

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Électrique et Informatique
Département d'Électronique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'État

En Électronique

Option : Communication

THEME

Etude et réalisation d'un variateur de
vitesse pour moteur asynchrone triphasé à
Cage d'écureuil

Dirigé par :

M^r N. OURABIA

Réalisé par :

M^r SIAH Khaled

M^r MERBOUTI Hamid

Promotion

2010/2011



Remerciment

Remerciements

*Au terme de ce mémoire, nous tenons à remercier vivement
notre promoteur Mr N. Ourabia pour sa disponibilité
ses conseils précieux, grâce auxquels
nous avons pu mener à ce bon escient notre travail.*

*Nous tenons à remercier le personnel de la bibliothèque
Ainsi que celui du magasin
pour leur service et leur aide précieuse.*

*Nous tenons à remercier tous les enseignants du
département de l'électronique pour leur
efforts constants et leur suivi durant notre cursus.*

*Et enfin, nous remercierons tous ceux qui, de près ou de
loin, nous ont aidés Dans la réalisation de mémoire.*



Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Le moteur asynchrone à cage d'écureuil	
I. Introduction.....	2
I.1. Présentation générale de moteur asynchrone triphasé	2
I.1.1. Constitution de moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil	2
I.1.2. Symbole de moteur triphasé à cage d'écureuil.....	4
I.1.3. Plaque signalétique de MAS	5
I.2. Mode de couplage.....	5
I.2.a. Couplage étoile.....	5
I.2.b. Couplage triangle.....	6
I.3. Principe de fonctionnement de moteur asynchrone	6
I.3.1 Vitesse de synchronisme.....	9
I.3.2. Glissement et vitesse de glissement	9
I.4. Caractéristiques de moteur asynchrone à cage d'écureuil.....	10
I.4.1. Schéma équivalent d'un moteur asynchrone	10
I.4.2. Moteur fonctionnant à vide	11
I.4.3. Moteur fonctionnant à pleine charge	11
I.5. Moteur au démarrage.....	12
I.6. La mesure de la puissance absorbée.....	12
I.6.1. Mesure de la puissance absorbée.....	12
I.6.2. La puissance réactive	13
I.6.3. La puissance apparente	13
I.6.4. Le facteur de puissance.....	13
I.6.5. Bilan des puissances.....	14
I.6.6. Rendement.....	14
I.7. Modélisation de la machine asynchrone.....	14
I.7.1. Caractéristique du moteur utilisé dans notre application	14

I.7.2. Schéma équivalent : (modèle par phase)	14
(a) Essai à vide	15
(b) Essai rotor bloqué.....	16
Conclusion	16

Chapitre II: Etude de variateur de vitesse

II.1. Introduction.....	17
II.2. Présentation d'un variateur de vitesse industriel.....	17
II.3. Fonction des variateurs de vitesse.....	17
II.4. Caractéristique des composants de puissance.....	17
II.4.1. Diode.....	18
II.4.2. Le transistor bipolaire.....	18
II.4.3. Les transistors MOSFET.....	19
II.4.4. Les transistors IGBT.....	20
II.5. Schéma synoptique du variateur de vitesse	21
II.6. Schéma global d'un variateur de vitesse	21
II.6.1. Pont Redresseur.....	22
II.6.2. Filtrage.....	22
II.6.3. Récupération	22
II.6.4. L'onduleur.....	22
II.6.4.1. L'utilisation de l'onduleur	23
II.6.4.2. Commande d'un bras de l'onduleur	23
II.6.4.3. Principe de l'onduleur monophasé en pont	24
II.6.4.4. Onduleur en M.L.I.....	26
II.6.5. La commande PWM.....	27
II.6.5.1. Principe générale.....	27
II.6.5.2. Principe de fonctionnement.....	27
II.6.5.3. Formule donnant tension de sortie d'une PWM.....	28

II.7. Etude de la carte de commande	28
II.7.1. Principe de fonctionnement de la carte	28
II.7.2. Schéma de la carte de commande	29
II.7.3. Les principaux composants de la carte et leur rôle.....	30
II.8. Le PIC16f877A.....	30
II.8.1. Généralités	30
II.8.2. Les éléments constitutifs du pic	30
II.9. Signaux de commandes de l'onduleur.....	32
II.10. Les différentes alimentations.....	33
II.10.1. Alimentation de l'étage de puissance.....	33
II.10.2. Alimentation de l'étage de commande.....	34
II.11. Driver de MOSFET et IGBT	34
II.11.1. Caractéristiques d'un driver.....	35
II.11.2. Alimentation BOOTSRAPE	35
II.11.2.1. Principe de fonctionnement.....	36
II.11.2.2. Rôle d'élément constituant le circuit bootstrap	36
II.12. Isolation galvanique	37
II.12.1. Principe d'isolation.....	38
II.12.2. L'optocoupleur	38
II.15. Introduction de temps mort.....	38
II.16. Circuit de démarrage.....	39
II.17. La sécurité	39
Cellule à effet de hall	40
Conclusion.....	41

ChapitreIII : Conception et logiciel

III.1. Introduction.....	42
III .2. Le langage C et son compilateur CCS	42
III.3. Le compilateur C de CCS dans sa version PWHD.....	42

III.4. Création d'un projet.....	43
III.5. Edition d'un programme	45
III.6. Téléchargement de programme avec MPLAB.....	45
Configuration de programmeur.....	46
Sélectionner le PIC 16F877A.....	46
Importer le fichier et programmer	47
III.7. Programme de commande	47
III.8. Organigramme principal	48
III.9. Interprétation du programme de commande	49
III.9.1. Le bouton poussoir de sélection SW	49
III.9.2. Le bouton poussoir incrémenté.....	49
III.9.3. Le bouton poussoir décrémenté	49
III.9.4. Potentiomètre	49
Conclusion	49

ChapitreIV : Simulation et réalisation pratique

IV.1. Introduction	50
IV.2. Simulation de la réalisation	50
IV.2.1. Présentation d'ISIS de proteus.....	50
IV.2.2. Essai de simulation.....	51
IV.2.3. Présentation de l'ARES de proteus	51
IV.2.4. Schéma électrique et le circuit imprimé	52
❖ Schéma électrique.....	52
❖ Circuit imprimé.....	52
Le typon	52
L'insolation.....	53
Le gravure.....	53
Le perçage.....	53

L'implantation des composants	54
La carte en 3D	55
Conclusion générale	56

Annexes

Bibliographie

Introduction générale

Introduction générale

Dans l'industrie, le moteur triphasé occupe une place très importante, le contrôle de celui-ci est primordial du fait qu'il est nécessaire d'avoir différentes vitesses, exigées par le process industriel : tapis roulant, perceuse et autre machines tournantes.

Un variateur de vitesse est un convertisseur d'énergie dont le rôle consiste à moduler l'énergie électrique fournie au moteur en fonction de la charge. Les variateurs de vitesse assurent une mise en accélération et une décélération progressive, ils permettent une adaptation précise de la vitesse à la condition d'exploitation.

Notre travail porte sur l'étude et la réalisation d'un variateur de vitesse pour les moteurs asynchrone triphasé à cage d'écureuil a base d'un microcontrôleur 16F877A.

Ce travail se subdivise en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous exposerons les rappels sur les moteurs triphasés à cage d'écureuil, le principe de fonctionnement, schéma équivalent d'un moteur triphasé

Dans le second chapitre sera consacré à la description de notre variateur et les différents blocs afin d'expliquer le principe de fonctionnement de l'unité de commande.

En suite l'interprétation du programme de commande et conception des logiciels sera faite dans le troisième chapitre.

A la fin, dans le quatrième chapitre nous présenterons la réalisation pratique, les différents résultats de simulation et les différents tests effectués et on termine avec une conclusion générale.



Chapitre I
Moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil

I. Introduction :

Notre variateur de vitesse est connecté à un moteur triphasé. Ce dernier influence grandement sur le variateur. C'est pour cette raison qu'il est important d'étudier en premier lieu ce moteur.

Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent.

I.1. Présentation générale de moteur asynchrone triphasé :

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait de lui un matériel très fiable.



Fig.1.1 Vue d'un moteur asynchrone triphasé

I.1.1. Constitution de moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil :

Le moteur triphasé se présente soit sous forme de moteur à rotor bobiné soit sous forme de moteur à cage d'écureuil. Ce dernier est le plus répandu dans l'industrie. On se limitera donc à celui-ci. Est constitué de deux parties, une partie fixe stator et une partie rotative rotor.

➤ Stator :

Le stator comporte une carcasse en acier renfermant un empilement de tôles identiques. Elles constituent un cylindre vide et pourvues de trous à leur périphérie intérieure. L'alignement de ces trous forme des encoches dans lesquelles on loge un bobinage triphasé (Fig1.2).

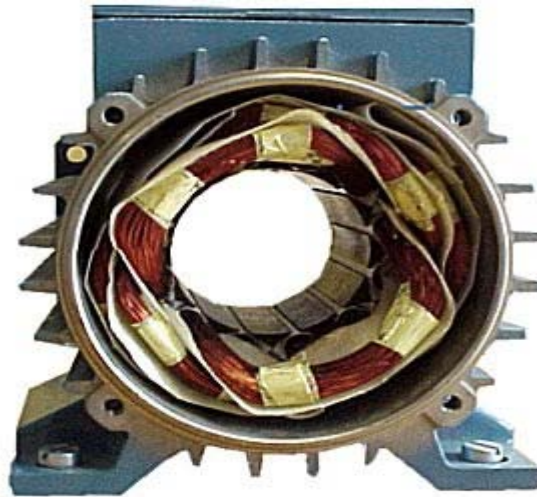


Fig. 1.2 Le stator à cage d'écureuil

Ces bobines sont parcourus par des courants de fréquence f , il se produit un champ magnétique tournant à la dite fréquence de rotation.

$$N_s = F/p \quad N_s : \text{en tr/s}$$

P : nombre de paires de pôles

F : en HZ

Les enroulements du stator sont prévus pour être couplés, soit en étoile, soit en triangle .le couplage des enroulements dépendent de la tension nominale par phase prévue pour ce moteur et qui est imposé du réseau dont on dispose.

➤ **Rotor :**

Le rotor se compose d'un cylindre en acier poinçonnées à sa périphérie extérieure

Pour former les encoches destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0.4 à 2 mm seulement. Il existe deux types de rotor :

Le rotor à cage d'écureuil et le rotor bobiné. L'enroulement de rotor à cage d'écureuil est constitué des barres conductrice en cuivre ou aluminium réuni a leur extrémité par des anneaux conducteurs forment ainsi une cage d'écureuil (Fig. 1.3).

Les barres sont généralement inclinées d'un pas d'ampère pour améliorer les performances de moteur lors de démarrage. Un tel rotor est très robuste , comparé à un rotor bobiné.

De plus sa construction est particulièrement économique car la cage étant généralement réalisée de l'aluminium fondu que l'on fait couler dans les encoches à la créance.



Fig. 1.3. Vue du rotor à cage d'écureuil

Le rotor bobiné comprend un bobinage triphasé, semblable à celui du stator, placé dans les encoches. Il est composé de trois enroulements raccordés en étoile. L'extrémité libre de chaque enroulement est reliée à une bague tournant avec l'arbre (Fig.1.3) Ces bagues permettant, par l'intermédiaire de trois balais, d'insérer une résistance extérieure en série avec chacun des trois enroulements lors du démarrage du moteur. En fonctionnement normal, les trois balais sont court-circuités.

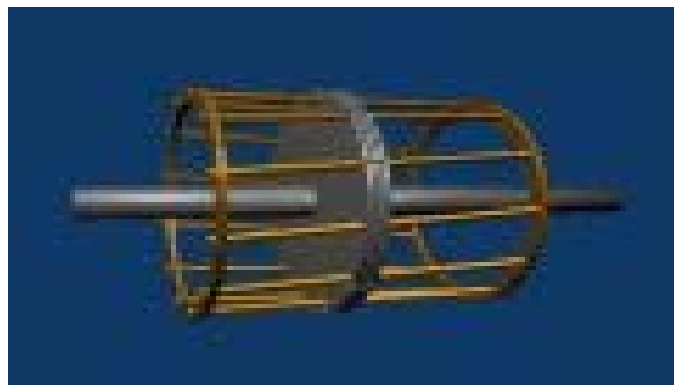


Fig.1.4. Structure d'un rotor en cage d'écureuil

I.1.2. Symbole de moteur triphasé à cage d'écureuil :

On représente le moteur asynchrone à cage d'écureuil d'un cercle de trois pattes voir Fig.1.5

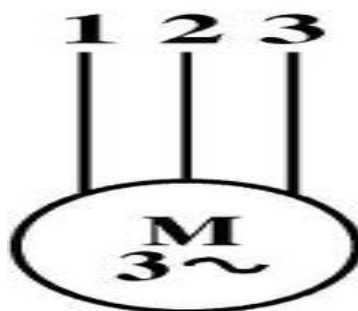
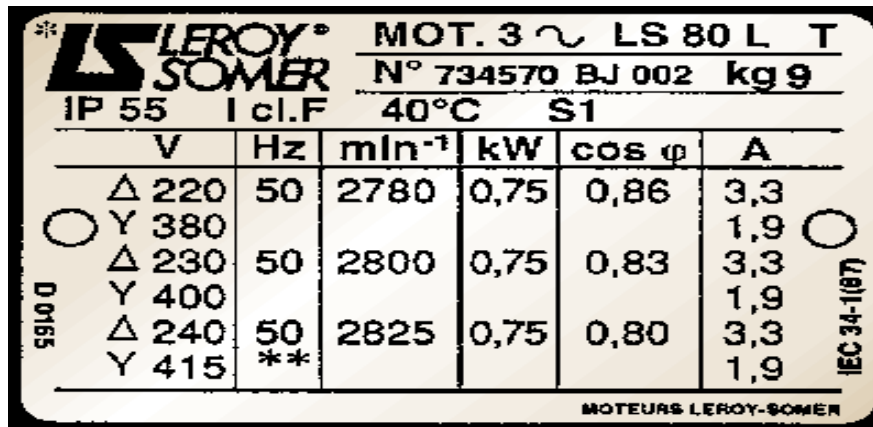


Fig.1.5 symbole de moteur asynchrone à cage d'écureuil

I.1.3. Plaque signalétique de MAS :

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone est délivrée et certifiée par le constructeur. Elle contient les caractéristiques nominales électriques du moteur.



The image shows a nameplate for a Leroy-Somer motor. At the top left is the Leroy-Somer logo. To its right, the text reads 'MOT. 3 ~ LS 80 L T' and 'N° 734570 BJ 002 kg 9'. Below this, it specifies 'IP 55', 'I cl.F', '40°C', and 'SI'. The main part of the nameplate is a table with columns for Voltage (V), Frequency (Hz), Speed (min⁻¹), Power (kW), Power Factor (cos φ), and Current (A). The table lists two rows of data for 50 Hz and one row for 50 Hz with a variable speed (**). On the left side of the table, there are two circles with 'D 0155' written vertically. On the right side, there is a circle with 'IEC 34-1(87)' written vertically. At the bottom of the nameplate, it says 'MOTEURS LEROY-SOMER'.

	V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A
○	Δ 220	50	2780	0,75	0,86	3,3
	Y 380					1,9
	Δ 230	50	2800	0,75	0,83	3,3
	Y 400					1,9
	Δ 240	50	2825	0,75	0,80	3,3
	Y 415	**				1,9

Fig. 1.6. Plaque signalétique de MAS

V : tension (230v/400v) la première indique la valeur nominale de la tension aux bornes d'un enroulement (couplage Δ) La seconde indique la valeur nominale de la tension aux bornes de 2 enroulement (couplage Y). Elle indique le couplage (étoile Y ou triangle Δ) à effectuer en fonction du réseau d'alimentation.

HZ : désigné la fréquence du réseau d'alimentation nécessaire à son fonctionnement.

Min-1 : indique la vitesse nominale du rotor.

KW : Puissance utile délivrée sur l'arbre du moteur.

Cos φ : facteur de puissance permet le calcul des puissances actives et réactives consommées par le moteur.

A : Elles représentent l'intensité absorbée par le moteur pour chacun des couplages.

I.2 .Mode de couplage :

Il existe deux modes de couplage pour les moteurs triphasés

I.2.a Couplage étoile :

Dans un couplage en étoile, chaque enroulement est soumis à la tension simple $V(t)$ tension entre phase et neutre. Chaque enroulement est traversé par le courant de ligne $i(t)$.

$$V(t) = U / \sqrt{3}$$

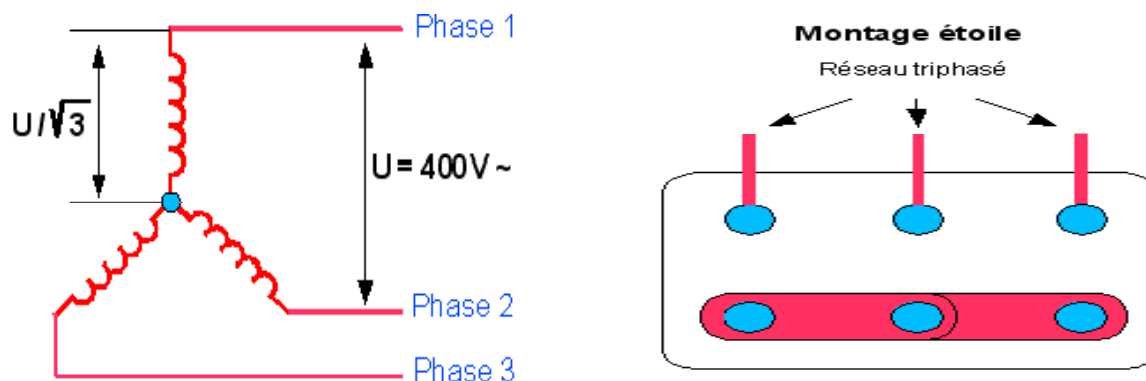


Fig.1.7. Schéma d'un coupage étoile pour moteur asynchrone

I.2.b. Couplage triangle :

Dans un couplage en triangle, Chaque enroulement est soumis à la tension composée $u(t)$, tension entre Deux phases .Chaque enroulement est traversé par le courant $i(t)$ de valeur efficace J , ce courant n'a de raison d'être que pour ce type de couplage.

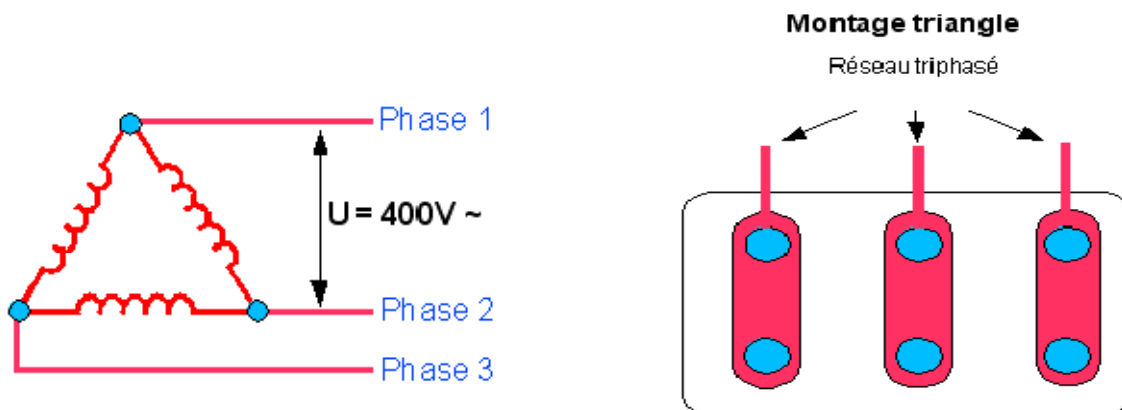


Fig.1.8 Schéma d'un couplage triangle pour moteur asynchrone

La relation entre les valeurs efficaces des ces deux courants est :

$$I = J\sqrt{3} \quad I : \text{la valeur efficace du courant de ligne } i(t) \text{ en ampères [A]}$$

J : la valeur efficace du courant $j(t)$ dans un enroulement dans le cas d'un

Couplage, en triangle, en ampère [A].

I.3 Principe de fonctionnement du moteur asynchrone :

Trois bobines fixées sur un circuit magnétique qui est le stator, alimentées par un réseau de tension triphasé, ces trois tensions étant déphasées de 120 degrés, elles produisent au travers du bobinage statorique un champ magnétique tournant s'exerçant sur un cylindre en aluminium appelé rotor, le rotor se met à tourner dans le même sens que le champ tournant mais avec une vitesse légèrement plus faible d'où le terme **asynchrone**.

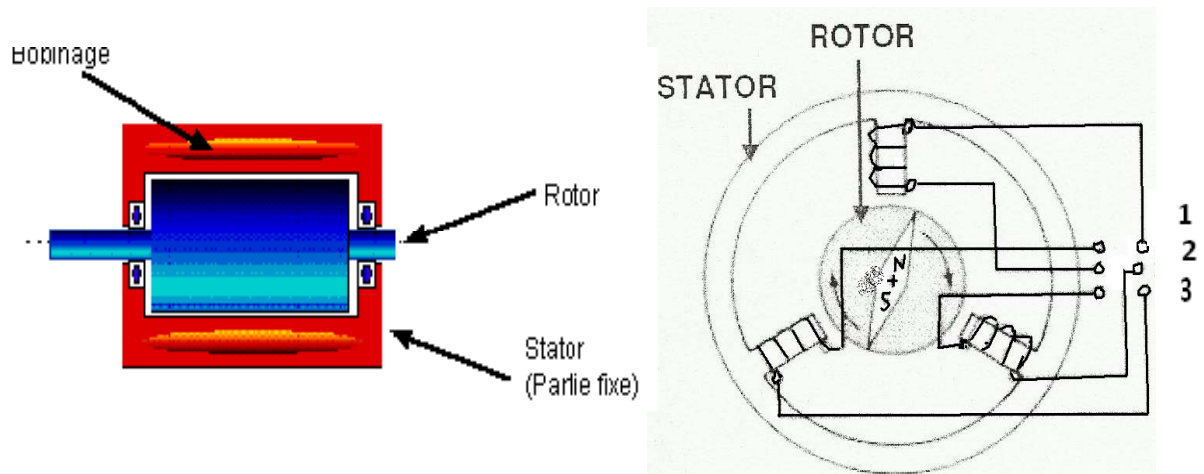


Fig.1.9 Schéma de principe d'un moteur asynchrone

La circulation du courant dans une bobine crée un champ magnétique B sur l'axe de la bobine sa direction et l'intensité sont fonction du courant. C' 'est une grandeur vectorielle Si le courant est alternatif le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.

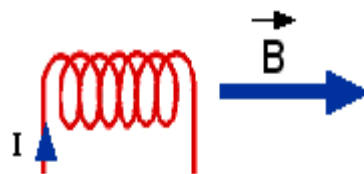


Fig.1.10 .a Champ magnétique créée par un courant dans une bobine

Si deux bobine sont placé a proximité l'une de l'autre le champ magnétique résultante est la somme vectorielle des deux autres.

