

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



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

THEME

**Etude et Réalisation d'une carte
de variateur de vitesse d'un
moteur pas à pas**

Dirigé par :

M.A.HAMMOUCHE

Présenté par :

BOULARAS Abdeslam
KHAOUANE Aissa
HAMADOUCHE Fayçal

Année universitaire : 2010/2011

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail :

Nous tenons à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant et maître de l'univers qui nous a donné la force nécessaire, la fort volonté et la patience afin d'accomplir ce travail.

Avec le plus grand honneur que nous réservons cette page de gratitude et de reconnaissance à tout ceux qui ont contribué de près ou de loin le bon déroulement et à la réalisation de notre projet.

Nous tenons à remercier sincèrement notre encadreur :

M_r. A.HAMMOUCHE, de ses conseils, de ses connaissance intéressantes et pour tous les éclaircissements qu'il nous a fournis et disponibilité tout au long de notre travail.

Nous voudrions, à cette occasion, exprimer notre profonde reconnaissance à tous nos enseignants de département Génie électrique pour leur collaboration, leur disponibilité et leur soutien moral tout au long de notre étude.

Enfin nous adressons nos reconnaissances à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

DÉDICACES

Je dédie ce travail a :

*Mes parents dont les sacrifices consentis à l'égard de mon éducation,
n'ont d'égal que le témoignage de ma profonde reconnaissance et
mon profond respect ;*

-Mes Sœurs et frères

-Et a toute la famille sans exception

-Tous mes amis

*Et L'ensemble des étudiants de la cinquième année génie électrique
surtout ceux de la spécialité électrotechnique*

A tout le personnel qui ma aider à terminer se projet

B. ABDESLAM

H. FAYÇAL

K. AISSA

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Chapitre 1 : généralités sur les moteurs pas à pas

1.1. Introduction.....	04
1.2. Principe de fonctionnement du moteur pas à pas.....	04
1.3. Les différents types de moteur pas à pas	05
1.3.1. Moteur à aimant permanent (unipolaire et bipolaire).....	05
1.3.1.1. Le moteur bipolaire.....	07
1.3.1.2. Le moteur unipolaire.....	09
1.3.2. Les moteurs à réluctance variable.....	09
1.3.3. Le moteur hybride.....	10
1.4. Les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas.....	11
1.5. Etude comparative et Caractéristique des moteurs pas à pas.....	11
1.5.1. Etude comparative.....	11
1.5.2. Les caractéristique.....	12
1.6. Etude du courant dans un enroulement (phase) du moteur.....	13
1.7. Commande des moteurs pas à pas.....	14
1.8. Conclusion.....	16

Chapitre 2 : présentation du Pic 16F877

2.1. Introduction	18
2.2. Les avantage des Microcontrôleurs.....	18
2.3. Structure interne d'un microcontrôleur.....	19
2.4. Différentes familles des Pics.....	20
2.5. Le microcontrôleur Pic 16F877.....	21
2.5.1. Organisation externe du Pic16F877	21

2.5.2. Principales caractéristiques du Pic 16F877	22
2.5.3. Architecture interne du Pic 16F877	22
2.5.4. L'unité Arithmétique et Logique (ALU).....	23
2.5.5. L'horloge	24
2.5.6. Différente Mémoires du PIC 16F877	24
2.5.6.1. Mémoire vive RAM	24
2.5.6.2. Mémoire morte FLASH	25
2.5.6.3. Mémoire EEPROM	25
2.5.7. Les registres	25
2.5.8. Les Ports d'entrées/sorties	27
2.5.8.1. Le Port A	28
2.5.8.2. Le Port B.....	28
2.5.8.3. Le Port C	28
2.5.8.4. Le Port D	28
2.5.8.5. Le Port E.....	28
2.5.9. Les TIMERS.....	29
2.5.9.1. Le Timer 0.....	29
2.5.9.2. Le Timer1.....	29
2.5.9.3. Le Timer 2.....	30
2.5.10. Les interruptions.....	30
2.5.11. Les modules Capture, Compare, and PWM (CCP1 et CCP2).....	31
2.6. Conclusion	31
 Chapitre 3 : Etude & Réalisation de la carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas.	
3.1. Introduction.....	33
3.2. Schéma synoptique de la carte commande.....	33

