63         A = A + 10;
64         Delay_us(1);
65     }
66
67     // Diminution progressive du rapport cyclique du PWM1
68     while (A >= 0) {
69         PWM1_Set_Duty(POT * A / 100);
70         PWM2_Set_Duty(0);
71         A = A - 10;
72     }
73
74     A = 0;
75     PWM1_Stop();
76     PWM2_Start();
```

```
77
78 // Augmentation progressive du rapport cyclique du PWM2
79 while (A <= 255) {
80     PWM1_Set_Duty(0);
81     PWM2_Set_Duty((POT * A / 100));
82     A = A + 10;
83     Delay_us(1);
84 }
85
86 // Diminution progressive du rapport cyclique du PWM2
87 while (A >= 0) {
88     PWM1_Set_Duty(0);
89     PWM2_Set_Duty((POT * A / 100));
90     A = A - 10;
91     Delay_us(1);
92 }
93
94 // Affichage de la consigne sur l'ecran LCD
95 duty = (float)POT;
96 bytetostr(duty, DC_txt);
97 LCD_out(1, 1, "consigne =");
98 LCD_out(2, 6, DC_txt);
99 LCD_out(2, 10, "%");
100 }
101
102 return;
103 }
```

## Programme d'un variateur de vitesse triphasé

```
1  int POT;
2  sbit LCD_RS at RB2_bit;
3  sbit LCD_EN at RB1_bit;
4  sbit LCD_D4 at RB3_bit;
5  sbit LCD_D5 at RB4_bit;
6  sbit LCD_D6 at RB6_bit;
7  sbit LCD_D7 at RB7_bit;
8  sbit LCD_RS_Direction at TRISB2_bit;
9  sbit LCD_EN_Direction at TRISB1_bit;
10 sbit LCD_D4_Direction at TRISB3_bit;
11 sbit LCD_D5_Direction at TRISB4_bit;
12 sbit LCD_D6_Direction at TRISB6_bit;
13 sbit LCD_D7_Direction at TRISB7_bit;
14
15 void main(){
16     float duty;
17     char DC_txt[15];
18     unsigned int ra;
19     int A;
20     int B;
21     int C;
22
23     PORTA = 0;          TRISA = 1; // Initialisation de PORTA en
                           entree
24     PORTB = 0;          TRISB = 0; // Initialisation de PORTB en
                           sortie
25     PORTC = 0;          TRISC = 0; // Initialisation de PORTC en
                           sortie
26
27     //////////////// Initialisation ////////////////
28     PWM1_Init(4000);
29     PWM2_Init(4000);
30     PWM3_Init(4000);
31     ADC_Init();
32
33     while(1){
34         ra = ADC_Get_Sample(0);
```

```
35     ra = (ra + 1) / 4;
36     POT = (ra * 100) / 256;
37     A = 0;
38     B = 170;
39     C = 170;
40
41     PWM1_Start();
42     PWM2_Start();
43     PWM3_Start();
44
45     // Premier cycle de PWM
46     while (B <= 255) {
47         PWM1_Set_Duty((A * POT) / 100);
48         PWM2_Set_Duty((B * POT) / 100);
49         PWM3_Set_Duty((C * POT) / 100);
50
51         A = A + 10;
52         B = B + 10;
53         C = C - 10;
54         Delay_us(1);
55     }
56
57     A = 85;
58     B = 255;
59     C = 85;
60
61     // Deuxieme cycle de PWM
62     while (C >= 0) {
63         PWM1_Set_Duty((A * POT) / 100);
64         PWM2_Set_Duty((B * POT) / 100);
65         PWM3_Set_Duty((C * POT) / 100);
66
67         A = A + 10;
68         B = B - 10;
69         C = C - 10;
70         Delay_us(1);
71     }
72
73     A = 170;
```