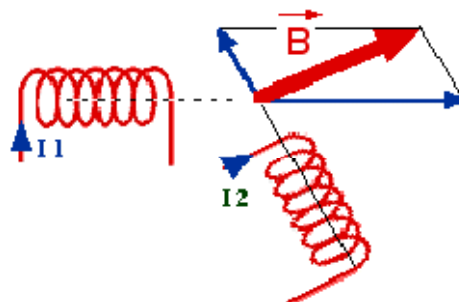


Fig.1.10.b Champ créée par deux bobines traversées par un courant

Dans le cas d'un moteur triphasé, les trois bobines sont disposé dans le stator a 120 degrés l'une de l'autre, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte tenue du courant dans le réseau triphasé les trois champs sont déphasés. Chacun à son tour passe par un maximum, le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le réseau soit 50

tr/s

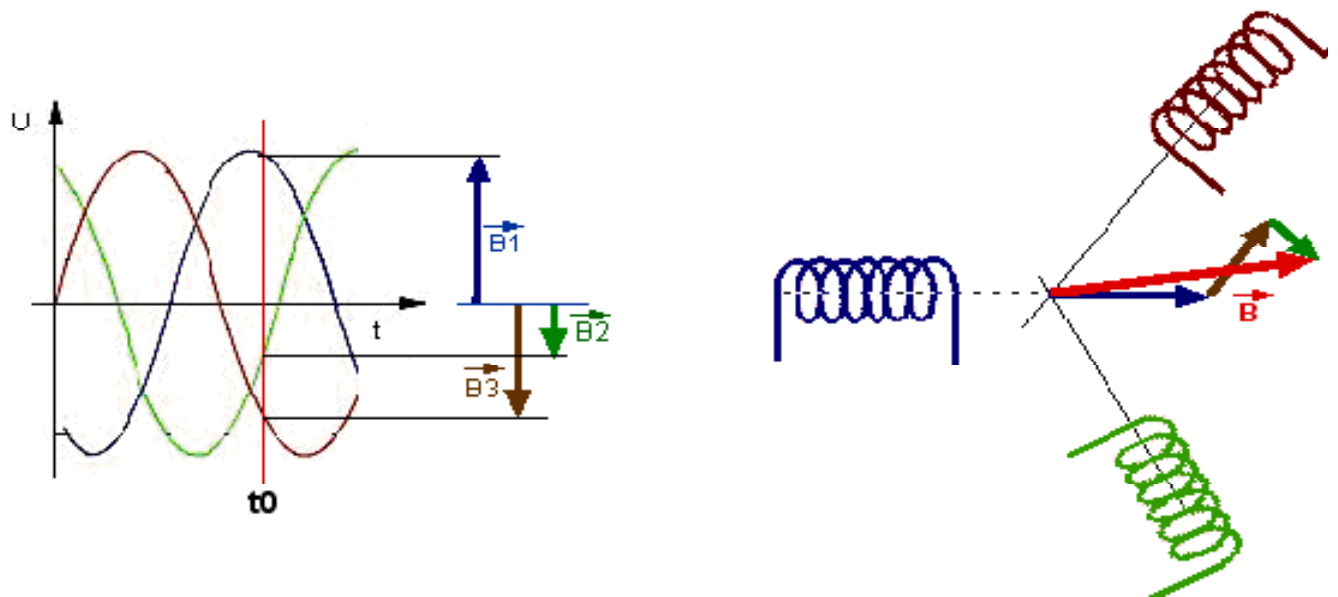


Fig.1.10.c Champ résultant créé par trois bobines traversées par un courant

Les trois enroulements statoriques créent un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Le stator est constitué des barres en aluminium noyées dans un champ magnétique et ces barres sont reliées à leurs extrémité par deux anneaux conducteur formant ainsi la cage d'écureuil.

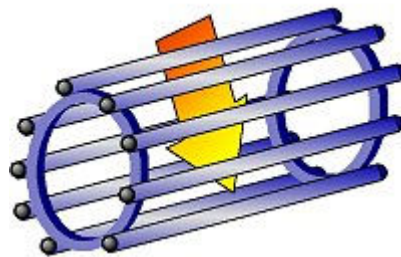


Fig.1.11 Cage à écureuil du moteur asynchrone

Cette cage est balayée par un champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits, les courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor, et d'après la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leur effet à la cause qui leur a donné naissance, le rotor tourne dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme.

La vitesse de rotation du champ dépend donc de la fréquence de la source qui alimente le moteur. Si la fréquence des courants est de 60 HZ, le champ fait un tour complet en $1/60$ s, donc 60 tours par seconde ou 3600 tours en une minute. Par contre, si la fréquence est de 5 HZ, le champ effectue un tour en $1/5$ s, ce qui donne une vitesse de rotation de 300 tr/min seulement. Puisque la vitesse de rotation du champ est forcément synchronisée avec la fréquence du réseau, on l'appelle vitesse de synchrone.

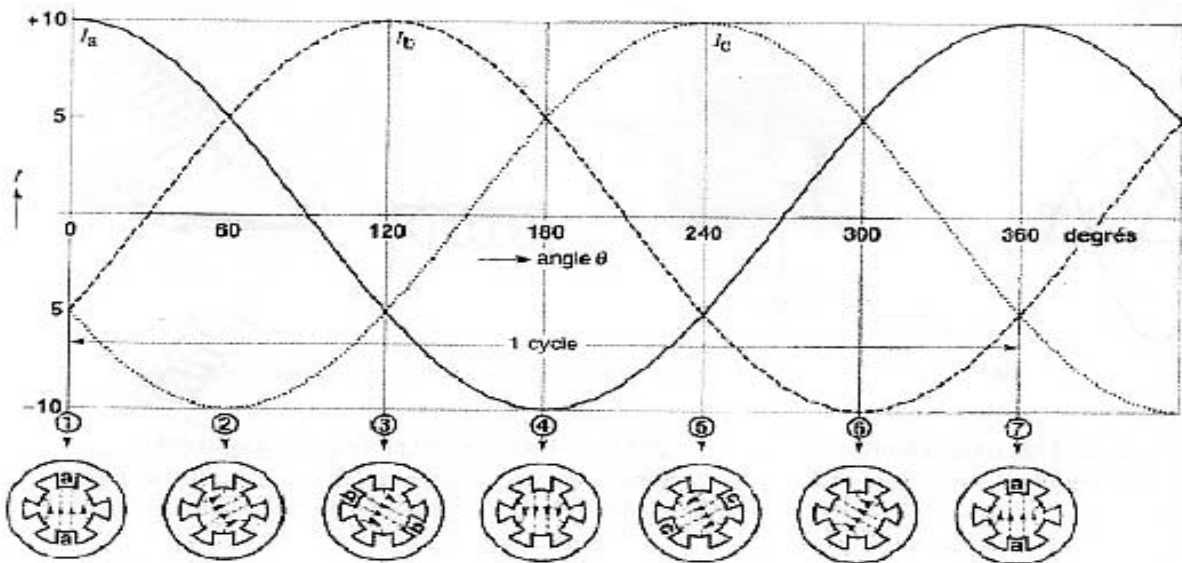


Fig.1.12 courants instantanés circulant dans les enroulements et position correspondante du champ magnétique

I.3.1 Vitesse de synchronisme :

La vitesse de synchronisme n_s des moteurs asynchrones triphasés est proportionnelle à la fréquence du courant d'alimentation et inversement proportionnelle au nombre de paires de pôles constituant le stator.

$$n_s = F/P$$

n_s : vitesse de synchronisme en tr/min

F : fréquence en HZ

P : nombre de pôles

I.3.2 Glissement et vitesse de glissement :

On a vu que le moteur tourne à une vitesse voisine de la vitesse synchrone lorsqu' il n'est pas chargé. Quand on le charge, il ralentit .le champ tournant coupe alors les barres du rotor à une vitesse plus grande. Il en résulte que la tension induite et le courant dans le rotor augmentent de façon à développer un couple suffisant pour vaincre la charge mécanique développée par le moteur. Celle-ci est exactement égale au couple imposé par la charge.

La vitesse angulaire relative du champ tournant résulte par rapport au rotor correspond à la vitesse angulaire de glissement $\Omega_g = \Omega_s - \Omega_r$.

La vitesse de glissement n_g d'un moteur asynchrone est simplement la différence entre la vitesse synchrone et la vitesse de rotor. $n_g = n_s - n_r$.

Par ailleurs, le glissement d'un moteur asynchrone est la différence entre la vitesse synchrone et celle de rotor exprimé relativement à la vitesse synchrone, on peut donc écrire :

$$S = (n_s - n_r) / n_s = n_g / n_s$$

S : glissement [p u]

n_r : vitesse du rotor [r/min]

n_s : vitesse synchrone [r/min]

n_g : vitesse du glissement

La valeur de n_r est positive lorsque le rotor tourne dans le même sens que le champ tournant. Si on multiplie la valeur relative (p u) du glissement par 100, on obtient le glissement en pour cent, le glissement d'un moteur tournant à vide est presque nul alors qu'il est de 1 (ou 100%) lorsque le rotor est à l'arrêt.

I.4 Caractéristiques de moteurs asynchrones à cage d'écureuil :

I.4.1 Schéma équivalent d'un moteur asynchrone :

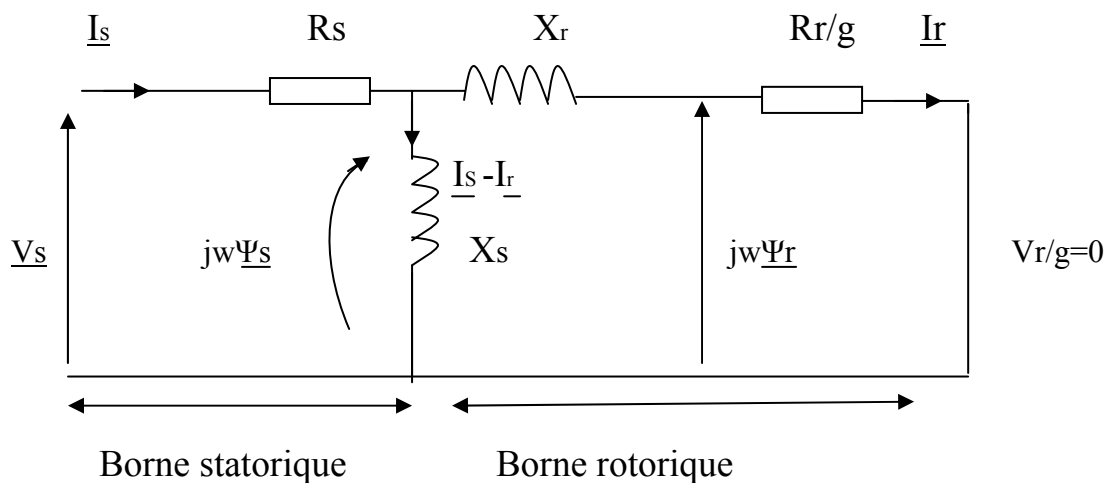


Fig.1.13 Schéma équivalent d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil

I_s : courant traversant le stator

R_s : résistance de stator

X_s : réactance propre de l'enroulement statorique

X_r : réactance de fuite totale dans le système pu

R_r/g : résistance fictive

I_r : courant induit du rotor

- Pour déterminer R_r et X_r il est nécessaire de faire un essai en court circuit (ou un essai à rotor bloqué) ($g=1$) tandis que un essai à vide ou le champ tournant et le rotor, tournant à la même vitesse ($g=0$) pour les paramètres R_s et X_s .

A noter qu'un essai en court circuit ($g=1$) se fait sous une tension réduite afin de limiter du courant.

I.4.2 moteur fonctionnant à vide :

Lorsque le moteur tourne à vide, le courant est compris entre 30% et 50% du courant de pleine charge. Ce courant est semblable au courant d'excitation d'un transformateur. Ainsi, il est composé en majeure partie d'un courant magnétisant qui produit le flux tournant ϕ_m et d'une faible composante active pour fournir les pertes par frottement et aération, plus les pertes dans le fer. Le flux raccroche le rotor et le stator : par conséquent, il est semblable à un flux mutuel (Fig.1.13.a). La puissance réactive requise pour crée le champ tournant est grande.

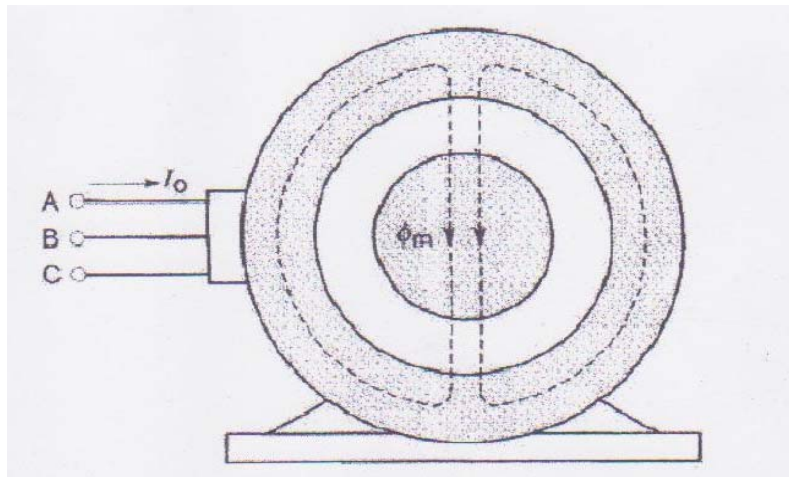


Fig.1.14.a fonctionnement de moteur à vide

I.4.3 Moteur fonctionnant à pleine charge :

Le moteur est en charge, le courant circulant dans le rotor produit une FMM qui tend à changer le flux mutuel ϕ_m ceci engendre un courant dans le stator dont la FMM tend à s'opposer à celle crée par le rotor. Ces FMM sont très semblables à celles produites par le primaire et le secondaire d'un transformateur sous charge. Par conséquent, en plus le flux mutuel ϕ_m des flux de fuite ϕ_{r1} et ϕ_{r2} sont créés, (Fig.1.13.b). Lorsque la motrice fonctionne en charge, la puissance réactive (K var) requise pour produire ces trois flux est légèrement supérieure à celle absorbée à vide. Par contre la puissance active (KW) absorbée par le moteur varie proportionnellement avec la charge mécanique.

A pleine charge, le flux mutuel ϕ_m diminue mais des flux de fuites sont créés par le rotor et le stator. Il s'ensuit une légère augmentation de la puissance réactive.

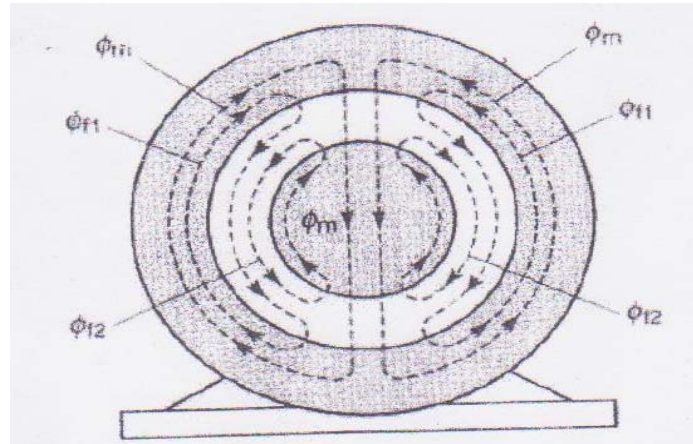


Fig.1.14.b fonctionnement de moteur en charge

I.5 Moteur au démarrage :

Lorsque le rotor est bloqué, le courant 5 à 8 fois plus grand que le courant de nominal. Cela entraîne des pertes joule de 25 à 64 fois plus grandes que les pertes normales, on doit donc éviter de bloquer le rotor, pour prévenir la surchauffe des enroulements. Puisque le moteur ne tourne pas, la puissance mécanique est nulle, son rendement est donc nul. Cependant, il développe un couple considérable. En ce concerne le facteur de puissance, il demeure bas, car une grande puissance réactive est requise pour entretenir les flux de enroulement du stator et du rotor ne sont pas couplés aussi étroitement.

I.6. La mesure de la puissance absorbée :

I.6.1 Mesure de la puissance absorbée :

Cette méthode reste identique que le couplage soit en étoile ou en triangle, il utilise deux wattmètres numériques qui doivent être branchés comme suit

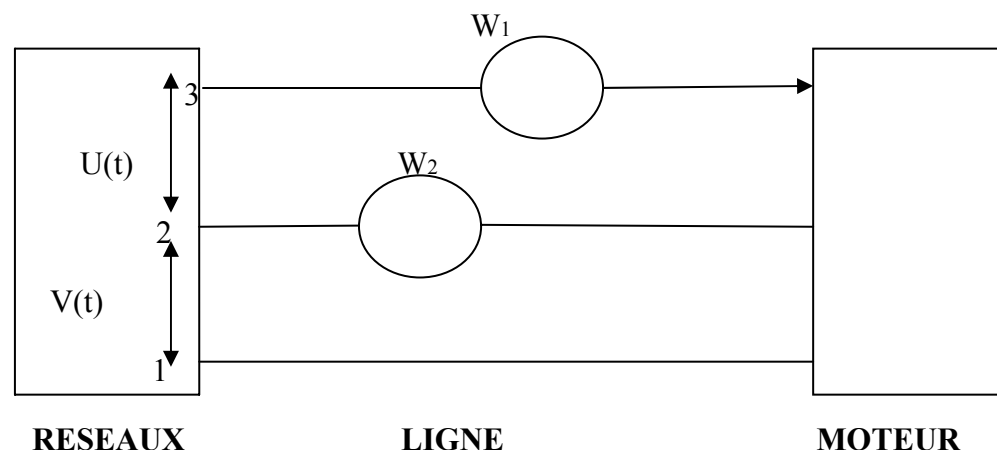


Fig.1.15 Schéma synoptique de la mesure des deux wattmètres

Le premier wattmètre W_1 indique une grandeur P_1

Le second wattmètre W_2 indique une grandeur P_2

$$P = P_1 + P_2$$

P : la puissance active absorbée en watts [W]

P_1 : la lecture du premier wattmètre [sans unités]

P_2 : la lecture du second wattmètre [sans unités]

P_1 et P_2 sont les lectures des deux wattmètres, elles sont soit positive soit négatives. Sachant que la puissance absorbée P est une puissance active, elle est nécessairement positive. Il est donc indispensable de donner à P_1 la valeur positive correspondant à la plus grande des deux indications en valeurs absolues. La valeur prise par P_2 sera l'indication de l'autre wattmètre, affublé du signe « plus » si les deux grandeurs étaient de même signe et du signe « moins » dans le cas contraire.

I.6.2 La puissance réactive :

La puissance réactive Q absorbée par le moteur se calcule à partir des deux informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante :

$$Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$$

Q : la puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]

P_1 : la lecture du premier wattmètre [sans unités]

P_2 : la lecture du second wattmètre [sans unités]

I.6.3 La puissance apparente :

La puissance apparente du moteur peut se déduire des deux calculs précédents par la relation :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

S : la puissance apparente du moteur en V.A [V.A]

P : la puissance active absorbée en watts [W]

Q : la puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]

V.A.R : volts ampères réactifs

I.6.4 Le facteur de puissance :

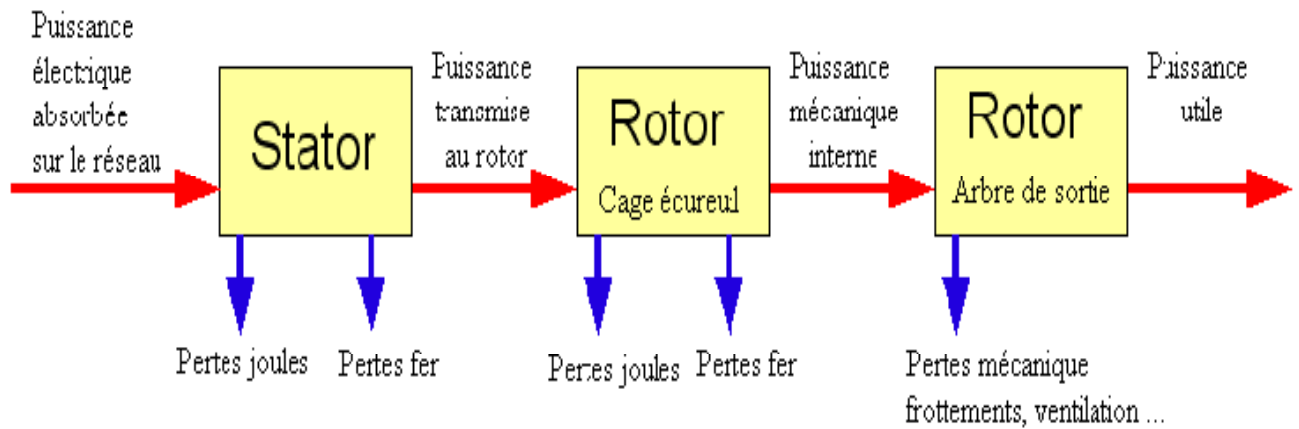
Le facteur de puissance peut se déduire des deux calculs précédents par la relation :

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Φ : l'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [°]

P : la puissance active absorbée en watts [W] Q : la puissance réactive

I.6.5 Bilan des puissances :



I.6.6 Rendement :

Le rendement d'un moteur est par définition, le rapport entre la puissance mécanique P_m fournie à la charge et la puissance électrique P_e fournie au moteur

$$\text{Rendement}(n) = \frac{P_m}{P_e}$$

I.7. Modélisation de la machine asynchrone :

I.7.1 Caractéristique du moteur utilisé dans notre application :

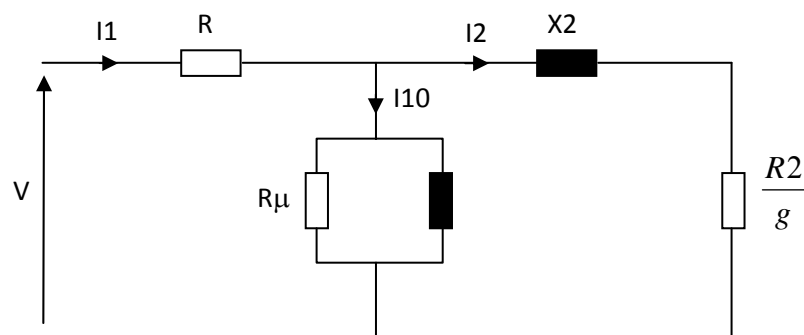
Si on considère que notre moteur possède des caractéristiques suivantes :

$$U=380V \quad I_n=3,5A$$

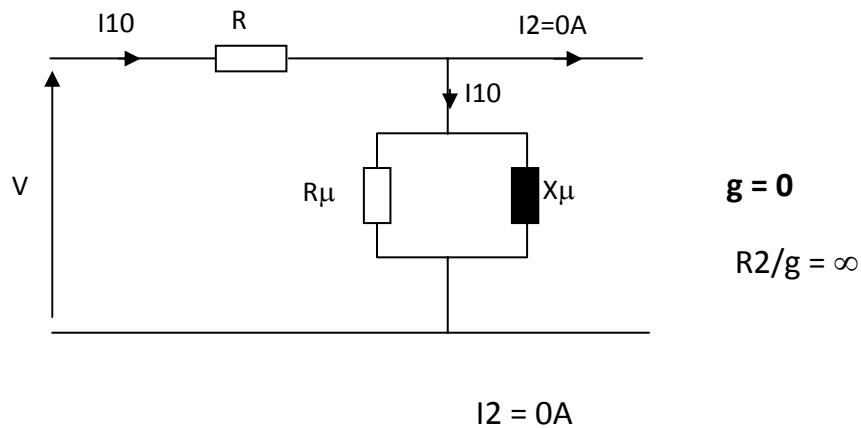
Pour un montage étoile $P_u=1,5Kw \quad \cos \varphi=0,82$

$$C=10Nm \quad N_r=1430 \text{ tr/mn}$$

I.7.2 schéma équivalent : (modèle par phase)



(a) Essai à vide :



Par la méthode de mesure de double wattmètre on peut déduire

$$P_{a0} = 510 \text{ W}$$

$$P_v = -385 \text{ W}$$

$$P_{b0} = -895 \text{ W}$$

$$Q_v = 2443,5 \text{ VAR}$$

$$P \text{ à vide} = P_{a0} + P_{b0}$$

$$Q \text{ à vide} = \sqrt{3} (P_{a0} - P_{b0})$$

On relèvera également un courant I à vide $I_v = 1,95 \text{ A}$

La résistance R d'un enroulement saturique est mesurée à partir d'un pont de Wheatstone ($R = 4 \Omega$)

On peut considérer les pertes engendrées par cette résistance négligeables (pertes joules stators

Egale $3RI^2 = 46 \text{ W}$).