3.3. Etude théorique des différents blocs.....	34
3.3.1. Bloc d'alimentation.....	34
3.3.2. Bloc d'introduction de la vitesse.....	34
3.3.3. Bloc de commande.....	35
3.3.4. Bloc d'affichage et de mémorisation de la vitesse.....	36
3.3.5. Bloc de puissance.....	37
3.5. Réalisation de la carte de commande.....	40
3.5.1. Le Circuit imprimé.....	40
a- La création du typon et impression.....	40
b- L'Insolation.....	40
c- La Révélation.....	40
d- La gravure.....	40
e- Le perçage.....	40
3.6. Fonctionnement de la carte de variateur de vitesse.....	43
3.6.1. Organigramme d'incrément / décrémentation de la vitesse.....	43
3.7. Programmation du Pic 16F876.....	45
3.8. Liste des composants.....	46
3.9. Conclusion.....	46
Conclusion générale.....	48

Annexes

Bibliographie

Liste des figures

Chapitre 1 : généralités sur les moteur pas à pas

Fig.1.1. Schéma simplifié d'un moteur pas à pas à aimants.....	04
Fig.1.2. Fonctionnement Schématique d'un moteur pas à pas à aimants.....	04
Fig.1.3. moteur à aiment permanent bipolaire.....	05
Fig.1.4. séquences de commande d'un moteur bipolaire.....	06
Fig.1.5. moteur à aiment permanent unipolaire.....	07
Fig.1.6. Schéma simplifié d'un moteur pas à pas à réluctance variable.....	08
Fig.1.7. le moteur à hybride.....	09
Fig.1.8. Couple d'arrêt ou couple de maintien.....	10
Fig.1.9. Schéma électrique de commande des moteurs unipolaire et bipolaire.....	13
Fig.1.10. Schéma électrique de commande d'un moteur unipolaire par transistors.....	14

Chapitre 2 : présentation du Pic 16F877

Fig.2.1. Structure interne d'un Pic.....	19
Fig.2.2 Brochage du PIC 16F877.....	21
Fig.2.3. Architecture interne du Pic16F877.....	23
Fig.2.4. Schéma électrique de l'horloge.....	24
Fig.2.5. Mémoire De Programme.....	25
Fig.2.7. Les ports d'entrées/Sorties du PIC 16F877.....	27
Fig.2.8. Schéma interne du Timer0.....	29
Fig.2.9. Schéma-bloc du Timer 1.....	30
Fig.2.10. Schéma-bloc du timer2.....	30

Chapitre 3 : Etude & Réalisation de la carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas.

Fig.3.1. Schéma synoptique de la carte de variateur.....	33
Fig.3.2. Schéma électrique du bloc d'alimentation.....	34
Fig.3.4. Schéma électrique de bloc de commande (Pic 16F876).....	35

Fig.3.5. Schéma électrique du bloc d’Affichage.....	36
Fig.3.6. Schéma électrique du bloc de puissance.....	37
Fig.3.7. Schéma électrique général de la carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas.....	39
Fig.3.8. Tracé du circuit imprimé face dessous.....	41
Fig.3.9. Tracé du circuit imprimé face dessus.....	41
Fig.3.10. Tracé du circuit imprimé face implémentation composants.....	42

Liste du tableau

Tableau1.1. Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas.....	8
Tableau 1.2. Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas.....	10

Introduction générale

Introduction générale

Les moteurs pas à pas, sont des actionneurs utilisés généralement dans la robotique pour l'asservissement de position, comme on les trouve aussi dans les lecteurs de disquettes, les disques durs.

Malgré les différences existant entre les moteurs, le résultat recherché est la rotation de leur axe suivant un angle déterminé à chaque impulsion reçue par l'une ou l'autre bobine [01]. Cet angle varie selon la constitution interne du moteur en général est compris entre 0.0° et 90° .

Les moteurs pas à pas sont des moteurs spéciaux travaillant généralement en boucle ouverte, utilisés pour commander avec précision le déplacement et la position d'un objet. Constituer principalement d'un stator et d'un rotor qui tourne par incrément discret. Chaque incrément de rotation est provoqué par une impulsion de courant fournie à l'un des enroulements du stator

Il est évident que les moteurs pas à pas, de par leur technologie, présentent une très grande précision et une durée de vie quasi illimitée, l'usure mécanique étant pratiquement inexistante (absence de frottements). Leurs domaines de prédilection seront donc ceux où la précision est de rigueur, les constituants mécaniques de l'informatique et la robotique.

