

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE A. MIRA – BEJAIA



Faculté De Technologie
Département De Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master en électrotechnique

Spécialité

Automatismes industriels

Thème

**Etude et conception d'une commande numérique
D'un onduleur triphasé à base de pic 16f877A**

Réalise par :

✚ Mr. OUSSAR Louenes

✚ Mr. HAMCHAOUI Massinissa

Encadré par :

✚ Mr. FELLA Boualem

Année universitaire

2022-2023

Remerciements

Nous tenons à remercier Dieu,

Le tout puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage pour élaborer ce travail.

Nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements et à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce travail et en particulier notre encadrant Monsieur **FELLA Boualem** pour sa gentillesse, sa patience, sa confiance, son encouragement et surtout ses efforts et le

temps qu'il nous a consacré et nous avoir

pleinement suivi et encadré tout au long de ce mémoire,

Ainsi que madame **MEZZAH Samia** pour son aide manifesté à la programmation des PICs et ses précieux conseils.

Comme nous exprimons notre entière reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Notre reconnaissance s'adresse à tous ceux

Qui ont contribué de près ou de loin pour que ce modeste travail puisse voir le jour.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À deux personnes les plus nobles et les plus chères au monde

Mon père et ma Mère qui ont sacrifié les plus belles années de leurs vies pour me voir un jour réussi, et m'ont soutenu jusqu'à la fin.

À mes deux sœurs chéries : Hanane et Ines.

À ma chère amie Sbtissam.

À tous les membres de la famille « Oussar ».

À mes très chers amis : Kamza, Nassim, Ziane, Walid et Louhab.

À mon binôme Massi Hamchaoui.

À tous qu'ils ont une place dans mon cœur.

À tous ceux me connaissent, et ceux qui m'ont soutenu de près et de loin que ce soit par leurs mots d'encouragements, leurs conseils précieux.

Louenes Oussar

Dédicace

« À votre générosité, votre aide, votre tendresse, votre amour. Votre regard bienveillant sur moi m'a aidée à pousser droite, à grandir comme il faut, bien enracinée dans le sol mais la tête en hauteur, pleine de rêves ne serai jamais seule »

À cette occasion je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :

À mes très chers parents et grands-parents, source de tendresse, de noblesse et d'affection. Puisse cette étape constituer pour vous un motif de satisfaction.

À mes frères Redouane, Jugurtha, Fares et ma petite sœur Amira, en témoignage de la fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.

À tous les membres de ma famille « Kamchaoui ».

À ma chère amie Houda.

À mon binôme « Oussar Louenes ».

À tous mes chers amis Khaled, Kichem, Redouane et mes copains de chambre Walid et Kamza.

À tous mes professeurs qui m'ont enseigné et à tous ceux qui nous sont chers.

Kamchaoui Massinissa

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les convertisseurs statiques	
I.1 Les interrupteurs semi-conducteurs	3
I.1.1 Introduction	3
I.1.2 La Diode	3
I.1.2.1 Définition	3
I.1.2.2 Principe de fonctionnement :	3
I.1.2.3 Caractéristiques statiques d'une diode	4
I.1.3 Le thyristor	5
I.1.3.1 Définition	5
I.1.3.1.1 Principe de fonctionnement.....	5
I.1.3.2 Caractéristiques statiques d'un thyristor	6
I.1.4 Thyristor GTO	7
I.1.4.1 Définition	7
I.1.4.2 Principe de fonctionnement.....	7
I.1.4.3 Caractéristiques statiques d'un thyristor GTO	7
I.1.5 Transistor bipolaire.....	8
I.1.5.1 Définition	8
I.1.5.2 Principe de fonctionnement.....	8
I.1.5.3 Caractéristiques statiques du transistor bipolaire	9
I.1.6 Transistor MOSFET	10
I.1.6.1 Définition	10
I.1.6.2 Principe de fonctionnement.....	10
I.1.6.3 Caractéristiques statiques	10
I.1.7 Transistor IGBT	11
I.1.7.1 Définition	11
I.1.7.2 Principe de fonctionnement.....	12
I.1.7.3 Caractéristiques statiques	12
I.2 Les convertisseurs statiques	13
I.2.1 Définition.....	13
I.2.2 Les redresseurs.	13
I.2.3 Les onduleurs	14
I.2.4 Les hacheurs	14
I.2.5 Les gradateurs.....	14
I.2.6 Onduleur (convertisseur DC/AC).....	15
I.2.6.1 Définition	15
I.2.6.2 Classification des onduleurs	15
I.2.6.2.1 Onduleur autonome	15
I.2.6.2.2 Onduleur non autonome	15
I.2.6.2.3 Onduleur à résonance	16
I.2.6.3 Genres d'onduleurs	16
I.2.6.3.1 Onduleur de tension	16
I.2.6.3.2 Onduleur de courant	16

I.2.6.4	Types d'onduleurs de tension.....	17
I.2.6.4.1	Onduleur de tension monophasé :	17
I.2.6.4.2	Onduleur de tension triphasé.....	18
I.3	Conclusion	19

Chapitre II : Stratégies de commande et configuration pratique

II.1	Introduction.....	20
II.2	Stratégies de commande.....	20
II.2.1	Onduleur triphasée à pleine onde (180°).....	20
II.2.2	Onduleur triphasé à commande décalée (120°).....	22
II.2.3	Onduleur triphasé à commande MLI.....	23
II.3	Les composants de commande, l'amplification et l'isolation galvanique	25
II.3.1	Buffer.....	25
II.3.1.1	Définition	25
II.3.2	Photo-coupleur (optocoupleur).....	26
II.3.2.1	Définition	26
II.3.3	Driver.....	27
II.3.3.1.1	Définition	27
II.3.4	Transistor MOSFET	28
II.3.4.1	Définition.....	28
II.3.4.2	Caractéristiques	28
II.4	Ecran d'affichage LCD 16x2	29
II.4.1	Définition.....	29
II.4.2	Brochage.....	30
II.4.3	L'écriture et lecture de données	30
II.4.4	Les instructions de commande d'afficheur LCD	31
II.4.5	L'interface LCD avec le PIC16F877A.....	32
II.5	L'alimentation.....	32
II.6	Conclusion	33

Chapitre III : Logiciels utilisés et Programmation de pic16F877A

III.1	Introduction.....	34
III.1.1	Les logiciels utilisés	34
III.1.1.1	Proteus 8 professionnel	34
III.1.1.1.1	Définition	34
III.1.1.1.2	Proteus ISIS.....	35
III.1.1.2	MikroC	35
III.1.1.2.1	Définition de MikroC.....	35
III.1.1.2.2	Création d'un projet	36
III.1.1.2.3	Compilation.....	38
III.2	Programmation du microcontrôleur PIC 16F877A.....	39
III.2.1	Introduction	39
III.2.2	Les composants du bloc microcontrôleur.....	39
III.2.3	Les familles de PIC	40
III.2.4	Choix d'un microcontrôleur	40

III.2.4.1	Caractéristiques du PIC16F877A :.....	40
III.2.4.2	Structure interne et externe	41
III.2.4.2.1	Structure externe	41
III.2.4.2.2	Structure interne	42
III.2.4.3	Registres	43
III.2.4.3.1	Conversion analogique/numérique ADC	43
III.2.4.3.2	TIMER	45
III.2.4.3.3	OPTION_REG REGISTER	45
III.2.4.3.4	INTCON.....	47
III.3	Conclusion :	48

Chapitre IV : Conception de la commande et résultats de simulation

IV.1	L'organigramme de fonctionnement de la commande	49
IV.2	Schéma global de la carte commande et puissance.....	50
IV.3	Blocs d'alimentation	51
IV.4	Bloc de microcontrôleur pic 16F877A et Buffer CD4503B	52
IV.5	Bloc d'isolation galvanique	53
IV.6	Bloc de pilotage	54
IV.7	Bloc d'affichage.....	56
IV.8	Bloc de puissance.....	56
IV.9	Conclusion	58

Conclusion Générale.....	59
---------------------------------	-----------

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 : symbole et structure d'une diode.	3
Figure I-2: Caractéristiques statiques d'une diode.	4
Figure I-3 : Structure et symbole d'un Thyristor	5
Figure I-4 : Caractéristiques v-i réelle et idéale d'un thyristor.	6
Figure I-5 : Thyristor GTO (structure et symbole).	7
Figure I-6 : caractéristiques v-i réelle et idéale.	8
Figure I-7 : symbole d'un transistor bipolaire.....	8
Figure I-8: Caractéristiques statiques d'un transistor bipolaire.	9
Figure I-9 : Symbole d'un transistor MOSFET.	10
Figure I-10 : Caractéristiques statiques d'un transistor MOSFET.	11
Figure I-11 : Symbol d'un transistor IGBT.....	11
Figure I-12 : Caractéristiques statiques d'un transistor IGBT.	12
Figure I-13 : les différentes catégories des convertisseurs de puissance.	13
Figure I-14 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un redresseur.	13
Figure I-15 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un onduleur.	14
Figure I-16 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un hacheur.	14
Figure I-17 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un gradateur.....	15
Figure I-18 : onduleur monophasé de tension.	16
Figure I-19 : onduleur monophasé de courant.	16
Figure I-20 : schéma de l'onduleur monophasé en pont.	17
Figure I-21 : Allure des grandeurs U(t) et I(t).....	18
Figure I-22 : schémas de l'onduleur triphasé en pont.	18
Figure I-23 : allure des tensions V1, V2 et V3.....	19

Chapitre II

Figure II-1 : circuit de puissance à commande pleine onde 180°.	20
Figure II-2 : signaux (V ₁ , V ₂ , V ₃ , I ₁ , I ₂ et I ₃) de sortie à commande pleine onde 180°.	21
Figure II-3 : circuit de puissance à commande décalée 120°.	22
Figure II-4 : signaux (V ₁ , V ₂ , V ₃ , I ₁ , I ₂ et I ₃) de sortie à commande décalée 120°.	23
Figure II-5 : circuit de puissance et commande par la technique MLI.	24
Figure II-6 : signaux (V ₁ , V ₂ , V ₃ , I ₁ , I ₂ et I ₃) de sortie à commande MLI.....	25
Figure II-7 : Buffer CD4503B.....	26
Figure II-8 : photo-coupleur.....	27
Figure II-9 : Driver IR2112.....	27
Figure II-10 : MOSFET IRF730.	28
Figure II-11 : afficheur LCD (LM016L).....	29
Figure II-12 : connexion de l'afficheur LCD avec le PIC16F877A.	32
Figure II-13 : Schéma synoptique d'alimentation stabilisé.....	33

Chapitre III

Figure III-1 : le logiciel Proteus V8.9.	34
Figure III-2 : Présentation de logiciel PROTEUS (ISIS).	35
Figure III-3: Création d'un nouveau projet.	36
Figure III-4: la configuration du projet.	37
Figure III-5: l'emplacement du projet.	37
Figure III-6 : Fenêtre de la saisie du programme.	38
Figure III-7 : Microcontrôleur 16F877A.	41
Figure III-8 : structure externe du microcontrôleur pic 16F877A.	41

Chapitre IV

Figure IV-1 : schéma global de la carte commande et puissance.	50
Figure IV-2: Bloc d'alimentation 5V et 15V.	51
Figure IV-3 : Bloc de commande.	52
Figure IV-4: Les signaux de MLI de commande	52
Figure IV-5 : Les signaux de MLI de commande (Jaune S1', Blue S2', Rouge S3').	52
Figure IV-6 : Bloc d'isolation galvanique.	53
Figure IV-7 : Bloc de Pilotage.	54
Figure IV-8 : signaux de commande à la sortie du Driver 1 (T1, T1') et du Driver 2 (T2, T2').	54
Figure IV-9 : signaux de commande à la sortie du Driver 3 (T3, T3').	55
Figure IV-10 : Bloc d'affichage.	56
Figure IV-11 : Bloc de puissance.	56
Figure IV-12 : Tenions de sortie Vab et Vbc.	57
Figure IV-13 : Tenion de sortie Vca.	57
Figure IV-14 : Courants de sortie I1, I2 et I3.	58

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Les instructions de la commande.	31
--	----

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement, l'électronique est au centre de toutes les réalisations et au cœur de plusieurs développements et perfectionnements. L'électronique de puissance, les convertisseurs électriques et les microcontrôleurs sont des domaines essentiels de l'ingénierie électrique qui jouent un rôle crucial dans la gestion efficace de l'énergie électrique. Dans le cadre de cette étude de fin d'études, nous nous concentrons sur l'étude et la conception d'une commande numérique d'un onduleur triphasé à base d'un microcontrôleur PIC16F877A.

L'électronique de puissance constitue une discipline majeure dans le domaine de l'électricité, visant à convertir, contrôler et gérer l'énergie électrique à des niveaux de puissance élevés. Elle comprend l'utilisation de dispositifs et de circuits spécifiques pour convertir l'énergie électrique d'une forme à une autre, tout en assurant une efficacité optimale et une gestion précise de la puissance. Les applications de l'électronique de puissance sont vastes et couvrent divers secteurs tels que l'industrie, les énergies renouvelables, l'automobile et bien d'autres. Parmi les dispositifs clés de l'électronique de puissance, les convertisseurs électriques jouent un rôle fondamental. Les convertisseurs électriques sont des systèmes permettant de modifier les caractéristiques de l'énergie électrique, notamment la tension, le courant et la fréquence, afin de répondre aux besoins spécifiques des charges ou des systèmes d'alimentation. Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons particulièrement aux onduleurs triphasés.

Un onduleur triphasé est un convertisseur électrique capable de convertir une alimentation en courant continu en une alimentation en courant alternatif triphasé. Ces dispositifs sont largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles et résidentielles, notamment dans les systèmes d'entraînement de moteurs, les systèmes d'alimentation sans interruption (ASI), les énergies renouvelables, etc. L'onduleur triphasé permet de contrôler et de réguler précisément la puissance délivrée aux charges triphasées, offrant ainsi une flexibilité et une efficacité accrues.

Dans le cadre de notre étude, nous nous penchons sur la conception d'un onduleur triphasé particulier, utilisant la commande de modulation par la largeur d'impulsion (PWM) pour contrôler les interrupteurs de l'onduleur. Pour ce faire, nous faisons appel au microcontrôleur PIC16F877A, qui offre des capacités de traitement avancées et une interface conviviale pour la mise en œuvre de la commande PWM.

Introduction générale

L'objectif de cette étude est donc de combiner les principes de l'électronique de puissance, des convertisseurs électriques et de la commande par microcontrôleur pour concevoir un onduleur triphasé performant.

Après une brève introduction notre projet s'organise de la manière suivante :

- Dans le premier chapitre nous allons aborder des « généralités sur les convertisseurs statiques ».
- Le deuxième chapitre, intitulé « Stratégies de commande et configuration pratique » est constitué de quatre parties : la stratégie de commande, Les composants de commande, l'amplification et l'isolation galvanique, l'écran LCD16x2, ainsi que sur les blocs d'alimentation des circuits électroniques.
- Le troisième chapitre, consacré sur « les logiciels utilisés (Proteus (ISIS), MikroC PRO) et Programmation du microcontrôleur PIC 16F877A ».
- Le quatrième chapitre intitulé « Conception de la commande et résultats de simulation » est consacré à la simulation du programme ainsi que les interprétations.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les convertisseurs statiques

I.1 Les interrupteurs semi-conducteurs

I.1.1 Introduction

Les interrupteurs de l'électronique de puissance sont des composants électroniques qui permettent de contrôler la circulation de l'énergie électrique. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications, notamment dans les systèmes de conversion d'énergie tels que les alimentations électriques, les onduleurs, les variateurs de vitesse, les convertisseurs de fréquence, etc.

Dans ce premier chapitre, nous rappelons les principaux concepts théoriques sur les convertisseurs continu-alternatif. En tout premier plan, nous présentons une brève description des semi-conducteurs et leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs caractéristiques statiques. Ensuite, nous allons passer à présenter les onduleurs monophasés et triphasés, en compagnie de leurs montages, et leurs réalisations pour des charges inductives.

I.1.2 La Diode

I.1.2.1 Définition

C'est un composant électronique non commandable constitué d'une jonction PN, qui permet uniquement le passage du courant électrique dans un seul sens de l'Anode (A) vers la Cathode (K) [1].

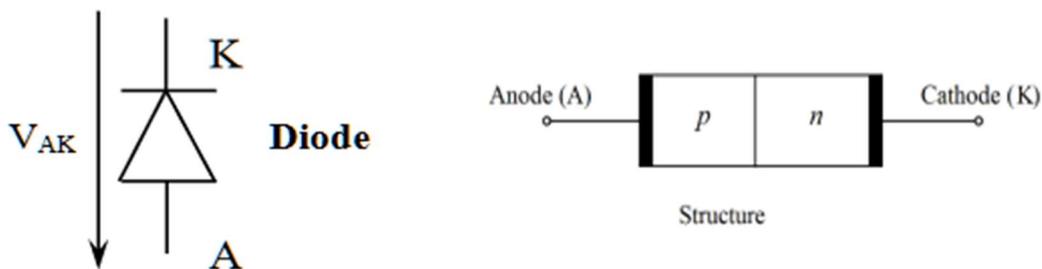


Figure I-1 : symbole et structure d'une diode.

I.1.2.2 Principe de fonctionnement :

La diode est un interrupteur de l'électronique de puissance à deux bornes qui permet la circulation du courant électrique dans un seul sens Anode vers cathode.

On a donc deux modes de fonctionnement possibles pour une diode normale :

✓ **Polarisation directe**

Elle consiste à appliquer entre l'anode et la cathode une tension positive suffisamment forte pour que la diode conduise le courant.

✓ **Polarisation inverse**

Elle consiste à appliquer entre l'anode et la cathode une tension inverse, ce qui empêche la circulation du courant (en réalité, il circule un courant très réduit, d'une intensité de l'ordre du μA).

Si la tension inverse dépasse une certaine valeur (en général, 50 v ou plus), la diode « claque » et le courant inverse se met à circuler de la cathode vers l'anode. La tension inverse de claquage est appelée tension inverse de crête (TIC) [6].

I.1.2.3 Caractéristiques statiques d'une diode

La diode possède les caractéristiques principales suivantes :

✓ **À l'état passant**

- Une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne.
- Un courant maximum permanent admissible (ordre de grandeur, jusqu'à 140 A RMS pour les composants les plus puissants).

✓ **À l'état bloqué**

- Une tension maximale admissible qui peut dépasser 5 000 V crête [7].

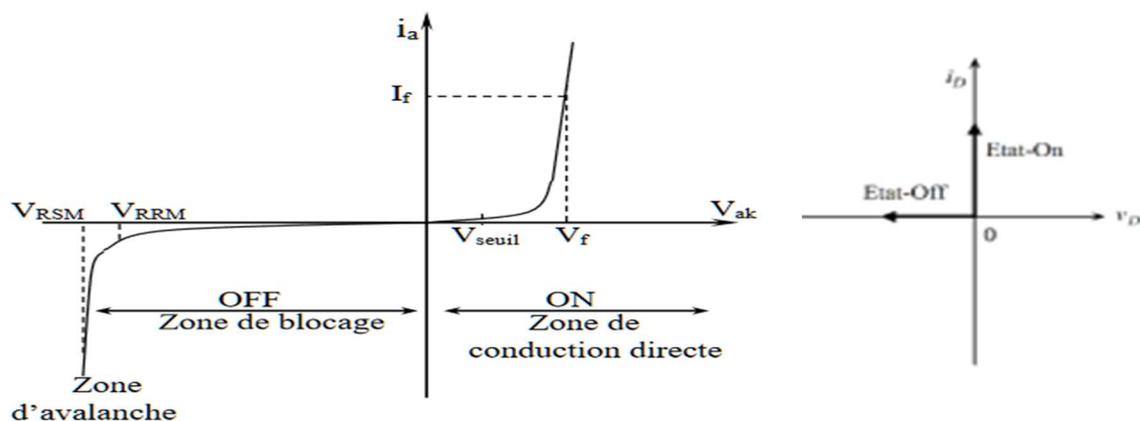


Figure I-2: Caractéristiques statiques d'une diode.

I.1.3 Le thyristor

I.1.3.1 Définition

Est un composant électronique semi-conducteur de puissance semi-commandable (commandable à la fermeture). Il est composé de quatre couches PNPn, et de trois bornes :

- L'anode A et la cathode K, entre lesquelles il joue le rôle d'interrupteur.
- La gâchette G qui forme avec la cathode l'accès de commande [7].

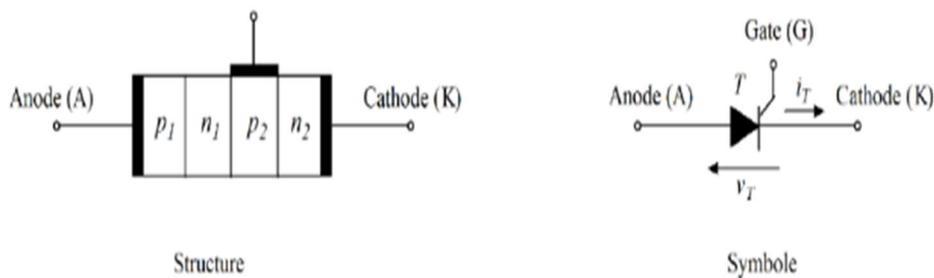


Figure I-3 : Structure et symbole d'un Thyristor.

I.1.1.1 Principe de fonctionnement

✓ Condition d'amorçage

- Lorsque la tension aux bornes du thyristor V_{AK} est positive
- Une impulsion de courant positive sur la gâchette (le signe de cette impulsion dépend du type N ou P du thyristor, P est le plus fréquent), il peut alors circuler des courants de plusieurs dizaines d'ampères

✓ Condition de blocage

- Annulation de la tension aux bornes du thyristor $V_{AK} = 0$ où l'application d'une tension négative $V_{AK} < 0$.

✓ Condition de maintien

$I_{AK} > I_m$ (courant de maintien précisé par le constructeur) [4].

I.1.3.2 Caractéristiques statiques d'un thyristor

Le thyristor possède les caractéristiques principales suivantes :

✓ À l'état passant :

- Une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne.
- Un courant maximal permanent admissible (ordre de grandeur, jusqu'à 100 A RMS pour les composants les plus puissants).

✓ À l'état bloqué :

- Une tension inverse et directe maximale admissible, (pouvant dépasser 5 000 V crête). En général les tensions directes et inverses sont identiques.
- Un temps de recouvrement qui est le temps minimal pendant lequel une tension anode cathode positive ne peut être appliquée au composant sous peine de le voir se réamorcer spontanément.
- Un courant de gâchette permettant l'allumage du composant [7].

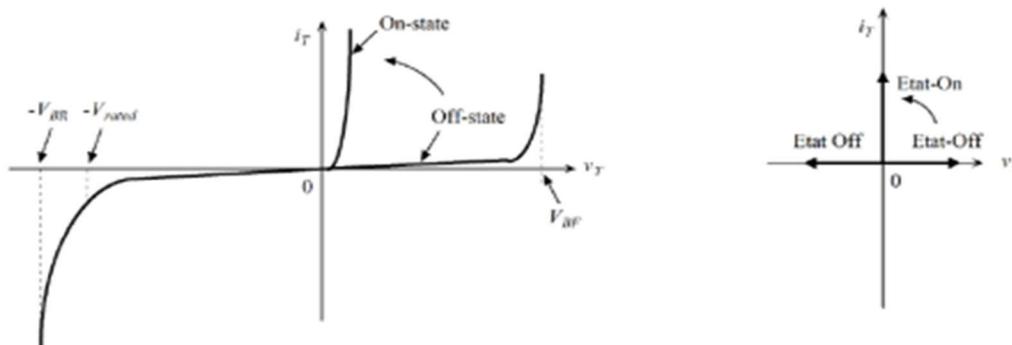


Figure I-4 : Caractéristiques v-i réelle et idéale d'un thyristor.

I.1.4 Thyristor GTO

I.1.4.1 Définition

Le thyristor GTO (Gate Turn-Off Thyristor) est un type de composant électronique semi-conducteur qui peut être commandable à l'ouverture et à la fermeture. Il est utilisé pour les commutations des fortes puissances, avec des tensions et courants élevées [3].

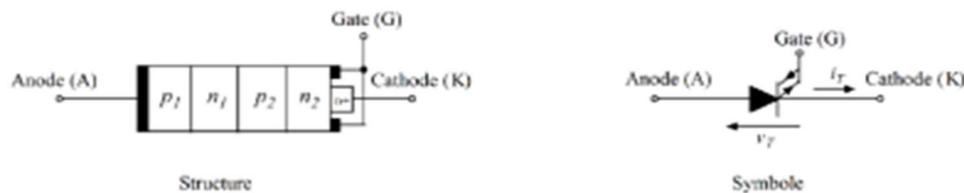


Figure I-5 : Thyristor GTO (structure et symbole).

I.1.4.2 Principe de fonctionnement

Son principe de fonctionnement est identique à celui d'un thyristor sauf que le GTO, il a le pouvoir d'être bloqué à l'aide de la gâchette

✓ **Condition d'amorçage**

- Le courant de gâchette doit être positif avec $V_{gk} > 0$

✓ **Condition de blocage**

- On applique une tension négative entre la gâchette et la cathode et on envoie une impulsion négative à la gâchette [5].

I.1.4.3 Caractéristiques statiques d'un thyristor GTO

Le thyristor GTO possède les caractéristiques principales suivantes :

✓ **À l'état passant :**

- Une chute de tension composée d'une tension de seuil et d'une résistance interne.
- Un courant de maintien destiné à réduire la chute de tension directe.
- Un courant maximal permanent admissible.
- Un courant de blocage pour provoquer l'interruption du courant.

✓ **À l'état bloqué :**

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

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

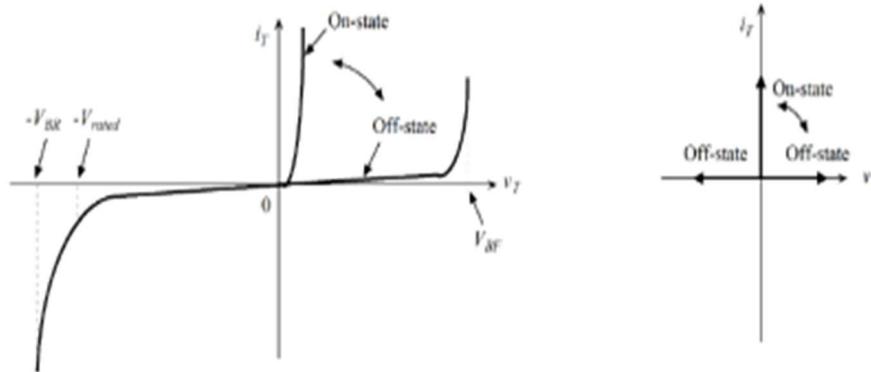


Figure I-6 : caractéristiques v-i réelle et idéale.