Pour $P_o = 385 \text{ W}$

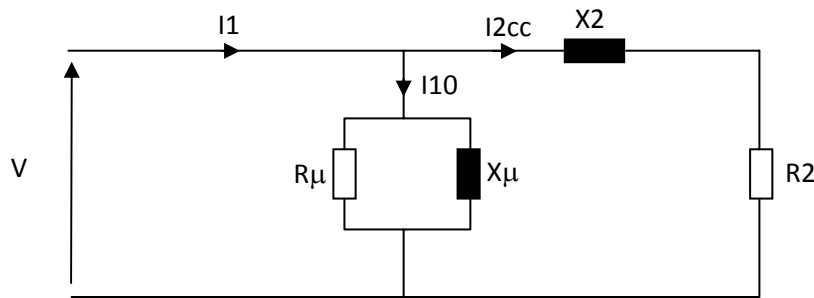
$$Q_o = 2443,5 \text{ VAR}$$

$$I_o = 1,95 \text{ A}$$

La réactance de la résistance de stator $R_s = \frac{3.V^2}{P_o} = \frac{3.220^2}{385} \quad R_s = 377,14 \Omega$

$$X_s = \frac{3.V^2}{Q_o} = \frac{3.220^2}{2443,5} \quad X_s = 59,4 \Omega$$

(b) Essai rotor bloqué :



$G = 1$ donc $R2/g = R2$

Grace à la méthode de double wattmètre on relève :

$P_{acc}=40$ w

$P_{bcc}=480$ w

$P_{cc}=P_{acc}+P_{bcc}$

$P_{cc}=520$ w

$Q_{cc} = \sqrt{3} (P_{acc}-P_{bcc})$

$Q_{cc} = 762$ V A R

Soit P_{2cc} étant la puissance active du rotor ramenée au stator.

Soit Q_{2cc} étant la puissance réactive du rotor ramenée au stator.

$$P_{2cc} = P_{cc} - \frac{3.V_{cc}^2}{R_s} = 520 - \frac{3.46,1^2}{377,14}$$

$P_{2cc}=503,1$ w

$$Q_{2cc} = Q_{cc} - \frac{3.V_{cc}^2}{X_s} = 762 - \frac{3.46,1^2}{59,4}$$

$Q_{2cc} = 654$ w

$$S_{2cc} = \sqrt{P_{2cc}^2 + Q_{2cc}^2} = \sqrt{503,1^2 + 654,1^2}$$

$S_{2cc} = 825,6$ VA

$$I_{2cc} = \frac{S_{2cc}}{3.V_{cc}} = \frac{825,6}{3.46,1}$$

$I_{2cc} = 5,97$ A

Ainsi, $R_r = \frac{P_{2cc}}{3.I_{2cc}^2} = \frac{503,1}{3.5,97^2}$

$R_r = 6,11 \Omega$

$$X_r = \frac{Q_{2cc}}{3.I_{2cc}^2} = \frac{654,6}{3.5,97^2}$$

$X_r = 4,7 \Omega$

Conclusion :

Dans ce chapitre on a procédé à l'étude de moteur asynchrone afin de mieux comprendre le principe de fonctionnement de ce dernier, il est important de bien dimensionner le moteur en vue de par une connexion avec le moteur.



Chapitre II
Variateur de vitesse

II.1. Introduction :

Dans le domaine de l'électronique de puissance, pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone, on agit sur la fréquence du réseau monophasé ou triphasé. Comme il s'agit de faire fonctionner un moteur souvent à couple constant, on doit agir simultanément sur la tension d'alimentation et sur la fréquence. Ceci s'obtient par l'intermédiaire d'un variateur de fréquence. Il existe plusieurs technologies pour faire varier la vitesse, dont les plus courantes sont listées ci-dessous :

- onduleur de fréquence,
- moteur à induction avec rotor bobiné à résistance variable,
- couplage par glissement (limiteur de couple par friction).

II.2. Présentation d'un variateur de vitesse industriel :



Figure II.1 variateur de vitesse

II.3 Fonction des variateurs de vitesse :

Le variateur de vitesse remplit plusieurs fonctions nécessaires

- L'accélération contrôlée,
- La décélération contrôlée,
- La variation et la régulation de vitesse,
- L'inversion du sens de marche,
- Le freinage d'arrêt.

II.4 Caractéristique des composants de puissance :

La circuiterie pour la commande des moteurs nous a amène à nous intéresser particulièrement aux composants de puissance, et parmi ces derniers on trouve

II.4.1 Diode :

La diode est un élément redresseur non commandable possédant une simple jonction PN. Elle a une tension de seuil de 0.6 à 1V pour les diodes de fortes puissances, elle permet le passage du courant dans un seul sens

➤ **Symbole :**

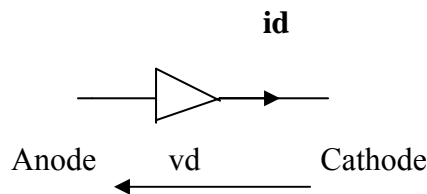


Figure II.2.a Symbole de la diode

II .4.2 Le transistor bipolaire :

C'est un semi-conducteur bipolaire contrôlé, constitué de trois régions alternées P-N-P ou N-P-N. Il ne laisse passer le courant que dans un seul sens, de l'émetteur vers le collecteur en technologie P-N-P, du collecteur vers l'émetteur en technologie N-P-N.

➤ **Symbole :**

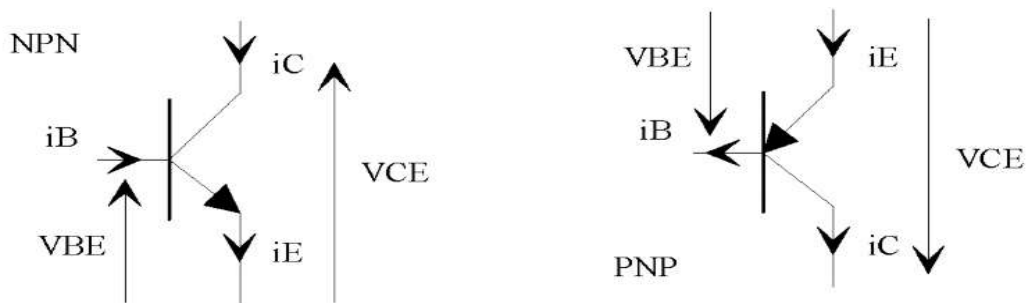


Figure II.2.b symbole de transistor bipolaire

Les transistors de puissance capables de fonctionner sous des tensions industrielles sont du type N-P-N, souvent montés en « **Darlington** ». Le transistor peut fonctionner en amplificateur. La valeur du courant qui le traverse est alors fonction du courant de commande circulant dans sa base. Mais il peut également fonctionner en tout ou rien comme interrupteur statique : ouvert en l'absence de courant de base, fermé en saturation. C'est ce deuxième mode de fonctionnement qui est utilisé dans les circuits de puissance des variateurs. Les transistors bipolaires couvrent des tensions jusqu'à 1 200 V et acceptent des courants pouvant atteindre 800 A. Ce composant est aujourd'hui remplacé dans les convertisseurs par l'IGBT. Les transistors de puissance utilisés en variation de vitesse peuvent fonctionner à des fréquences jusqu'à quelques kilohertz.

II.4.3 Les transistors MOSFET :

La structure Métal-Oxyde-Semi-Conducteur (MOS) est une structure très répandue en microélectronique et en électronique de puissance car elle constitue une partie fondamentale des Switchs.

➤ **Symbole :**

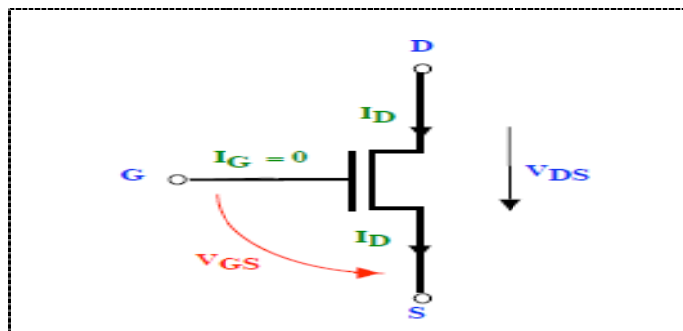


Figure II.2.c Symbole du MOSFET

Le MOSFET est un dispositif symétrique à diodes polarisées en inverse et souvent la source reliée au substrat. Vu les caractéristiques précédentes ces transistors ont un principe de fonctionnement bien précis. Il apparaît un champ électrique entre le Drain et la Source. Ce qu'est due au déplacement des électrons dans le canal.

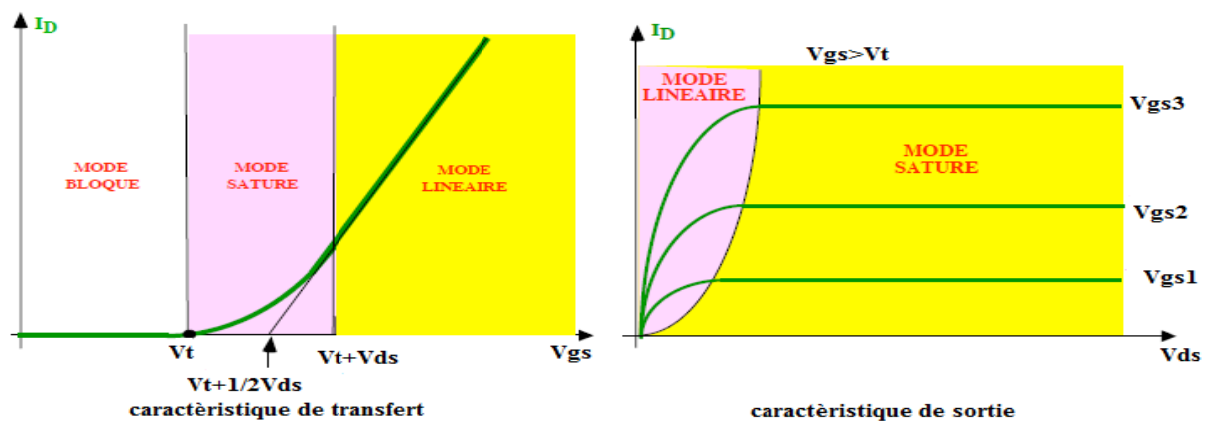


Figure II.2.d Caractéristique du transistor MOSFET

II.4.4 Les transistors IGBT :

L'IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) est un transistor bipolaire à porte isolée. Il associe les avantages des transistors bipolaires (tension et courant élevés), et ceux des transistors MOSFET (rapidité des commutations, énergie de commande faible).

➤ **Symbole :**

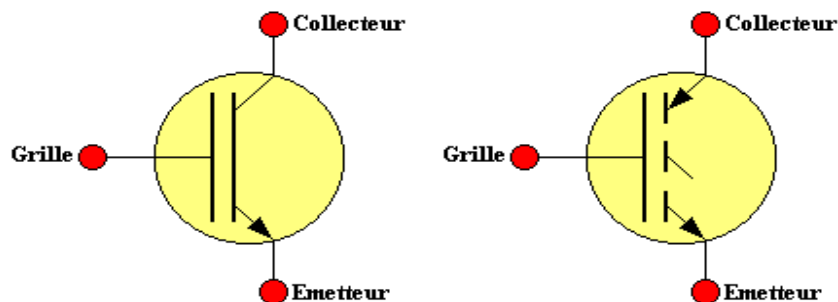


Figure II.2.e Synbole d'un IGBT

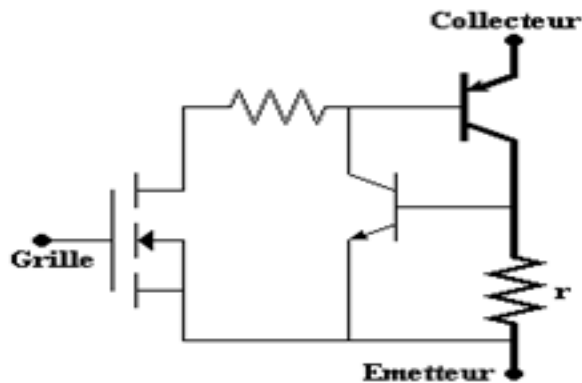


Figure II.3 Schéma équivalent d'un IGBT

Le transistor NPN ne conduit normalement pas, la tension aux bornes de la résistance r étant insuffisante. Dans le cas où il entre accidentellement en conduction, il y a perte de contrôle de l'IGBT. En effet, l'association des deux transistors est équivalente à un thyristor. Le blocage ne peut avoir lieu que lorsque le courant principal s'annule. L'IGBT présente l'inconvénient d'un blocage moins rapide que le MOSFET, ce qui limite la fréquence de commutation à quelques dizaines de kHz.

II.5 Schéma synoptique du variateur de vitesse :

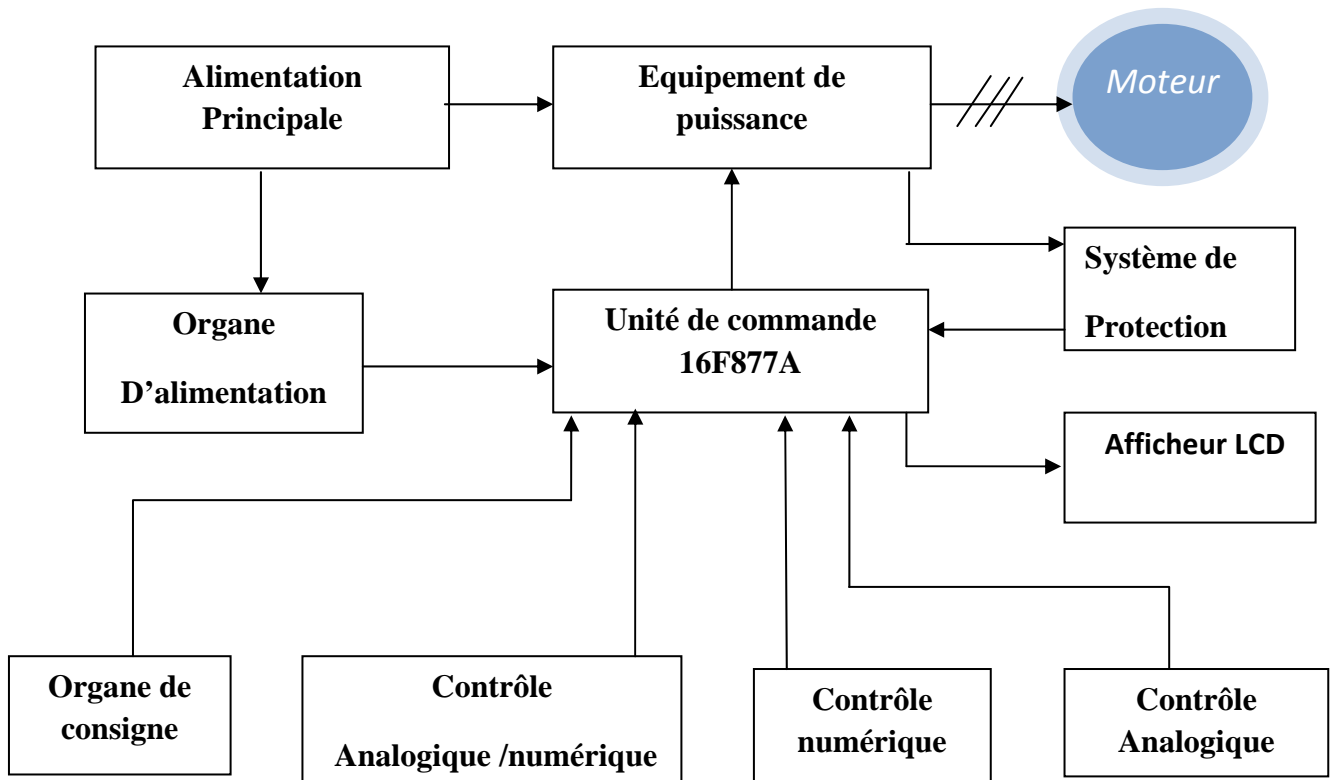


Figure II.4 Schéma synoptique d'un variateur de vitesse

II.6 Schéma global d'un variateur de vitesse :

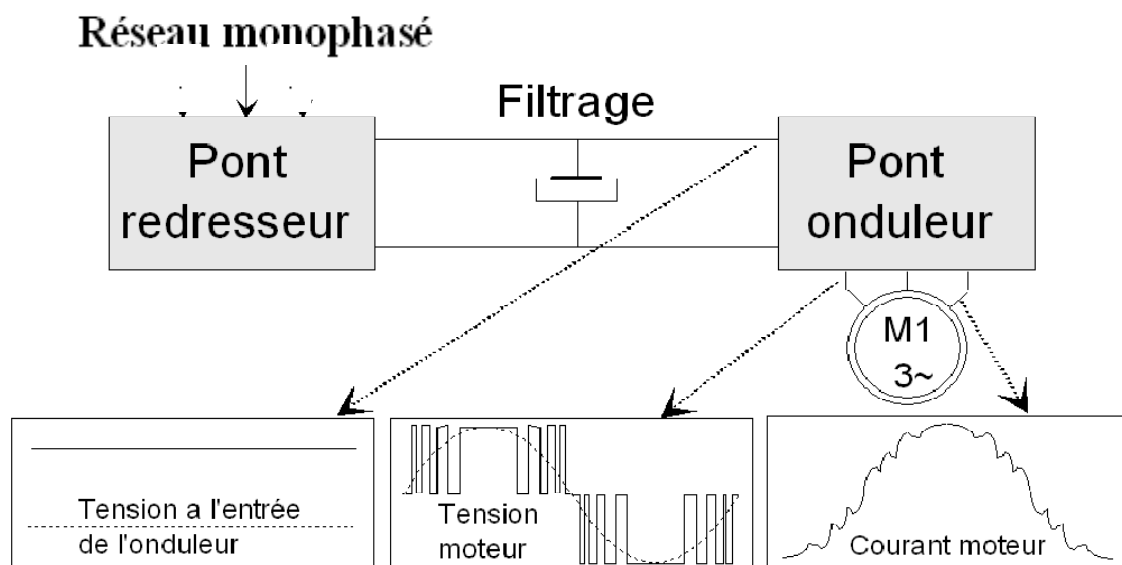


Figure II.5 Schéma global d'un variateur de vitesse

II.6.1 Pont Redresseur :

A l'aide d'un pont de diode, Il transforme la tension alternative sinusoïdale en tension redressée (unidirectionnelle).

II.6.2 Filtrage :

Consiste a atténue ou élimine les phénomènes d'ondulation de la tension en sortie du redresseur.

II.6.3 Récupération :

Lors du freinage, l'inertie entraine le rotor. Le moteur ne ralentit pas immédiatement, il se transforme alors en génératrice asynchrone. On dit aussi qu'il passe en fonctionnement hyper synchrone de faite que vitesse de rotation de moteur est supérieure a la fréquence de synchronisme. L'énergie ainsi récupérée est stockée dans le condensateur de filtrage et dissipé dans une résistance de dissipation.

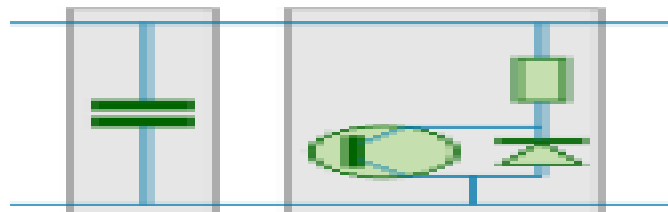


Figure II.6 Circuit de récupération

II.6.4 L'onduleur :

Un onduleur est un circuit destiné au pilotage d'un moteur qui a deux rôles principaux :

- Fournir le courant nécessaire au fonctionnement du moteur
- Donner la possibilité d'inverser le sens du courant (donc le sens de rotation du moteur)

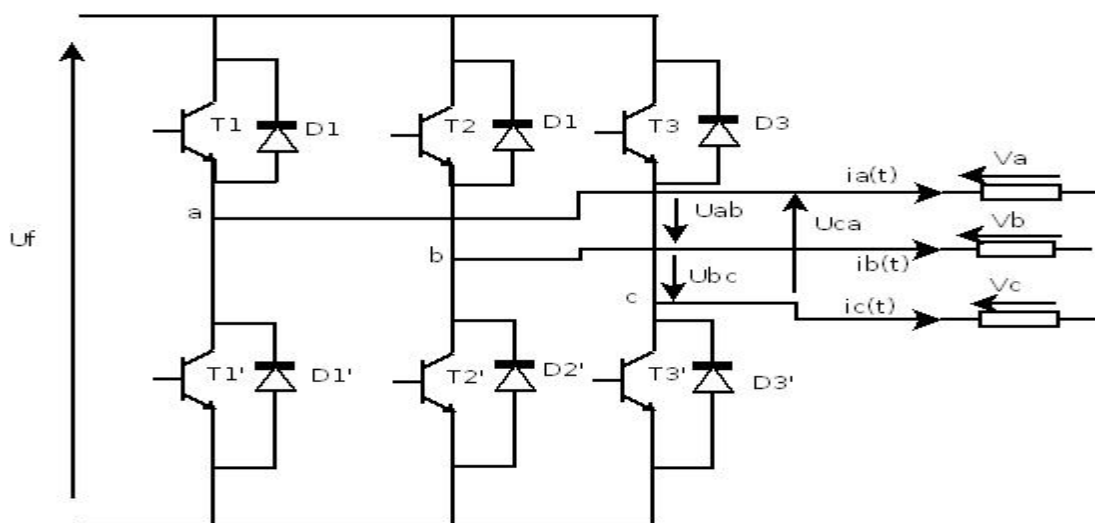


Figure II.7 Onduleur triphasé

V_a, V_b, V_c : les tensions simples délivrées par l'onduleur.

U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} : les tensions composées par l'onduleur.

$$\begin{cases} U_{ab} = V_a - V_b \\ U_{bc} = V_b - V_c \\ U_{ca} = V_c - V_a \end{cases}$$

Ou les tensions simples ont données par :

$$\begin{cases} V_a = \frac{1}{3} (U_{ab} - U_{ca}) \\ V_b = \frac{1}{3} (U_{bc} - U_{ab}) \\ V_c = \frac{1}{3} (U_{ca} - U_{bc}) \end{cases}$$

II.6.4.1 L'utilisation de l'onduleur :

Le couple transistor-diode est appelé interrupteur. De ce fait, l'onduleur est donc formé de six interrupteurs qui fonctionnent deux à deux. Les commutations doivent se faire lorsque le rotor passe par une position bien déterminé par rapport au stator. Il ne faut pas que les commutations se fassent trop rapidement (ou trop lentement). La commutation deux à deux de ces interrupteurs permet d'alimenter deux Bobines à la fois. La troisième bobine a un potentiel flottant, le contrôle de ces interrupteurs dans notre variateur se fera à travers une commande **PWM** (Pulse Width Modulation).

II.6.4.2 Commande d'un bras de l'onduleur :

Le demi - bras de l'étage de puissance est formé de deux transistors T1 et T2 fonctionnant en complémentaires .comme nous montre la (figure 3.1).

Quant le transistor T2 est saturé et T1 bloqué, le point **vs** est la masse .Quand le transistor T1 est saturé et T2 bloqué, le point **vs** est à 350v.

Dans ce cas, la base du transistor T1 doit être à un potentiel supérieur à 300v.une alimentation flottante puissante est nécessaire.

Comme les transistors du pont doivent être commandés de façon complémentaire, le signal de commande du transistor haut doit être inverse du signal de commande de transistor bas.