Les moteurs pas à pas existent en différentes tailles qui varient environ entre 1 cm et plus d'une dizaine de centimètres, tout dépendra de l'application dans lesquelles ils seront utilisés. Le plus petit moteur, par exemple, sera destiné au déplacement des têtes de lecture dans les lectures de disquettes ou dans les disques durs où un couple très faible est requis. Par contre, le déplacement du bras d'un robot demandera un couple nettement plus important, donc un moteur de diamètre élevé.

Dans le cadre de notre travail, nous avons étudié et réalisé une carte de variateur de vitesse d'un moteur pas à pas unipolaire à base du Pic 16F876. Pour ce faire nous avons repartie notre travail en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les moteurs pas à pas (fonctionnement, différents types et commande), le deuxième chapitre est réservé pour la description de la structure et les caractéristiques du microcontrôleur utilisé, il s'agit du Pic 16F877. Le dernier chapitre est réservé à l'étude et la réalisation de la carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas unipolaire à base du Pic 16F876. Et nous conclurons notre travail par une conclusion général.

Chapitre 1

**Généralités sur les moteurs
pas à pas**

1.1. Introduction

Les premiers moteurs pas à pas datent de 1930, leur véritable développement est lié à l'avènement de la micro-informatique.

Les moteurs pas à pas permettent de convertir directement un signal électrique numérique en un positionnement angulaire de caractère incrémental [02]. Chaque impulsion envoyée par le système de commande au module de puissance se traduit par la rotation d'un pas du moteur. La résolution angulaire d'un moteur pas à pas va de 4 à 400 pas. Le moteur pas à pas peut remplir deux fonctions:

- ✓ Conversion d'énergie électrique en énergie mécanique (c'est le moteur classique)
- ✓ Conversion de l'information numérique en un positionnement angulaire ou linéaire.

Le caractère synchrone du moteur pas à pas permet de faire fonctionner sans boucle de retour.

1.2. principe de fonctionnement du moteur pas à pas

Le principe de fonctionnement du moteur pas à pas est basé sur le mouvement discret du champ magnétique [03], suivi par celui du rotor, qui lors des déplacements est soumis au couple électromagnétique synchronisant. Ainsi :

- ✓ Une seule commutation provoque un seul pas, quelque soit la durée d'impulsion.
- ✓ Le déplacement angulaire du rotor correspond à un pas, ne dépend ni de l'amplitude, ni de la durée de l'impulsion.
- ✓ L'arrêt sur une position dépend d'une impulsion ou d'un train d'impulsions, donc les erreurs de positionnement ne sont pas cumulatives.

La fréquence de rotation est commandée par des impulsions contrôlées par un dispositif électronique en technologie câblée programmée.

Si toutes les inerties électriques et mécaniques ont été négligées, on peut déterminer :

Le pas angulaire mécanique par l'équation suivante :

$$\alpha_m = \frac{2\pi}{N_{pt}} = \frac{360}{N_{pt}} \quad (1.1)$$

Avec :

α_m : exprimée en degré

N_{pt} : nombre de pas par tour mécanique (exprimée en [rad/tour]).

Et la vitesse de rotation mécanique qui se calcule comme suit :

$$\Omega = f_m \alpha_m = f_m \frac{2\pi}{N_{pt}} \quad (1.2)$$

Avec :

Ω : exprimée en [rad/s].

F_m : fréquence mécanique [Hz].

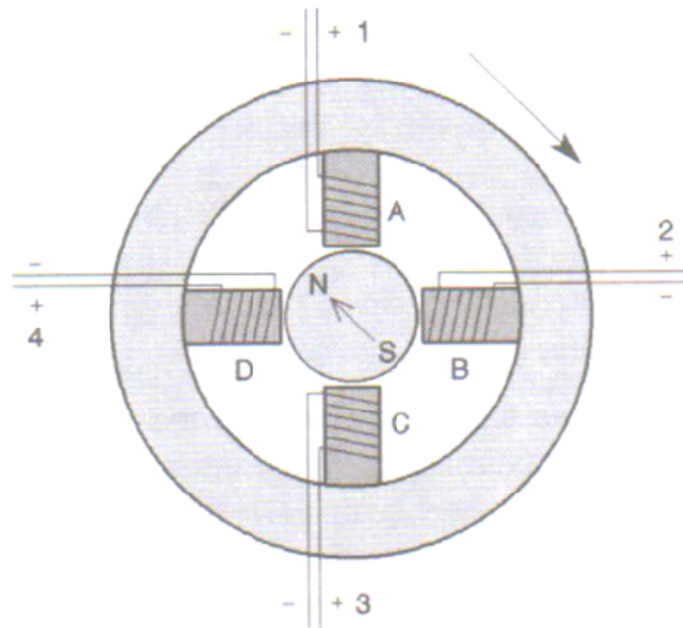
1.3. Les différents types de moteur pas à pas :