I.1.5 Transistor bipolaire

I.1.5.1 Définition

Est un interrupteur commandé en courant. Il fonctionne en contrôlant le flux de courant qui circule à travers de la couche de base en modifiant le courant i_b . Si on injecte un courant sur sa base un fort courant, le transistor se comporte comme un interrupteur fermé. Si c'était un faible courant l'interrupteur est ouverte [3].

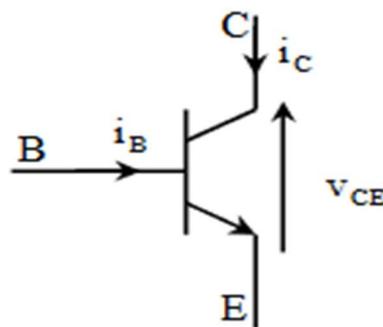


Figure I-7 : symbole d'un transistor bipolaire.

I.1.5.2 Principe de fonctionnement

On différencie alors deux modes de fonctionnement qui sont :

✓ **Fonctionnement linéaire**

Le courant I_c est directement proportionnel avec le courant I_b , on exploite alors les priorités d'amplification du transistor.

✓ **Fonctionnement non linéaire**

A partir d'un certain courant I_B , le courant I_C atteint une valeur maximale ($I_{C \text{ saturation}}$), le transistor est « dit saturé »

✓ **Les états du transistor**

▪ **L'état OFF (bloqué)**

Annulation du courant I_B ($I_B=0$), ce qui induit un courant de collecteur nul ($I_C=0$), et une tension base-émetteur V_{BE} inférieur à la tension de seuil.

▪ **L'état ON (saturé)**

Le courant I_B est différent de zéros tel que le courant I_C dès qu'il atteint une valeur limite dite « saturation » $I_{C \text{ saturation}}$, et la tension V_{CE} nulle

I.1.5.3 Caractéristiques statiques du transistor bipolaire

✓ La partie de la droite de charge statique située entre les points de blocage et de saturation définit la zone active :

$$I_{C \text{ blocage}} \leq I_C \leq I_{C \text{ saturation}}$$

✓ Au point de saturation, le transistor idéal est équivalent à un interrupteur fermé.

✓ Au point de blocage, le transistor idéal est équivalent à un interrupteur ouvert

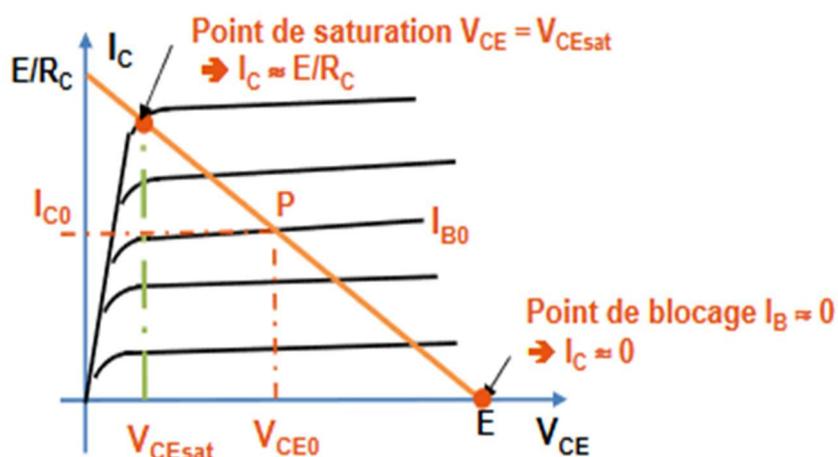


Figure I-8: Caractéristiques statiques d'un transistor bipolaire.

I.1.6 Transistor MOSFET

I.1.6.1 Définition

Transistor (Metal-Oxide-semiconductor Field Effect Transistor) est un type de transistor à effet de champs qui utilise un oxyde isolant pour contrôler le flux de courant à travers un canal de semi-conducteur. Il se forme de trois régions principales : La source, le drain, la grille (gate) qui est séparée du canal et qui agit comme une porte pour contrôler le courant entre la source et le drain.

Ils sont populaires en raison de leur faible consommation d'énergie, de leur capacité à supporter des tensions élevées et de leur rapidité de commutations [5].

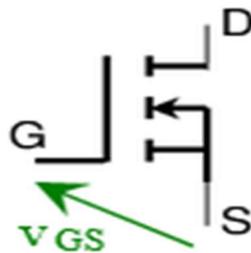


Figure I-9 : Symbole d'un transistor MOSFET.

I.1.6.2 Principe de fonctionnement

I.1.6.3 Caractéristiques statiques

Le transistor MOSFET possède les caractéristiques principales suivantes :

Une tension de commande permettant la mise en conduction et le blocage du composant :

✓ **A l'état passant**

Une résistance interne.

Un courant maximal permanent admissible.

✓ **A l'état bloqué**

Une tension directe maximale admissible (pouvant dépasser 1000 v) [7].

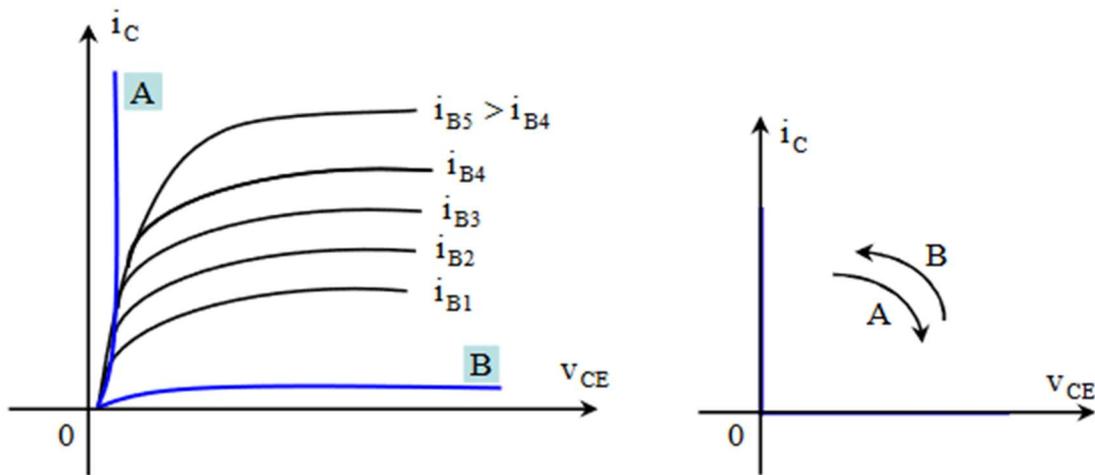


Figure I-10 : Caractéristiques statiques d'un transistor MOSFET.

I.1.7 Transistor IGBT

I.1.7.1 Définition

Est un composant d'électronique commandé par un signal de tension V_{GE} (Gâchette-Emetteur), Il s'agit d'un MOSFET intégré à un transistor bipolaire qui combine les avantages des deux transistors [7].

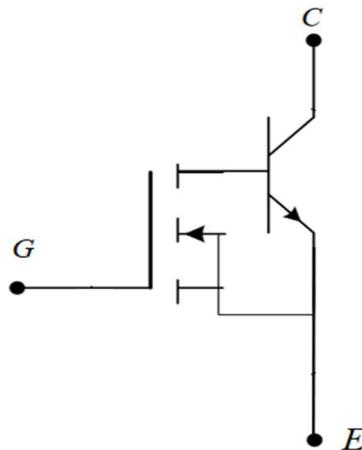


Figure I-11 : Symbol d'un transistor IGBT.

I.1.7.2 Principe de fonctionnement

Un transistor IGBT peut être dans l'un des trois états de fonctionnement suivants :

✓ État de blocage

Dans cet état, le transistor IGBT ne permet pas le passage du courant électrique entre l'émetteur et le collecteur, car la tension de commande appliquée à la grille est insuffisante pour activer le transistor. Dans cet état, le courant de fuite est très faible.

✓ État de saturation

Dans ce cas, le transistor IGBT est complètement activé, ce qui signifie qu'il permet un passage complet du courant entre l'émetteur et le collecteur. Cela se produit lorsque la tension de commande appliquée à la grille est suffisante pour surmonter la tension de seuil du transistor. Dans cet état, le courant de saturation est maximal et la tension de saturation est minimale [9].

I.1.7.3 Caractéristiques statiques

Le transistor IGBT possède les caractéristiques principales suivantes :

Une tension de commande permettant la mise en conduction et le blocage de composant :

✓ A l'état passant

- Une chute de tension composée d'une tension de seuil.
- Une résistance interne.
- Un courant maximal permanent admissible.

✓ A l'état bloqué

- Une tension directe maximale admissible [7].

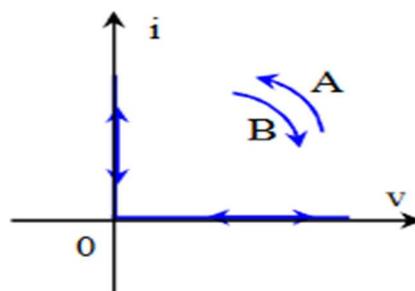


Figure I-12 : Caractéristiques statiques d'un transistor IGBT.

I.2 Les convertisseurs statiques

I.2.1 Définition

Sont des dispositifs à composants électroniques semi-conducteurs qui permettent de convertir une source d'énergie électrique d'un type à un autre, et qui peuvent également modifier la forme et/ou la fréquence d'une onde électrique. Leur rôle consiste à fournir une alimentation stable, fiable et efficace aux équipements électriques.

On distingue plusieurs types de convertisseurs statiques qui sont : **les redresseurs, les onduleurs, les gradateurs, les hacheurs et les cyclo-convertisseurs.**

Voici la (Figure I-13) ci-dessous qui montre les différents types de convertisseur :

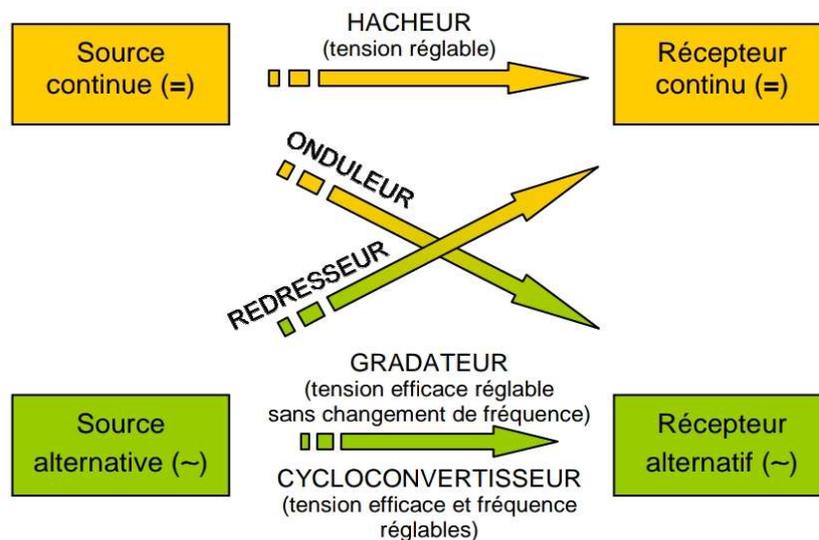


Figure I-13 : les différentes catégories des convertisseurs de puissance.

I.2.2 Les redresseurs.

Un redresseur est un convertisseur alternatif-continu qui assure la conversion d'une tension alternative en une tension continue (le cas des redresseurs non-commandés), et le cas où ils sont des redresseurs commandés la valeur moyenne de la tension obtenue devient réglable.

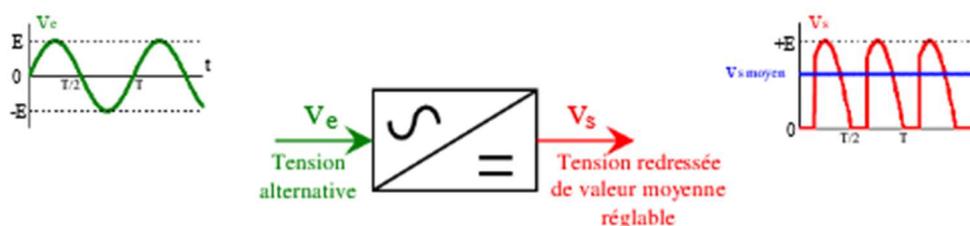


Figure I-14 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un redresseur.

I.2.3 Les onduleurs

Onduleur est un convertisseur continu-alternatif permet d'obtenir une tension alternative réglable en fréquence et en amplitude à partir d'une source de tension continue fixe.

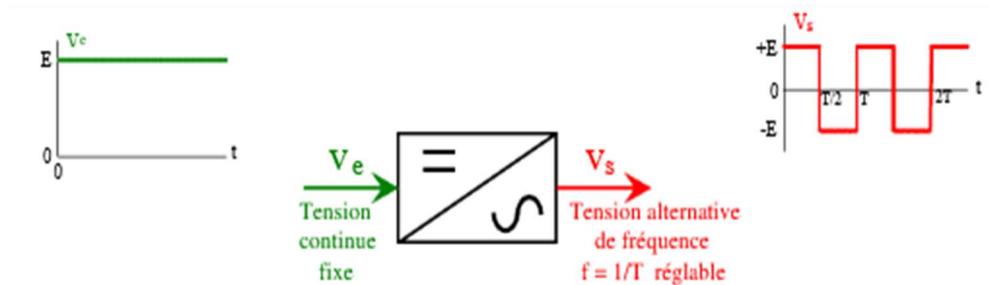


Figure I-15 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un onduleur.

I.2.4 Les hacheurs

Est un convertisseur continu-continu qui peut fournir à une charge une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue fixe [12].

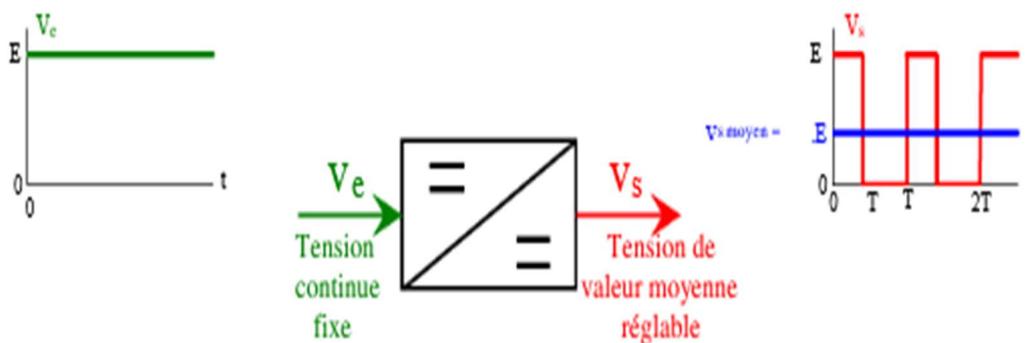


Figure I-16 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un hacheur.

I.2.5 Les gradateurs.

Un gradateur est un convertisseur alternatif-alternatif qui produit une tension alternative de valeur efficace variable à partir d'une source de tension alternative, sans modifier la fréquence [11].

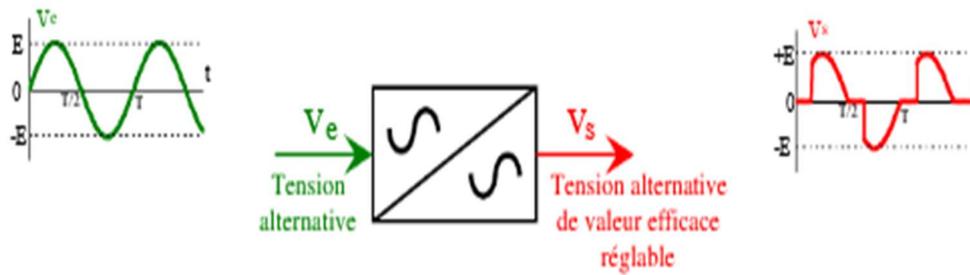


Figure I-17 : Symbole et le signal d'entrée/sortie d'un gradateur.

I.2.6 Onduleur (convertisseur DC/AC)

I.2.6.1 Définition

Un onduleur est un dispositif électronique qui permet de convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC) qui peut régler le transfert de puissance entre une source de tension/courant continue et une source de tension/courant alternative.

La fréquence « f » de la source alternative est :

- Soit imposé (fixe ou réglable), par une commande électronique autonome (onduleur autonome).
- Soit imposée, constant par la source elle-même (onduleur assisté débité sur le réseau qui est l'onduleur non autonome).
- Soit imposée, variable par la source elle-même (onduleur alimentant une machine synchrone, pilotée par la fréquence de la f.é.m. de la machine) [5].

I.2.6.2 Classification des onduleurs

Les onduleurs sont classés comme suit :

I.2.6.2.1 Onduleur autonome

Est un onduleur qui est capable de fonctionner indépendamment du réseau électrique. Cela signifie qu'il peut continuer à fournir de l'énergie (AC) à un équipement électrique même si le courant du réseau électrique est coupé. Généralement on les utilise dans les endroits où l'alimentation est instable.

I.2.6.2.2 Onduleur non autonome

Ce type d'onduleur en revanche, est un dispositif qui doit être connecté au réseau électrique pour fonctionner. En résumé il n'est pas capable de fournir de l'énergie (AC) en cas de coupure de courant. Il est généralement utilisé pour stabiliser la tension et assurer la continuité de l'alimentation [3].

I.2.6.2.3 Onduleur à résonance

Un onduleur à résonance est un type d'onduleur qui est conçu pour utiliser le phénomène de résonance pour minimiser les pertes d'énergie et augmenter l'efficacité du système. Il est souvent utilisé dans des applications de puissance élevée [3].

I.2.6.3 Genres d'onduleurs

I.2.6.3.1 Onduleur de tension

C'est un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue.

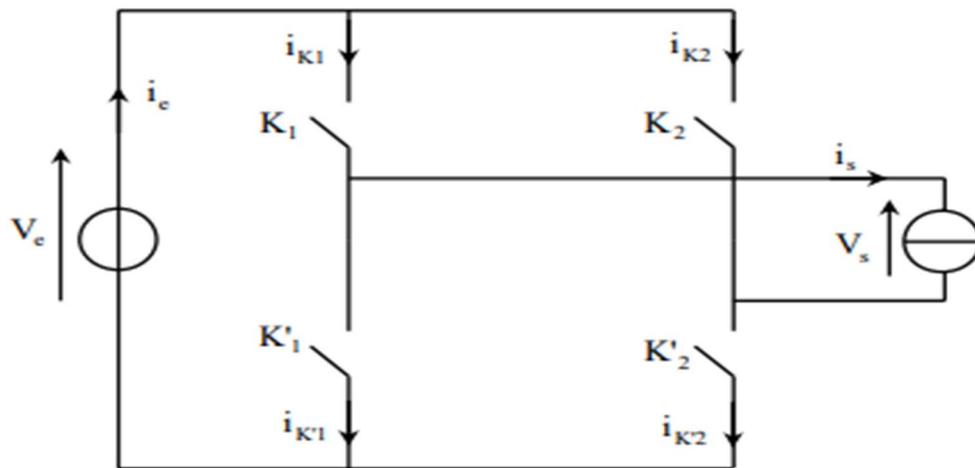


Figure I-18 : onduleur monophasé de tension.

I.2.6.3.2 Onduleur de courant

C'est un onduleur qui est alimenté par une source de courant continue [5].

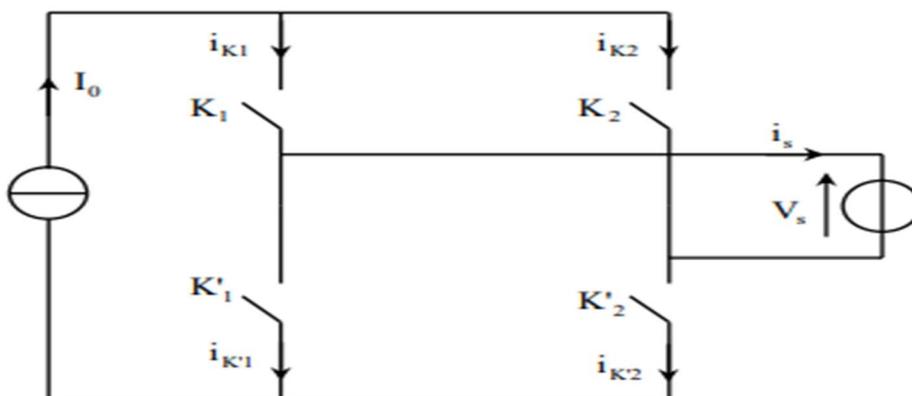


Figure I-19 : onduleur monophasé de courant.

I.2.6.4 Types d'onduleurs de tension

En principe, on a deux types d'onduleurs alimentés par une source de tension continue qu'on peut utiliser qu'ils soient : **monophasé** et **triphase**.

I.2.6.4.1 Onduleur de tension monophasé :

Nous allons présenter la forme de tension et du courant aux bornes de la charge, voici la (FIGURE ...) ci-dessous qui nous montre le schéma de l'onduleur monophasé :

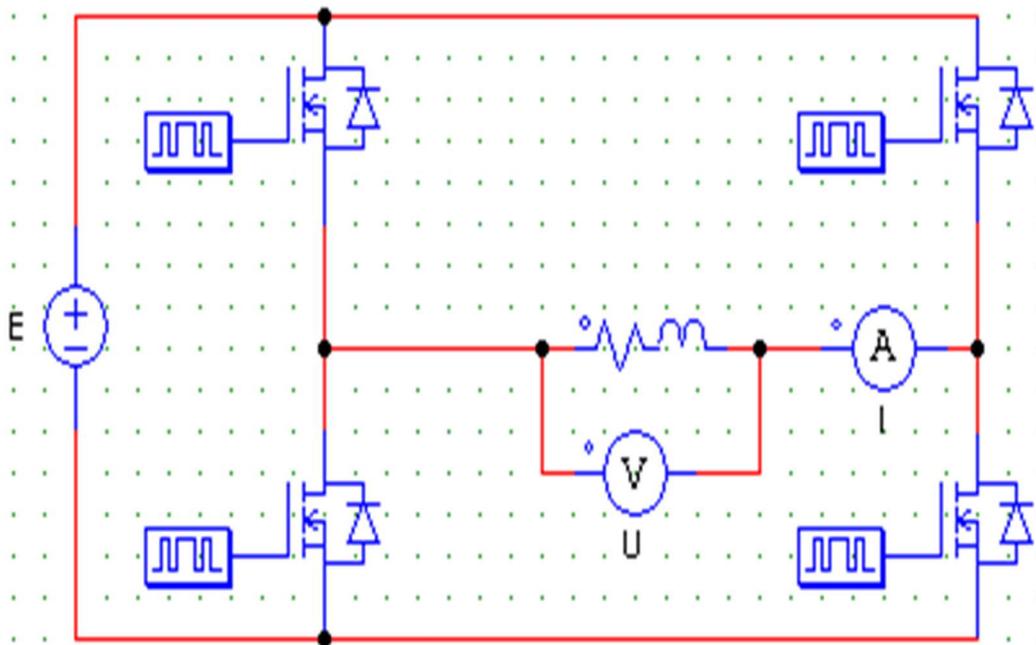
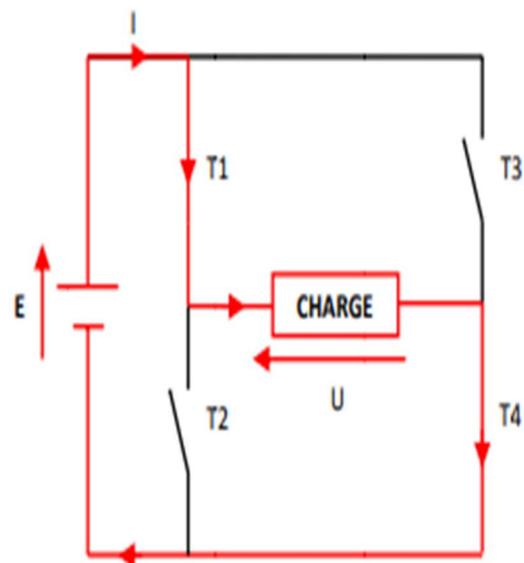


Figure I-20 : schéma de l'onduleur monophasé en pont.

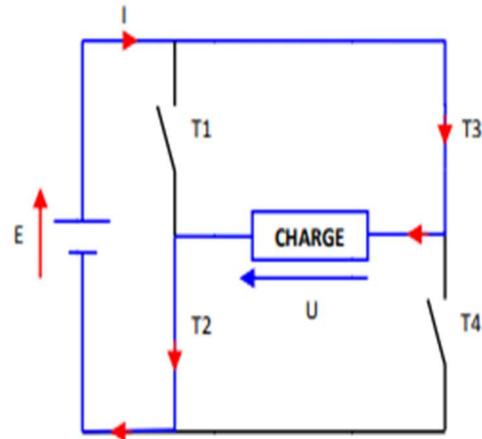
La première demi-période [0 à T/2] :

- Les interrupteurs qui sont fermés : **T1 et T4.**
- Les interrupteurs qui sont ouverts : **T2 et T3.**
- La tension U : ($U = +E$).



La première demi-période [T/2 à T] :

- Les interrupteurs qui sont fermés : T2 et T3.
- Les interrupteurs qui sont ouverts : T1 et T4.
- La tension U : ($U = -E$).



Voici l'allure des grandeurs U et I comme suit :

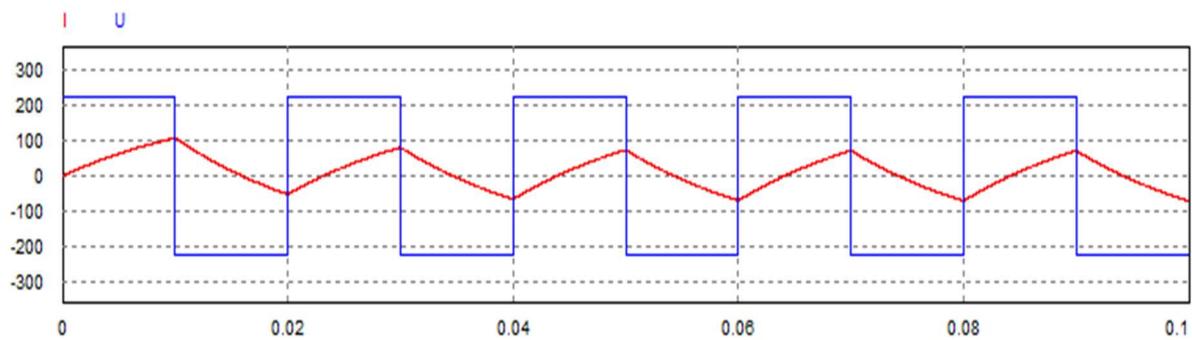


Figure I-21 : Allure des grandeurs U(t) et I(t).