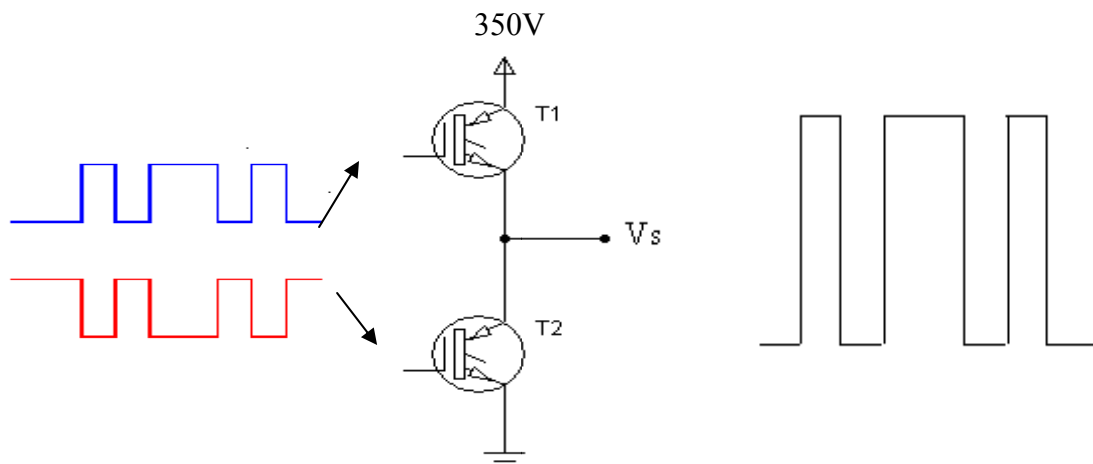


Figure II.8 Commande d'un bras de l'onduleur

II.6.4.3 Principe de l'onduleur monophasé en pont :

Dans un premier temps nous allons étudier la forme de la tension et du courant aux bornes de la charge si les interrupteurs sont commandés périodiquement par paire (**T1, T4 sur la première demi période et T2, T3 sur la seconde demi période**).

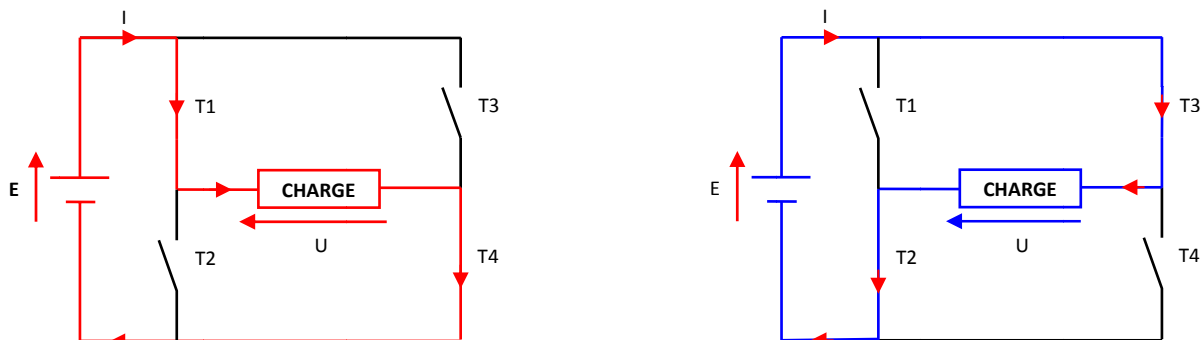


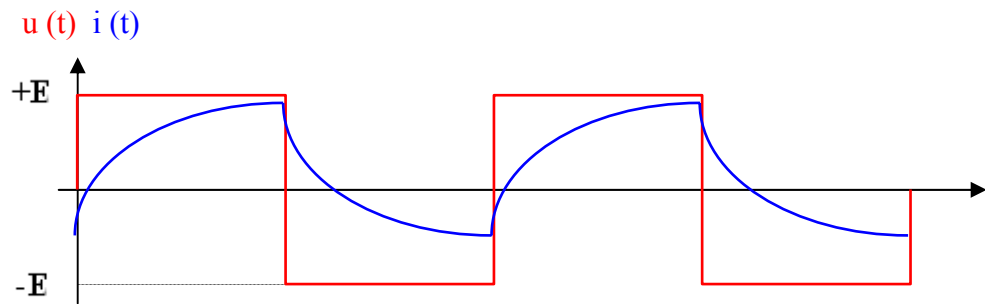
Figure II.9 (a) Interrupteur lors de la première phase, (b) Interrupteur lors de la deuxième phase

Première demi- période:

- Les commutateurs T1 et T4 sont FERMES
- Les commutateurs T2 et T3 sont OUVERTS
- Dans cette phase du fonctionnement on a : $U = +E$

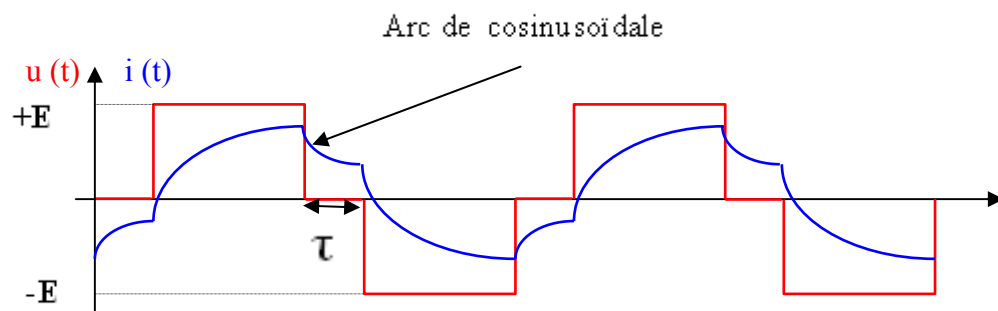
Deuxième demi- période:

- Les commutateurs T2 et T3 sont FERMES
- Les commutateurs T1 et T4 sont OUVERTS
- Dans cette phase du fonctionnement on a : $U = -E$



Forme de la tension et du courant dans le 1^{er} cas

Dans un second temps nous allons étudier la forme de la tension et du courant aux bornes de la charge si les interrupteurs sont commandés périodiquement par paire avec en plus un **temps "d'ouverture" des 4 interrupteurs à intervalle régulier τ** . (commande décalée)



Forme de la tension et du courant dans le 2^{ème} cas

Ce type de commande est assez utilisé en monophasé, mais le courant obtenu est loin d'être sinusoïdale. Ce qui génère des harmoniques qui « polluent » le réseau.

On peut faire fonctionner un onduleur triphasé sur le même principe mais la forme de la tension obtenue introduit des harmoniques importants qui perturbent le fonctionnement du récepteur, surtout dans le cas d'un moteur asynchrone.

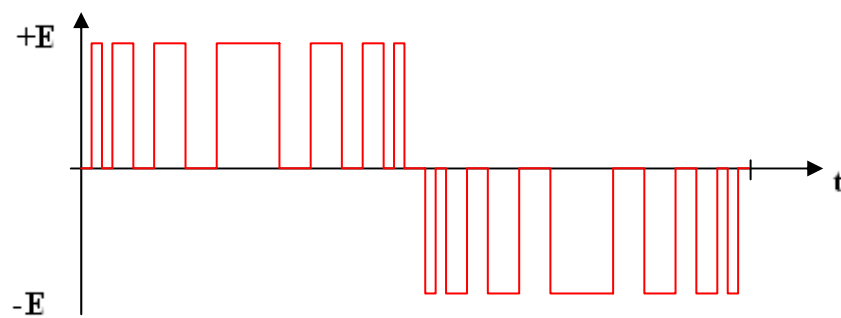
La solution à ce problème c'est de faire fonctionner l'onduleur en commande MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion).

II.6.4.4 Onduleur en M.L.I :

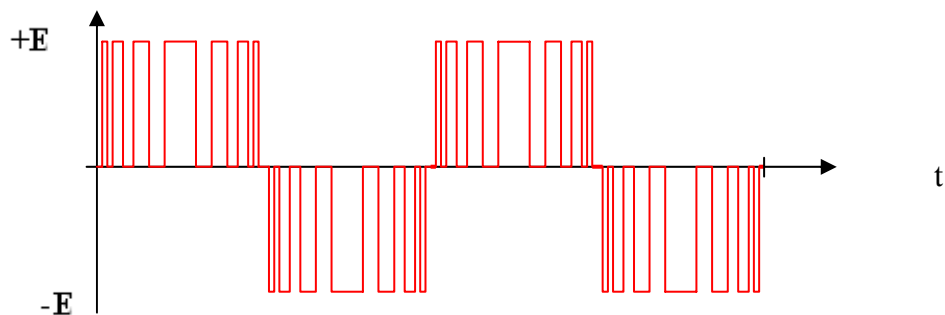
La tension continue d'entrée de l'onduleur est hachée de façon à créer une succession de créneaux d'amplitude égale à celle-ci, mais de largeur variable (voir la forme des courbes de tension ci-dessous).

Il en résulte un courant qui à une forme très proche d'une sinusoïde.

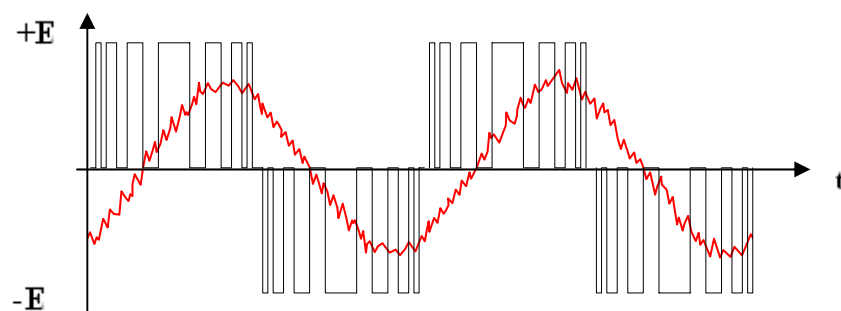
Courbes de tension et de courant :



Forme de la tension de sortie pour $f = 25$ Hz



Forme de la tension de sortie pour $f = 50$ Hz



Forme du courant de sortie pour $f = 50$ Hz

II.6.5 La commande PWM :

La **PWM** (pulse width modulation) ou MLI (Modulation de largeur d'impulsion) est un signal auquel on fait varier la tension sans modifier ni l'amplitude ni la fréquence mais la largeur de l'impulsion.

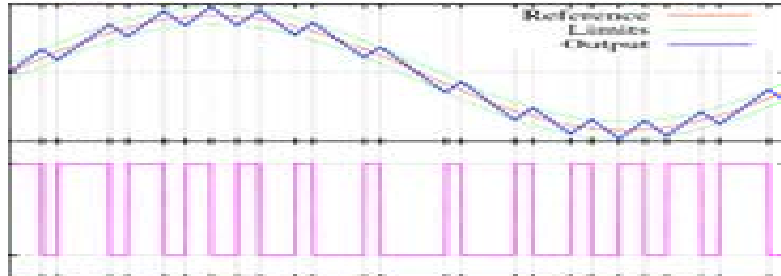


Figure II.10 Schéma d'un signal PWM

II.6.5.1 Principe générale :

L'intérêt du PWM est de pouvoir générer un signal sinusoïde à partir d'un système fonctionnant en tout ou rien.

Application :

- La conversion numérique- analogique
- Les amplificateurs de classe D, en audio
- Les alimentations à découpage, variateur de vitesse et plus généralement tous les dispositifs d'électronique de puissance utilisant des composants de type MOSFET IGBTetc.

II.6.5.2 Principe de fonctionnement :

Le principe est de générer un signal logique (valant 0 ou 1), à fréquence fixe mais dont le rapport cyclique est contrôlé numériquement. La moyenne du signal de sortie est égale au rapport cyclique α .

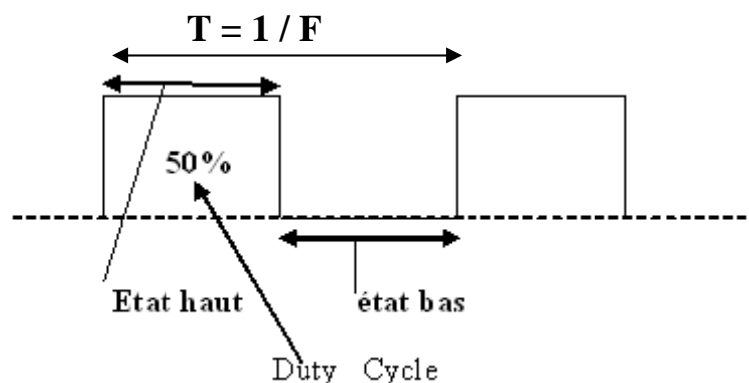


Figure II.11 Schéma d'un créneau duty cycle de 50%

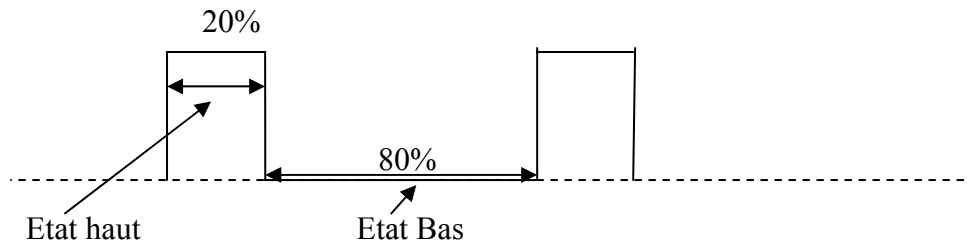


Figure II.12 Schéma d'un créneau duty cycle de 20%

A noter que la tension est plus élevée dans le créneau ou le duty cycle est de 50% par rapport au 20% de la deuxième figure, la formule suivante détermine la tension en fonction du rapport cyclique.

II.6.5.3 Formule donnant tension de sortie d'une PWM :

$$\text{Tension PWM(en V)} = \text{Tension maximale (en v)} \times \text{Rapport cyclique} / 100$$

II.7 Etude de la carte de commande :

Elle est constituée de deux parties essentielles:

partie commande qui comprend le microcontrôleur comme élément de base qui s'occupe de la réalisation des différentes fonctions (conversion ,sécurité, variation de la largeur d'impulsion...etc.) et partie traduisant l'adaptation des signaux de commande, notamment l'isolation galvanique et séparation des masses (drivers) qui se présente comme interface intermédiaire entre le bloc de commande et le bloc de sortie qui alimente les variateurs.

Pour permettre à l'opérateur de suivre l'évolution du processus en temps réel, l'unité est équipée d'un afficheur LCD pour visualiser le déroulement du processus et d'agir au moment voulu par le mode d'entrée choisi afin de régler les différents paramètres de la commande.

II.7.1 Principe de fonctionnement de la carte :

Après la mise sous tension, le microcontrôleur procède à l'étape d'initialisation, puis il va lire directement la valeur de courant qu'il reçoit à partir de capteur de courant ,s'elle est supérieur a la valeur nominal l'afficheur affiche ERROR et le microcontrôleur n'exécute aucun programme si non exploite l'une des deux entrées (analogique, numérique). Pour sélectionner le mode désiré, on doit agir sur Switch.

La sortie est sur les pins RC3, RC4 et RC5 du microcontrôleur, un afficheur LCD reliev au port B sert d'outil de visualisation des différents paramètres fréquence, mode d'entrée ...).

En choisissant le control analogique avec une tension variable de 0V à 10V, qu'on peut limiter à une valeur maximale de 5V en utilisant un diviseur de tension.

En faisant varier cette tension on aura trois signaux PWM déphasés entre eux par 120^0 périodiques carrés. Chaque signal est injecté à l'entrée d'un driver ir2112 alimenté par une tension de 12v du régulateur 7812. Chaque driver est constitué d'une alimentation Bootstrap. Les signaux de sortie des drivers attaquent l'onduleur. La sortie de l'onduleur on obtient les trois phases U V W du moteur.

II.7.2 Schéma de la carte de commande :

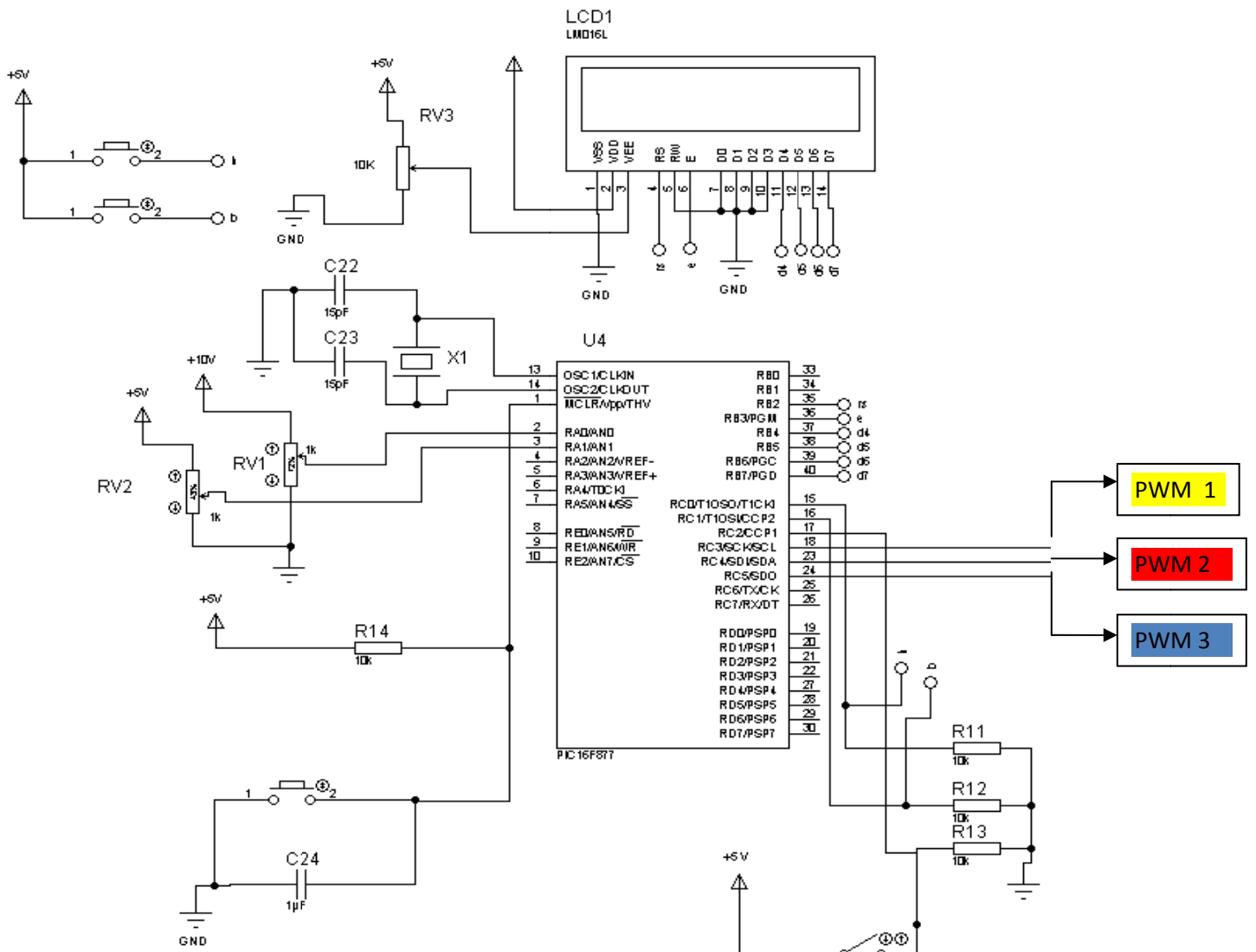


Figure II.13 schéma électrique de la carte de commande

II.7.3. Les principaux composants de la carte et leur rôle :

Cette carte comprend principalement les éléments suivants :

- ✓ Microcontrôleur 16F877A
- ✓ Circuit intégré driver IR2112
- ✓ Connecteur
- ✓ Afficheur LCD 2×16
- ✓ Switch
- ✓ Boutons poussoirs
- ✓ Optocoupleur
- ✓ Transistor MOSFET irf740

II.8. Le PIC16f877A :

II.8.1. Généralités :

Un microcontrôleur est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires « mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données », unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique « quelques milliwatts en fonctionnement, quelques nano watts en veille », une vitesse de fonctionnement plus faible « quelques mégahertz » et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels. Par rapport à des systèmes électroniques à base de microprocesseurs et autres composants séparés, les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et le coût des produits. Ils ont ainsi permis de démocratiser l'utilisation de l'informatique dans le domaine d'industrie pour la commande et contrôle des systèmes.

Tous ce qui été réalisé en logique câblé le microcontrôleur le fait par programme d'où la flexibilité des systèmes microcontrôleur.

II.8.2 Les éléments constitutifs du pic :

Nous avons utilisé le microcontrôleur PIC 16F877A de 40 broches dont les caractéristiques générales peuvent être résumées comme suit :

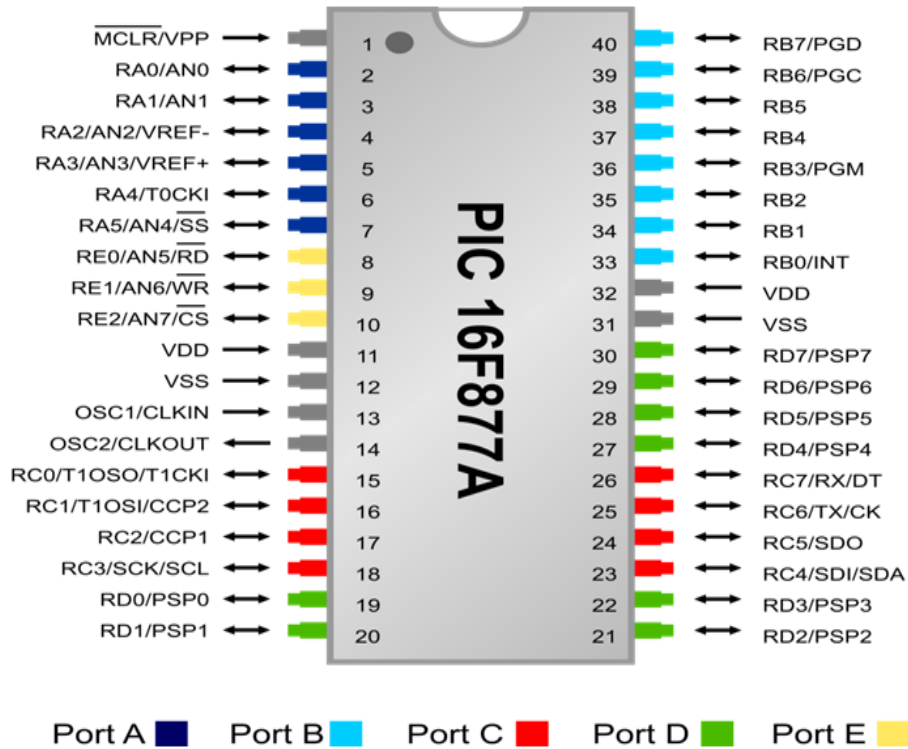
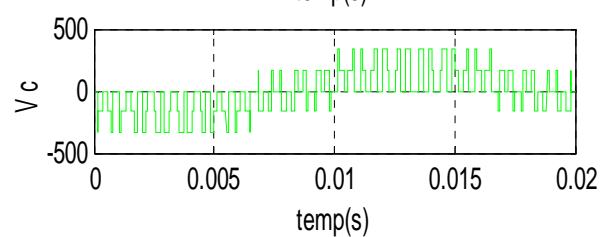
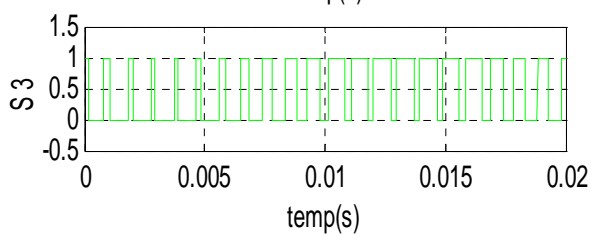
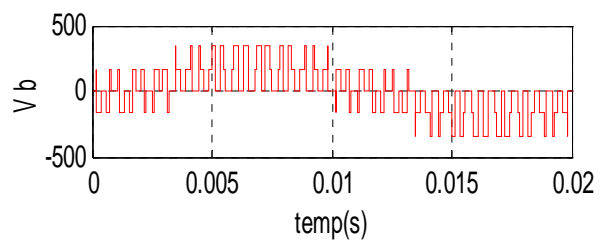
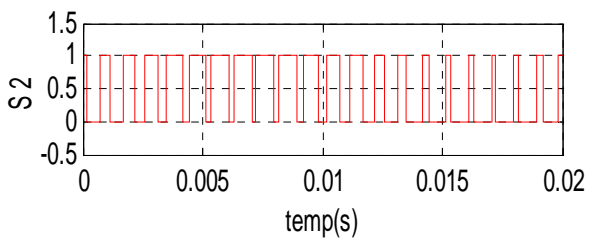
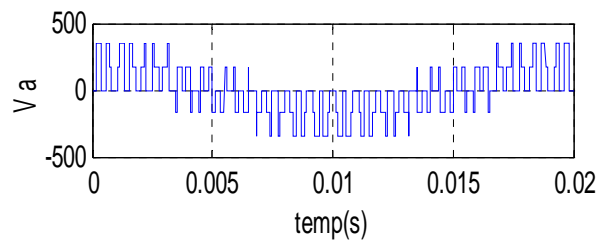
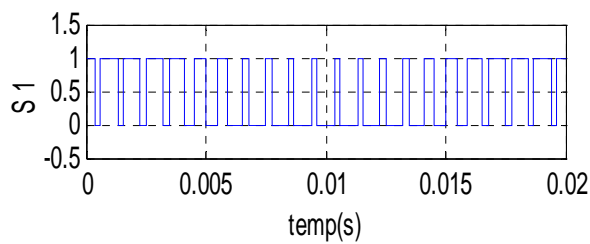
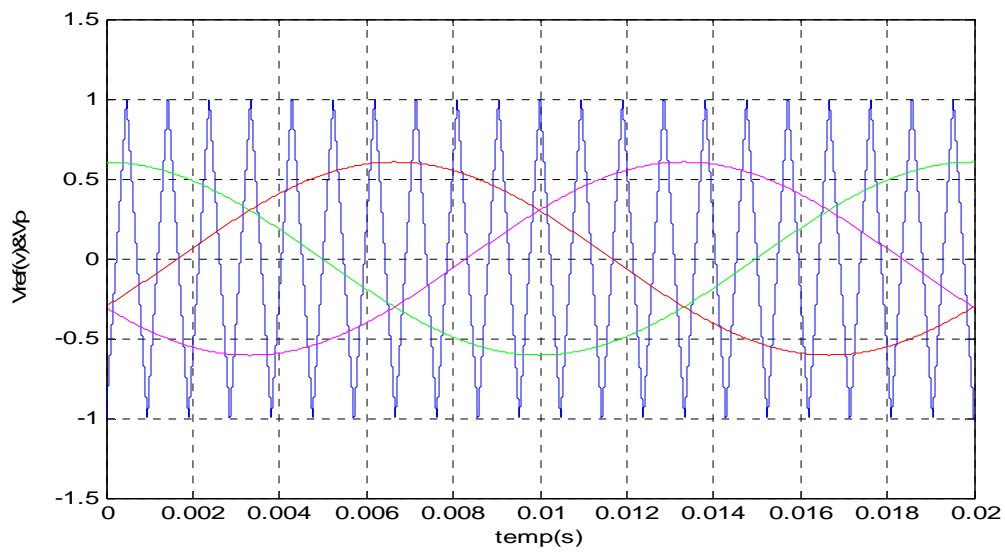