Selon la technologie de fabrication on trouve trois types de moteur pas à pas :

- **Les moteurs à aimant permanent**
- **Les moteurs à réluctance variable**
- **Les moteurs hybrides**

1.3.1. Moteur à aimant permanent (unipolaire et bipolaire)

Les moteurs à aimants, sont constitués d'un stator qui possède plusieurs paires de pôles entourés chacun par une bobine et d'un rotor magnétique constitué d'aimants permanents (aimant bipolaire). Pour produire un champ magnétique ces bobines sont traversées par un courant. Ce type de moteur exploite le phénomène d'attraction de deux pôles opposés et la répulsion de deux pôles identiques[01]. Par inversion du sens du courant dans les bobines magnétiques du stator, on provoque une inversion du champ magnétique, ceci doit avoir lieu dans un ordre précis par la commutation des phases pour avoir une rotation par pas entier ou demi-pas.



[01]

Fig.1.1. Schéma simplifié d'un moteur pas à pas à aimants

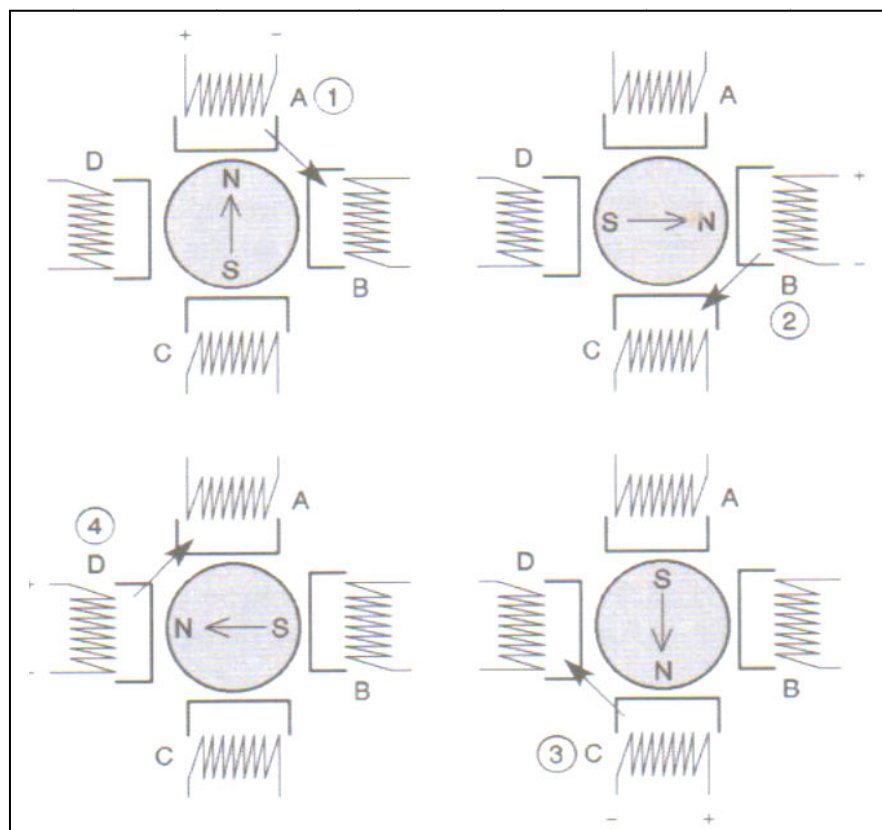


Fig.1.2. Fonctionnement Schématique d'un moteur pas à pas à aimants

La figure ci-dessus, illustre la progression pas par pas d'un moteur à quatre pas par tour, lorsque les bobines sont alimentés à tour de rôle : d'abord A, puis B, puis C et enfin D.

Le pôle nord du rotor sera attiré par le pôle sud du stator, créé par la circulation d'un courant dans le bobinage.