I.2.6.4.2 Onduleur de tension triphasé

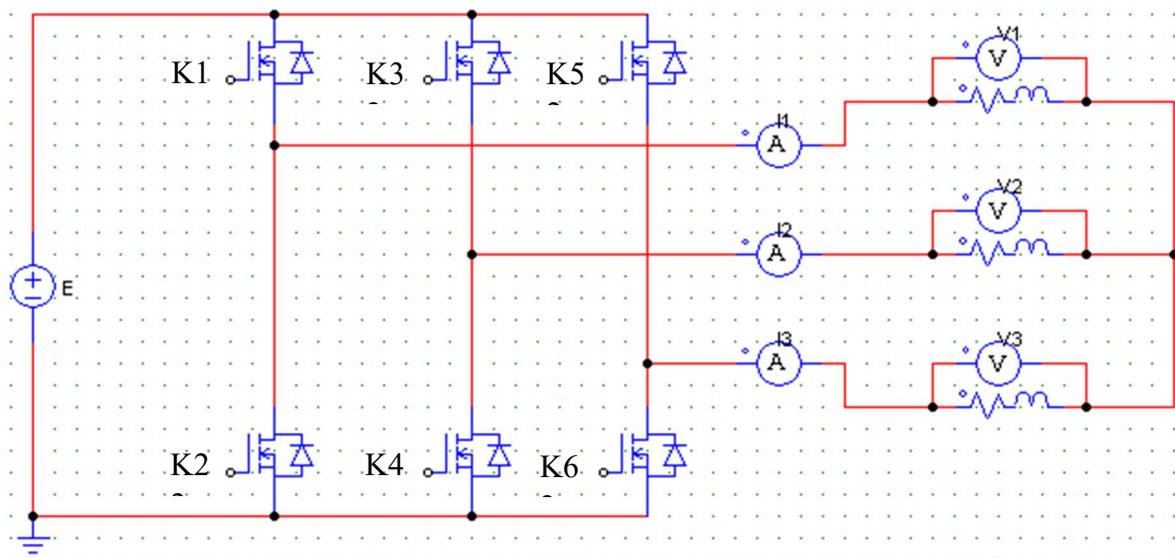


Figure I-22 : schémas de l'onduleur triphasé en pont.

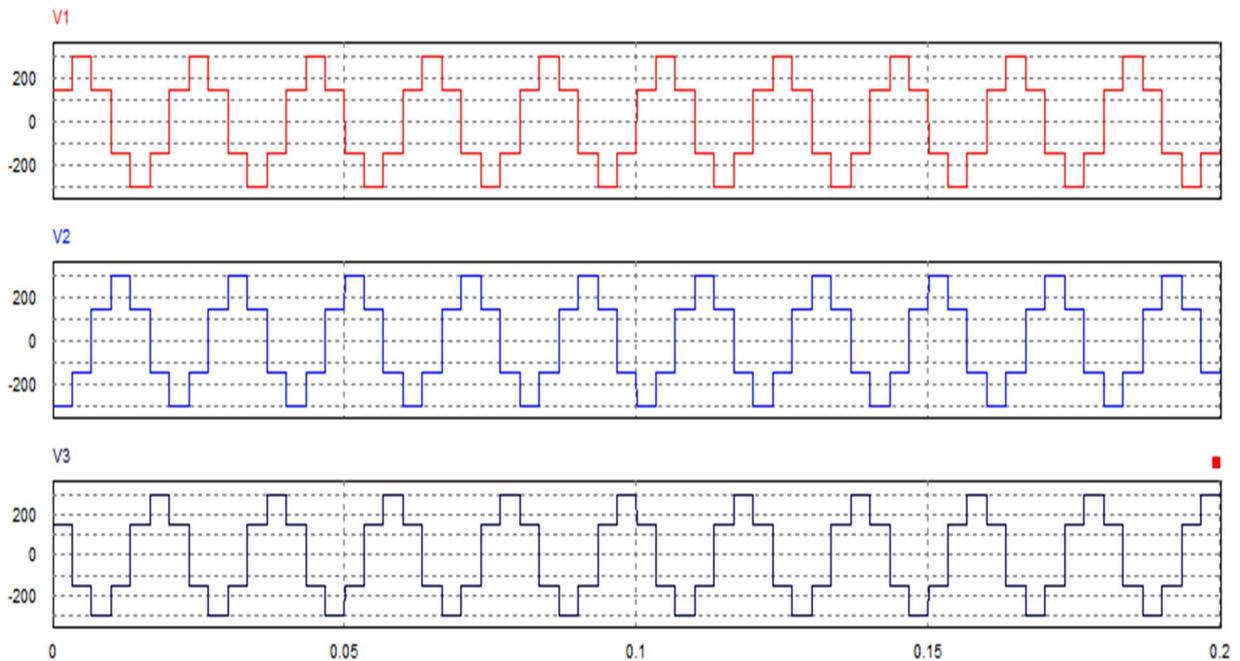


Figure I-23 : allure des tensions V1, V2 et V3.

Fonctionnement des interrupteurs d'un onduleur triphasé dans une période de 2π .

0	$\pi/3$	$2\pi/3$	π	$4\pi/3$	$5\pi/3$	2π
K1			K2			
K4		K3			K4	
K5	K6			K5		

I.3 Conclusion

Après avoir parcouru notre premier chapitre, il est clair que les semi-conducteurs, les onduleurs sont des éléments clés de nombreux systèmes électronique et électrique modernes.

Nous venons de présenter dans ce chapitre les semi-conducteurs de puissances et les différents modèles de convertisseurs statiques tels que l'onduleur et ces types. Ensuite, nous avons profité à présenter l'onduleur monophasé et triphasé.

Ce chapitre nous permettra donc prochainement d'explorer les différentes techniques de commande d'un onduleur triphasé.

Chapitre II

Stratégies de commande et configuration pratique

II.1 Introduction

Avant de procéder à la mise en œuvre de la commande par le microcontrôleur PIC16F877A, il est crucial de comprendre les stratégies de commande nécessaires pour contrôler efficacement l'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur triphasé.

Ce chapitre se concentre sur les techniques de commande des transistors de puissance, en mettant en évidence la commande de modulation de largeur d'impulsion (MLI), la commande à pleine onde et la commande décalée.

Ce chapitre explorera en détail les techniques de commande, en expliquant leurs principes de fonctionnement. Il abordera également les aspects pratiques de la mise en œuvre de ces techniques de commande, y compris les circuits d'amplification et d'isolation nécessaires, ainsi que la réalisation des alimentations pour les différents composants du système. Une compréhension approfondie de ces techniques de commande est essentielle pour concevoir et mettre en œuvre efficacement un onduleur, en garantissant un fonctionnement optimal et fiable du système.

II.2 Stratégies de commande

II.2.1 Onduleur triphasé à pleine onde (180°)

La commande pleine onde consiste à commuter les trois bras de l'onduleur de manière à obtenir une tension alternative triphasé, Dans cette commande les interrupteurs conduisent en étant fermé ou ouvert pendant 180° la tension.

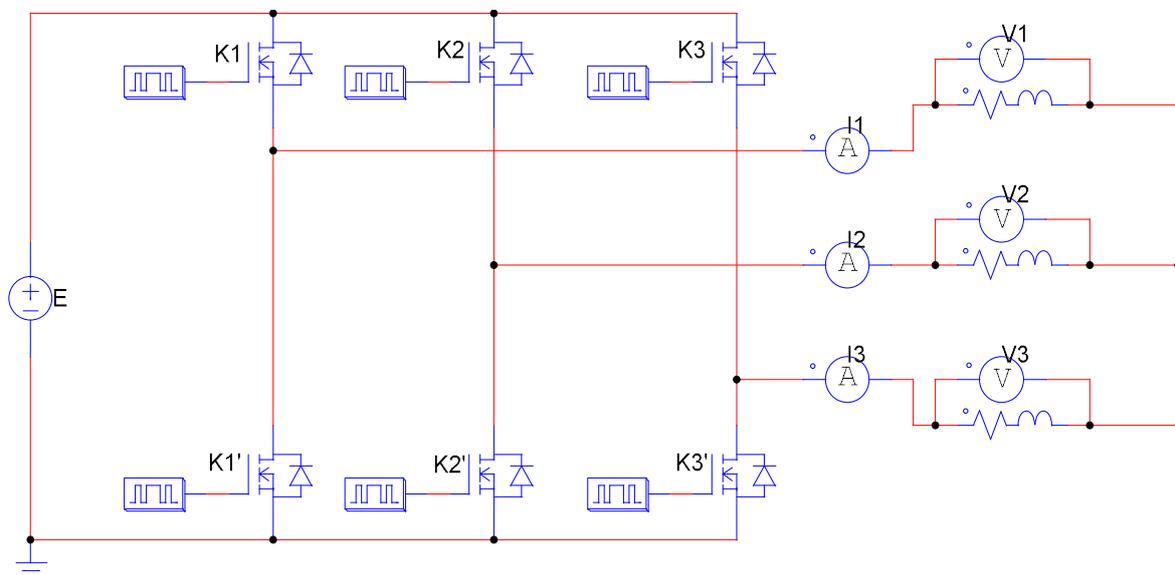


Figure II-1 : circuit de puissance à commande pleine onde 180°.

La commande de la fermeture des interrupteurs d'un onduleur triphasé à commande pleine onde dans une période de 360° , qui se fait comme suit :

L'interrupteur K1 est fermé pendant la Première demi période (de 0 jusqu'à 180°), K1' est fermé pendant l'autre demi période (de 180° jusqu'à 360°). Et pour les deux autres bras K2, K2' et K3, K3', on applique la même procédure mais avec un décalage de 120° et 240° par rapport au premier bras respectivement.

0°	60°	120°	180°	240°	300°	360°
K1			K1'			
K2'		K2			K2'	
K3	K3'			K3		

Voici les résultats qu'on a pu trouver par le logiciel Psim :

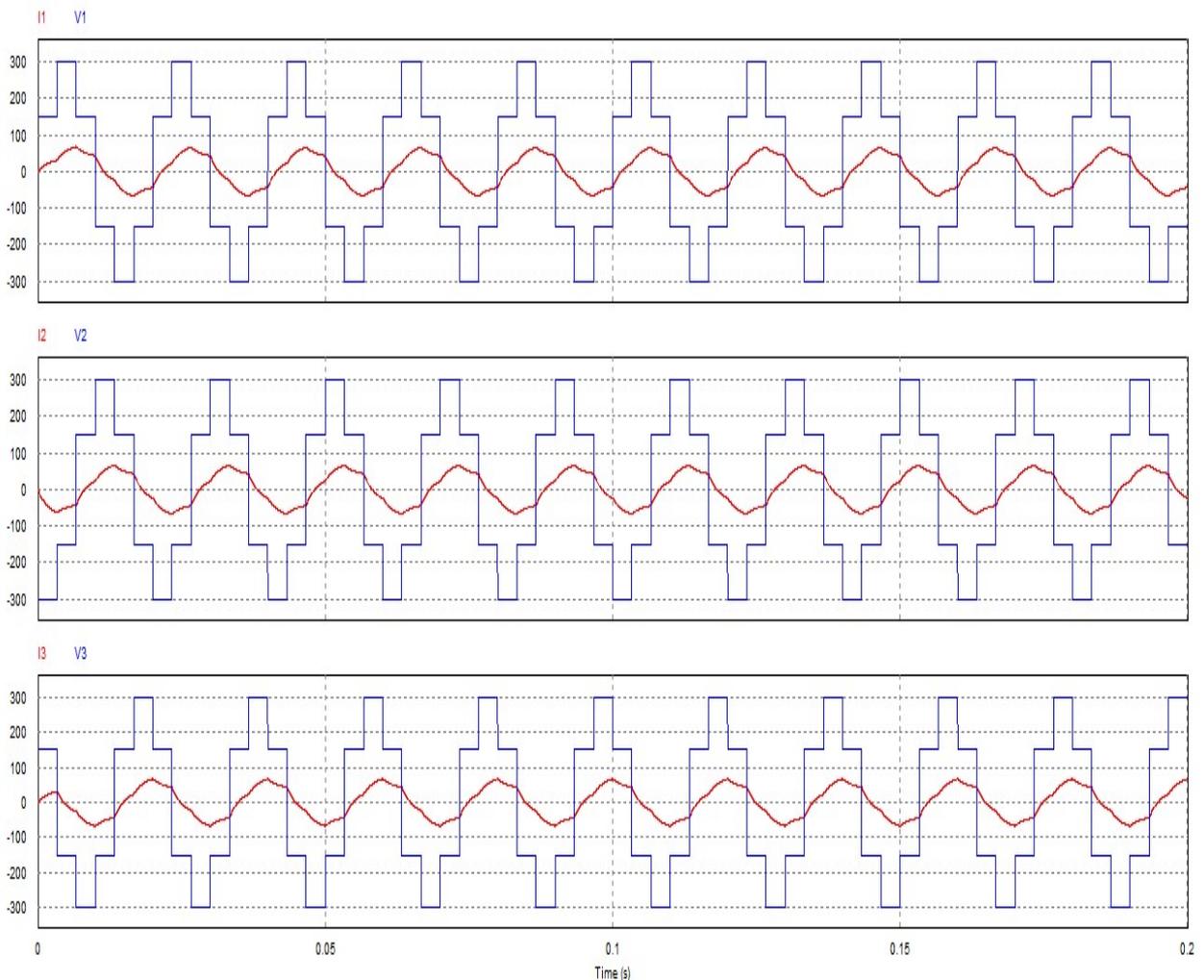


Figure II-2 : signaux (V_1 , V_2 , V_3 , I_1 , I_2 et I_3) de sortie à commande pleine onde 180° .

II.2.2 Onduleur triphasé à commande décalée (120°)

La commande décalée est similaire à la commande 180° avec l'avantage de la réduction du temps de conduction des transistors.

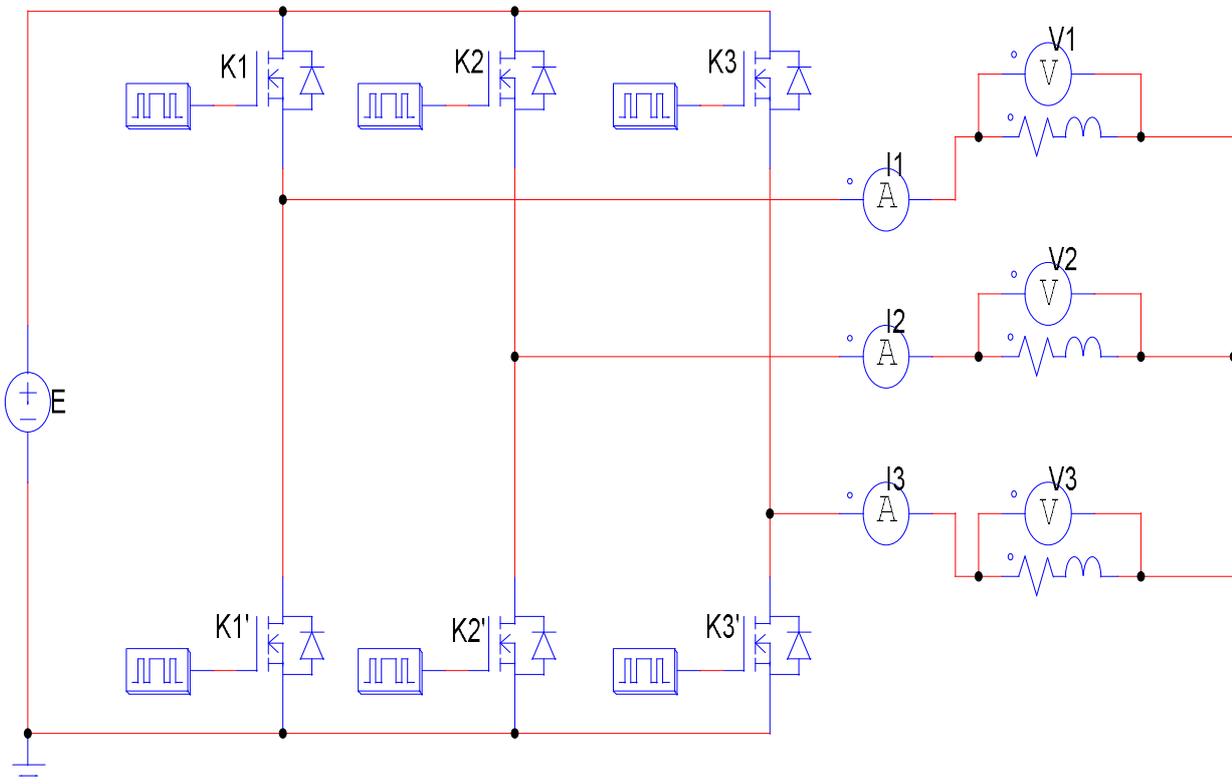
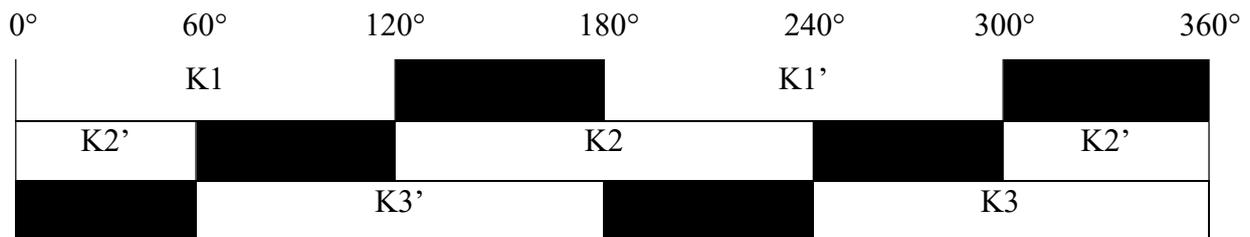


Figure II-3 : circuit de puissance à commande décalée 120°.

La commande de la fermeture des interrupteurs d'un onduleur triphasé à commande décalée dans une période de 360°, qui se fait comme suit :

En utilisant cette méthode de commande, les interrupteurs $K1$, $K2$ et $K3$ fonctionnent successivement pendant une durée de 120° chacun. Les interrupteurs $K'1$, $K'2$ et $K'3$, quant à eux, sont également activés successivement, mais avec un décalage de 60° par rapport à $K1$, $K2$ et $K3$.



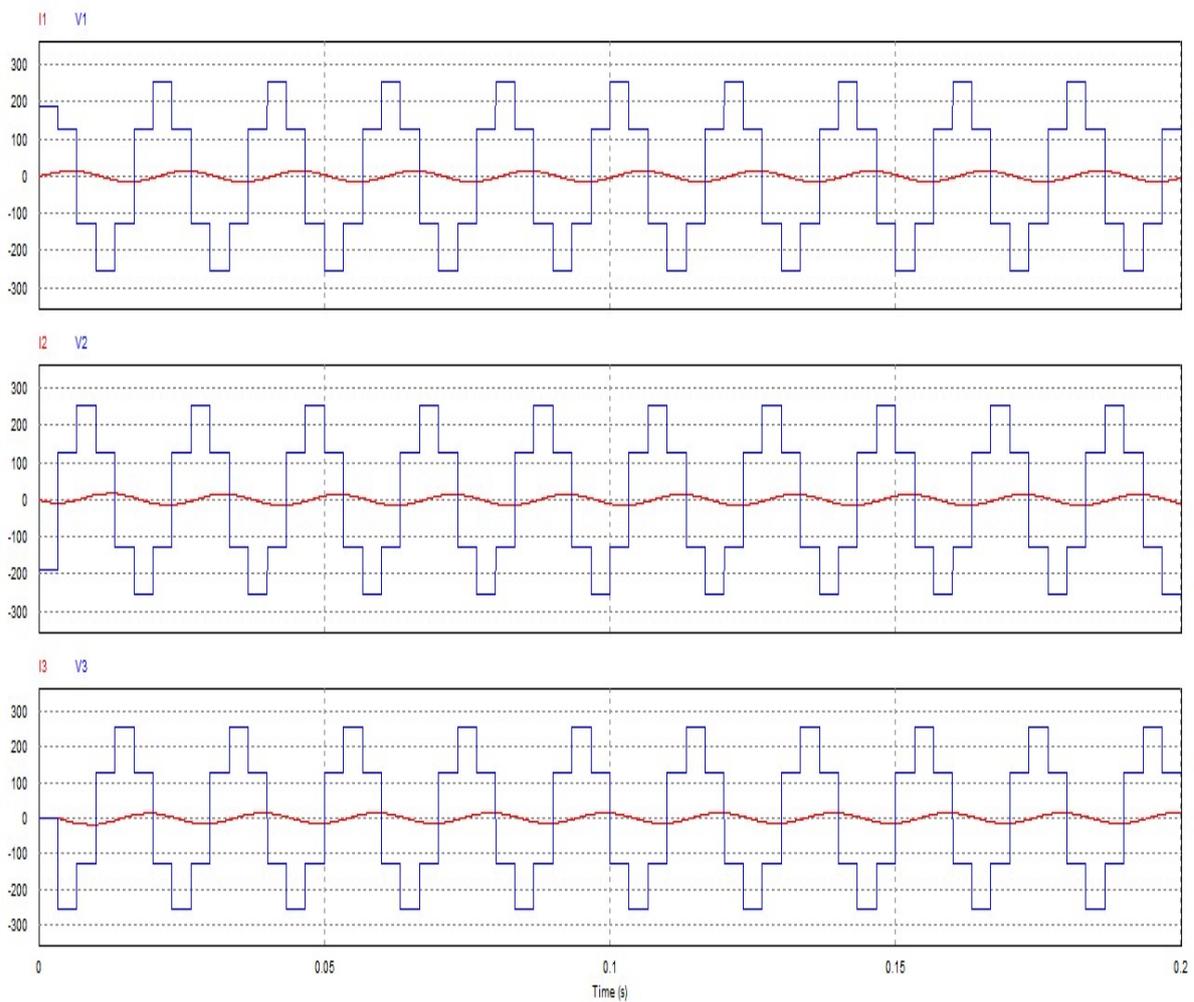


Figure II-4 : signaux (V_1 , V_2 , V_3 , I_1 , I_2 et I_3) de sortie à commande décalée 120° .

II.2.3 Onduleur triphasé à commande MLI

Est une méthode de contrôle largement répandue pour les onduleurs, elle consiste à comparer un signal de référence de basse fréquence qu'on désire d'obtenir à la sortie (un signal sinusoïdal) avec une onde porteuse triangulaire de haute fréquence.

Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersections entre le signal de référence et la porteuse. Dans les onduleurs triphasés les trois bras sont décalés de 120° à la même fréquence. Cette technique de commande sert à repousser les harmoniques vers les fréquences élevées.

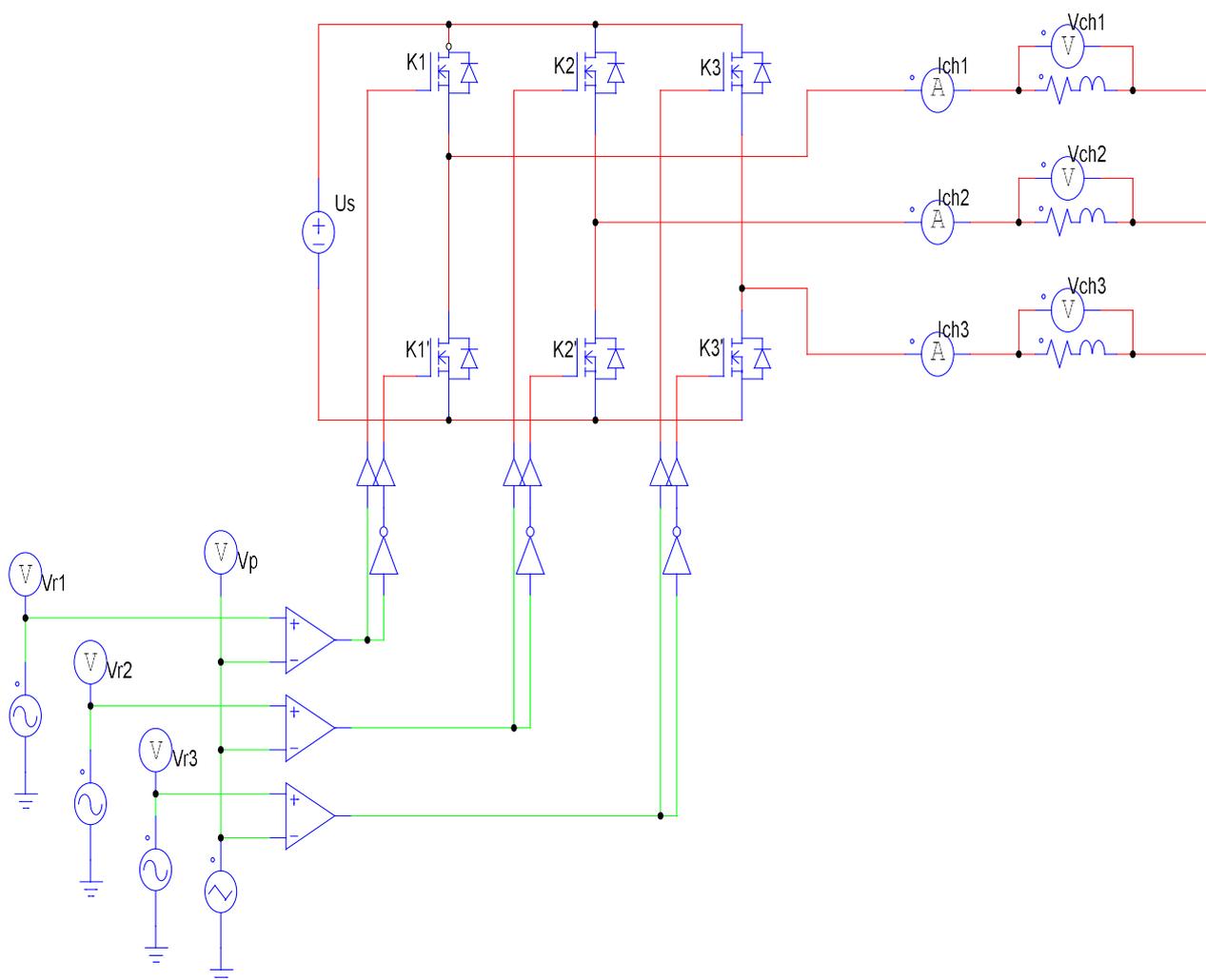


Figure II-5 : circuit de puissance et commande par la technique MLI.