Figure II.14 Brochage du pic16F877A

- Vitesse d'exécution allant jusqu'à 20MHz permettant l'exécution rapide du programme.
- Une mémoire **EEPROM** pour sauver des paramètres de 256 octets « mémoire de données ».
- Une mémoire morte « **ROM** » mémoire programme de type FLASH de 8 K mots de 14 bits.
- 8 Convertisseurs analogiques numériques sur 10 bits.
- Un Chien de garde WDT.
- 33 Entrées et sorties .
- Chaque sortie peut débiter un courant maximum de 25 mA .
- Une interface de communication série asynchrone USART
- Une tension d'alimentation entre 2V et 5.5 V

II.9. Signaux de commandes de l'onduleur :



(a) Signaux de commande des trois bras de l'onduleur

(b) Signaux de sortie de l'oduleur

Figures II.15 diagrammes des signaux de commandes des interrupteurs constituant l'onduleur.

II.10 Les différentes alimentations :

II. 10. 1. Alimentation de l'étage de puissance :

- Dans notre réalisation nous avons utilisé comme entrée pour la tension de secteur 220v
- Pour l'alimentation de puissance on utilise des condensateurs en parallèle et transformateur torique (la partie filtrage)
- Un redresseur de cette tension va se faire dans un pont de diode incorporé dans le boitier comportant le pont H
- La tension redressée chargera à travers une résistance de 50Ω une capacité de 220μf en 340v, la résistance va servir à limité le courant de charge, le courant maximal sera alors

$$I = \frac{U}{R}$$

U= 340v → $\frac{340}{50} = 6.8A$

R=50Ω

Le temps de charge de la capacité à 64% de sa valeur maximal est

$$\tau = R.C = 50 \times 220 \cdot 10^{-6} = 0.11s$$

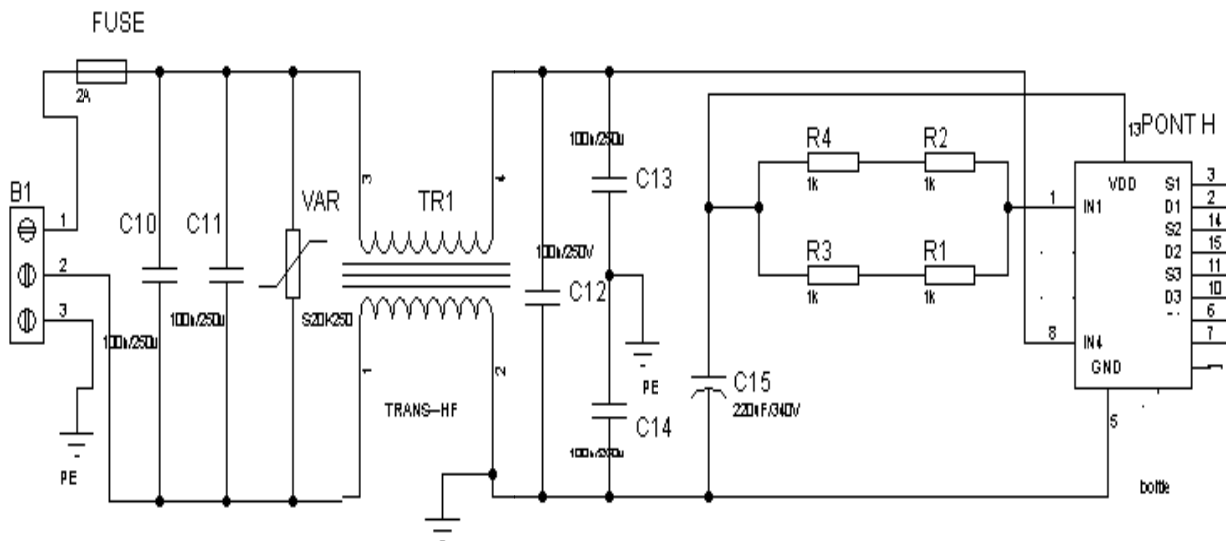


Figure II.16 alimentation de l'étage de puissance

II.10.2 Alimentation de l'étage de commande :

Pour alimenter les différentes parties de l'étage de commande de notre montage, nous avons opté pour une alimentation linéaire qui convertira la tension alternative en une tension continue stabilisée. Comme le montre la figure (12), l'énergie électrique est fournie par un transformateur abaisseur donnant à sa sortie une tension alternative de 12volt, ce signal sera redressé en double alternance par le pont de diode, puis filtré par des condensateurs. La tension 12v est obtenue par régulateur LM7812 et la tension +5v par le régulateur LM7805. La tension -12v est obtenue à partir d'un régulateur de tension négative LM7912

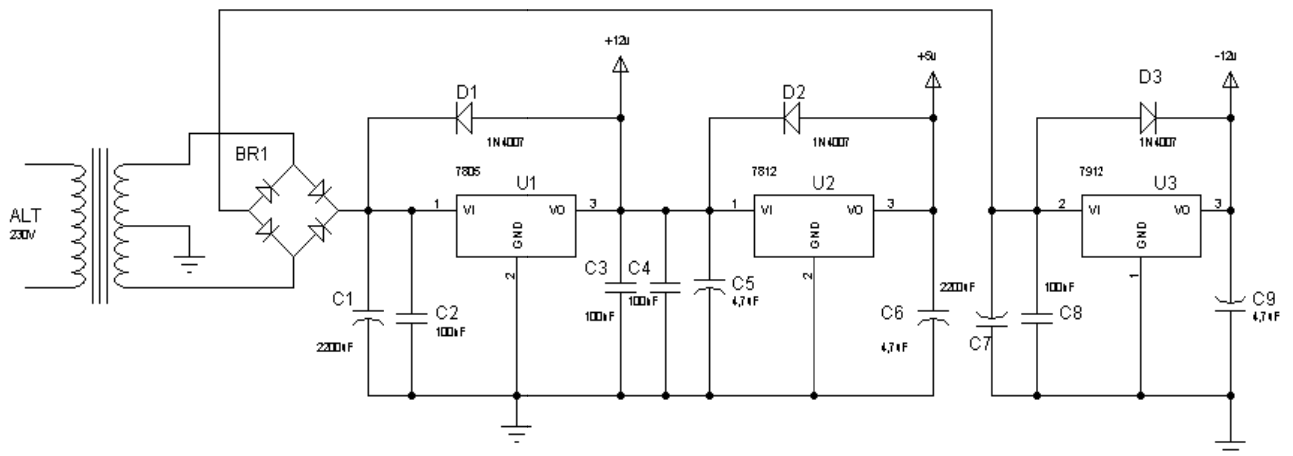


Figure II.17 Alimentation de l'étage de commande

II.11. Driver de MOSFET et IGBT :

Le IR2111 permet de commander des transistors de type MOSFET et IGBT à forte tension et à vitesse élevée, il possède deux signaux de sortie (haut et bas) utilisés pour la commande d'un bras de pont. Il permet aussi de résoudre le problème du temps mort.

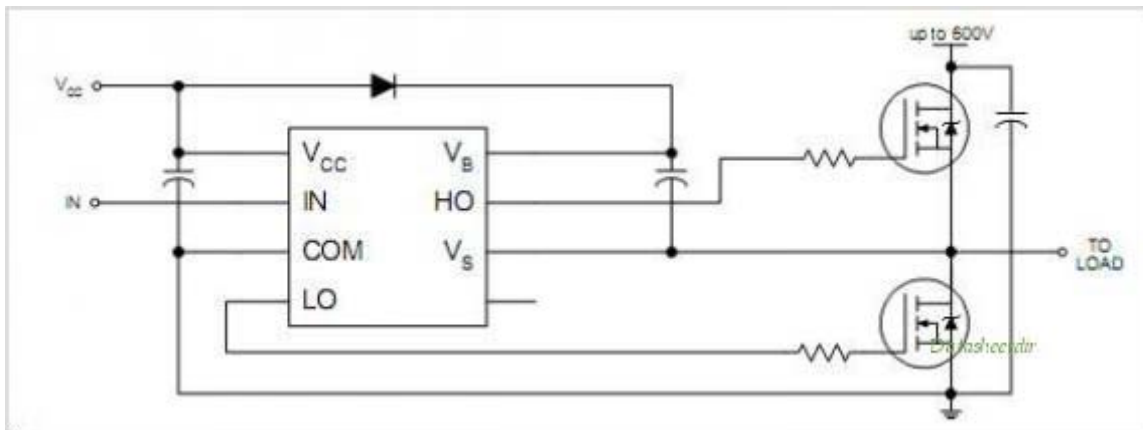


Figure II.18 driver pour commande moteur

D'après la figure ci-dessus on constate que Q1 est piloté à partir de la sortie HO (High output) à travers une résistance de grille de $100\ \Omega$, alors que Q2 est piloté à partir de la sortie LO (Low output).

On obtient une commande complétée par un bras de l'onduleur, le similaire driver est utilisé pour commander les deux autres bras de l'onduleur.

II.11.1 Caractéristiques d'un driver :

Le driver est une carte d'interface entre une commande électronique et un composant de puissance.

Les caractéristiques essentielles d'un driver peuvent être résumées comme suit :

- isolement galvanique entre l'étage de commande et l'étage de puissance. Cet isolement permet la protection de la carte du processeur contre la haute tension du convertisseur en cas de destruction d'un composant du driver. L'autre intérêt de l'isolement est la possibilité de transmettre des signaux pour des composants fonctionnant à des potentiels différents.
- retard à la transmission du signal de commande le plus faible possible, afin de permettre le fonctionnement en haute fréquence;
- montage de sortie du driver pour que l'effet Miller du transistor MOSFET ou IGBT soit complètement surmonté; il est alors nécessaire que le courant fourni reçu à la grille puisse charger/décharger la capacité équivalente d'entrée le plus rapidement possible

Mise en œuvre d'un temps « mort », noté **td**, réglable et compatible avec les durées Ton et Toff de chaque composant. On choisit généralement : $td > 2 \times \sup(\text{ton}, \text{toff})$.

II.11.2 Alimentation BOOTSRAP :

L'alimentation bootstrap composé des diodes et capacités ,c'est ce que résume dans la figure(II.19).

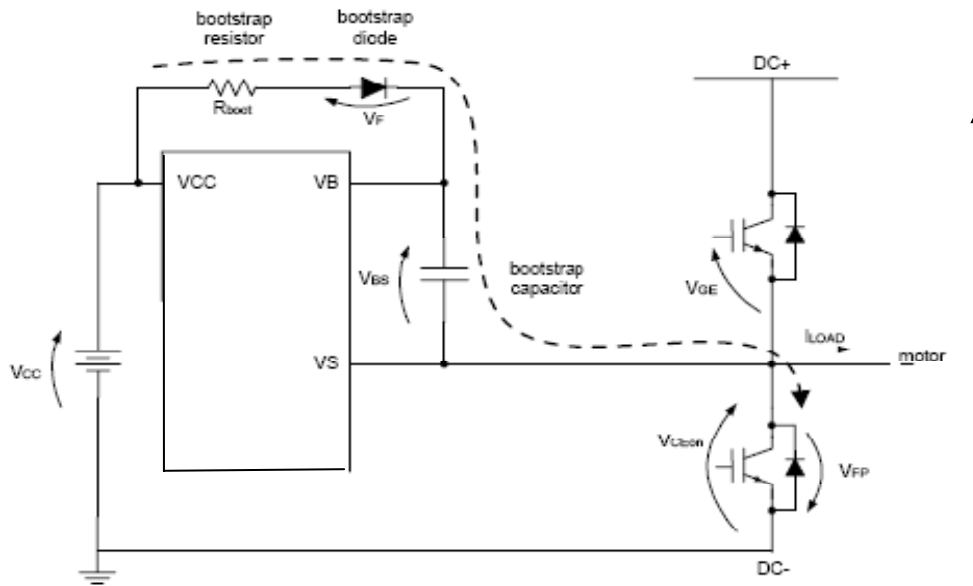


Figure II.19 Alimentation bootstrap

II.11.2.1 Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement est basé sur la création d'une alimentation flottante pour l'interrupteur « High – side » par stockage d'énergie dans un élément capacitif, l'interrupteur « low- side » conduit, la capacité chargée a travers la diode, qui doit être de commutation rapide, par la tension d'alimentation continue V_{cc} . Quand l'interrupteur « low – side » se bloque, la commande rapprochée est alimentée par la charge stockée dans la capacité. Pendant cette phase la diode supporte la tension totale. C'est pour cette raison qu'une diode capable de supporter la tension nominale du convertisseur est requise.

Cependant cette solution a besoin d'une alimentation continue externe, le fonctionnement est impossible en régime statique et déconseillées pour les applications basses fréquences.

II.11.2.2 Rôle d'élément constituant le circuit bootstrap :

➤ Résistance :

Elle placée en série avec la diode d'amorçage afin de limiter le courant à la charge de condensateur de démarrage, car le condensateur doit être chargé rapidement pour que la tension à ses bornes atteigne 95% de la valeur finale, L'augmentation de la tension de charge ne doit pas dépasser $5\text{v}/\mu\text{s}$. La résistance bootstrap doit avoir la valeur de $2,8\Omega < R_{boot} < 16\Omega$

➤ Diode :

La diode doit être en mesure de bloquer une tension assez importante qui peut atteindre 560v en tension continue. Elle doit être un dispositif de récupération rapide ($t_{rr} > 100\text{ns}$) afin de minimiser la quantité de charge réinjectée du condensateur de démarrage dans l'alimentation de V_{cc} .

➤ Capacité :

Le condensateur de démarrage doit être en mesure de fournir la charge nécessaire au fonctionnement des transistors et de conserver sa pleine tension, et pour cela un dimensionnement du condensateur est nécessaire par la formule ci-dessous

$$C \geq 2 \left[\frac{Q_{bs}}{V_{cc} - V_f - V_{LS} - V_{\min}} \right]$$

$$Q_{bs} = 2Q_g + \frac{I_{qbs(\max)}}{f} + Q_{ls} + \frac{I_{Cbs(leak)}}{f}$$

V_{cc} : tension d'alimentation continue

V_f : chute de tension au niveau de la diode bootstrap

V_{ls} : chute de tension au niveau de transistor Q2

V_{min} : tension minimum entre V_s et V_B

Q_g : charge de la grille au niveau de transistor Q1

Q_{ls} : charge requise qui est de 5nC pour une tension (500/600v) et de 20nC pour 1200v

I_{cbs} : courant de fuit de condensateur bootstrap

I_{qbs} : courant de repos du circuit bootstrap

II.12. Isolation galvanique :

De nombreux problèmes sont rencontrés lors du fonctionnement en liaison directe entre le circuit de commande et le circuit de puissance, tels que les retours de masse, les bruits électriques et le risque de destruction du circuit de commande par retour de courant de la charge. Afin d'éviter tout problème de ce genre, le circuit de commande doit être électriquement isolé du circuit de puissance, cette isolation est réalisée par un optocoupleur.

II.12.1 Principe d'isolation

L'isolation se fait par l'utilisation de deux sources d'alimentation ainsi que deux masses différentes, donc il n'y a aucune connexion électrique entre les circuits cités. L'isolation galvanique peut être réalisée par une liaison électromagnétique, avec un transformateur par exemple, ou par une liaison lumineuse, avec l'optocoupleur qu'on a utilisé pour notre projet.

II.12.2 L'optocoupleur :

Un optocoupleur est un composant qui permet **d'isoler** «galvaniquement» deux circuits. Le transfert d'information entre le circuit 1 et le circuit 2 se fait par **transfert** d'intensité lumineuse. En effet lorsque une intensité I_f traverse la diode émettrice infrarouge (Ou autre) celle-ci émet une intensité lumineuse qui est captée par un récepteur (Photodiode ou phototransistor). Le récepteur (Ici un phototransistor) laisse alors passer plus ou moins une intensité de collecteur

L'optocoupleur que nous avons utilisé est le CNY17.

II.13. Introduction de temps mort :

Pour éviter le court circuit dans un bras de l'onduleur, il suffit de retarder l'allumage des transistors, pour être sûr que le transistor de la partie opposée ne conduira pas au moment de la transition. Une solution est de placer des drivers qui se chargeront d'introduire ce temps mort.

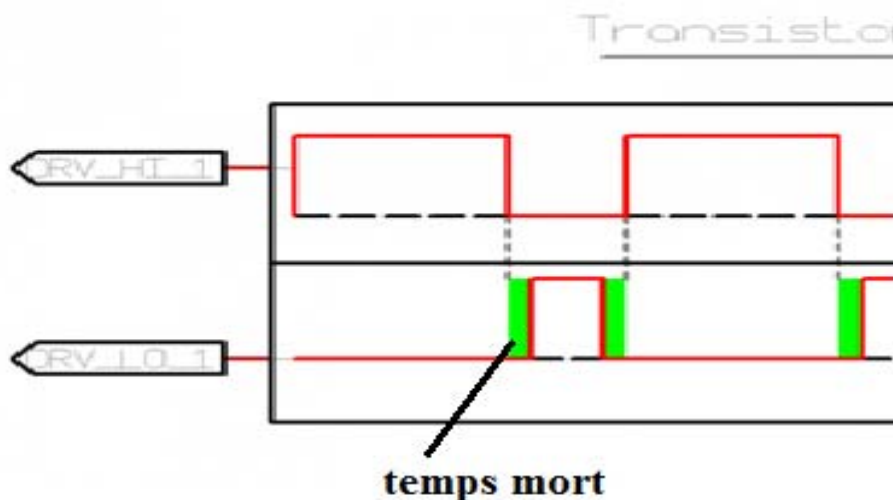


Figure II.20 Temps mort

Chaque composant de puissance exige une certaine forme de signal pour être commandé comme interrupteur, c'est le cas des transistors MOS ou IGBT où leurs control s'effectue le plus souvent par des drivers.

II.14. Circuit de démarrage :

Il sert à démarrer le moteur d'une manière progressive (soft Start), mais aussi, à éviter les changements brusque de la tension lors de la variation de la consigne, la tension V_s suit la consigne mais à retard variable ajustable grâce au potentiomètre RV1.

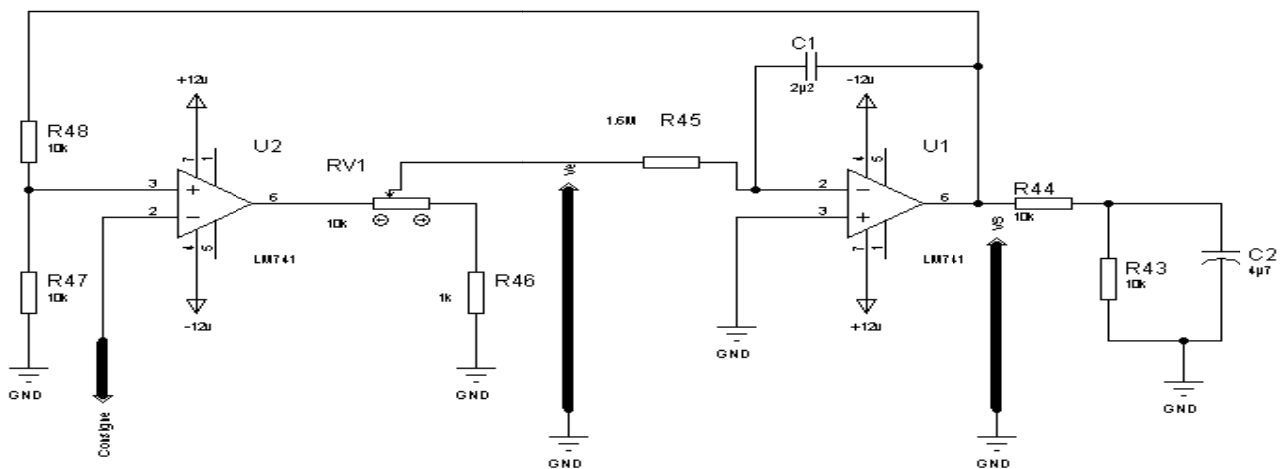


Figure II.21 Circuit de démarrage

$$V_s = \frac{1}{R_{45}C_1} \int v_e dt$$

II.15. La sécurité:

Protection du variateur en cas de :

- Les courts-circuits (Ph/Ph; Ph/T)
- Surtensions et Sous-tensions du réseau
- Les échauffements excessifs

Protection du moteur en cas de :

- Surcharge
- Coupure de phase
- Les échauffements excessifs

La protection thermique est le plus souvent intégrée au moteur. Pour le variateur une protection en amont par disjoncteur magnétique rapide ou fusibles ultra-rapides est nécessaire.

➤ **Le contrôle du courant :**

Le contrôle du courant continue d'entrée est nécessaire pour la mesure de la puissance absorbée, la protection contre les court - circuits .Comme il y 'a trois courants de phases à surveiller, il est plus judicieux de surveiller le courant continue d'entrée de l'étage de puissance.

➤ **Capteur de courant ACS714 :**

Pour la mesure du courant, nous avons utilisé le capteur de courant à effet hall de référence ACS714, qui fonctionne avec une tension continue de 5V et fournit une sortie analogique fonction de l'intensité circulant dans le circuit de mesure, l'intensité mesurée peut atteindre 5A.