On peut commander ce type de moteur :

- ✓ En pas entier excitation pleine onde (faible couple)
- ✓ En demi-pas (fort couple)

Un moteur est dit unipolaire lorsque le même enroulement crée toujours le même pôle, Il est dit bipolaire lorsque le même enroulement crée les deux pôles nord et sud, selon le sens du courant. Selon le bobinage des moteurs à aimants permanents on trouve deux types:

1.3.1.1. Le moteur bipolaire

les bobines d'un moteur bipolaire sont alimentées une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens. Ils créent une pôle nord, une fois un pôle sud, d'où le nom de bipolaire

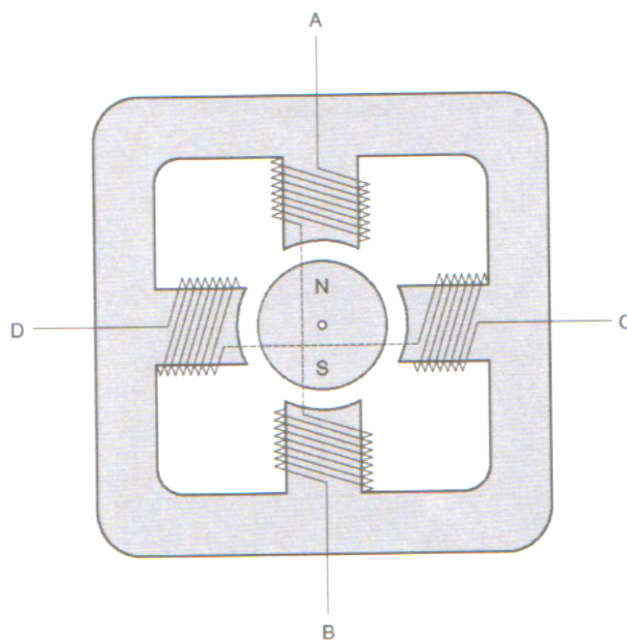


Fig.1.3. *moteur à aimant permanent bipolaire*

Ce moteur peut être alimenté sous trois séquences différentes (tableau 1.1), représentées par ailleurs sur la **figure 1.4**

<i>Mode monophasé</i>	<i>Mode biphasé</i>	<i>Mode demi-pas</i>
<i>AB</i> <i>CD</i> <i>BA</i> <i>DC</i> <i>AB</i> <i>etc</i>	<i>AB-CD</i> <i>BA-CD</i> <i>BA-DC</i> <i>AB-DC</i> <i>AB-CD</i> <i>etc</i>	<i>AB</i> <i>AB-CD</i> <i>CD</i> <i>BA-CD</i> <i>BA</i> <i>BA-DC</i> <i>DC</i> <i>AB-DC</i> <i>AB</i> <i>etc</i>