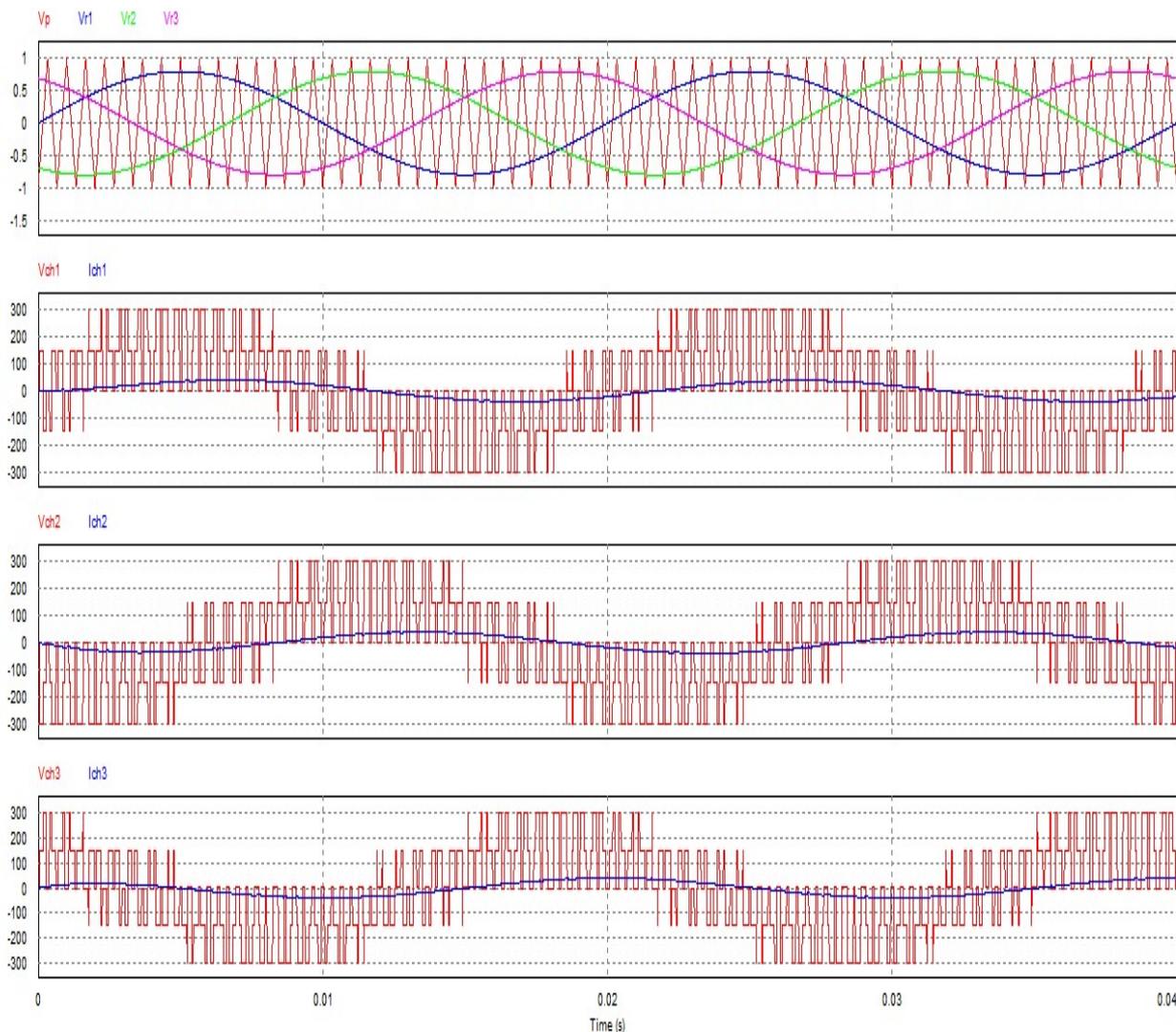


Figure II-6 : signaux (V_1 , V_2 , V_3 , I_1 , I_2 et I_3) de sortie à commande MLI

II.3 Les composants de commande, l'amplification et l'isolation galvanique

II.3.1 Buffer

II.3.1.1 Définition

Le buffer a pour fonction principale de prendre le signal numérique provenant du microcontrôleur et de le convertir en signal analogique, il peut également servir à adapter le niveau de tension et de courant du signal de commande pour répondre aux exigences de l'optocoupleur. Dans le cadre de notre projet, nous avons choisi d'utiliser le buffer CD4503B.

Le buffer CD4503B est un tampon hexadécimal non inverseur avec des sorties à 3 états ayant un niveau de dissipation et capacité de source de courant. Deux commandes de désactivation sont fournies, dont l'une commande quatre tampons et l'autre contrôle les deux tampons restants. Les types CD4503B sont fournis en 16 broches boîtiers céramiques hermétiques dual-in-line (F3A suffixe), boîtiers en plastique double en ligne de 16 broches (E suffixe), boîtiers à petit contour 16 dériviations (M, M96, suffixes MT et NSR) et rétractable mince à 16 broches paquets de petit contour (suffixes PW et PWR) [14].

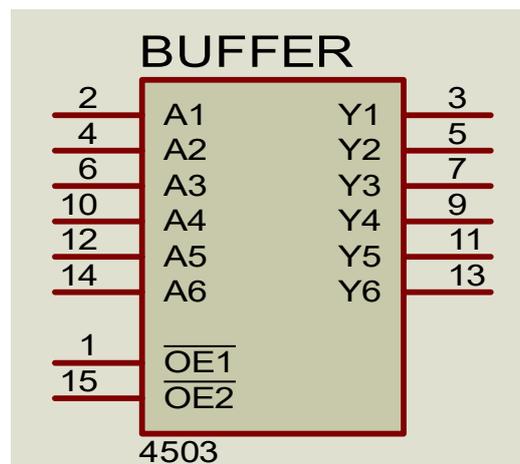


Figure II-7 : Buffer CD4503B.

II.3.2 Photo-coupleur (optocoupleur)

II.3.2.1 Définition

Les optocoupleurs, également appelés photo-isolateurs, photo-coupleurs ou isolateurs-optiques, sont des composants électroniques qui permettent l'isolation électrique de deux circuits. On a choisi l'optocoupleur PC817X.

Ce composant est équipé d'un IRED à couplage optique relié à un phototransistor. Il est

- Conditionné dans un boîtier DIP 4 broches,
- Disponible en large fil option d'espacement et option de forme de plomb papillon SMT.
- La tension d'isolation d'entrée-sortie (rms) est de 5,0 kV.
- La tension collecteur-émetteur est de 80V (*) et le CTR est de 50% à 600 % à un courant d'entrée de 5 mA [12].

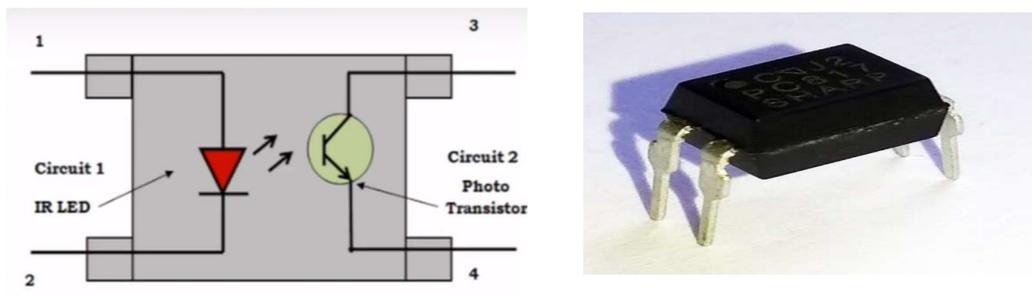


Figure II-8 : photo-coupleur.

II.3.3 Driver

II.3.3.1.1 Définition

Est un circuit électronique qui permet de piloter la commutation de ces transistors (IGBT et MOSFET) de puissance haute tension qui nécessitent une commutation rapide et efficace de hautes tensions. Il génère des signaux de commande pour activer et désactiver ces transistors avec précision, afin de contrôler la tension et le courant à travers le circuit, ainsi que résoudre le problème du temps mort. On a utilisé le driver IR2112(S).

L'IR2112 est une alimentation haute tension et haute vitesse Pilote MOSFET et IGBT avec haut et bas indépendants canaux de sortie référencés côté bas. Les technologies HVIC et CMOS à immunité au verrouillage permettent construction monolithique robuste et Les entrées logiques sont compatibles avec les sorties standard CMOS ou LSTTL. Les pilotes de sortie disposent d'un tampon de courant d'impulsion élevé étage conçu pour une conduction croisée minimale du conducteur.

Les délais de propagation sont appariés pour simplifier l'utilisation dans les applications à haute fréquence. Le canal flottant peut être utilisé pour piloter un MOSFET de puissance à canal N ou IGBT dans la configuration côté haut qui fonctionne jusqu'à 600 volts [13].

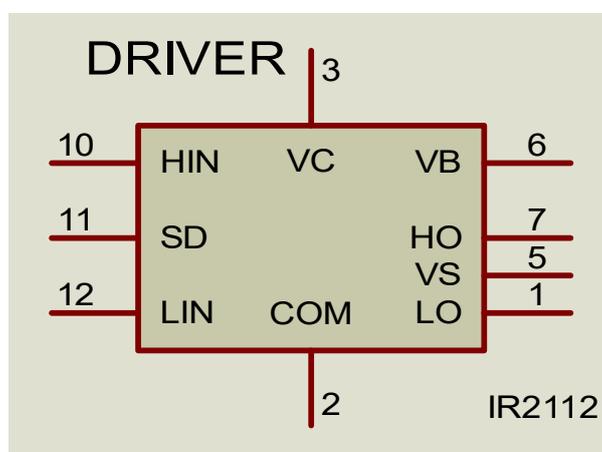


Figure II-9 : Driver IR2112.

II.3.4 Transistor MOSFET

II.3.4.1 Définition

Les Nell IRF730 sont des transistors à effet de champ de puissance à grille en silicium à mode d'amélioration du canal N. Ils sont conçus, testés et garantis pour résister à un niveau d'énergie spécifié dans le mode de fonctionnement à avalanche de panne, ils sont conçus comme un dispositif extrêmement efficace et fiable pour une utilisation dans une grande variété d'applications telles que les régulateurs à découpage, les convertisseurs, les onduleurs, les alimentations à découpage et les pilotes pour les transistors de commutation bipolaires haute puissance nécessitant une vitesse élevée et faible puissance d'entraînement du portail. Ces transistors peuvent être commandés directement à partir de circuits.

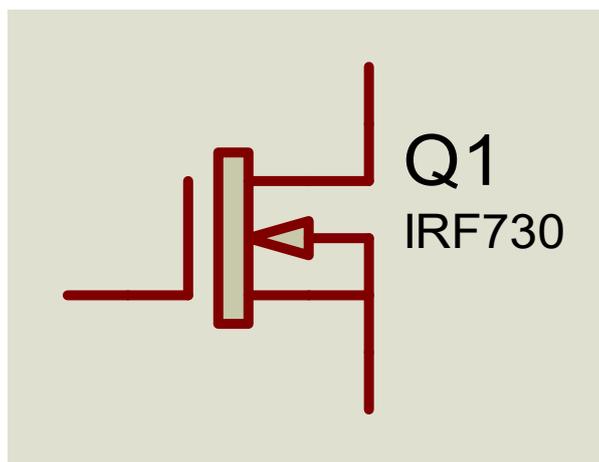


Figure II-10 : MOSFET IRF730.

II.3.4.2 Caractéristiques

- $R_{DS(ON)} = 1.00 \Omega @ V_{GS}=10V$
- Charge de grille ultra faible (22 nC max.).
- Faible capacité de transfert inverse ($C_{RSS}=4pF$ typique).
- Capacité de commutation rapide
- 100% d'énergie d'avalanche spécifiée.
- Capacité dv/dt améliorée.
- Température de fonctionnement de 150°C [20].

II.4 Ecran d'affichage LCD 16x2

II.4.1 Définition

L'utilisation d'un écran LCD dans un projet électronique avec microcontrôleur réside dans sa capacité à fournir une interface utilisateur visuelle, à afficher des informations importantes et à être programmé pour communiquer avec divers microcontrôleurs

Un écran d'affichage LCD 16x2 est un type d'afficheur à cristaux liquides qui dispose de 16 caractères affichables par ligne et de deux lignes. Et souvent sont contrôlés à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un circuit intégré spécialisé, qui envoie des signaux pour afficher du texte et des symboles sur l'écran. C'est un composant électronique courant et largement disponible, ce qui en fait un choix populaire pour les projets électroniques à petite échelle. L'afficheur LCD contient de :

- Une entrée de contrôle **RS** (Register Select)
- Une entrée de validation **E** (Enable)
- 8 entrées de données **D0** à **D7**
- 3 Entrées d'alimentations : **VSS**, **VDD**, **VEE**.

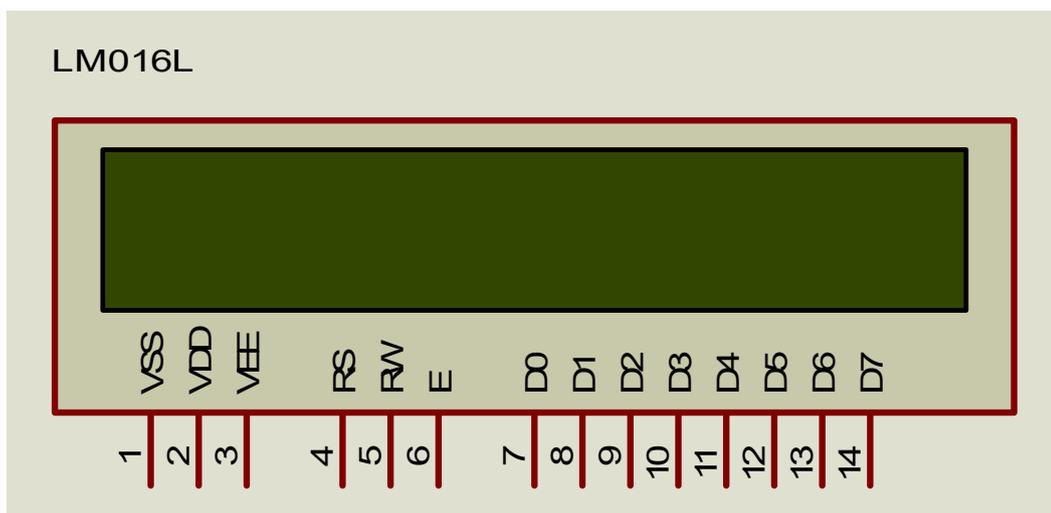


Figure II-11 : afficheur LCD (LM016L).

II.4.2 Brochage

L'afficheur LM016L dispose de 16 broches, qui sont numérotées de 1 à 14 qui sont comme suit :

- 1 **VSS** : la masse ou GND (ground) 0V.
- 2 **VDD** : alimentation de l'afficheur LCD (2.7V à 5.5V).
- 3 **VEE** : ajustement (réglage) de contraste.

2- RS (registre select) : sélectionner le registre dans lequel les données seront envoyées (commandes ou données).

0 : registre d'instructions (pour écriture) indicateur d'occupation : compteur d'adresse (pour lecture)

1 : registre de données (pour écriture et lecture).

5- R/W (Read/Write) : Cette broche est utilisée pour sélectionner si les données seront lues ou écrites.

0 : Ecrire.

1 : Lire.

6- E (enable) : Cette broche est utilisée pour activer l'écriture ou la lecture de données.

7-10- DB0-DB3 (Data Bus) : Ces quatre (4) broches sont utilisées pour envoyer les données ou les caractères à afficher sur l'écran. (Ces broches ne sont pas utilisées pendant le fonctionnement 4 bits).

11-14- DB4-DB7 (Data Bus) : ces quatre (4) broches sont utilisées pour envoyer les données ou les caractères à afficher sur l'écran, DB7 est utilisé comme un drapeau occupé.

II.4.3 L'écriture et lecture de données

L'écriture et la lecture de données dans un afficheur LCD sont des processus de communication entre un microcontrôleur et l'afficheur LCD pour afficher des caractères ou des données sur l'afficheur, Pour cela voici les deux configurations à respecter :

- Pour envoyer des données d'instructions, les broches RS et R/W sont fixées à 0,
- Pour lire et afficher des données, les broches RS et R/W sont respectivement configurées à 1 et 0 [15].

II.4.4 Les instructions de commande d'afficheur LCD

Voici quelques exemples d'instructions de commande courantes pour les afficheurs LCD :

Code hexadécimal	Commande au registre d'instructions LCD
01	Effacer l'écran LCD
02	Retourner vers le début
04	Décrémenter le curseur (déplacer le curseur vers la gauche)
05	Décaler l'affichage vers la droite
06	Incrémenter le curseur (déplacer le curseur vers la droite)
07	Décaler l'affichage vers la gauche
08	Affichage désactivé, curseur désactivé
0E	Affichage activé, curseur clignotant
0F	Affichage activé, curseur allumé
80	Forcer le curseur au début de la première ligne
C0	Forcer le curseur au début de la deuxième ligne
38	2 lignes et matrice 5×7
83	Curseur ligne 1 position 3
3C	Activer la deuxième ligne
0C	Affichage active, curseur désactivé

Tableau II-1 : Les instructions de la commande.

II.4.5 L'interface LCD avec le PIC16F877A

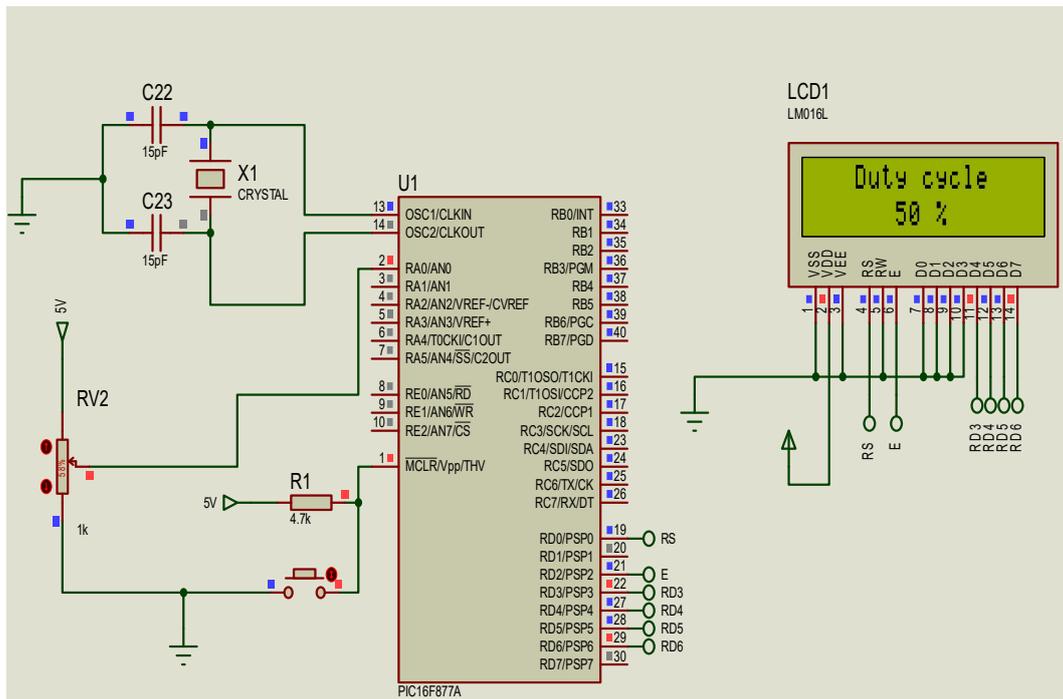


Figure II-12 : connexion de l'afficheur LCD avec le PIC16F877A.

II.5 L'alimentation

Les circuits électroniques utilisent souvent une alimentation en courant continu (DC), car la plupart des composants électroniques nécessitent une tension constante pour fonctionner de manière fiable et efficace.

L'alimentation des circuits électroniques est généralement divisée en quatre étapes : **le transformateur, le redresseur, la filtration et la régulation.**

❖ La première étape

Le transformateur est utilisé pour convertir la tension alternative de la source d'alimentation en une tension alternative de faible amplitude.

❖ La deuxième étape

Le redresseur est utilisé pour convertir la tension alternative en tension continue redressée, cette étape consiste à redresser la tension abaissée, le redressement est assuré par un pont à diodes.

❖ La troisième étape

La filtration, est utilisée pour minimiser les ondulations de la tension continue redressée par des condensateurs.

❖ La quatrième étape

La régulation, est généralement réalisée à l'aide d'un régulateur de tension, qui est un dispositif électronique qui est utilisé pour maintenir la tension de sortie à une valeur constante malgré les variations de la tension d'entrée ou de la charge du circuit électronique.

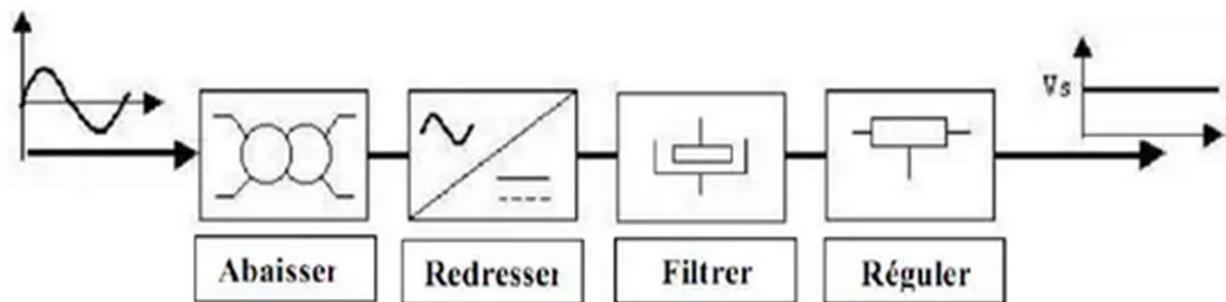


Figure II-13 : Schéma synoptique d'alimentation stabilisée.

Sachant que :

- ❖ La tension 5V sert à alimenter le **microcontrôleur**, et l'**afficheur LCD**.
- ❖ La tension 15v sert à alimenter le **Driver**, et l'**optocoupleur**.

II.6 Conclusion

En résumé, ce chapitre offre une introduction détaillée sur la commande des onduleurs triphasés, en abordant les techniques de commande, l'écran LCD 16x2, les circuits d'amplification et d'isolation nécessaires, ainsi que la réalisation des alimentations pour les différents composants. Une compréhension approfondie de ces concepts est essentielle pour la conception et la mise en œuvre efficace d'un onduleur triphasé.

Chapitre III
Logiciels utilisés et programmation
Du
Microcontrôleur Pic 16F877A

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons utiliser les deux logiciels suivants : Proteus, MikroC pour créer et tester notre système électronique. Nous allons également explorer la programmation en langage C pour le microcontrôleur PIC16F877A, en détaillant les fonctions et les instructions que nous avons utilisées pour générer les signaux de commande pour l'onduleur triphasé. En fin de compte, nous montrerons comment ces deux aspects se sont combinés pour produire un système fonctionnel capable de contrôler un onduleur triphasé.

III.1.1 Les logiciels utilisés

III.1.1.1 Proteus 8 professionnel

III.1.1.1.1 Définition

Proteus 8 Professional est un logiciel de conception électronique utilisé pour la simulation et la conception de circuits électroniques. Il permet de dessiner des schémas électroniques, de simuler le comportement des circuits, il est édité par la société Labcenter Electronics. Les deux principaux logiciels utilisés sont :

- **ISIS** : qui est l'éditeur de schéma.
- **ARES** : qui est l'outil de conception de circuit imprimé [16].

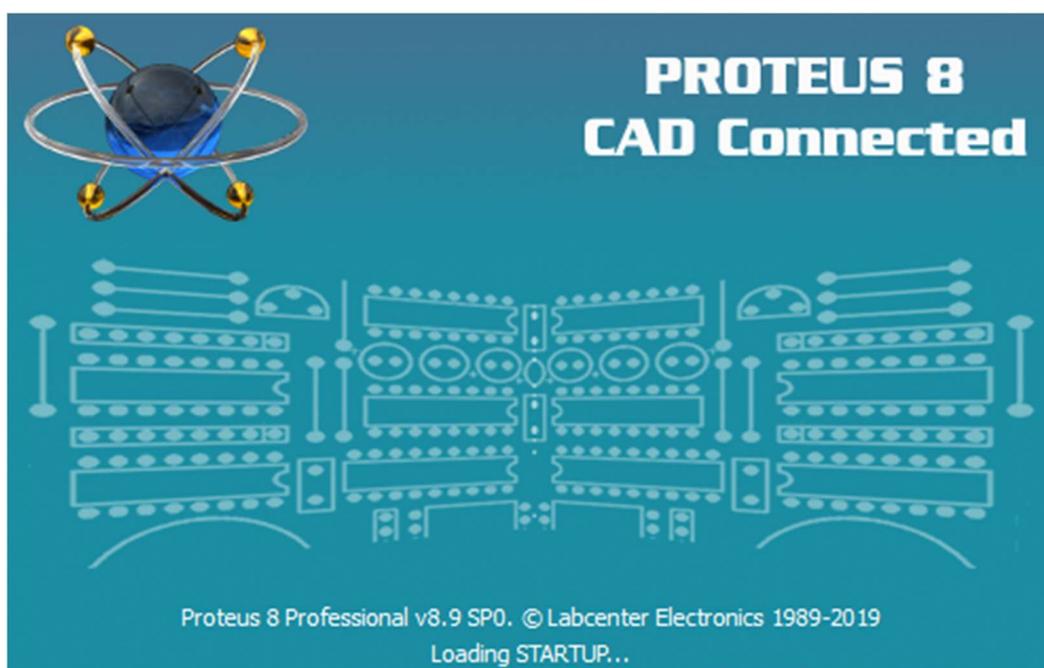


Figure III-1 : le logiciel Proteus V8.9.