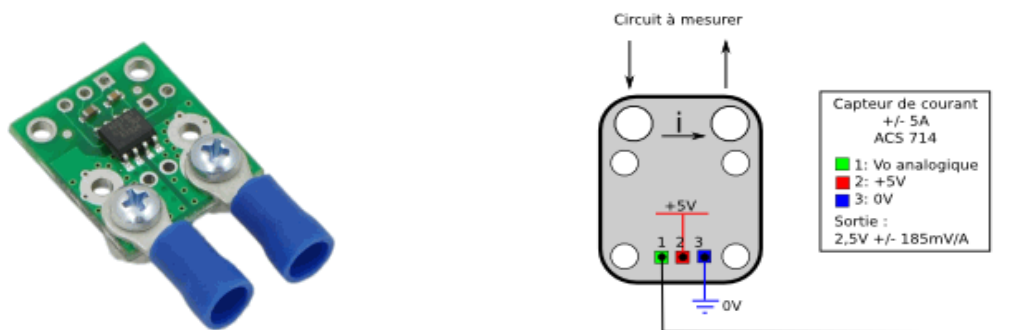


Figure II.22 Capteur de courant ACS714

➤ **La cellule à effet Hall :**

La figure suivante représente une cellule à effet Hall dans un champ magnétique B_z .

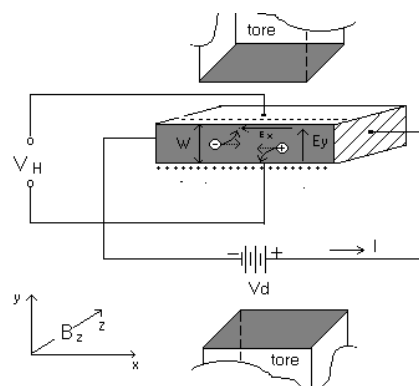


Figure II.23 fonctionnement de la cellule à effet HALL

Un champ électrique appliqué suivant l'axe x grâce à la tension V_H et un champ magnétique B_z produit par un tore de ferrite dont l'entrefer contient cette même cellule. Par l'application de la loi de **LORENZ** : $F=qvXB_z$, On montre que les charges de même signe se cumulent sur les faces parallèles au plan OB_zx . La quantité de charge est proportionnelle à B_z .

Si le tore de ferrite est entouré d'un fil conducteur de courant I d'entrée du convertisseur, il produit dans l'entre-fer un champ B_z qui est proportionnel à I .

La cellule utilisée est alimentée par une tension continue de 12V. Un courant de 10 A produit une tension d'environ V_H de 10V.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé les différentes caractéristiques de chaque bloc de notre variateur de vitesse, ce qui nous permettra de bien les utiliser dans la réalisation.

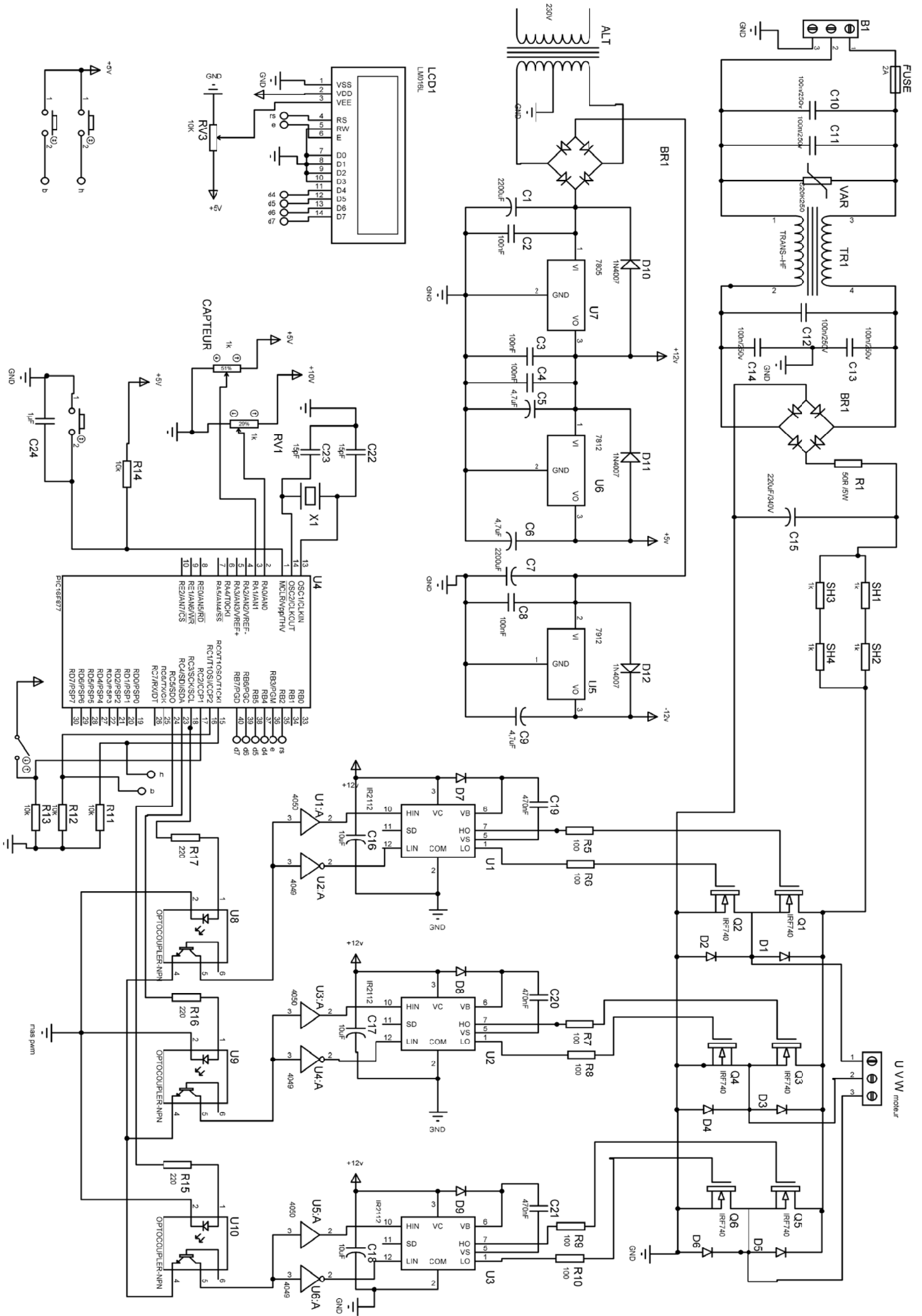


Schéma électrique du variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé



Chapitre III
Etude et conceptions logiciels

III.1 Introduction

Aujourd'hui les PIC sont très utilisés dans plusieurs domaines. C'est ainsi que la programmation des PIC se fait par plusieurs manières (assembleur, compilateur C, micro basic...). Dans notre cas nous avons utilisé le compilateur CCS du langage C. En premier lieu nous écrivons d'abord sous forme littéraire, après la compilation un fichier hexadécimale sera créé automatiquement et sera transféré vers la mémoire du PIC par le logiciel MPLAB.

III.2 Le langage C et son compilateur CCS

Le langage "C" a fait son apparition en 1972 pour le développement du système d'exploitation Unix. Il est devenu un standard de la norme ANSI en 1988 (Norme C-AINSI). Depuis quelques années il a fait son entrée dans le monde des microcontrôleurs. Il permet de bénéficier d'un langage universel et portable pratiquement indépendant du processeur utilisé. Nous utilisons « un des compilateurs C » du commerce spécifique à la programmation des « microcontrôleurs », le compilateur C de chez CCS.

III.3. Le compilateur C de CCS dans sa version PWHHD :

Le compilateur C de la société CCS (Custom Computer Services : www.ccsinfo.com) est un compilateur C adapté aux microcontrôleurs PICs. Il ne respecte pas complètement la norme ANSI, mais il apporte des fonctionnalités très intéressantes pour notre projet :

- bibliothèque de fonctions compatibles de tous les PIC supportés pour ce qui est des interfaces RS 232, I2C, des entrées/sorties parallèles et de gestion précise des délais .
- intégration avec l'environnement de développement MPLAB permettant d'utiliser le simulateur contenu dans ce dernier pour la mise au point des programmes écrits en C.
- accès à toutes les sources matérielles internes des PIC au moyen de fonctions en C très simples d'emploi.
- support des types entiers sur 1, 8, 16 et 32 bits et des types flottants sur 32 bits.
- les constantes utilisées par le programme sont sauvegardées dans la mémoire de programme.
- les codes sources des pilotes de très nombreux circuits externes standards sont fournis et sont prêts à être intégrés dans les applications.
- fenêtres de visualisation de la cartographie mémoire utilisée, des arbres d'appels de fonctions et des statistiques d'utilisation de la mémoire de microcontrôleur.
- information de configuration du circuit utilisée incluse dans le code source afin de gérer correctement la programmation des bits de configuration.

La version la plus intéressante pour notre application à base de la famille 16xxx est évidemment la version PCW. En effet, elle intègre un environnement de développement complet, ainsi qu'un assistant de création de projet facile d'emploi.

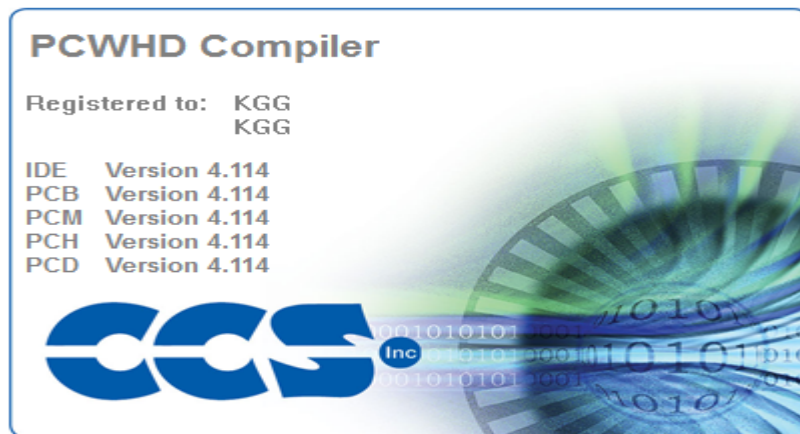


Figure III.1 PCWHD Compiler

III.4. Création d'un projet :

Dans le menu « Project / New / Pic Wizard ».

Une fenêtre s'ouvre alors pour permet sélectionner un nom de projet du fichier source principale

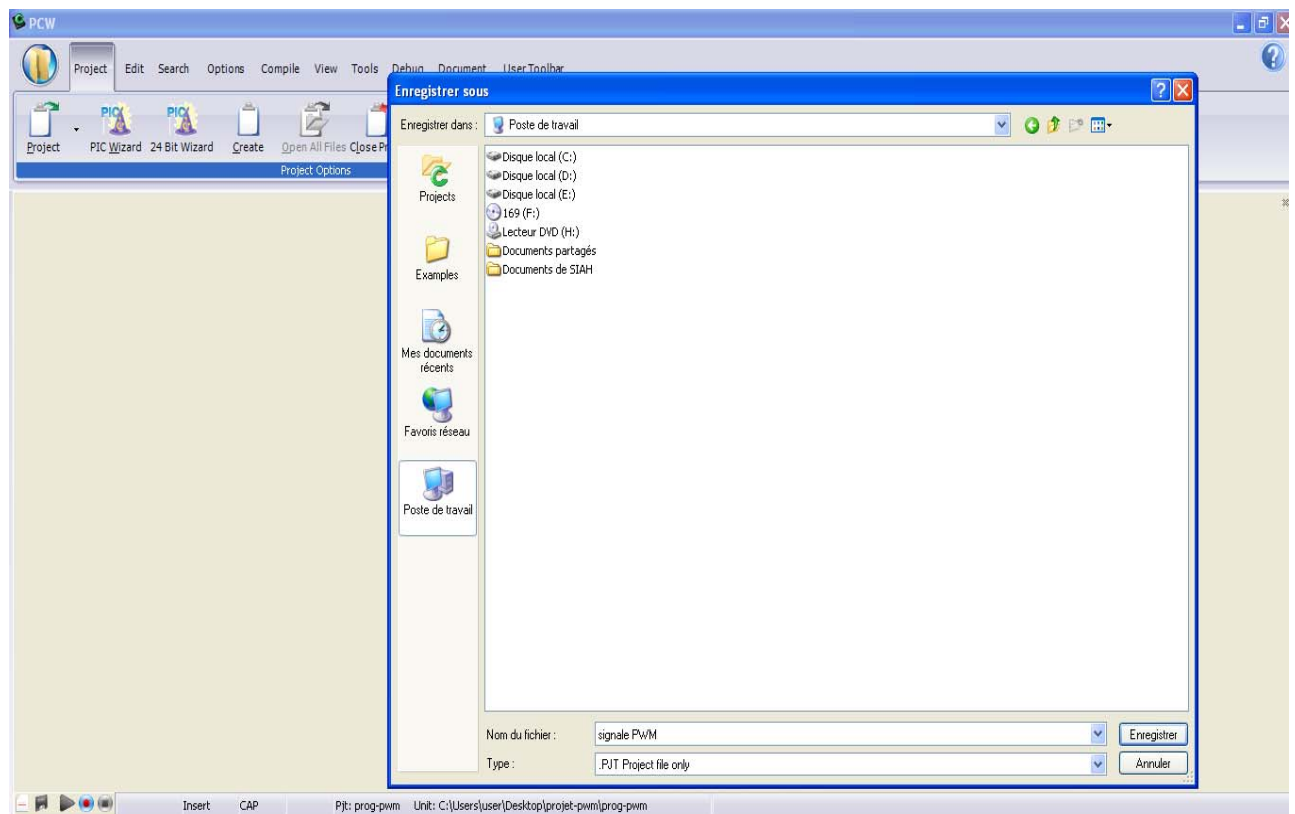


Figure III.2 Choix du répertoire et le nom du nouveau projet

Une boîte à onglet apparaît, suivant les options choisies, des lignes de code seront générées automatiquement, entre autres :

- type de microcontrôleur (pour nous : PIC 16F877A), type d'oscillateur : XT, fré : 2000000 Hz,...etc.

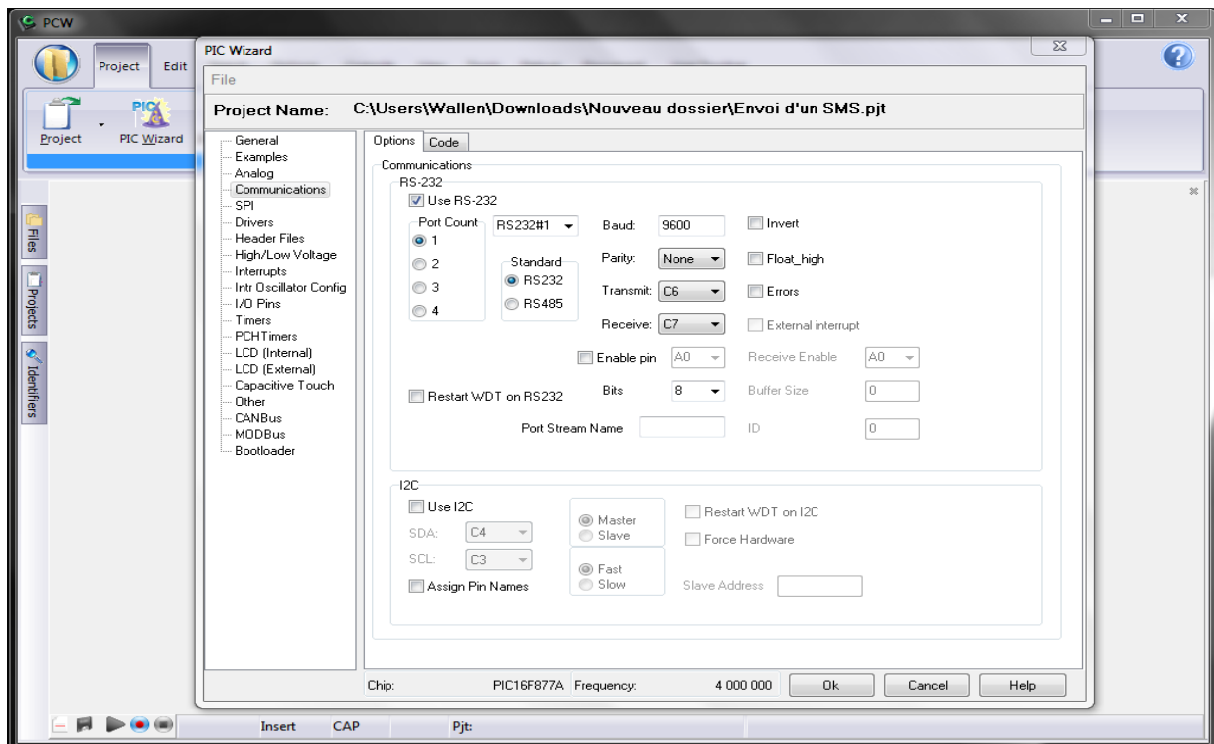
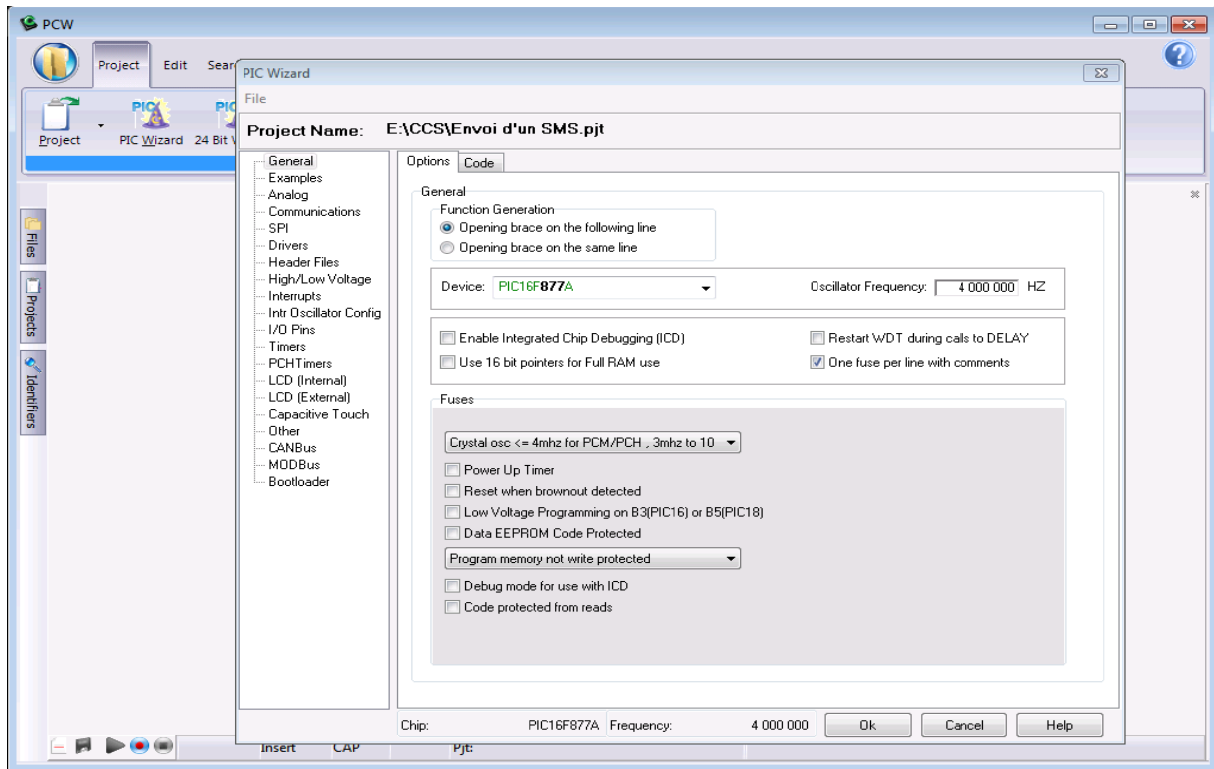


Figure III.3 : fenêtres de configuration

III.5 Edition d'un programme :

Vous pouvez maintenant éditer votre programme qui sera par exemple de générer un signal PWM à la branche RC3 du pic 16F877A lorsqu'on varie la fréquence par le potentiomètre ou bien le bouton poussoir, une fois le programme écrit, on passe à l'aide de la touche F9 à la compilation, le fichier « PWM.hex » sera généré, comme le montre la figure suivante :

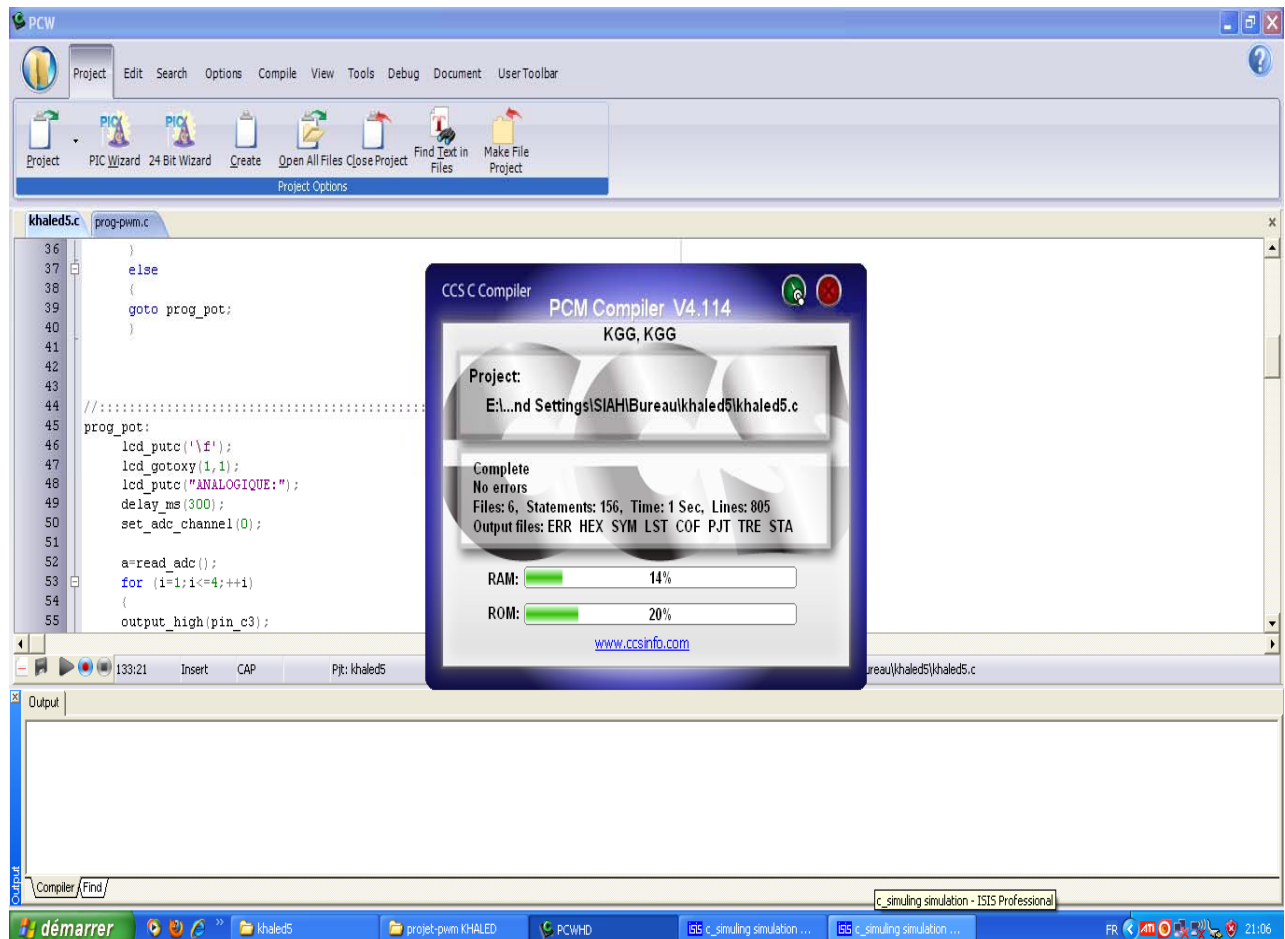


Figure III.4 Compilation d'un petit programme

III.6 Téléchargement de programme avec MPLAB :