Tableau1.1. ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas

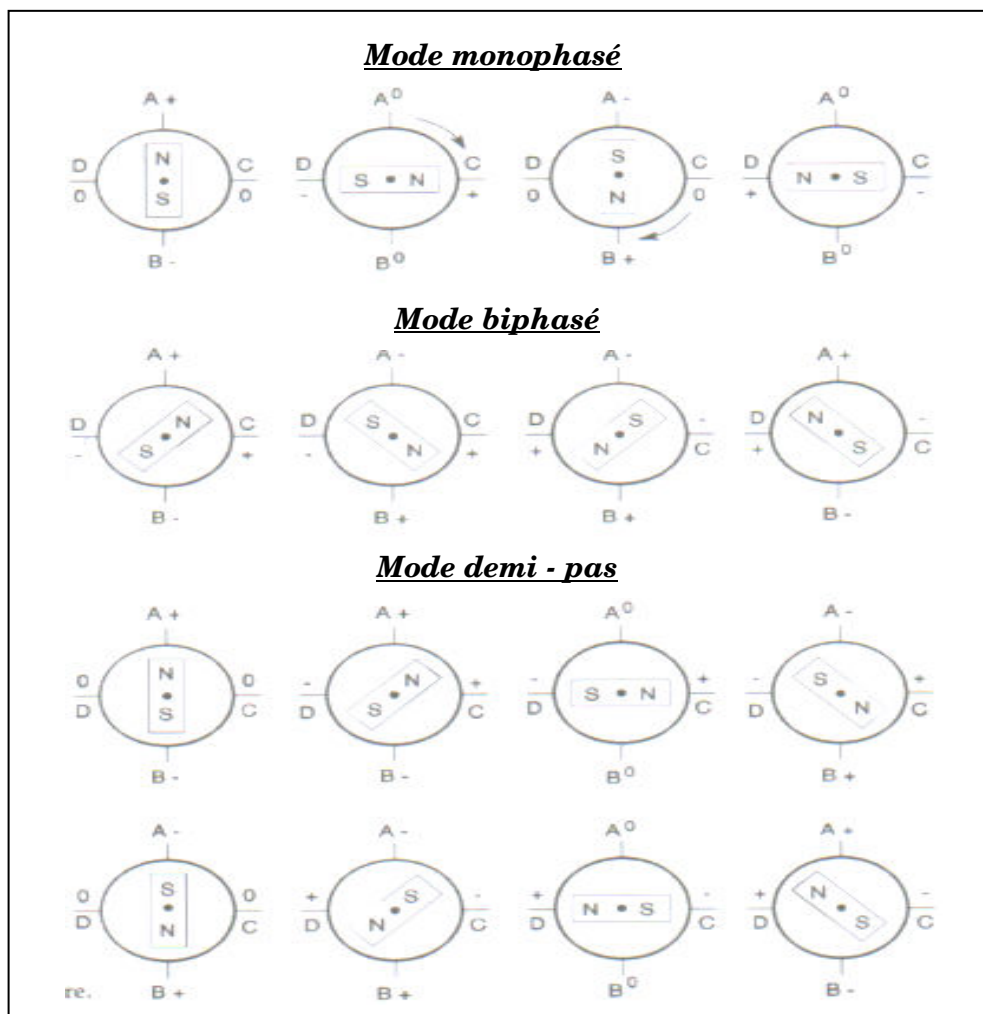


Fig.1.4. séquences de commande d'un moteur bipolaire

Dans le mode monophasé, le couple n'est pas très important puisqu'un seul enroulement est alimenté pour effectuer un pas [01].

C'est dans le mode biphasé que le moteur développera la plus grande puissance (couple élevé) car les deux phases seront alimentées dans le même temps.

Le mode demi-pas permet de doubler le nombre de pas qu'un moteur peut effectuer par tour, mais cette précision supplémentaire engendre un couple irrégulier.

1.3.1.2. Le moteur unipolaire

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire.

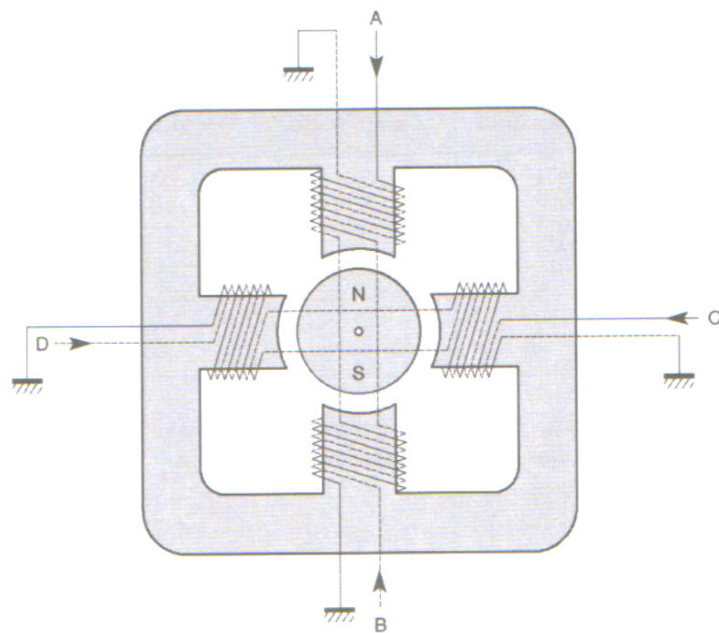


Fig.1.5. *moteur à aimant permanent unipolaire*

1.3.2. Les moteurs à réluctance variable

Les moteurs à réluctance variable fonctionnent selon un principe différent de celui à aimants permanents. Ils possèdent un stator et un rotor fabriqué en acier doux non magnétique. Il n'est pas lisse et possède plusieurs dents sur lesquels sont enroulés des bobinages qui forment des phases. Le schéma simplifié est représenté par la figure ci-dessous.