```
74     B = 170;
75     C = 0;
76
77     // Troisieme cycle de PWM
78     while (A <= 255) {
79         PWM1_Set_Duty((A * POT) / 100);
80         PWM2_Set_Duty((B * POT) / 100);
81         PWM3_Set_Duty((C * POT) / 100);
82
83         A = A + 10;
84         B = B - 10;
85         C = C + 10;
86         Delay_us(1);
87     }
88
89     A = 255;
90     B = 85;
91     C = 85;
92
93     // Quatrieme cycle de PWM
94     while (B >= 0) {
95         PWM1_Set_Duty((A * POT) / 100);
96         PWM2_Set_Duty((B * POT) / 100);
97         PWM3_Set_Duty((C * POT) / 100);
98
99         A = A - 10;
100        B = B - 10;
101        C = C + 10;
102        Delay_us(1);
103    }
104
105    A = 170;
106    B = 0;
107    C = 170;
108
109    // Cinquieme cycle de PWM
110    while (C <= 255) {
111        PWM1_Set_Duty((A * POT) / 100);
112        PWM2_Set_Duty((B * POT) / 100);
```

```
113         PWM3_Set_Duty((C * POT) / 100);
114
115         A = A - 10;
116         B = B + 10;
117         C = C + 10;
118         Delay_us(1);
119     }
120
121     A = 85;
122     B = 85;
123     C = 255;
124
125     // Sixieme cycle de PWM
126     while (A >= 0) {
127         PWM1_Set_Duty((A * POT) / 100);
128         PWM2_Set_Duty((B * POT) / 100);
129         PWM3_Set_Duty((C * POT) / 100);
130
131         A = A - 10;
132         B = B + 10;
133         C = C - 10;
134         Delay_us(1);
135     }
136
137     A = 0;
138     B = 170;
139     C = 170;
140
141     PWM1_Stop();
142     PWM2_Stop();
143     PWM3_Stop();
144 }
145
146 duty = (float)POT;
147 bytetostr(duty, DC_txt);
148 LCD_out(1, 1, "consigne =");
149 LCD_out(2, 6, DC_txt);
150 LCD_out(2, 10, "%");
151 }
```

# Bibliographie

- [1] Anissa Ahmane. *Étude et Réalisation d'une Carte de Commande d'un Onduleur Monophasé PWM*. PhD thesis, 2015/2016.
- [2] Brahimi Guezouli. *Étude et Réalisation d'une Carte de Commande à Base d'un Microcontrôleur PIC 16f877 pour Ponts Redresseurs Triphasés à Thyristors*. PhD thesis, 2013/2014.
- [3] Hattab Maker. *Réalisation d'un Onduleur Monophasé Commandé par PIC16F877*. PhD thesis, 2014.
- [4] Abdelkader Boukaroura. *Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond Graph*. PhD thesis, 2009.
- [5] Mr HAMADOU Adil and Mr NESSISSEN Abdelkader. Modélisation numérique d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil. *Mémoire du Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention de diplôme Master En Génie électrique*, 2015.
- [6] Microchip. *PIC16F87XA Datasheet*. Microchip Technology Inc., 2001.
- [7] Microchip. *PIC18(L)F2X/4XK22 Datasheet*. Microchip Technology Inc., 2010-2016.
- [8] Mikroelektronika. *Creating the First Project in mikroC for PIC*, 2006.
- [9] Labcenter Electronics. *Intelligent Schematic Input System*, novembre 2002.
- [10] G. Segulier. *Les Convertisseurs de l'Électronique de Puissance Tome 2*. TEC et DOC, 1995.
- [11] Saidoun Khaled and Si Moussi Mourad. *Commande MLI d'un onduleur multi-niveaux*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2015.
- [12] Guy Segulier and Francis Labrique. *Les Convertisseurs de l'Électronique de Puissance, Volume 4, La Conversion Continu-Alternatif*. 1989.
- [13] Melle Boulifa and Mme Merbouti. *Étude et Réalisation d'un Variateur de Vitesse pour un Agitateur Magnétique*, 2008.
- [14] P. Ladoux. *Variation de Vitesse des Machines à Courant Alternatif*. Réseau National d'Électrotechnique – Ressources, 1991. Installation et Réparation d'un Système de Commande Électronique de Moteurs.
- [15] Djafour Meziane and Gacem Rafik. *Etude d'un variateur de vitesse pour une machine asynchrone triphasée*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2017.

- [16] Fraoun Safia, Khadi Chafia, and Bourouh Yassine. *Mise en oeuvre d'algorithme MLI vécotorielle avec une carte dspace DS110*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2008.
- [17] International Rectifier. *IR2112 Driver Datasheet*, 2005.
- [18] Sharp Corporation. *PC817X Series Datasheet*, 2003.
- [19] Hitachi. *HD44780U (LCD-II Datasheet)*, 1998.