III.1.1.1.2 Proteus ISIS

Le logiciel ISIS de proteus professionnel est principalement connu pour éditer des schémas électriques. C'est l'un des principales fonctionnalités du logiciel Proteus 8 Professional. Proteus ISIS permet aux utilisateurs de concevoir des schémas électroniques, de simuler leur fonctionnement et de valider leur performance avant de les implémenter physiquement. Le logiciel permet également de réaliser des schémas de circuits imprimés (PCB) et de les exporter pour la fabrication [16].

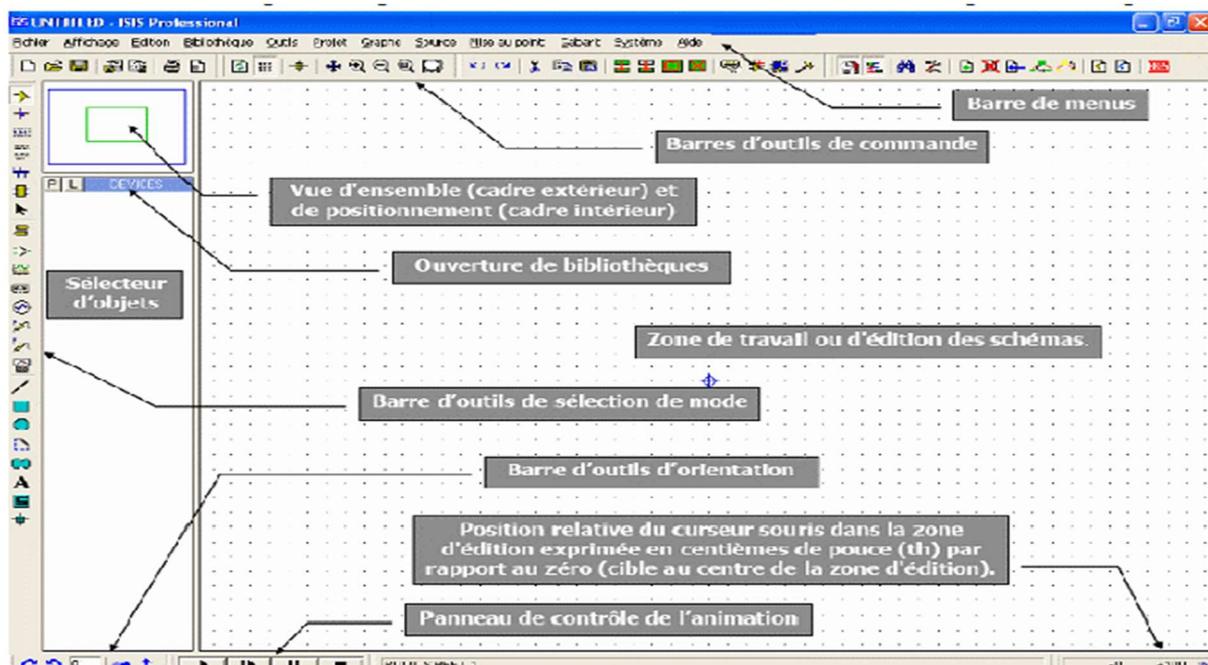


Figure III-2 : Présentation de logiciel PROTEUS (ISIS).

III.1.1.2 MikroC

III.1.1.2.1 Définition de MikroC

Le logiciel MikroC est un environnement de développement intégré (IDE) spécialement conçu pour la programmation des microcontrôleurs, est un compilateur pour PIC conçu par la société « Mikroelektronika ». Il s'agit d'un outil populaire et largement utilisé dans le domaine de l'électronique embarquée pour développer des applications sur des microcontrôleurs tels que ceux de la famille PIC de Microchip.

Le compilateur mikroC pour PIC bénéficie d'une prise en main très facile. Ses très nombreux outils intégrés (mode simulateur, terminal de communication Ethernet, terminal de communication USB, gestionnaire pour afficheurs 7 segments, analyseur statistique, correcteur d'erreur, explorateur de code, mode Débug ICD...) associé à sa capacité à pouvoir gérer la plupart des périphériques rencontrés dans l'industrie (Bus I2C™, 1Wire™, SPI™, RS485, Bus CAN™, USB, gestion de cartes compact Flash et SD™/MMC™, génération de signaux PWM, afficheurs LCD alphanumériques et graphiques, afficheurs LEDs à 7 segments, etc...).

III.1.1.2.2 Création d'un projet

Pour créer un nouveau projet, saisir et compiler le programme, nous avons suivi les étapes suivantes :

- ❖ Double clique sur l'icône du logiciel **MikroC PRO FOR PIC** pour le lancer.
- ❖ Ensuite on clique sur « **new Project** » pour créer un nouveau projet.

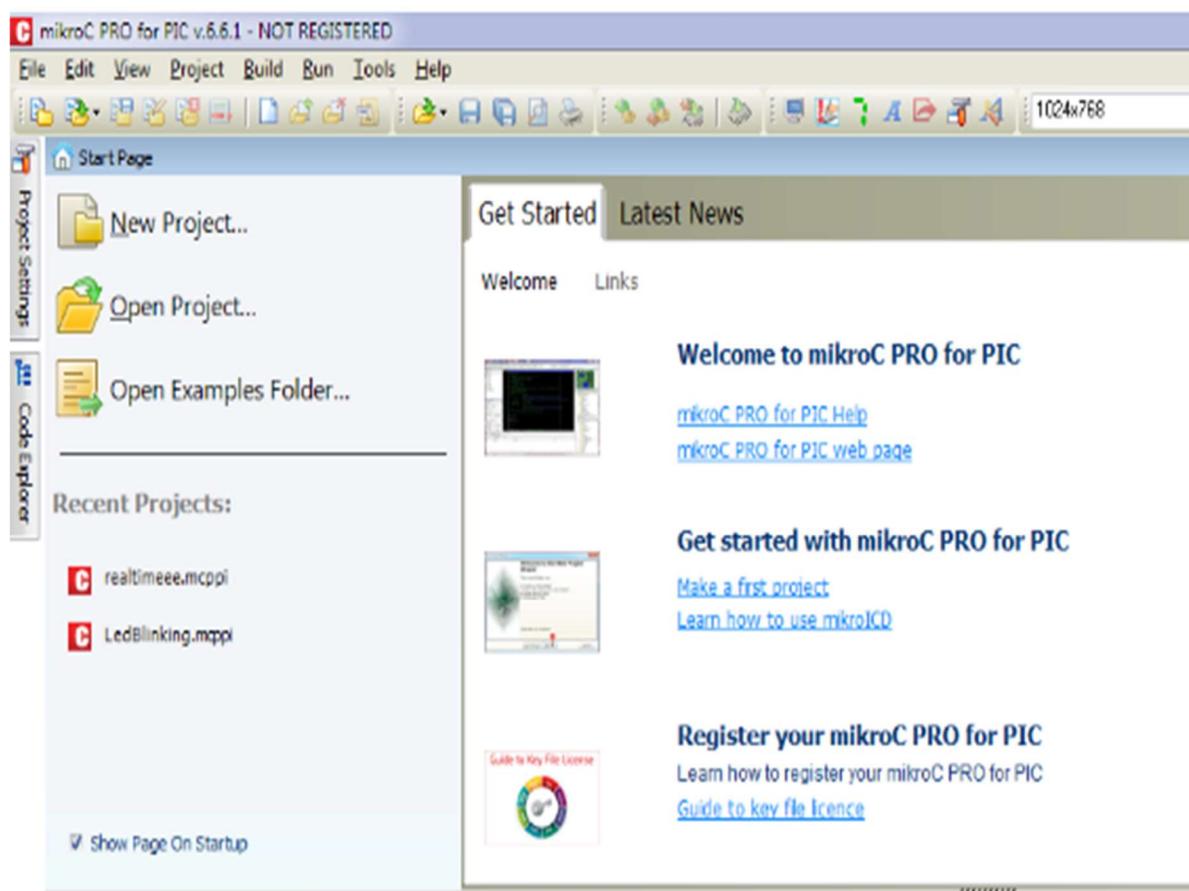


Figure III-3: Création d'un nouveau projet.

Après avoir effectué l'action précédente, une fenêtre s'affichera, offrant ainsi la capacité de :

- Nommer notre projet.
- Choisir son emplacement.
- Sélectionner la référence du pic avec lequel on souhaite travailler donc on sélectionne le P16F877A.
- Définir la fréquence d'oscillation avec laquelle travaille notre pic, dans ce cas on sélectionne 20.000000 MHz.

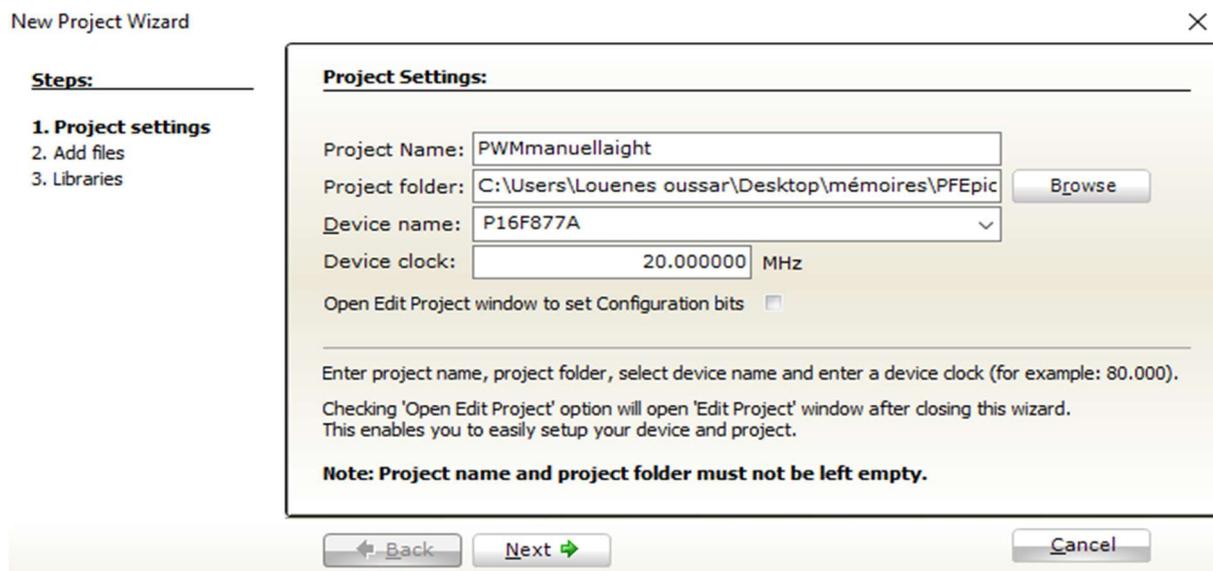


Figure III-4: la configuration du projet.

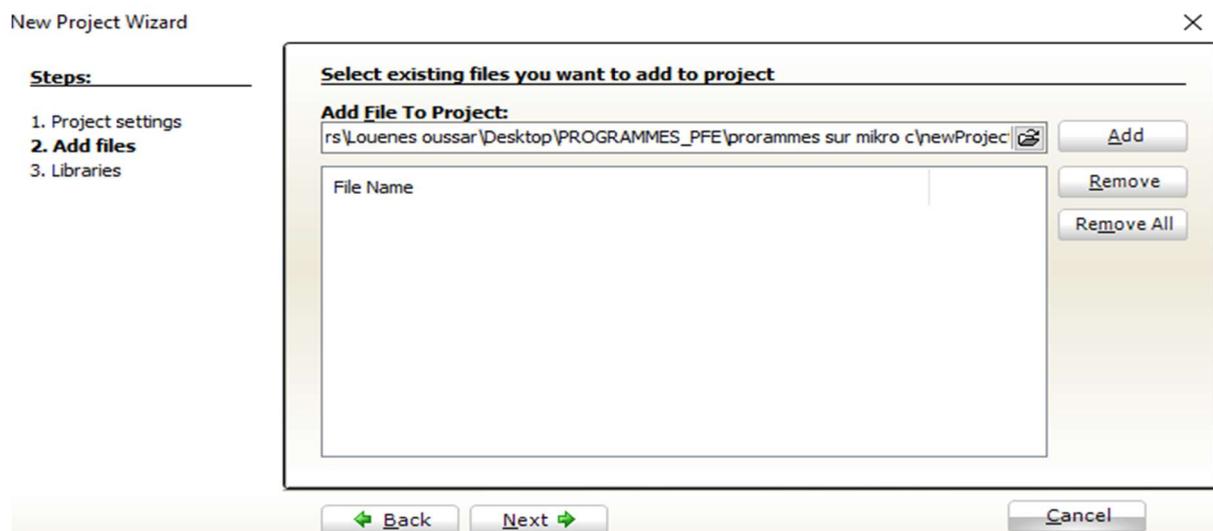


Figure III-5: l'emplacement du projet.

Une fois que nous avons cliqué sur le bouton "Next", notre projet est créé et la configuration est finalisée. À ce moment-là, une fenêtre apparaît, prête à accueillir notre programme pour être écrit.

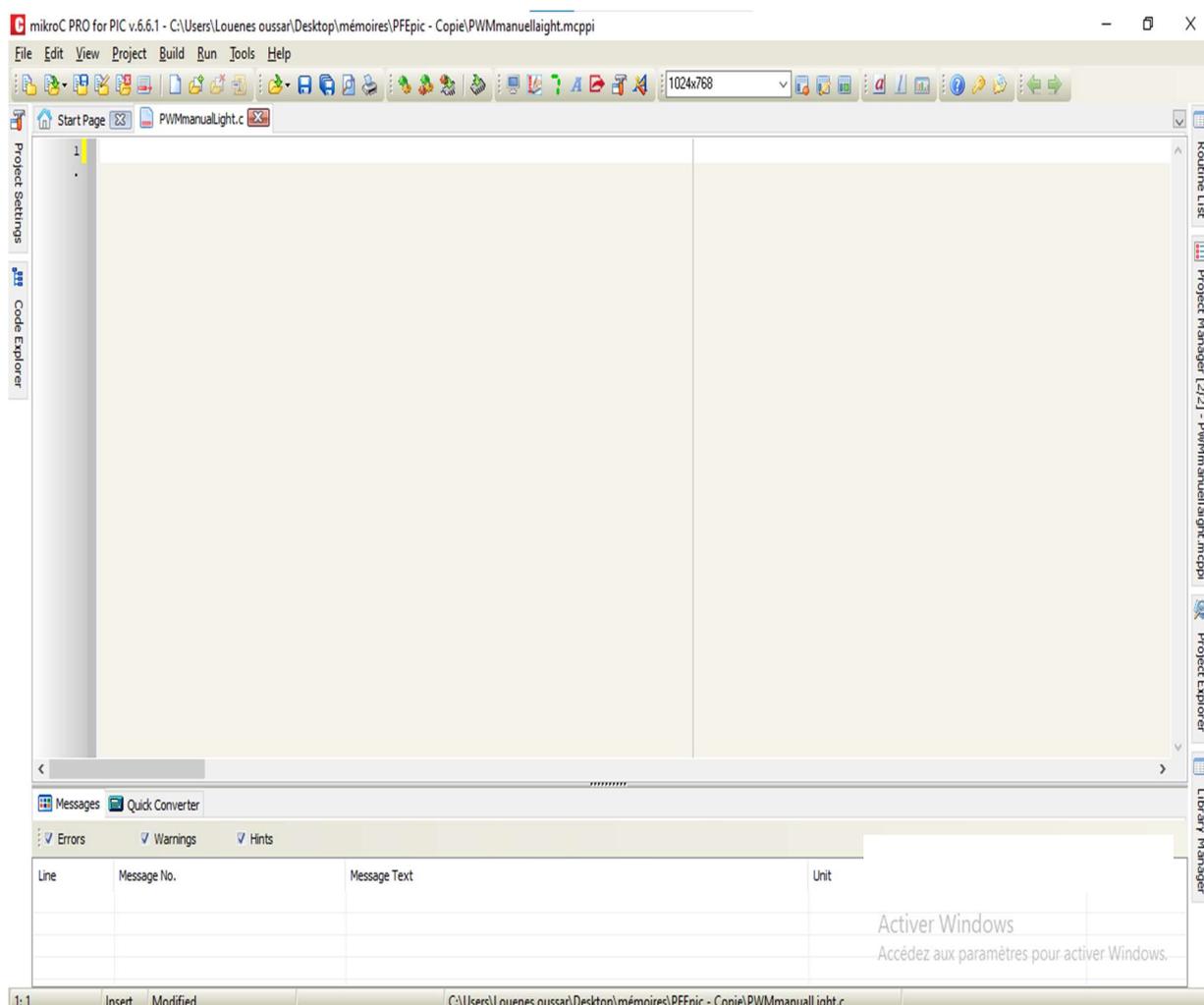


Figure III-6 : Fenêtre de la saisie du programme.

III.1.1.2.3 Compilation

Une fois que le projet est créé après en taper le code source, il est temps de le compiler. On effectue cette opération en sélectionnant "**ProjectBuild**" dans le menu déroulant ou en cliquant sur l'icône "**Build**" dans la barre d'outils du projet [19].

III.2 Programmation du microcontrôleur PIC 16F877A

III.2.1 Introduction

Un microcontrôleur est un circuit électronique qui intègre sur une seule puce un processeur, de la mémoire (RAM et ROM), des entrées/sorties programmables (E/S) et d'autres périphériques. Les microcontrôleurs sont des composants essentiels dans de nombreuses applications électroniques, notamment dans les systèmes embarqués, les contrôles industriels, les appareils ménagers, les équipements médicaux, ... etc.

Les microcontrôleurs sont programmables, ce qui signifie qu'ils peuvent être configurés pour effectuer une grande variété de tâches. La programmation est généralement effectuée à l'aide de langages de programmation de haut niveau, tels que C ou C++, qui sont ensuite traduits en langage machine exécutable par le microcontrôleur. Les microcontrôleurs offrent de nombreux avantages par rapport aux circuits logiques discrets et aux microprocesseurs. Ils sont compacts moins volumineux, plus faciles à programmer, consomment peu d'énergie, et moins coûteux. Ils peuvent également fonctionner à des vitesses plus élevées et sont capables de traiter des données plus complexes. En bref, les microcontrôleurs sont des composants électroniques clés qui sont utilisés dans une large gamme d'applications : tels que les systèmes embarqués et les appareils électroniques intelligents.

Les PICs sont des microcontrôleurs fabriqués par microchip technology, ils sont programmables et disposent d'une grande variété de périphériques intégrés tels que des convertisseurs analogique-numérique.

III.2.2 Les composants du bloc microcontrôleur

- Microcontrôleur PIC 16F877A.
- Quartz 20 MHz.
- Potentiometer 1K.
- Resistances.
- Capacités.
- Alimentation du PIC 5V

III.2.3 Les familles de PIC

La famille des PICs est subdivisée à l'heure actuelle en 3 grandes familles :

- **Base-line** : c'est une famille qui utilise des mots d'instructions de 12 bits.
- **Mid-range** : c'est une famille qui utilise des mots de 14 bits.
- **High-end** : c'est une famille qui utilise des mots de 16 bits.

III.2.4 Choix d'un microcontrôleur

Il existe une grande variété de microcontrôleurs disponibles, chacun offrant des fonctionnalités, des performances et des capacités différentes, le choix d'un microcontrôleur déterminé par nos besoins spécifiques dont le microcontrôleur doit tenir compte comme :

- Nombre d'entrées/sorties.
- Convertisseurs analogiques/numériques.
- Vitesse d'horloge.
- Sa disponibilité dans notre université.

III.2.4.1 Caractéristiques du PIC16F877A :

Le microcontrôleur PIC16F877A, est un circuit intégré comprenant 40 broches, présente les caractéristiques générales suivantes :

- Vitesse d'exécution allant jusqu'à 20 MHz (pour la rapidité d'exécution du programme).
- Mémoire RAM 368 octets (pour les données temporaires),
- Mémoire ROM 8 ko (stockage des programmes).
- 33 entrées/sorties programmable multiplexés.
- Convertisseurs analogique/numérique CAN.
- Une tension d'alimentation comprise entre 2.0 volts et 5.5 volts...etc.

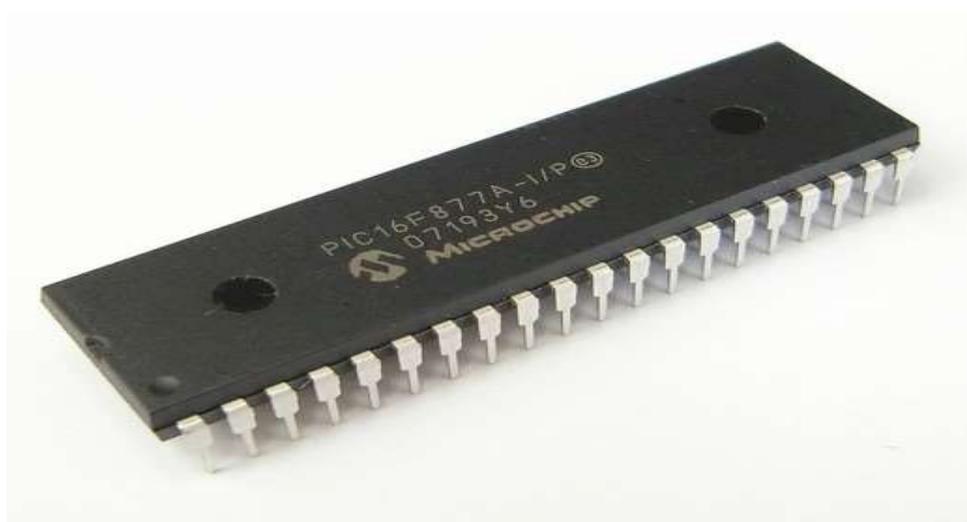


Figure III-7 : Microcontrôleur 16F877A.

III.2.4.2 Structure interne et externe

III.2.4.2.1 Structure externe

Le PIC dispose de 40 pins (33 pins entrés/sorties, 4 pins pour l'alimentation, 2 pins pour l'oscillateur, 1 pins pour le reset (MCLR)).

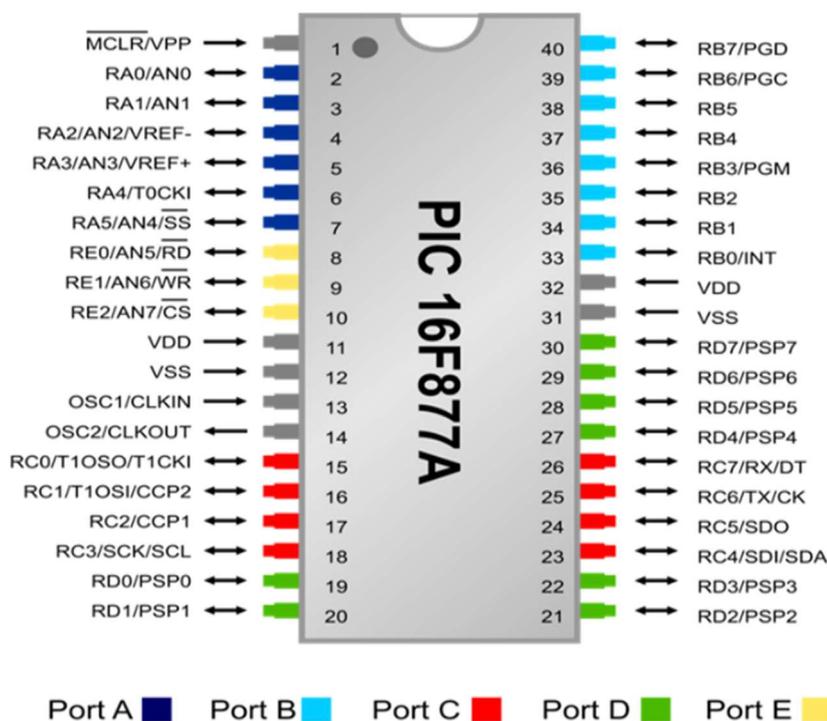
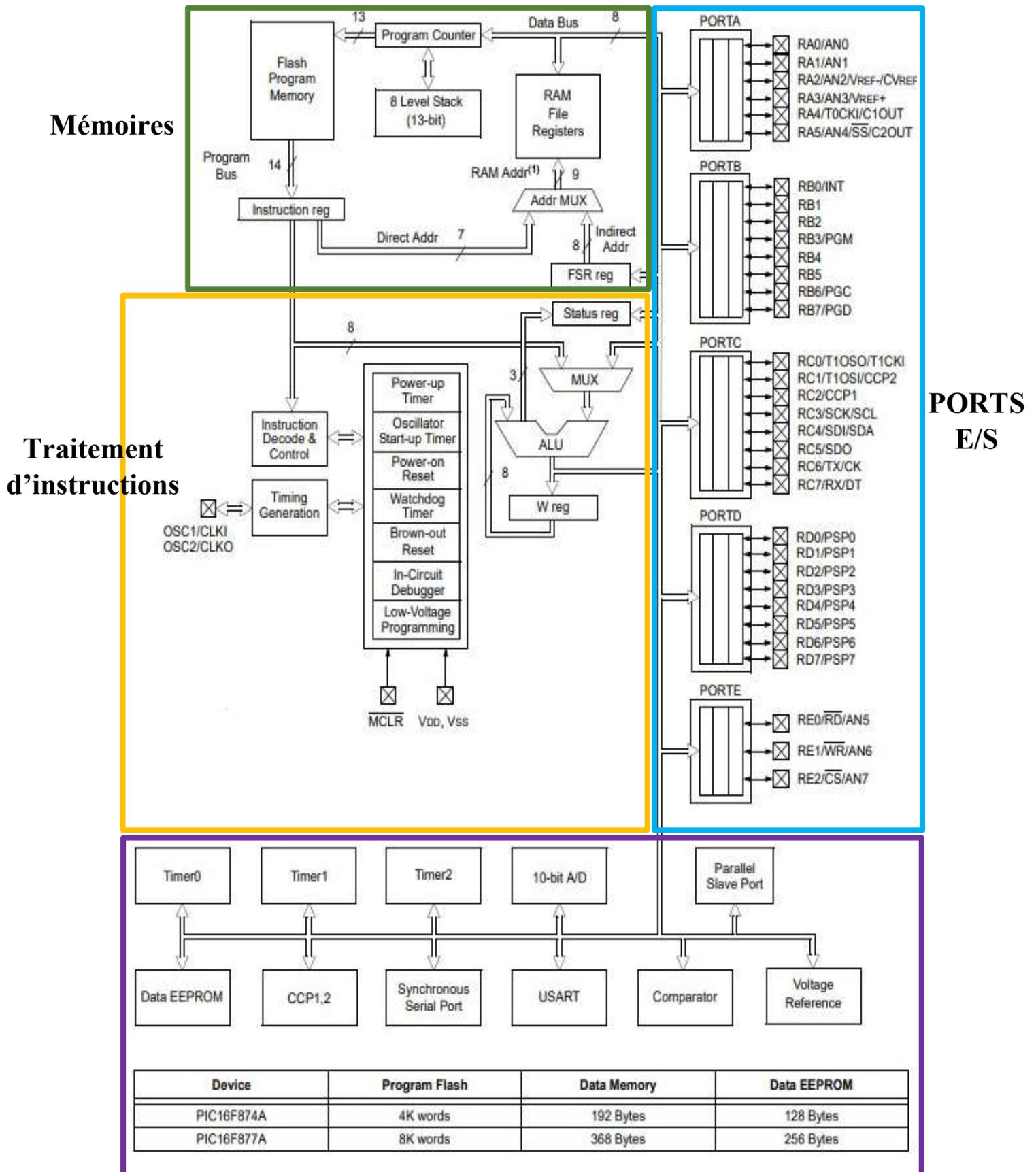


Figure III-8 : structure externe du microcontrôleur pic 16F877A.