Le logiciel MPLAB est un outil de développement pour programmer des microcontrôleurs de type PIC de la famille Microchip. Il est mis au point cette même société. Une fois le programme compilé, le fichier « *.hex » généré pourra être téléchargé dans le PIC à l'aide d'une interface de programmation universelle piloter par l'utilitaire PIC STAR intégrée dans le logiciel MPLAB avec lequel on a compilé notre programme suivant ces différents étapes :

➤ Configuration de programmeur

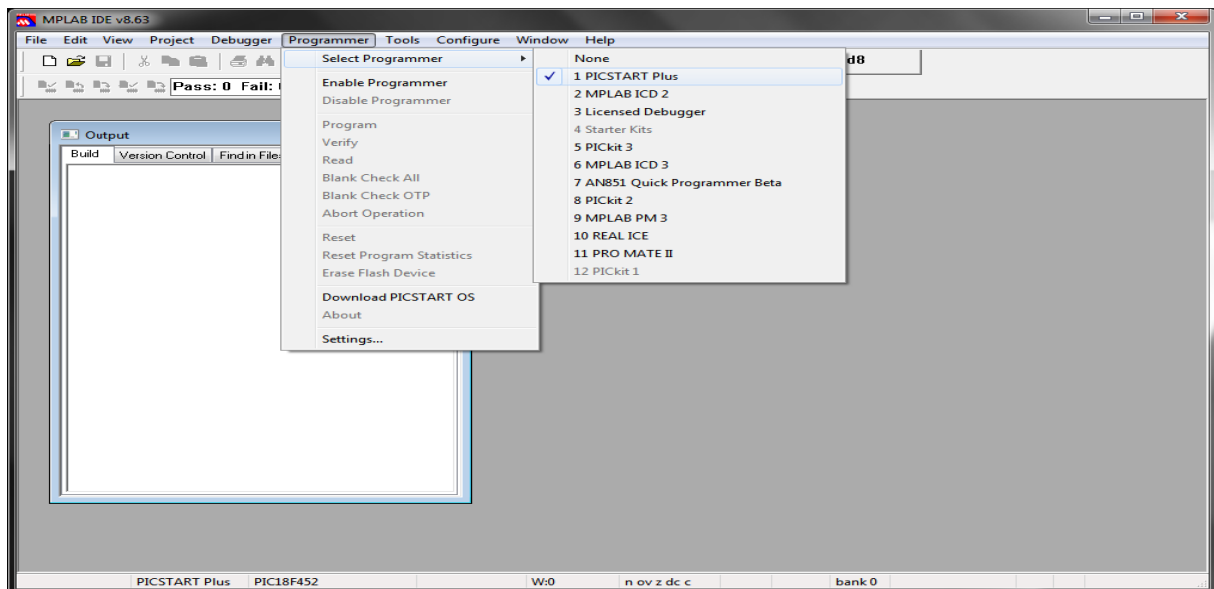


Figure III.5 Configuration du programmeur

➤ Sélectionner le PIC 16F877A

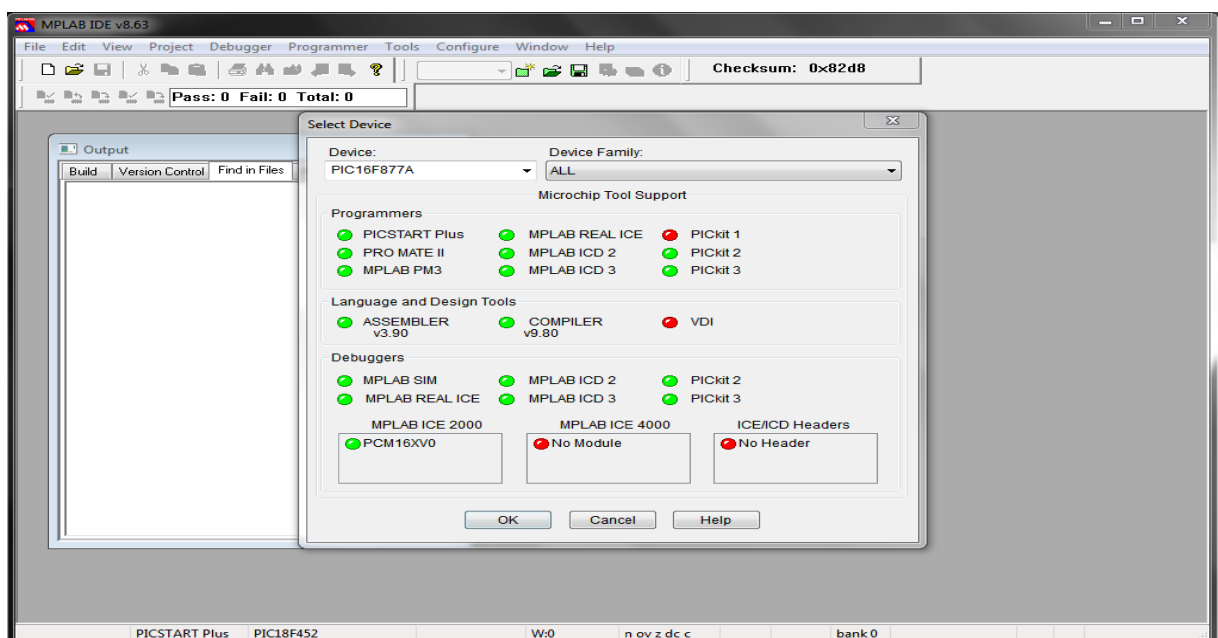


Figure III.6 Sélection du pic

➤ **Importer le fichier et programmer**

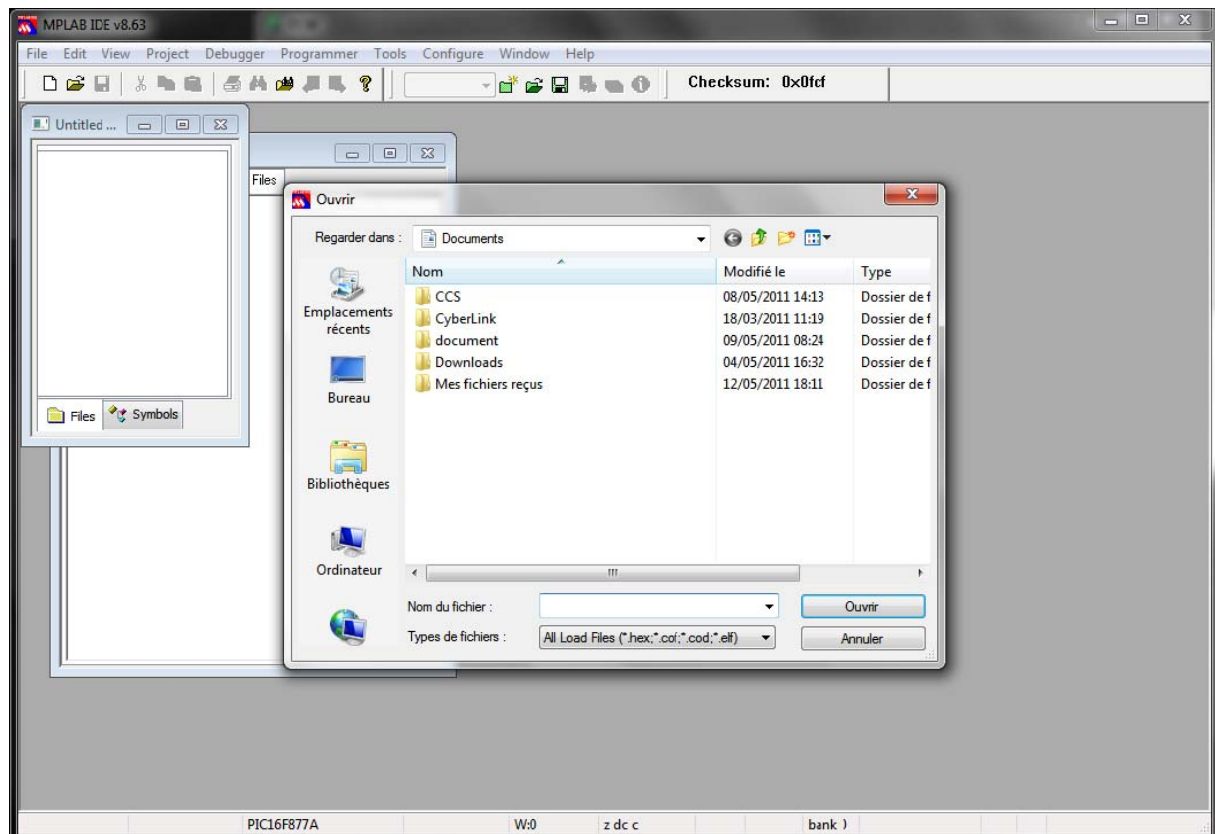
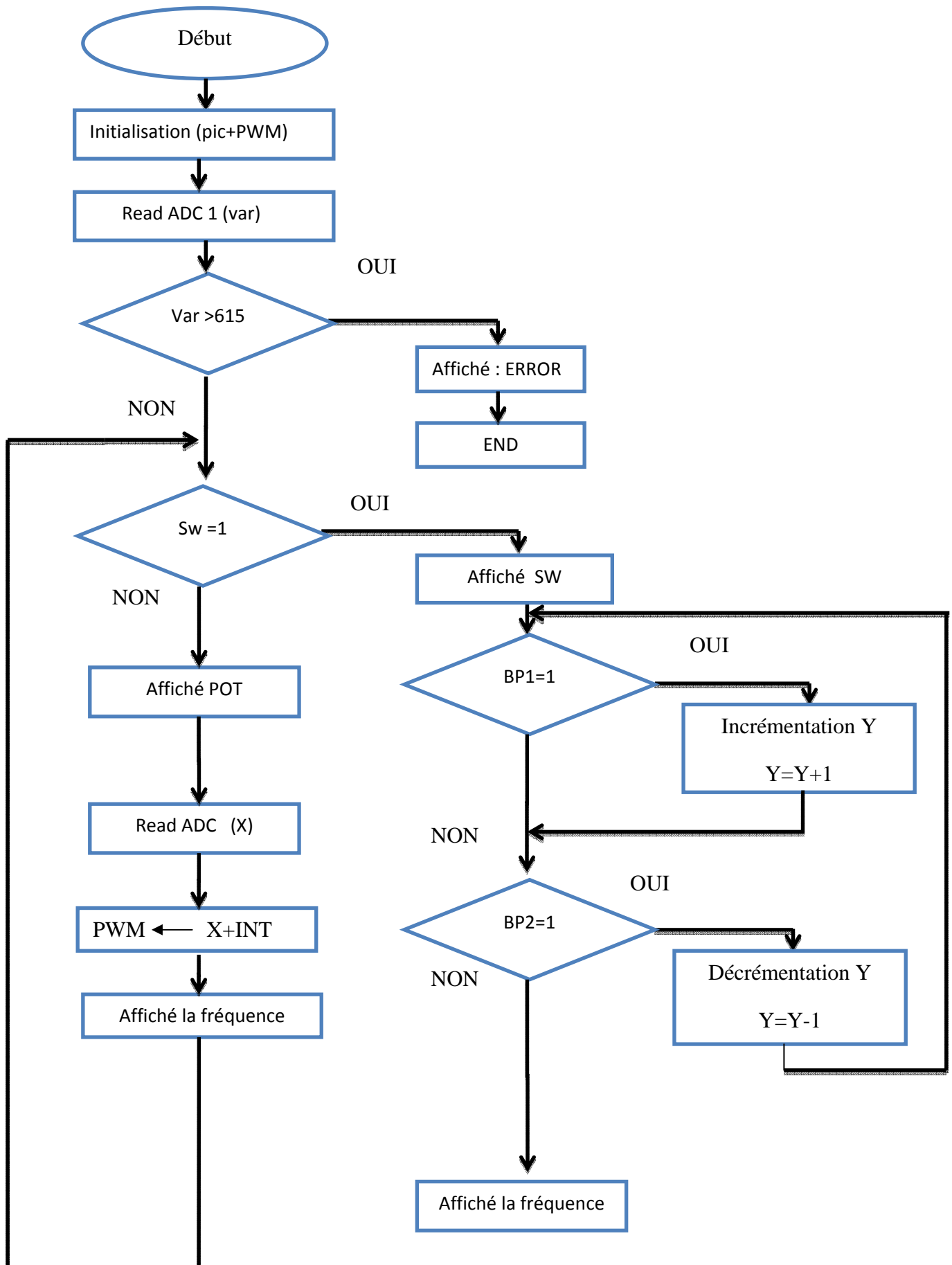


Fig. III.7 Importation du fichier (*.hex)

III.7 Programme de commande

Nous exposerons le fonctionnement du programme de commande en donnant l'organigramme principal et le déroulement des différentes étapes.

III.8. Organigramme principale :



III.9. Interprétation du programme de commande :

Le fonctionnement général du programme est représenté dans l'organigramme précédent, dont le déroulement est basé principalement sur la gestion des boutons poussoirs et les potentiomètres.

- Bouton sélection SW.
- Bouton d'incrémenter BP1.
- Bouton décrémenter BP2
- Potentiomètre.

III.9.1 Le bouton poussoir de sélection SW :

Il permet de sélectionner le mode analogique ou bien le mode numérique.

III.9.2. Le Bouton poussoir incrémenter :

Il est opératif après avoir choisi le mode d'entrée numérique:

- si l'opérateur a choisi d'augmenter la vitesse du moteur, ce bouton permet d'augmenter le facteur variable qui est rien d'autre que la fréquence.

III. 9.3. Bouton poussoir décrémenté :

Il est aussi fonctionnel après avoir sélectionné l'entrée numérique, il diminue la fréquence.

III.9.4. Potentiomètre :

Après avoir choisi le mode d'entrée analogique, le potentiomètre permet d'augmenter ou bien diminuer la vitesse du moteur.

Conclusion :

Ce chapitre expose les différentes étapes de programmation du PIC 16F877A, dans lequel nous avons implanté le programme qui va nous permettre de générer le signal PWM avec les paramètres recommandés.



Chapitre IV
Simulation et réalisation pratique

IV.1. Introduction :

Après études générales des différents éléments constituant nos cartes électroniques, on passe maintenant à la réalisation physique de notre projet. Dans cette partie on touchera aux différents logiciels parmi eux "Proteus Design " qui est une CAO électronique développé par la société Labcenter Electronics qui permet de dessiner des schémas électroniques, de les simuler puis réaliser le circuit imprimé correspondant pour la création de nos cartes. "Proteus Design " possède d'autres avantages :

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet

La suite se compose de nombreux outils (ISIS, ARES) ainsi on visualisera leurs schémas et circuits imprimé respectives.

IV.2. Simulation de la réalisation :

IV.2.1. Présentation d'ISIS de proteus :



Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits⁶. Il est également capable de simuler le fonctionnement du PIC avec tous les périphériques de la carte d'acquisition. L'utilisation du logiciel permet de mieux visualiser le bon déroulement du système ainsi que d'avoir une idée claire sur la partie matérielle et la conception des circuits imprimés. Il nous permet de limiter les essais réels.

IV.2.2. Essai de simulation :

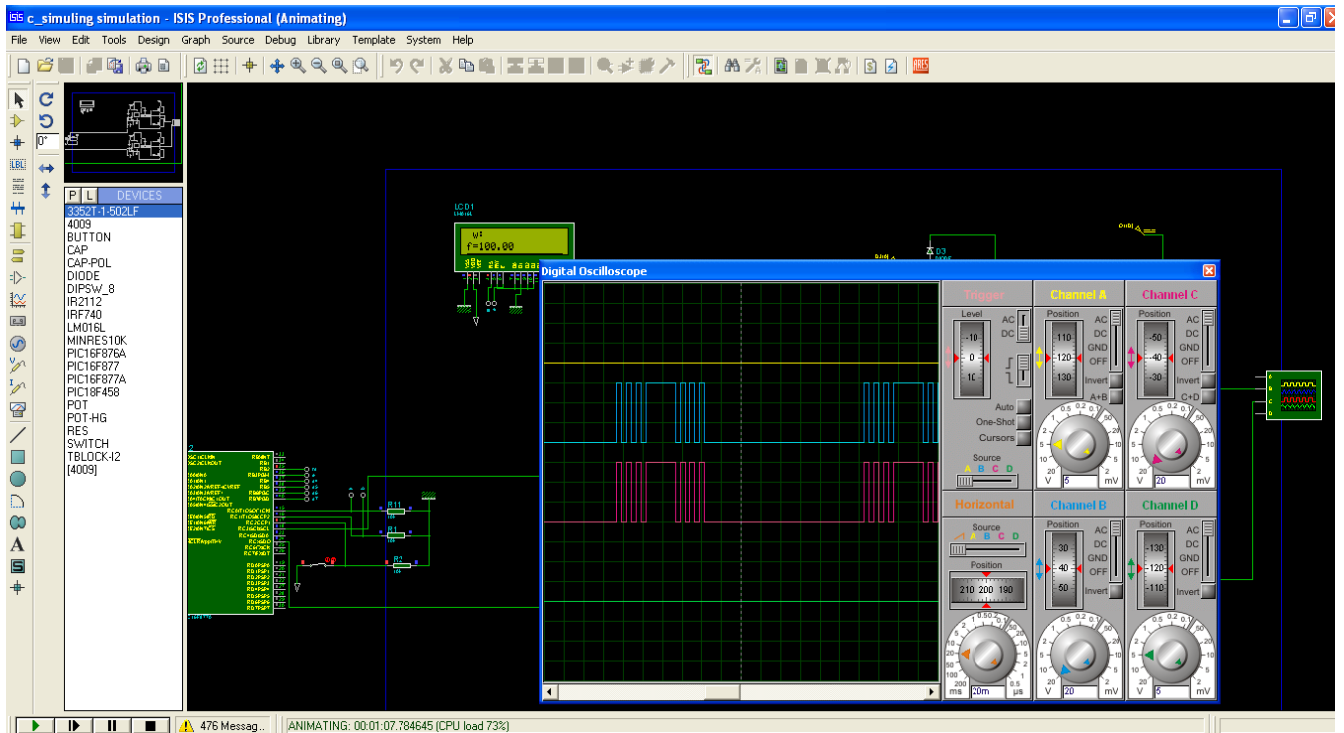


Fig. IV.1 Schéma de simulation

IV.2.3. Présentation de l'ARES de proteus :



Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le circuit imprimé de la carte électronique. , ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage en mode automatique ou manuellement. Il est possible d'utiliser ARES sans avoir créé au préalable un schéma dans ISIS. Cet outil permet de réaliser des circuits de faible complexité en plaçant les composants et en traçant les pistes directement. Dans ce logiciel vous pouvez également créer de nouveaux boîtiers et les placer dans une bibliothèque.

IV.2.4. Schéma électrique et le circuit imprimé :

❖ Schéma électrique :

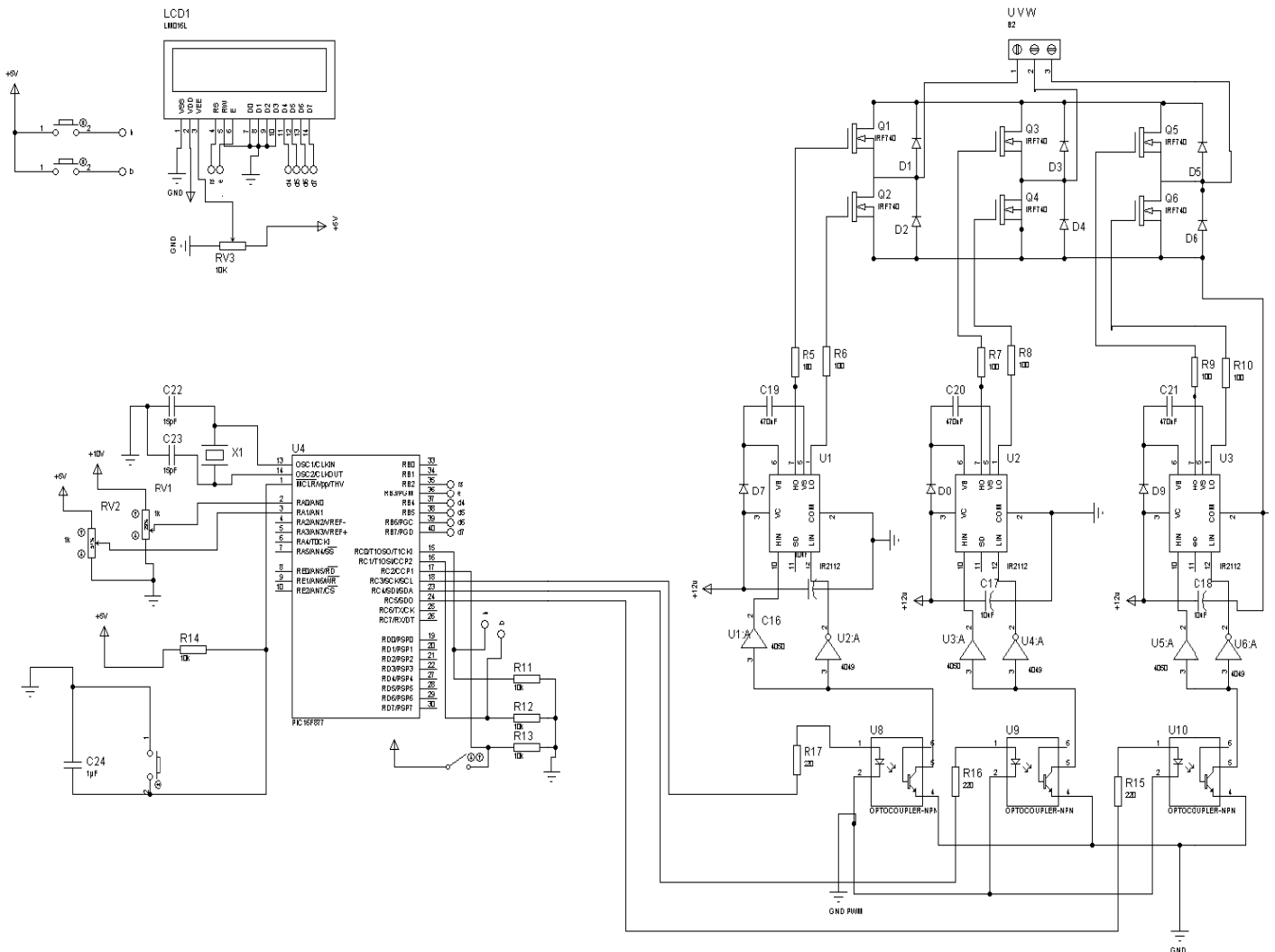


Fig. IV.2 Circuit électrique de la carte

❖ circuit imprimé :

➤ Le typon :

Pour aboutir au typon, nous avons directement chargé la liste et crée des composants de proteus (logiciel d'électronique sur lequel on a schématisé et simulé notre circuit). Dans PCB ou nous avons arrangé manuellement ces composants de manière à obtenir une carte a simple face. Puis nous avons effectué le routage. Une fois terminé, nous avons imprimé le typon sur papier calque

➤ **L'insolation :**

Dans cette étape, on fixe le typon sur la face cuivrée, on met l'ensemble dans l'insolation ou ils' exposera aux ultraviolets (UV), et on fixe la durée de l'insolation.

➤ **Le gravure :**

Cette étape consiste à plonger la plaque obtenue après insolation dans le révélateur pour éliminer la résine exposée aux UV après lavage de la plaque avec de l'eau, on la plonge dans un bain de perchlorure de fer afin d'éliminer le cuivre non protégé par la résine. Ensuite, on la remet dans l'insoleuse pour éliminer la résine restante. Enfin, on la replonge encore dans le révélateur.