III.2.4.2.2 Structure interne



Timers, compteurs et Interfaces de communications

III.2.4.3 Registres

III.2.4.3.1 Conversion analogique/numérique ADC

Ce module est constitué d'un convertisseur analogique/numérique de 10 bits, dispose de 8 canaux d'entrées analogiques qui doivent être configuré en entrée à l'aide des ports A, E.

Les 4 registres utilisés par le module convertisseur A/D sont :

- ADRESH : MSB (les bits les plus forts) des 10 bits du résultat.
- ADRESL : LSB (les bits les plus forts) des 10 bits du résultat.
- ADCON0 : registre de contrôle n°0 du convertisseur.
- ADCON1 : registre de contrôle n°1 du convertisseur.

➤ ADCON0 :

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONÉ	—	ADON
bit 7							bit 0

- **Au reset** : ADCON0 = 00000000.
- **Bit 7 et bit 6** : ADSC1 et ADSC0 = bits de sélection d'horloge.

Ces 2 bits permettent de choisir la vitesse de conversion :

- 00 = $F_{osc} / 2$.
 - 01 = $F_{osc} / 8$.
 - 10 = $F_{osc} / 32$.
 - 11 = Oscillateur RC interne
- **Bit 5, Bits 4 et bit 3** : CHS2 CHS1 et CHS0 = bits de sélection de canal.

Canal	CHS2	CHS1	CHS0	PORT
0	0	0	0	PA ₀
1	0	0	1	PA ₁
2	0	1	0	PA ₂
3	0	1	1	PA ₃
4	1	0	0	PA ₅
5	1	0	1	PE ₀
6	1	1	0	PE ₁
7	1	1	1	PE ₂

Non disponible sur le 16F876 (28 pins).

- **Bits 2 : GO/DONE** : bit de statut Si ADON=1.

1 = Démarre la conversion A/D. Ce bit est remis à "0" par hard.
0 = La conversion A/D est terminée.

- **Bits 1** : bit non implémenté.
- **Bits 0 : ADON** : A/D on bit d'activation du convertisseur ADC.
1 = Convertisseur A/D en service.
0 = Convertisseur A/D à l'arrêt

➤ **ADCON1 :**

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

- **Au reset** : ADCON1 = 00000000.
- **Bit 7 : ADFM** = format du résultat.

1 = Justifié à droite. ADRESH ne contient que les 2 MSB du résultat. Les 6 MSB de ce registre sont lus comme des "0".
0 = Justifié à gauche. ADRESL ne contient que les 2 LSB du résultat. Les 6 LSB de ce registre sont lus comme des "0".

- **Bit 6 : ADCS2** : bits de sélection d'horloge.

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1 : ADCS0>	Conversion d'horloge
0	00	F OSC/2
0	01	F OSC/8
0	10	F OSC/32
0	11	F RC
1	00	F OSC/4
1	01	F OSC/16
1	10	F OSC/64
1	11	F RC

- **Bit 5 et Bit 4** : bit non implémenté.
- **Bit 3, Bit2, Bits1, et Bit0** : **PCFG3 : PCFG0** : Bits de contrôle de configuration de port A/N.

III.2.4.3.2 TIMER

Le microcontrôleur 16F877A dispose de plusieurs modules de timers (Timer 0, Timer 1, et Timer2) qui permettent de mesurer le temps écoulé entre deux événements ou de générer des temporisations précises.

Le module Timer 0 timer/counter possède les caractéristiques suivantes :

- Compteur sur 8 bits.
- Lecture / écriture de TMR0.
- Prédiviseur 8 bits programmable.
- Choix de l'horloge : interne en Timer et externe en compteur.
- Interruption au débordement (passage de FF à 00).
- Choix du front de l'horloge en mode horloge externe.

Le mode timer est sélectionné en effaçant le bit T0CS (OPTION_REG<5>). Le module Timer0 s'incrémente à chaque cycle d'instruction. (Déborde de FFh à 00h. Ce dépassement active le bit le bit TMR0IF (INTCON<2>)). L'interruption peut être L'interruption peut être masquée en effaçant le bit TMR0IE (INTCON<5>).

Le mode compteur est sélectionné en réglant le bit T0CS (OPTION_REG<5>). En mode compteur, le Timer0 s'incrémente à chaque front montant ou descendant de la broche RA4/T0CKI. Le front d'incrémentaion est déterminé par le bit de sélection du front de la source du Timer0, T0SE (OPTION_REG<4>).

III.2.4.3.3 OPTION_REG REGISTER

Ce registre en lecture écriture permet de configurer les pré-diviseurs du Timer et du Watchdog, la source du Timer, le front des interruptions et le choix du Pull up sur le Port B.

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
$\overline{\text{RBPU}}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7							bit 0

- **Au reset : CCP1CON = 11111111**
- **Bit 7 : RBPU**= Pull up Bit d'activation sur le Port B.
 - 1 = Pull up désactivé sur le Port B.
 - 0 = Pull up activé.
- **Bit 6 : INTEDG** = Bit de sélection du front d'interruption.
 - 1 = Interruption si front montant sur la broche PB0/IRQ.
 - 0 = Interruption si front descendant sur PB0/IRQ.
- **Bit 5 : TOCS** = Bit de sélection de la source d'horloge du TMR0.
 - 1 = L'horloge du Timer est l'entrée PA4/Clk .
 - 0 = Le Timer utilise l'horloge interne du PIC.
- **Bit 4 : TOSE** = Bit de sélection du front de source du TMR0.
 - 1 = Le Timer s'incrémente à chaque front montant de la broche PA4/Clk.
 - 0 = Le Timer s'incrémente à chaque front descendant de la broche PA4/Clk.
- **Bit 3 : PSA** : bit d'affectation du prescaler.
 - 1 = Le prédiviseur est affecté au watchdog.
 - 0 = Le prédiviseur est affecté au Timer TMR0.
- **Bit 2 à 0 : PS2 PS1 PS0** = Bits de sélection du taux de pré-diviseur.

PS2	PS1	PS0	Prédiv Timer	Prédiv Watchdog
0	0	0	2	1
0	0	1	4	2
0	1	0	8	4
0	1	1	16	8
1	0	0	32	16
1	0	1	64	32
1	1	0	128	64
1	1	1	256	128

III.2.4.3.4 INTCON

Ce registre en lecture écriture permet de configurer les différentes sources d'interruption.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF
bit 7							bit 0

- **Au reset :** INTCON = 0000000X
- **Bit 7 : GIE** = Global Interrupt Enable bit
 - 1 = Autorise toutes les interruptions non masquées.
 - 0 = Désactive toutes les interruptions.
- **Bit 6 : PEIE** = Peripheral Interrupt Enable bit.
 - 1 = Autorise les interruptions causées par les périphériques.
 - 0 = Désactive les interruptions causées par les périphériques.
- **Bit 5 : TOIE** = Timer TMR0 Overflow Interrupt Enable bit.
 - 1 = Autorise les interruptions du Timer TMR0.
 - 0 = Désactive les interruptions du Timer TMR0.
- **Bit 4 : INTE** = RB0/Int Interrupt Enable bit.
 - 1 = Autorise les interruptions sur la broche : PB0/IRQ (pin6).
 - 0 = Désactive les interruptions sur la broche : PB0/IRQ (pin6).
- **Bit 3 : RBIE** = RB Port Change Interrupt Enable bit.
 - 1 = Autorise les interruptions par changement d'état du Port B (PB4 à PB7).
 - 0 = Désactive les interruptions par changement d'état du Port B (PB4 à PB7).

- **Bit 2 : TOIF** = Timer TMR0 Overflow Interrupt Flag bit.
 - 1 = Le Timer à débordé. Ce flag doit être remis à zéro par programme.
 - 0 = Le Timer n'a pas débordé.
- **Bit 1 : INTF** = RB0/Int Interrupt Flag bit.
 - 1 = Une interruption sur la broche PB0/IRQ (pin 6) est survenue.
 - 0 = Pas d'interruption sur la broche PB0/IRQ (pin 6).
- **Bit 0 : RBIF** = RB Port Change Interrupt Flag bit. Ce flag doit être remis à zéro par programme.
 - 1 = Quand au moins une entrée du port B (de PB4 à PB7) a changé d'état.
 - 0 = Aucune entrée de PB4 à PB7 n'a changé d'état [18].

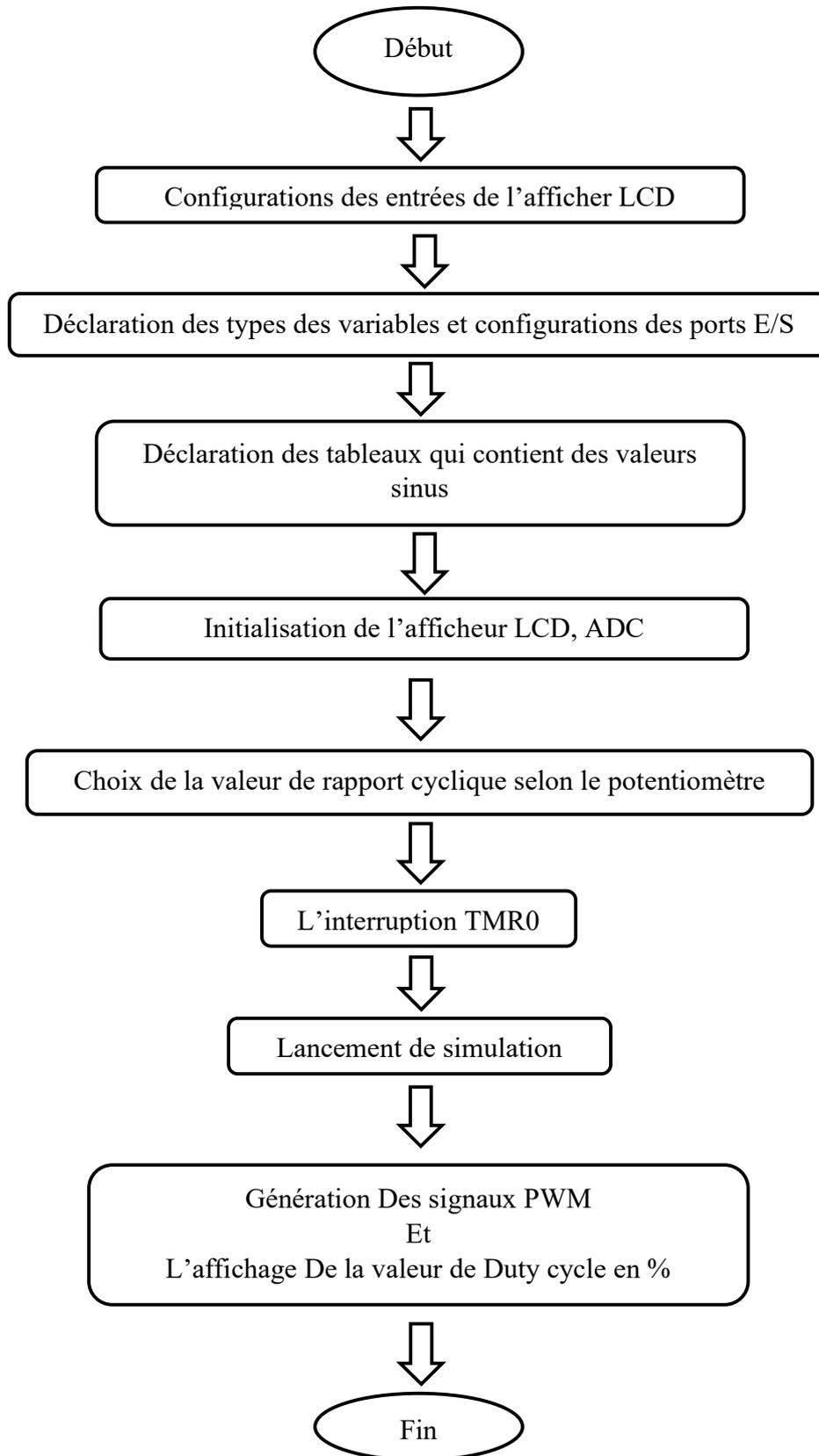
III.3 Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, nous avons présenté les outils logiciels essentiels pour la programmation « MikroC » et la simulation « Proteus 8.9 » de notre système. Nous avons discuté en détail des caractéristiques du microcontrôleur PIC16F877A, mettant l'accent sur les registres utilisés dans notre programme pour la commande et le pilotage de l'onduleur triphasé.

Ce chapitre nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie de ces outils logiciels et du microcontrôleur, nous préparant ainsi à la phase de programmation et de simulation de notre projet.

Chapitre IV
Conception de la commande
Et
Résultats de simulation

IV.1 L'organigramme de fonctionnement de la commande



IV.2 Schéma global de la carte commande et puissance

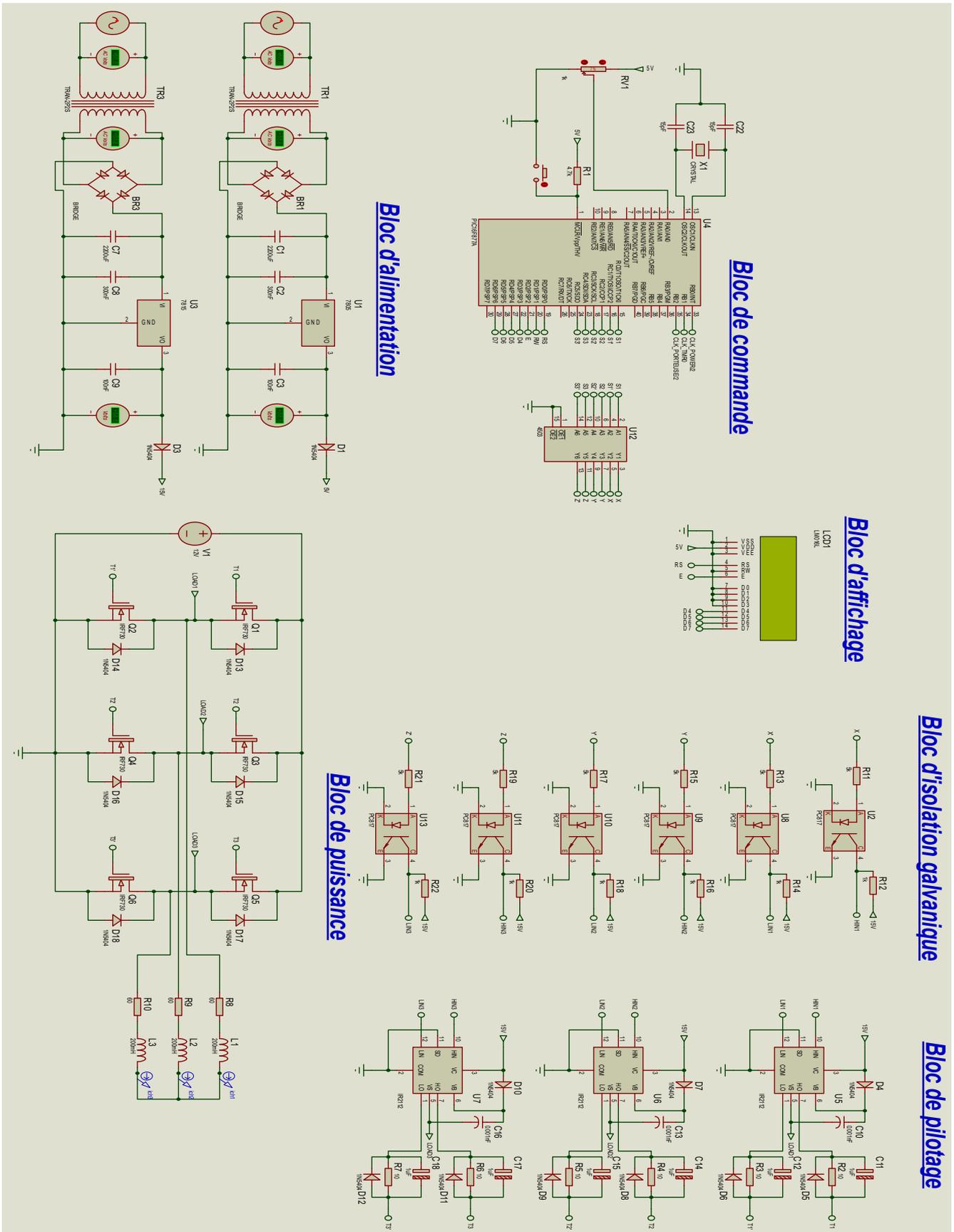


Figure IV-1 : schéma global de la carte commande et puissance.

IV.3 Blocs d'alimentation

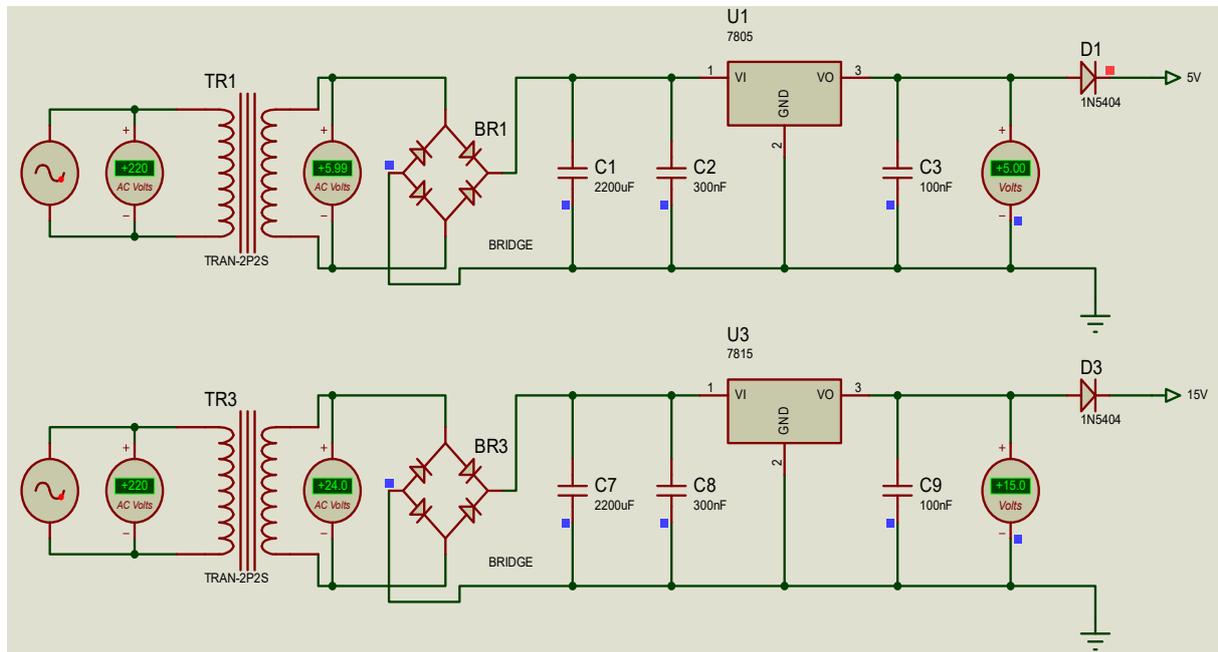


Figure IV-2: Bloc d'alimentation 5V et 15V.

Interprétation

On a utilisé un transformateur (220V/6V pour 5v, 220V/24V pour 15v), pour réduire la tension de la source alternative de chaque circuit, le signal de sortie du transformateur est ensuite redressé à l'aide d'un bridge pour convertir la tension alternative en tension continu, puis on a utilisé deux condensateurs pour filtrer le signal redressé, il est ensuite envoyé vers le régulateur 7805, 7815 qui fournit une tension stable de 5V et 15V respectivement.

IV.4 Bloc de microcontrôleur pic 16F877A et Buffer CD4503B

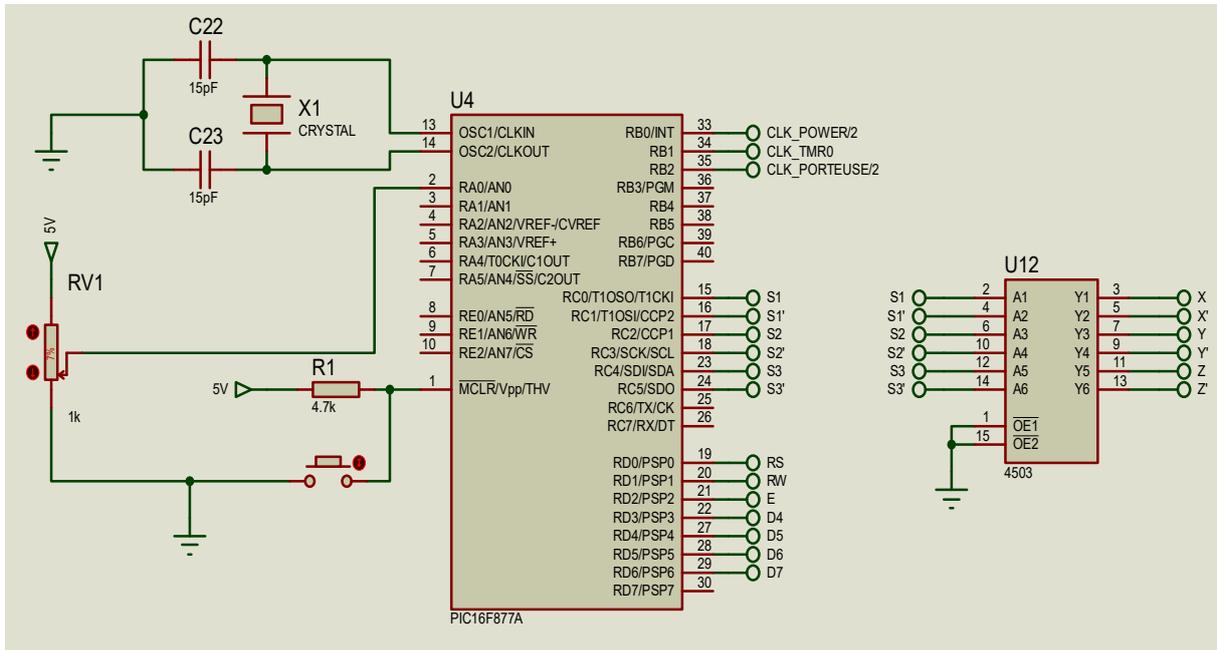


Figure IV-3 : Bloc de commande.

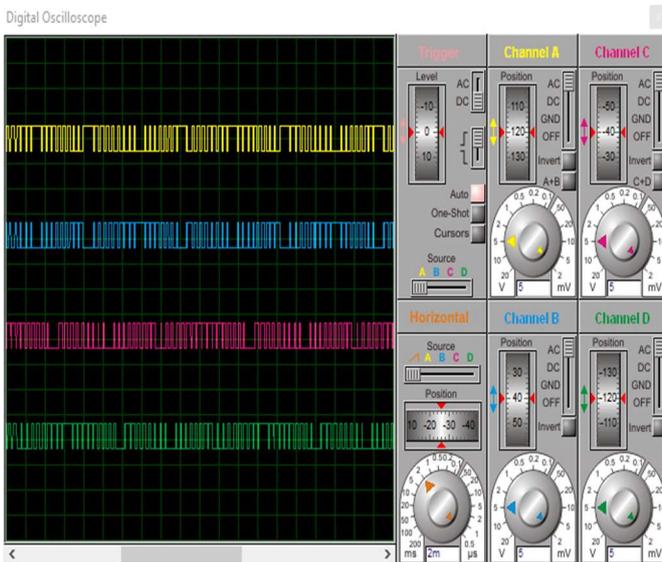


Figure IV-4: Les signaux de MLI de commande (Jaune S1', Blue S1, Rouge S2, Vert S3).



Figure IV-5 : Les signaux de MLI de commande (Jaune S1', Blue S2', Rouge S3').

Interprétation

Le microcontrôleur PIC 16F877A a été configuré pour produire des signaux de modulation de largeur d'impulsion (MLI) ayant une période de 20 ms. Cependant, étant donné notre besoin de générer six signaux PWM, nous avons rencontré une limitation dans l'utilisation des broches CCP : ce microcontrôleur dispose uniquement de deux broches CCP (Capture/Compare/PWM). Pour contourner cette contrainte, nous avons opté pour une approche manuelle en utilisant d'autres broches d'entrées/sorties disponibles sur le PIC16F877A. En exploitant habilement ces broches, nous avons réussi à générer les six signaux PWM souhaités. De plus, nous avons programmé des temporisations adéquates afin d'obtenir une période de 20 ms, correspondant à une fréquence de 50 Hz.

Le buffer récupère les six signaux PWM de la sortie de microcontrôleur, les adapte et les transmette aux optocoupleurs.

IV.5 Bloc d'isolation galvanique

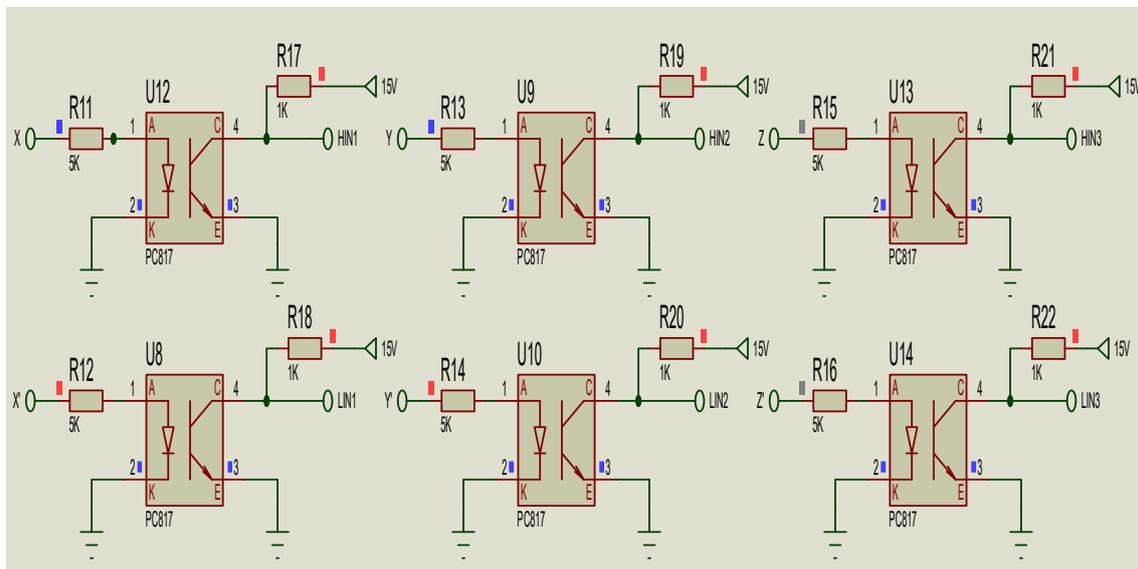


Figure IV-6 : Bloc d'isolation galvanique.

Interprétation

Les optocoupleurs jouent un rôle essentiel dans la transmission des signaux de la sortie de buffer aux drivers, et aussi ils offrent l'isolation optique entre le circuit de puissance et le circuit de commande en utilisant la lumière plutôt que des connexions directes entre les deux circuits.

IV.6 Bloc de pilotage

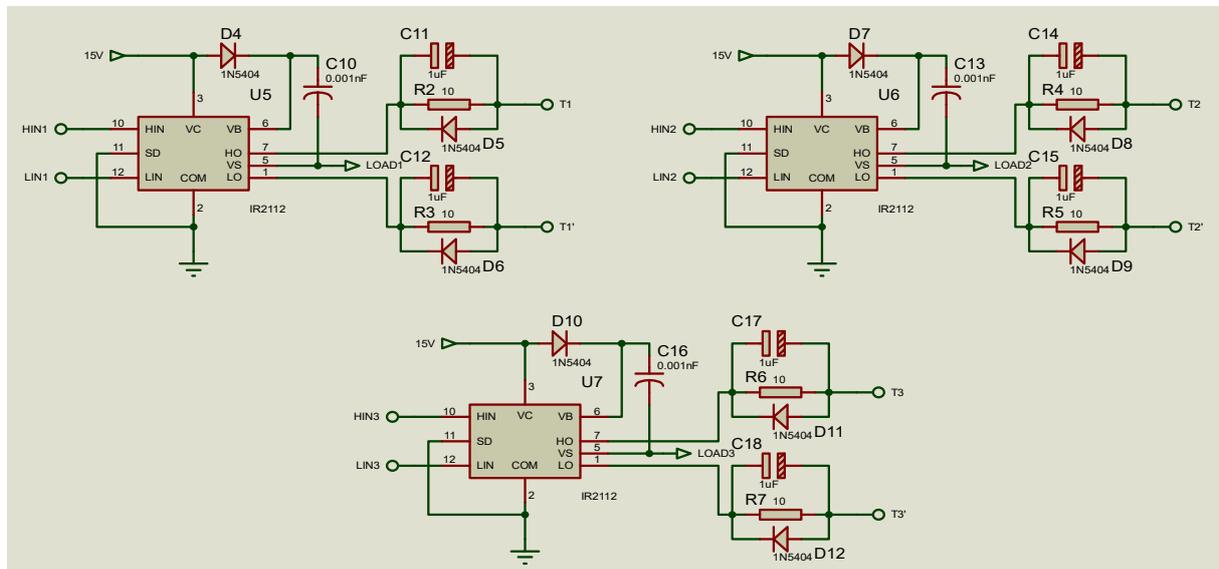


Figure IV-7 : Bloc de Pilotage.

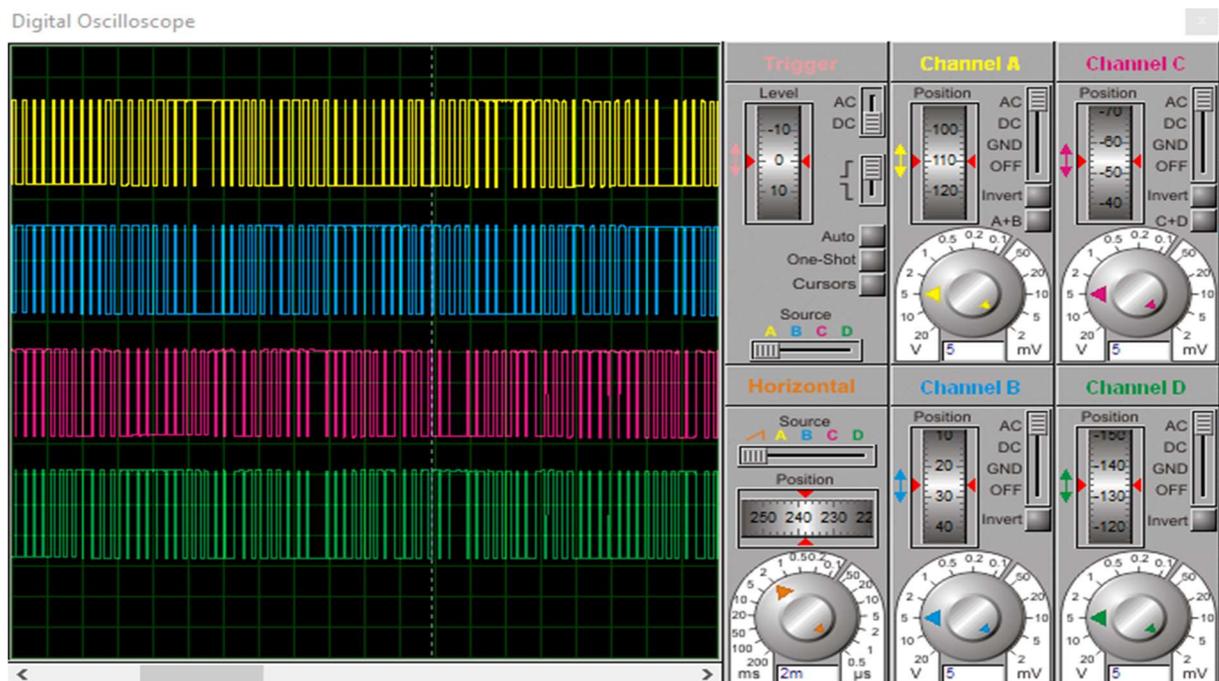


Figure IV-8 : signaux de commande à la sortie du Driver 1 (T1, T1') et du Driver 2 (T2, T2').

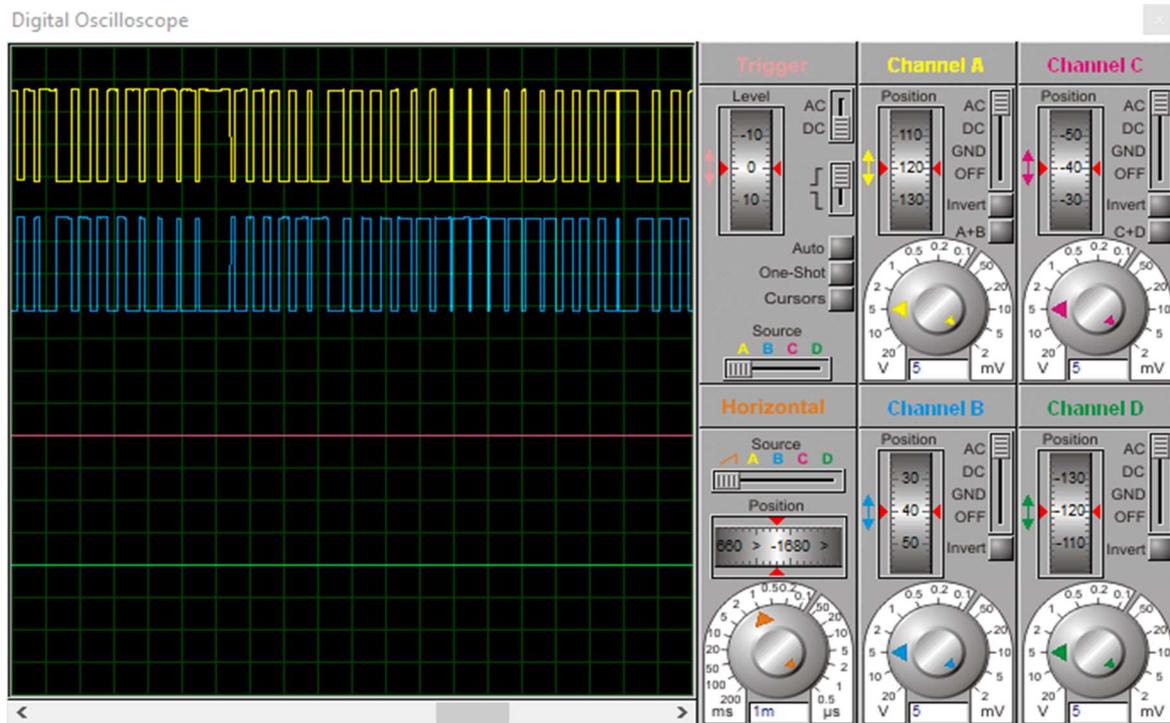


Figure IV-9 : signaux de commande à la sortie du Driver 3 (T3, T3').

Interprétation

Les Drivers permettent un fonctionnement fiable et sûr de notre onduleur triphasé, ils contrôlent les interrupteurs (générant un temps mort pour éviter les courts-circuits et garantir la sécurité), De plus, ils amplifient les signaux de commande pour alimenter efficacement les six interrupteurs.

IV.7 Bloc d'affichage

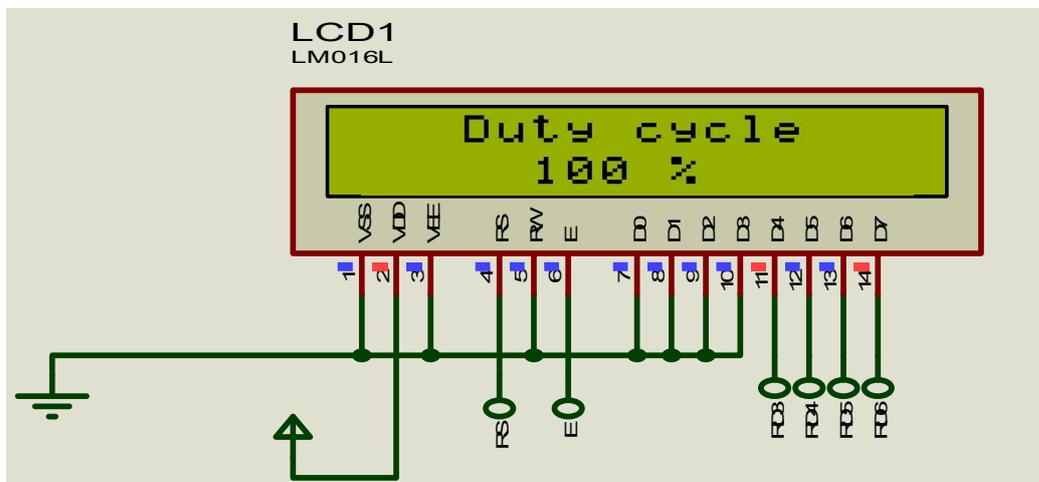


Figure IV-10 : Bloc d'affichage.

Interpretation

Nous avons réussi à configurer le microcontrôleur pour afficher le texte “Duty cycle” ainsi que sa valeur en pourcentage sur l’écran LCD 16x2. Cette fonctionnalité nous permet de visualiser clairement le rapport cyclique.

IV.8 Bloc de puissance

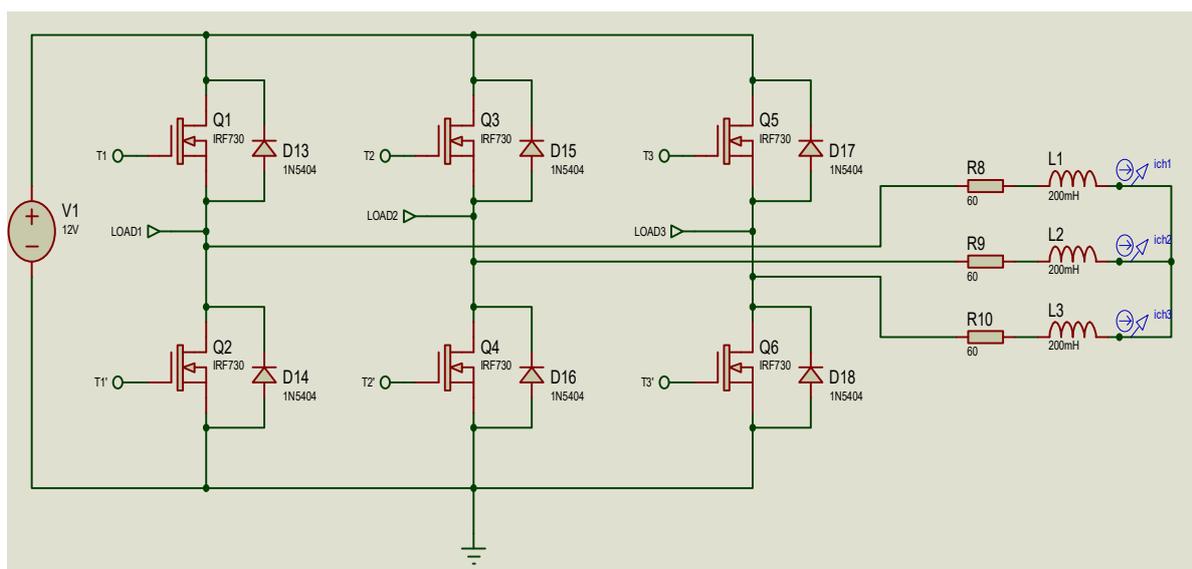


Figure IV-11 : Bloc de puissance.

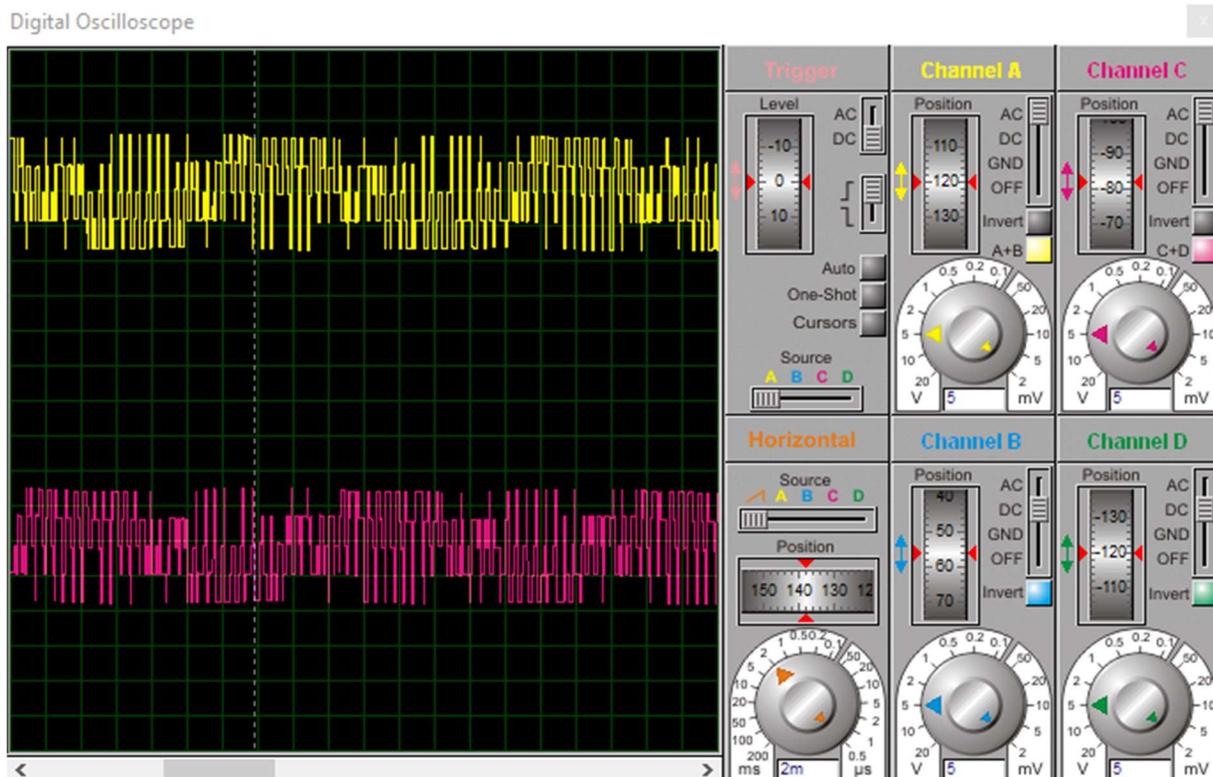


Figure IV-12 : Tenions de sortie V_{ab} et V_{bc} .

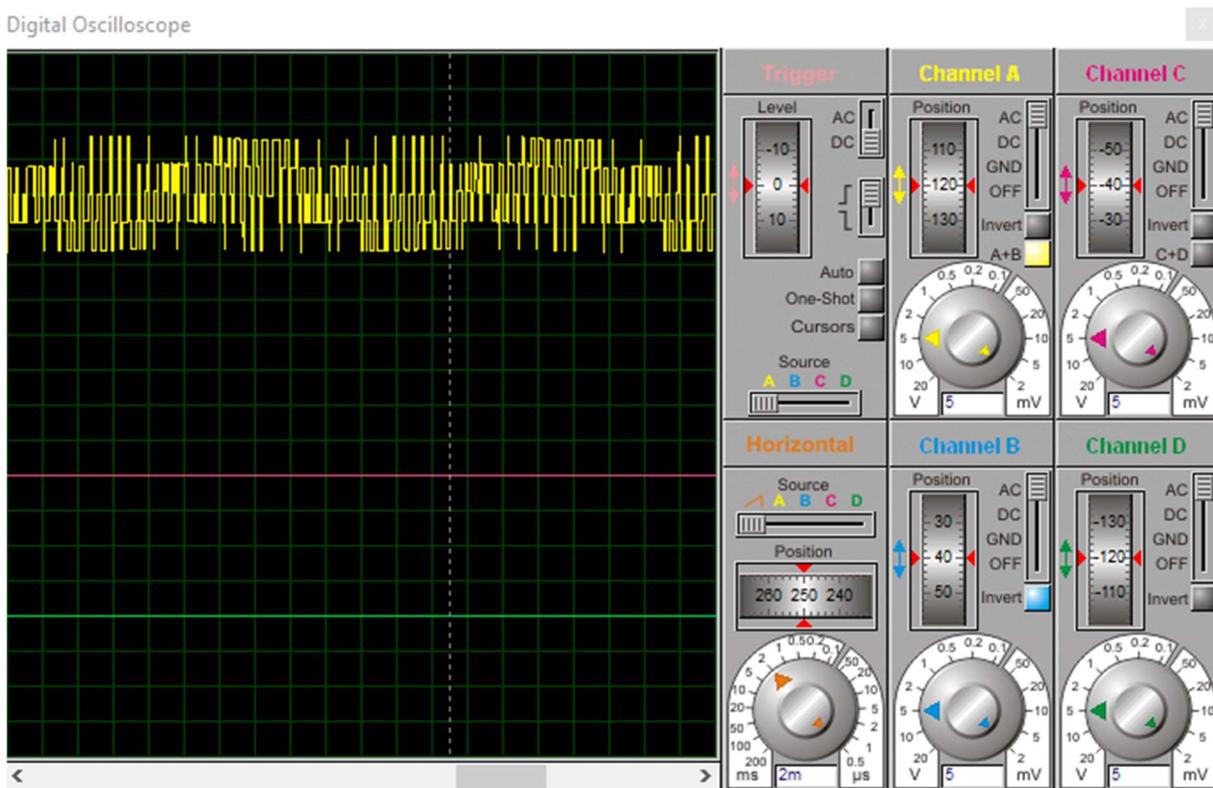


Figure IV-13 : Tenion de sortie V_{ca} .

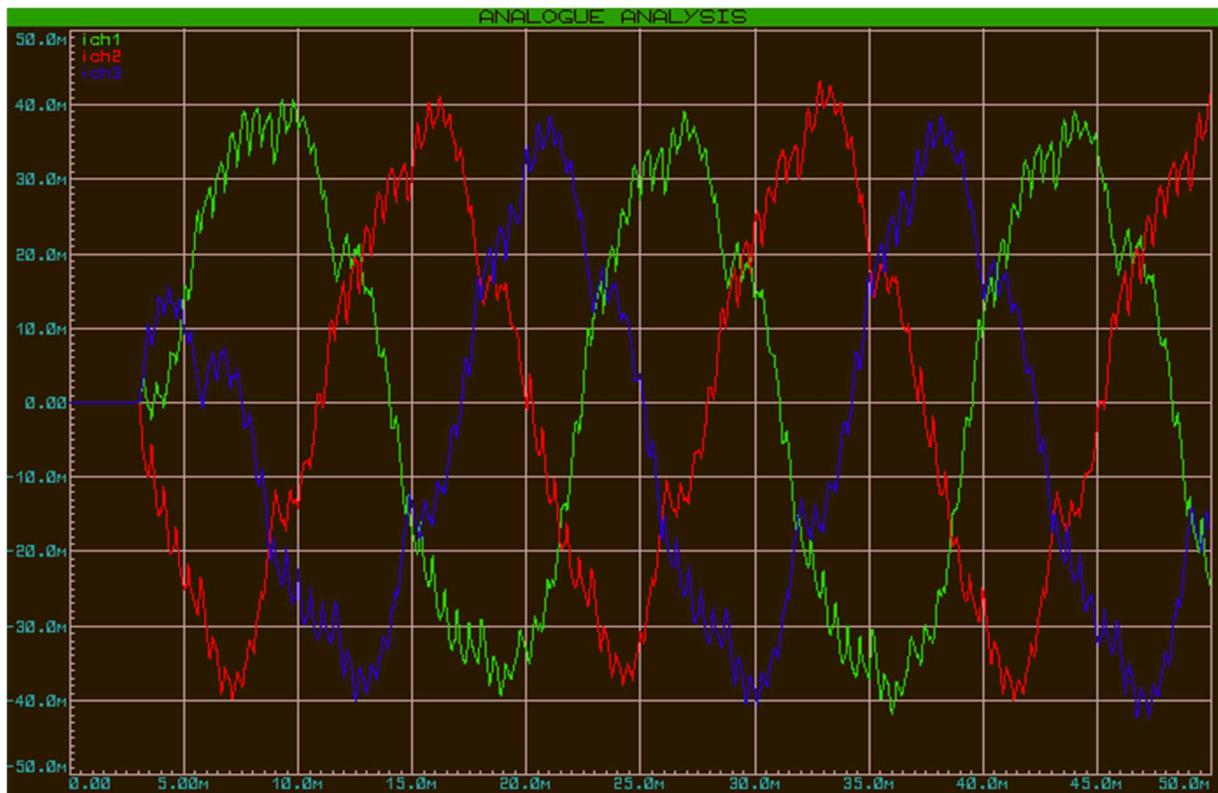


Figure IV-14 : Courants de sortie I1, I2 et I3.

Interprétation

Nous avons réussi à générer des signaux de tension presque similaire à ceux produits par la commande MLI. Toutefois nous avons remarqué la présence de quelques parasites dans les signaux. Malgré cela, les courants générés par notre bloc de puissance se sont avérés quasi-sinususoïdaux et équilibrés. Chaque phase était décalée de 120° par rapport à l'autre. La fréquence des signaux était de 50Hz.

IV.9 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons réussi à mettre en œuvre les différents blocs fonctionnels nécessaires au bon fonctionnement de notre système. Ce chapitre marque une étape importante dans notre projet de fin d'étude, nous rapprochant de la réalisation de la commande numérique de notre onduleur triphasé.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Notre projet d'étude consiste en étude et la conception d'une commande numérique à base d'un microcontrôleur Pic16F877A pour un onduleur triphasé, et la mise en place de divers blocs fonctionnels essentiels, tels que l'alimentation la commande, l'isolation galvanique, le pilotage, l'affichage et la puissance avec leurs dimensionnements.

Tout au long de notre travail, nous avons fait face à plusieurs défis, notamment dans la génération des signaux PWM de manière soft, ce qui nous a demandé un effort supplémentaire de programmation et de manipulation d'autres registres. Cependant, avec persévérance et détermination, nous avons réussi à surmonter ces difficultés et à obtenir des résultats satisfaisants.

En fin, pour les futurs développeurs souhaitant travailler sur des projets similaires, nous recommandons :

- Utilisation d'une MLI améliorée pour améliorer le signal sinusoïdal à la sortie de l'onduleur telles que :
 - MLI précalculée bien adaptée au PIC.
 - Injection d'harmonique comme THIPWM (third harmonic injection).
 - SVPWM (space vector PWM).

On aurait aimé passer à la réalisation pratique (avec ARES) mais qui nécessite des moyens et beaucoup de temps en rapport aux aléas de toute réalisation.

En conclusion, notre projet nous a permis d'acquérir des connaissances approfondies en électronique de puissance en étudiant sur des nouveaux composants électroniques, ainsi que la programmation des microcontrôleurs.