A) Coté cuivre :

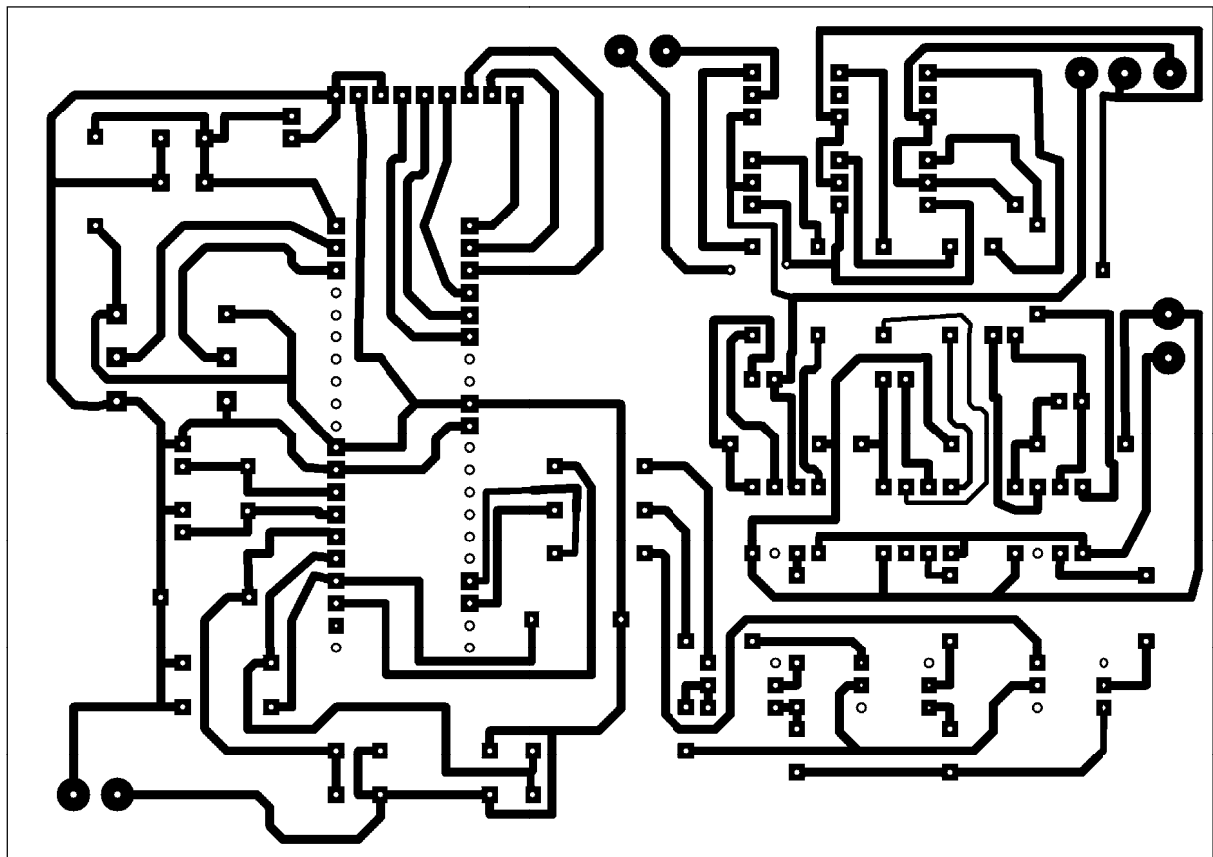


Fig. IV.3. Vue de typon sur ARES

➤ **Le perçage :**

On fixe la plaque sur une planche en bois afin d'éviter tout mouvement de cette dernière pendant le perçage, et pour chaque diamètre des trous on choisit le foret qui convient.

➤ L'implantation des composants :

Avant tout soudage, il faut d'abord vérifier qu'il n'y a pas court-circuit et la continuité des pistes

B) Coté composant

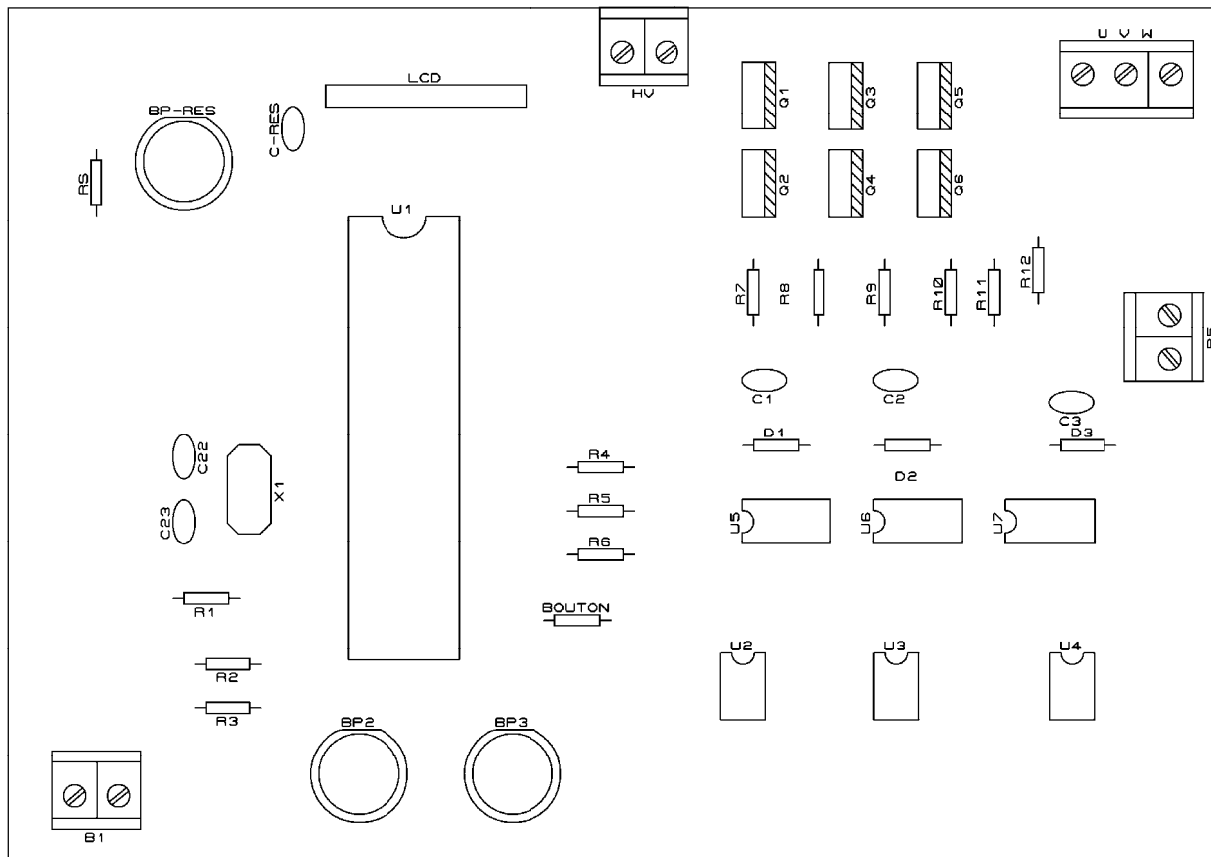


Fig. IV.4 Vue implantation des composants

C) La carte en 3D :

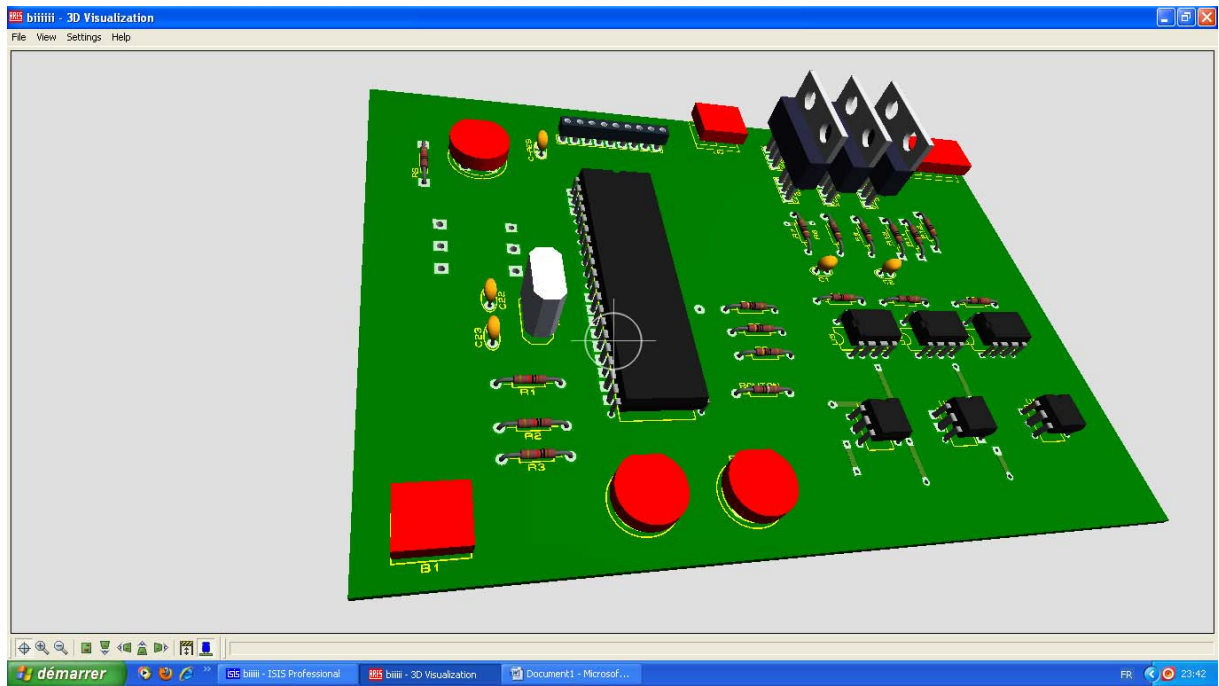


Fig. IV.5. Schéma d'implantation des composants

1

Conclusion Générale

Conclusion générale

Tout au long de notre étude, nous avons présenté et conçu un variateur de vitesse pour moteur asynchrone et cela en s'inspirant d'un variateur de siemens pour sa fiabilité.

Pour cette étude nous nous sommes intéressés en premier lieu aux moteurs asynchrones à cage d'écureuil, comme on a pu le constater dans le premier chapitre où nous avons étudié la constitution et le principe de fonctionnement du moteur. Ainsi que le schéma équivalent, en comparant le fonctionnement à vide et en charge du moteur, le courant à vide est compris entre 30% et 50% du courant en charge. La rotation du rotor est liée à la fréquence du champ magnétique qui a son tour dépend de la fréquence des courants statoriques.

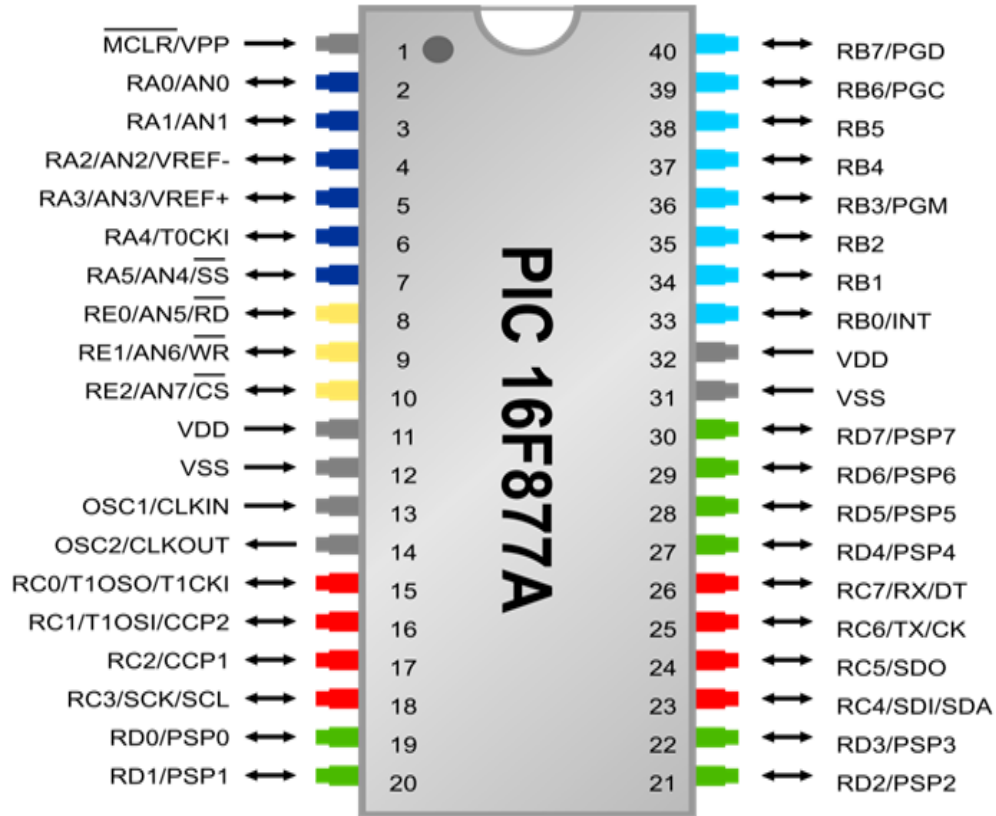
Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés à la technologie des variateurs existants en étudiant la circuiterie du variateur et mise en œuvre d'une commande dont le rôle principale est de générer trois signaux PWM à fréquence variable permettant d'agir sur l'onduleur, pour varier la vitesse de moteur. Le but de cette opération est d'extrapoler un circuit qui peut être bénéfique à l'industrie de notre pays afin de soulager sa dépendance technologique dans ce domaine.

Pour la partie logiciel, nous avons fait appel au compilateur CCS pour compiler le programme écrit en langage C puis à MPLAB pour l'injecter dans le pic. Nous avons également utilisé le logiciel PROTEUS 7.7 pour schématiser et simuler notre circuit et enfin, ARES 7.7 pour réaliser le circuit imprimé. Ainsi, la réalisation de notre projet nous a permis d'enrichir notre connaissance dans le domaine de l'électronique de puissance.

En fin, nous espérons que ce travail constituera une base pour les prochaines études concernant les variateurs de vitesse des moteurs asynchrones.

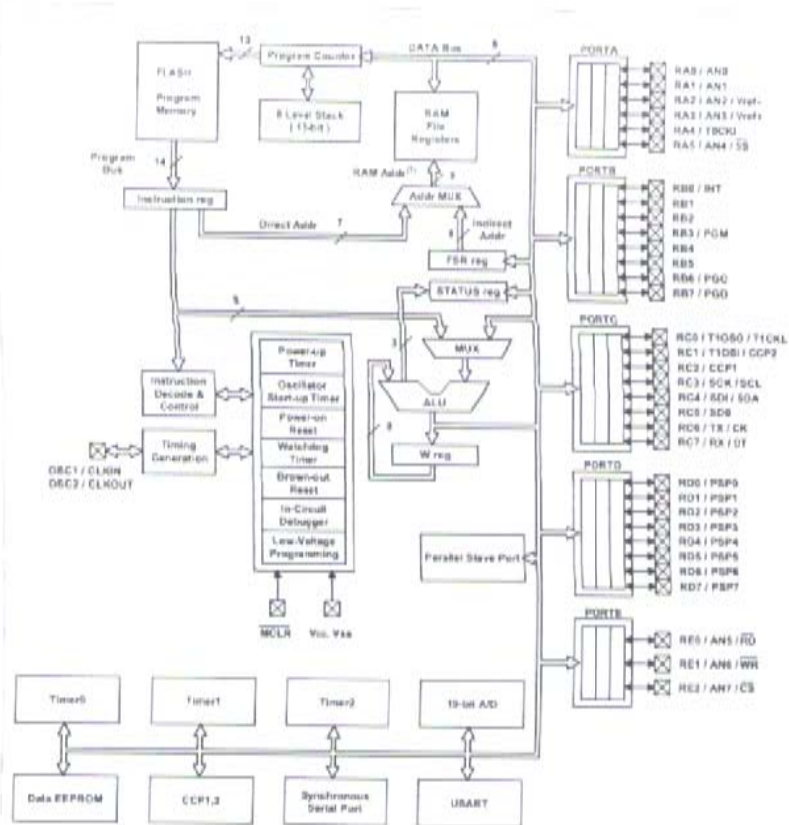
Annexes

LE PIC 16F877A



Port A ■ Port B ■ Port C ■ Port D ■ Port E ■

Structure du PIC 16F877



Note 1 - High order bits are from the STATUS register

Le schéma ci-dessus représente les différents modules du PIC 16F877. Ça a l'air un peu complexe au premier abord, une visite guidée nous permettra d'y voir plus clair.

IR2112(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
- Fully operational to +600V
- Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
- Separate logic supply range from 3.3V to 20V
- Logic and power ground +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 _{O+/-}	200 mA / 420 mA
V _{OUT}	10 - 20V
t _{on/off} (typ.)	125 & 105 ns
Delay Matching	30 ns

Packages

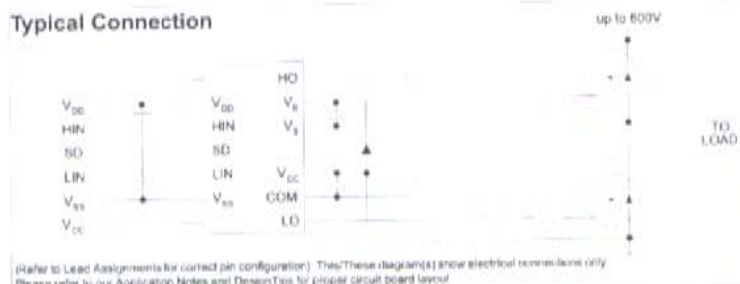


14-Lead PDIP



16-Lead SOIC (wide body)

Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and Design Tips for proper circuit board layout.

Absolute Maximum Ratings

Absolute Maximum Ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The Thermal Resistance and Power Dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High Side Floating Supply Voltage	-0.3	625	V	
V _S	High Side Floating Supply Offset Voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High Side Floating Output Voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low Side Fixed Supply Voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low Side Output Voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic Supply Voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic Supply Offset Voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable Offset Supply Voltage Transient (Figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package Power Dissipation @ T _A ≤ +25°C (14 Lead DIP) (16 Lead SOIC)	—	1.6 1.25		W
R _{THJA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient (14 Lead DIP) (16 Lead SOIC)	—	75 100	°C/W	
T _J	Junction Temperature	—	150	°C	
T _S	Storage Temperature	-55	150		
T _L	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The Input/Output logic timing diagram is shown in Figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in Figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High Side Floating Supply Absolute Voltage	V _S + 10	V _S + 20	V	
V _S	High Side Floating Supply Offset Voltage	Note 1	600		
V _{HO}	High Side Floating Output Voltage	V _S	V _B		
V _{CC}	Low Side Fixed Supply Voltage	10	20		
V _{LO}	Low Side Output Voltage	0	V _{CC}		
V _{DD}	Logic Supply Voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20		
V _{SS}	Logic Supply Offset Voltage	-5 (Note 2)	5		
V _{IN}	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}		
T _A	Ambient Temperature	-40	125		°C

Note 1: Logic operational for V_S of -5 to +600V. Logic state held for V_S of -5V to -V_{SS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

LM741

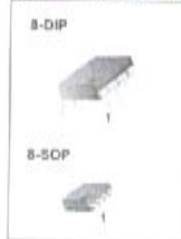
Single Operational Amplifier

Features

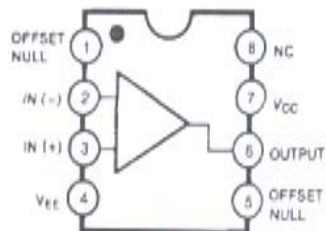
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.



Internal Block Diagram



Electrical Characteristics

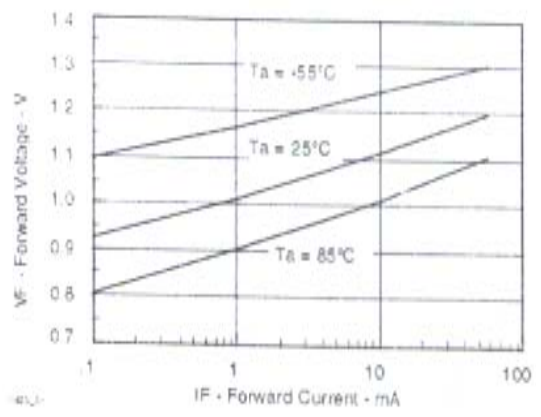
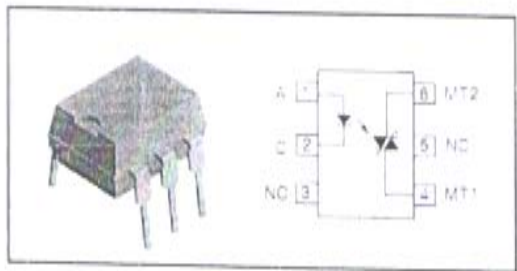
($V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 10K\Omega$	-	2.0	6.0	mV	
		$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-		
Input Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	20	200	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	80	500	nA	
Input Resistance (Note 1)	R_i	$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	M Ω	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L \geq 2K\Omega$	$V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	V/mV	
			$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200		
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	-	25	-	mA	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	$R_L \geq 10K\Omega$	-	-	V	
			$R_L \geq 2K\Omega$	-	-		
		$V_{CC} = \pm 15V$	$R_L \geq 10K\Omega$	± 12	± 14		-
			$R_L \geq 2K\Omega$	± 10	± 13		-
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10K\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	70	90	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB	
		$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 10K\Omega$	77	96	-		
Transient Response	Rise Time	T_R	-	0.3	-	μs	
	Overshoot	OS	-	10	-	%	
Bandwidth		BW	-	-	-	MHz	
Slew Rate		SR	-	0.5	-	V/ μs	
Supply Current		I_{CC}	-	1.5	2.8	mA	
Power Consumption		P_C	$V_{CC} = \pm 20V$	-	-	mW	
			$V_{CC} = \pm 15V$	-	50		85

Note:

1. Guaranteed by design.

Optocoupler :



Caractéristiques tension directe courant direct



Bibliographie

Bibliographie

Mémoires :

- D'ingénieur et DUEA de l'institut de l'électronique de l'U.M.M.T.O :
 - Etude et réalisation d'un variateur de vitesse pour moteur à courant continu dirigé par Mr OURABIA et réalisé par Mr HOCINI lotfi promotion 2008/2009.
 - Etude et réalisation d'un variateur de vitesse pour un agitateur magnétique dirigé par M^{elle} BOULIFA et réalisé par M^{me} MERBOUTI promotion 2008.
 - Réalisation d'une commande à MLI d'un pont onduleur monophasé IGBT dirigé par M^f NAHI et réalisé par M^f OUALLOCHE KARIM, Mr MONSI RABAH promotion 2008.
- D'ingénieur de l'institut de l'électronique de l'UNIVERSITE D4ABDRAHMANE MIRA de BIJAI :
 - Etude et réalisation d'un variateur de vitesse à commande numérique pour un moteur a courant continu, dirigé par M^f TAMALZOUT. S te réalisé par M^f YAHYAOUI SALEM et M^f OUARI IDIR promotion 2007.
- De magister de l'institut de l'électronique de l'UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIEN :
 - Etude d'un observateur Neuro-Kalman appliqué à la commande vectorielle de la machine asynchrone à cage réalisé par M^f GHERRAM KACI promotion 2008

Livre :

- Moteurs électriques pour la robotique, Pierre mayé, 2^{eme} Edition Dunod Avril 2006.
- Application industrielle des pics, Christian tavernier, Edition Dunond juin 2001.
- Convertisseurs et électronique de puissance Auteur : Michel pinard
- Variateur de vitesse des machines a courant alternatifs Auteur : Philippe ladoux

MultiMedia :

- MICROMASTER 440 0.12KW SIEMENS sur CD Instruction de service Edition 10/03