Références bibliographiques

References bibliographies

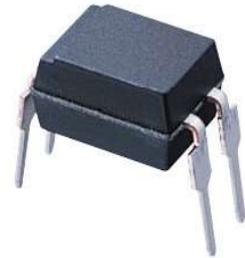
- [1] **F. HAMOUDI**, « Cours d'Electronique de puissance » Université A.Mira, Bejaia, 2020.
- [2] **H. Imed** « Support de cours d'électronique de puissance les convertisseurs A C-DC et AC-AC »
- [3] **BOUKAROURA Abdelkader** « Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche BondGraph » 2009 Magister en électrotechnique
- [4] **MAHFOUDI**, « cours des interrupteurs d'électronique de puissance Lycée qualifiant technique Settat », 2014.
- [5] **A. SOYED** « cours d'électronique de puissance », 2013.
- [6] **catheleen shamieh** « l'Electronique pour les nuls », 2^{-ème} édition, 2017.
- [7] **SCHNEIDER ELECTRIC**, Éd., Démarreurs et variateurs de vitesse électroniques, Cahier Technique Schneider Electric n° 208 », 2003.
- [8] **H. OTHMANE. B.A** « support de cours et TD d'électronique de puissance », université de Tunis.
- [9] **M. CORREVON** « cours d'électronique de puissance Haute école spécialisé, suisse.
- [10] **M. MARTY, D. DIXNEUF, D. G. GILBERT**, "Principes D'Electrotechnique", Paris, DUNOD, 2005.
- [11] **CHRISTIANE BISSIERES** « cours thème VIII-3 : conversion statique, université mohamed-V de rabat.
- [12] **SHARP CORPORATION**, « PC817X Series datasheet, DIP 4pin General Purpose Photocoupler ». 2003
- [13] **INTERNATIONAL RECTIFIER**, « IR2112 driver datasheet No. PD60026J », 2005.
- [14] **TIXAS INSTRUMENT**, « Cd4503b CMOS hex buffer » Octobre, 2003.
- [15] **HITACHI**, HD447800U (LCD-II) datasheet ».
- [16] **M. TOURE MOHAMED LAMINE**, « Cours de proteus professional ».
- [17] **Microchip Technology**, « MPLAB® IDE Quick Start Guide ».
- [18] **D. MENESPLIER**, « Documentation interne ELE, microcontrôleur Pic 16F876A/16F877A », 2001.
- [19] **V. TOURTCHINE**, « Programmation en mikroC. Application pour les microcontrôleurs de la famille PIC ».
- [20] **NELL SEMICONDUCTOR** « IRF730 séries ».

Annexes

PC817X Series

DIP 4pin General Purpose Photocoupler

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



■ 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 A.1 : Datasheet de l'optocoupleur PC817X.



IRF730 Series

Nell High Power Products

N-Channel Power MOSFET (5.5A, 400Volts)

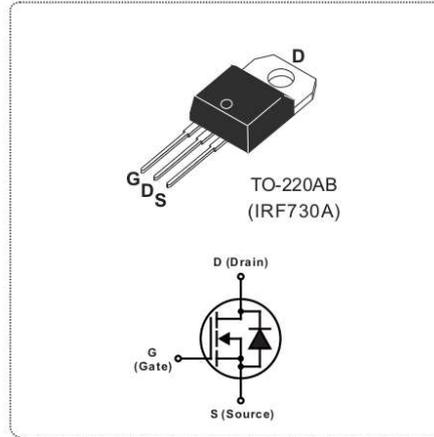
DESCRIPTION

The Nell IRF730 are N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are designed, tested and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation.

They are designed as an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications such as switching regulators, converters, UPS, switching mode power supplies and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These transistors can be operated directly from integrated circuits.

FEATURES

- $R_{DS(ON)} = 1.00\Omega @ V_{GS} = 10V$
- Ultra low gate charge (22nC Max.)
- Low reverse transfer capacitance ($C_{RSS} = 4pF$ typical)
- Fast switching capability
- 100% avalanche energy specified
- Improved dv/dt capability
- 150°C operation temperature



PRODUCT SUMMARY	
I_D (A)	5.5
V_{DSS} (V)	400
$R_{DS(ON)}$ (Ω)	1.00 @ $V_{GS} = 10V$
Q_G (nC) max.	22

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	VALUE	UNIT
V_{DSS}	Drain to Source voltage (Note 1)	$T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$	400	V
V_{DGR}	Drain to Gate voltage	$R_{GS} = 20K\Omega$	400	
V_{GS}	Gate to Source voltage		± 30	
I_D	Continuous Drain Current	$V_{GS} = 10V, T_C = 25^\circ C$	5.5	A
		$V_{GS} = 10V, T_C = 100^\circ C$	3.5	
I_{DM}	Pulsed Drain current (Note 1)		22	
I_{AR}	Avalanche current (Note 1)		5.5	
E_{AR}	Repetitive avalanche energy (Note 1)	$I_{AR} = 5.5A, R_{GS} = 50\Omega, V_{GS} = 10V$	7.4	mJ
E_{AS}	Single pulse avalanche energy (Note 2)	$I_{AS} = 5.5A, L = 19mH$	290	mJ
dv/dt	Peak diode recovery dv/dt (Note 3)		4.6	V/ns
P_D	Total power dissipation	$T_C = 25^\circ C$	75	W
	Derating factor above $25^\circ C$		0.6	W/°C
T_J	Operation junction temperature		-55 to 150	°C
T_{STG}	Storage temperature		-55 to 150	
T_L	Maximum soldering temperature, for 10 seconds	1.6mm from case	300	
	Mounting torque, #6-32 or M3 screw		10 (1.1)	lbf-in (N-m)

Note: 1. Repetitive rating; pulse width limited by junction temperature.
 2. $V_{DD} \leq 50V, L = 19mH, I_{AS} = 5.5A, R_G = 25\Omega$, starting $T_J = 25^\circ C$
 3. $I_{SD} \leq 5.5A, di/dt \leq 90A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 150^\circ C$.

Figure A. 2 : Datasheet de transistor MOSFET IRF730.

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 A.3 : Datasheet de Microcontrôleur PIC16F877A.

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

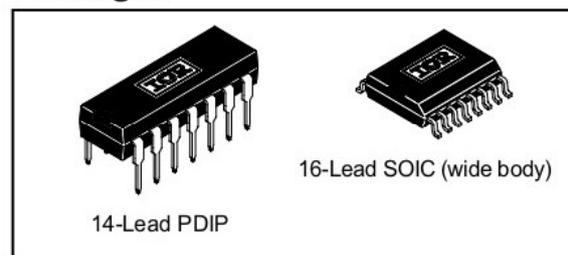
The IR2112(S) is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL outputs, down 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_{OFFSET}	600V max.
$I_{\text{O}+/-}$	200 mA / 420 mA
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	125 & 105 ns
Delay Matching	30 ns

Packages



Typical Connection

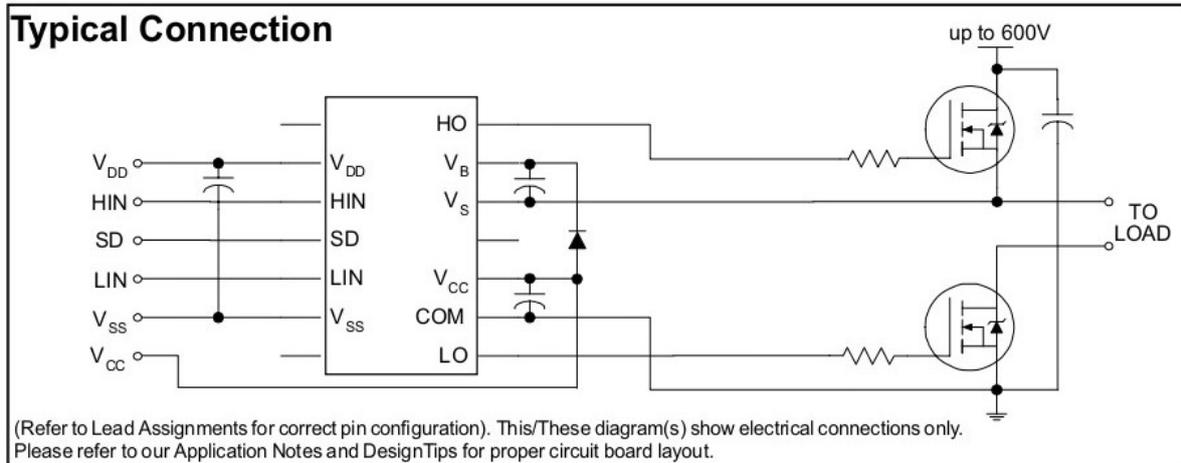


Figure A.4 : Datasheet Driver IR2112S.

Annexes

Functional Block Diagram

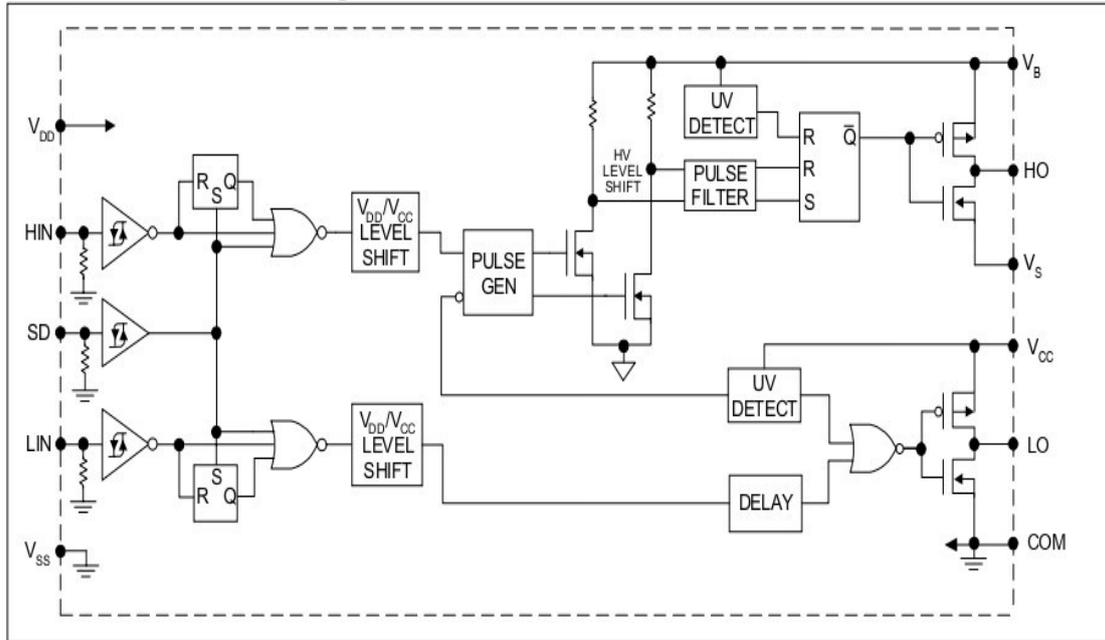


Figure A.4 : Diagramme de fonctionnement de driver IR2112S.

CD4503B Types

CMOS Hex Buffer

High-Voltage Types (20-Volt Rating)
 3-State Non-Inverting Type

■ CD4503B is a hex noninverting buffer with 3-state outputs having high sink- and source-current capability. Two disable controls are provided, one of which controls four buffers and the other controls the remaining two buffers.

The CD4503B types are supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 16-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 16-lead small-outline packages (M, M96, MT, and NSR suffixes), and 16-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

Features:

- 1 TTL-load output drive capability
- 2 output-disable controls
- 3-state outputs
- Pin compatible with industry types MM80C97, MC14503, and 340097
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Maximum input current of 1 μ A at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Applications:

- 3-state hex buffer for interfacing IC's with data buses
- CMOS to TTL hex buffer

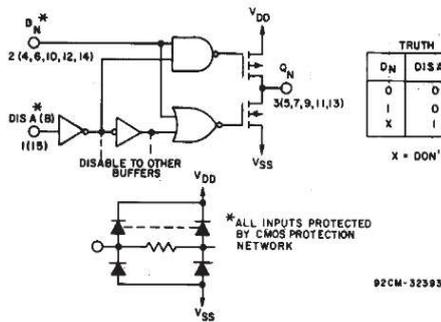
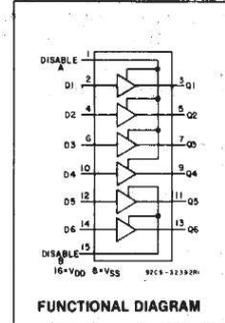


Fig. 1—Logic diagram of 1 to 6 identical buffers.

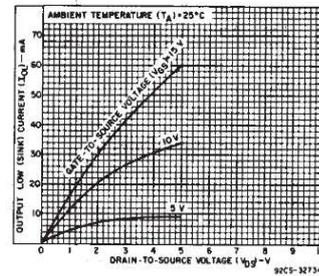


Fig. 2—Typical n-channel output low (sink) current characteristics.

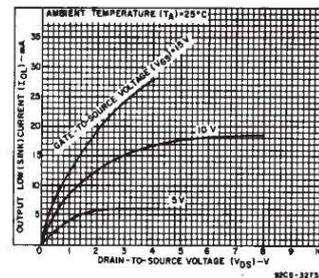
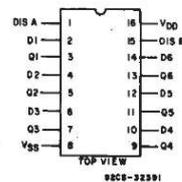


Fig. 3—Minimum n-channel output low (sink) current characteristics.

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V _{DD})		
Voltages referenced to V _{SS} Terminal		-0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS		-0.5V to V _{DD} +0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT		±10mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P _D):		
For T _A = -55°C to +100°C		500mW
For T _A = +100°C to +125°C	Derate Linearly at 12mW/°C	to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR		
FOR T _A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)		100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T _A)		-55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T _{stg})		-65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):		
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.59 ± 0.79mm) from case for 10s max		+265°C



TERMINAL ASSIGNMENT

Annexes



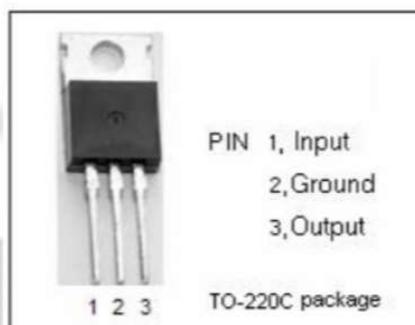
INCHANGE Semiconductor

isc Three Terminal Positive Voltage Regulator

7805

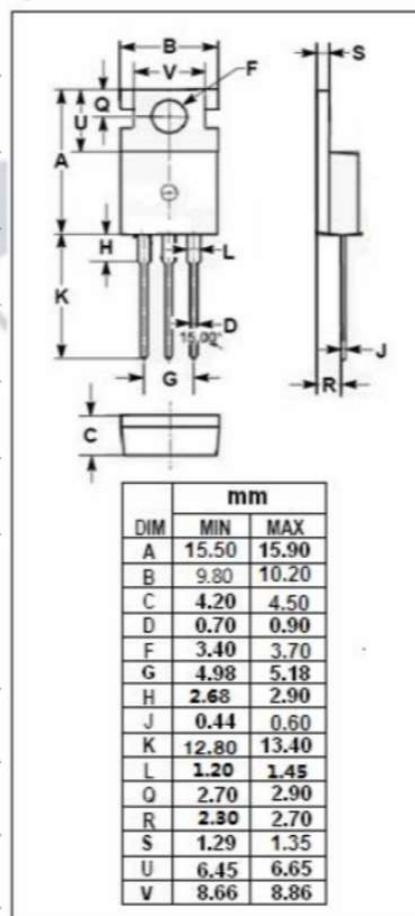
FEATURES

- Output current in excess of 1.5A
- Output voltage of 5V
- Internal thermal overload protection
- Output transition Safe-Area compensation
- 100% avalanche tested
- Minimum Lot-to-Lot variations for robust device performance and reliable operation



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS($T_a=25^{\circ}\text{C}$)

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_i	DC input voltage	35	V
I_o	Output current	internally limited	
P_{tot}	Power dissipation	internally limited	
T_{OP}	Operating junction temperature	0~150	$^{\circ}\text{C}$
T_{stg}	Storage temperature	-55~150	$^{\circ}\text{C}$



THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	MAX	UNIT
$R_{th\ j-c}$	Thermal Resistance, Junction to Case	3	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{th\ j-a}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^{\circ}\text{C/W}$

Figure A.6 : Datasheet de régulateur 7805.

Annexes

INCHANGE Semiconductor

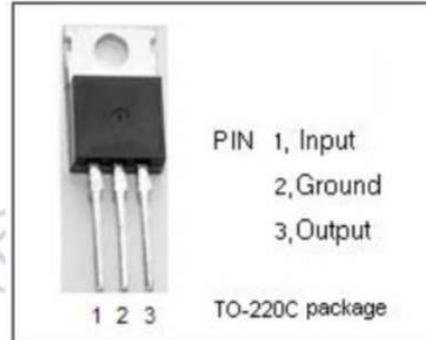
isc Product Specification

isc Three Terminal Positive Voltage Regulator

7815

FEATURES

- Output current in excess of 1.5A
- Output voltage of 15V
- Internal thermal overload protection
- Output transition Safe-Area compensation



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS($T_a=25^{\circ}\text{C}$)

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_i	DC input voltage	30	V
I_o	Output current	Internally limited	
P_{tot}	Power dissipation	Internally limited	
T_{OP}	Operating junction temperature	0~150	$^{\circ}\text{C}$
T_{stg}	Storage temperature	-55~150	$^{\circ}\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	MAX	UNIT
$R_{th\ j-c}$	Thermal Resistance, Junction to Case	3	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{th\ j-a}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^{\circ}\text{C/W}$

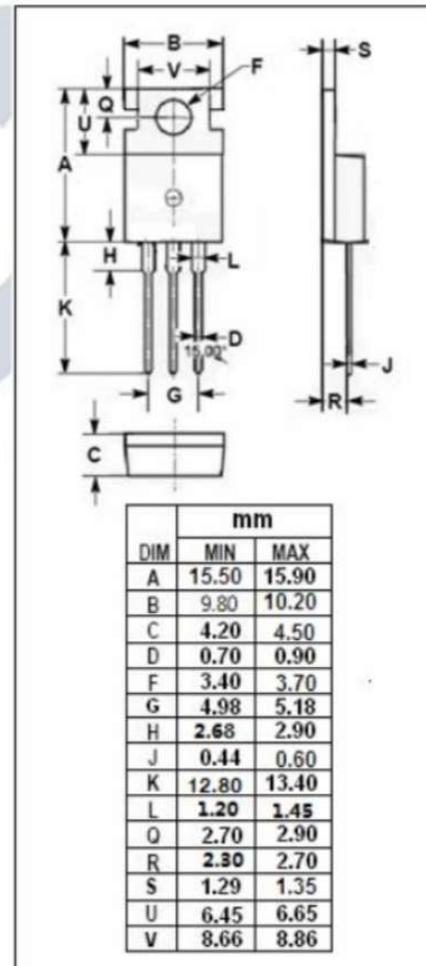


Figure A.7 : Datasheet de régulateur 7815.

Annexes

```
/******afficheur LCD*****/
```

```
// LCD module connexion
```

```
sbit LCD_RS at RD0_bit;
```

```
sbit LCD_EN at RD2_bit;
```

```
sbit LCD_D4 at RD3_bit; //configuration des bits de données et de contrôle de l'afficheur  
LCD aux ports RD
```

```
sbit LCD_D5 at RD4_bit;
```

```
sbit LCD_D6 at RD5_bit;
```

```
sbit LCD_D7 at RD6_bit;
```

```
// Pin direction
```

```
sbit LCD_RS_Direction at TRISD0_bit;
```

```
sbit LCD_EN_Direction at TRISD2_bit;
```

```
sbit LCD_D4_Direction at TRISD3_bit; //définition des directions de broches
```

```
sbit LCD_D5_Direction at TRISD4_bit;
```

```
sbit LCD_D6_Direction at TRISD5_bit;
```

```
sbit LCD_D7_Direction at TRISD6_bit;
```

```
/******déclaration des types de variables*****/
```

```
#define val 187
```

```
#define _XTAL_FREQ 2000000
```

```
char txt1[] = "Duty cycle";
```

```
int pot;
```

```
short poty;
```

```
char rc[]={' ',' ',' '};
```

```
short limite1 = 0, limite11 = 0,limite2 = 0, limite21 = 0,limite3 = 0, limite31 = 0;
```

```
// 8Bits -128...127
```

```
char sample = 0 , counter = 0; // 0.....255
```

Annexes

/les trois tableaux de valeurs pour générer une forme d'onde sinusoïdale**/**

```
const short sinTable1[]={ 0, 4, 9, 12, 16, 19, 21, 23, 24, 25,
                          24, 23, 21, 19, 16, 12, 9, 4, -4, -9,
                          -12, -16, -19, -21, -23, -24, -25, -24, -23, -21,
                          -19, -16, -12, -9, -4, 4};
const short sinTable2[]={ -21, -23, -24, -25, -24, -23, -21, -19, -16, -12,
                          -9, -4, 4, 9, 12, 16, 19, 21, 23, 24,
                          25, 24, 23, 21, 19, 16, 12, 9, 4, -4,
                          -9, -12, -16, -19, -21, -23};
const short sinTable3[]={ 21, 19, 16, 12, 9, 4, -4, -9, -12, -16,
                          -19, -21, -23, -24, -25, -24, -23, -21, -19, -16,
                          -12, -9, -4, 4, 9, 12, 16, 19, 21, 23,
                          24, 25, 24, 23, 21, 19};
```

/programme principal**/**

```
void main()
{
    LCD_init();          //initialiser l'afficheur LCD
    delay_ms(100);
    ADC_init();         //initialiser le module ADC
    delay_ms(100);
    LCD_cmd(_LCD_CLEAR);
    delay_ms(100);
    LCD_cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
    ADCON0.ADON=1;      //activer le module ADC
    ADCON1=0b00000000; //justifier à droite, AN0 :7=Analog
    delay_ms(5);
}
```

Annexes

```
Pot = ADC_Read(0);
poty= (pot*100)/ (1023);
LCD_Out(1,4,"Duty cycle");
// configuration des ports
TRISC = 0 ; PORTC = 0 ; TRISB = 0 ; PORTB = 0 ;
```

```
/** Configuration du Timer0 pour avoir 22 microseconde***/
```

```
OPTION_REG = 0b00001000 ; //désactivé les prédévisionneurs
// initialisation du Timer0
TMR0=val ; //la valeur de départ de notre compteur
// Autorisation de l'interruption Timer0 et les autres interruptions non masquées
INTCON = 0b10100000 ;
```

```
while(1)
```

```
{
```

```
    Pot = ADC_Read(0);
    poty= (pot*100)/(1023);
    IntToStr(poty, rc); //convertir les entiers vers caractères
    LCD_Out(1,4,"Duty cycle");
    LCD_Out(2,3,rc ) ;
    Lcd_Out(2,10,"%");
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
if (limite1>=0)
```

```
{
```

```
    if (counter >= limite1)
```

```
    {
```

```
        (PORTC.B0=0) ;
```

Annexes

```
        (PORTC.B1=1);
    }
else
    {
        (PORTC.B0=1);
        (PORTC.B1=0);
    }
}
else
{
    if (counter >= limite11)
    {
        (PORTC.B1=0);
        (PORTC.B0=1);
    }
else
    {
        (PORTC.B1=1);
        (PORTC.B0=0);
    }
}
```

////////////////////////////////////

```
if (limite2>=0)
{
    if (counter >= limite21)
    {
        (PORTC.B2=0);
        (PORTC.B3=1);
    }
}
```

Annexes

```
    }

else
{
    (PORTC.B2=1);
    (PORTC.B3=0);
}

}
else
{
    if (counter >= (limite21))
    {
        (PORTC.B3=0);
        (PORTC.B2=1);
    }
    else
    {
        (PORTC.B3=1);
        (PORTC.B2=0);
    }
}

////////////////////////////////////

if (limite3>=0)
{
    if (counter >= limite31)
    {
        (PORTC.B4=0);
        (PORTC.B5=1);
    }
}
```

Annexes

```
        else
        {
            (PORTC.B4=1);
            (PORTC.B5=0);
        }
    }
else
{
    if (counter >= limite31)
    {
        (PORTC.B5=0);
        (PORTC.B4=1);
    }
else
    {
        (PORTC.B5=1);
        (PORTC.B4=0);
    }
}

}
}

//*****bloc d'interruption*****//
void interrupt()
{
if (INTCON.TMR0IF)
{
    PORTB.B1 = ! PORTB.B1 ; //vérification de la période de l'interruption 22us
    TMR0 = val ;
```

Annexes

```
counter++;
if(counter>25)
{
    counter = 0;
    PORTB.B2 = ! PORTB.B2 ; // vérification de la période de compteur 555us
}
if (counter == 0)
{
    sample++ ;
    if(sample>35)
    {
        sample =poty;
        PORTB.B0 = ! PORTB.B0 ; //vérification de la période de 20ms
    }
    limite1 = sinTable1[sample];  limite11 = abs(limite1); //
    limite2 = sinTable2[sample];  limite21 = abs(limite2); //
    limite3 = sinTable3[sample];  limite31 = abs(limite3); //
}
INTCON.TMR0IF = 0 ; // remettre le flag de TIMER0 à 0
}
}
```

Résumé

Notre projet a pour objectif principal d'étudier et de concevoir une commande numérique pour un onduleur triphasé en utilisant le microcontrôleur PIC 16F877A. Cette commande permettra de générer des signaux PWM (Pulse Width Modulation) de manière software, offrant un contrôle de la sortie de l'onduleur ainsi permettant de convertir la tension continue d'entrée (12V) en une tension alternative à la sortie, de fréquence de 50Hz et afficher le rapport cyclique dans l'afficheur LCD.

Ce projet se divise en quatre chapitres. Le premier chapitre concerne l'étude théorique sur les interrupteurs semi-conducteurs, les convertisseurs statiques. Le deuxième chapitre se concentre sur les stratégies de commande et configuration pratique, le troisième chapitre présente la programmation de Pic16F877A, tandis que le dernier chapitre présente la conception de la commande et les résultats de simulation.

Enfin, une conclusion résume l'ensemble des travaux présentés et des perspectives aux futurs travaux sont proposés.

Mots clés :

Onduleur triphasé, pic16f877A, MLI.

Abstract

The main aim of our project is to study and design a digital control for a voltage source inverter (VSI) using the PIC 16F877A microcontroller. This control will generate PWM (Pulse Width Modulation) signals in a soft manner, offering control of the inverter's output and enabling it to convert a direct input voltage (12V) to an alternative output voltage, at a frequency of 50Hz and show the duty cycle in LCD display.

This project is divided into four chapters. The first chapter deals with the theoretical study of semiconductor switches and static converters. The second chapter focuses on control strategies and practical configuration, the third chapter presents the programming of Pic16F877A, while the final chapter presents the control design and simulation results.

Finally, a conclusion summarizes all the work presented and perspectives for future work.

Key words

Three phase inverter, pic16f877A, PWM.