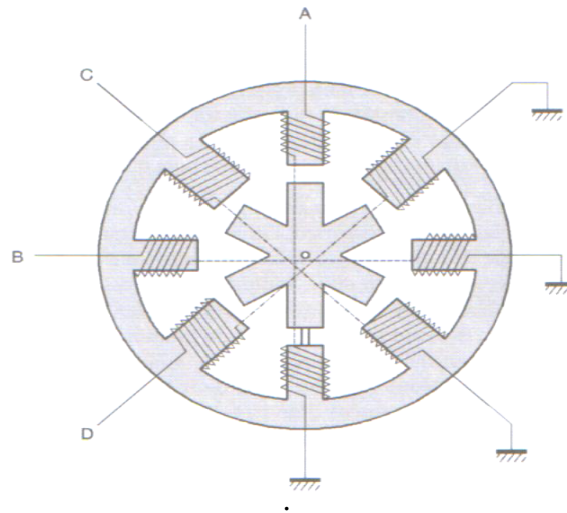


Fig.1.6. Schéma simplifié d'un moteur pas à pas à réluctance variable

Le principe de fonctionnement est très simple, l'une des phases alimentant deux des plots opposés du stator est traversée par un courant afin d'aligner deux des dents du rotor avec ces plots. Le mode de commande peut dans ce cas [01], de la même façon que pour les autres moteurs, être monophasé, biphasé ou demi-pas. Les séquences de commandes sont présentées dans **tableau 1.2.**

<i>Mode monophasé</i>	<i>Mode biphasé</i>	<i>Mode demi-pas</i>
<i>A</i>	<i>AC</i>	<i>A</i>
<i>B</i>	<i>CB</i>	<i>AC</i>
<i>C</i>	<i>BD</i>	<i>C</i>
<i>D</i>	<i>DA</i>	<i>BC</i>
<i>etc.</i>	<i>etc.</i>	<i>B</i>
		<i>BD</i>
		<i>D</i>
		<i>DA</i>
		<i>etc.</i>

Tableau 1.2. Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas

1.3.3. Le moteur hybride

Le moteur hybride est une combinaison du moteur à réluctance variable et du moteur à aimant permanent.

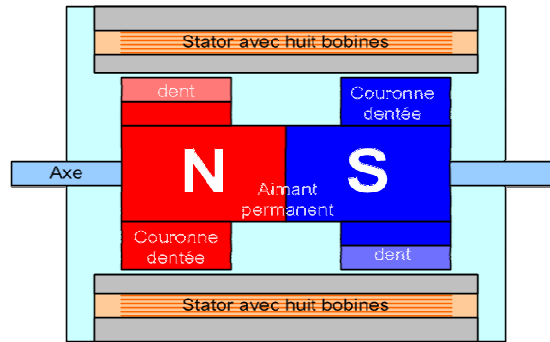


Fig.1.7. le moteur à hybride.

Pour un moteur à 200 pas, le rotor composé d'un aimant permanent emboîté dans deux couronnes de 50 dents décalées d'une demi-dent [02]. De profil, on a ainsi 100 dents alternativement pôle nord et pôle sud soit 50 paires de pôles.

Le stator est constitué de 2 bobines (modèle bipolaire) montées en 8 électro-aimants soit 4 paires de pôles.

Le nombre de pas entier possible est de 50×4 soit 200 pas.

1.4. Les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas

L'avantage le plus important du moteur pas à pas est très simplifié puisqu'il existe des intégrés qui transforment directement un train d'impulsion en commande des phases, en tenant compte du sens désiré.

Un autre avantage réside dans le fait que le moteur pas à pas ne nécessite trop d'entretien, et que son usure est faible. De plus, il est possible de bloquer l'arbre sous tension sans que ceci ne nuise au moteur.

Comme inconvénients, il faut noter que la rotation se fait par coups et à une basse vitesse, qu'il oscille lorsqu'il passe d'un pas à l'autre et que si le couple de charge est supérieur au couple moteur

1.5. Etude comparative et Caractéristique des moteurs pas à pas

1.5.1. Etude comparative

Le tableau ci-dessous présente une étude comparative des trois types de moteurs en citant les avantages de l'un par rapport à l'autre :

Type de moteur	Moteur à aimant permanent	Moteur à réluctance variable	Moteur hybride
Résolution (nb de pas/tour)	Moyenne	Bonne	Elevée
Couple moteur	Elevé	Faible	Elevé
Sens de rotation	Dépend de : - sens du courant pour le moteur bipolaire - L'ordre d'alimentation des bobines	Dépend uniquement de l'ordre d'alimentation des bobines	Dépend de : - sens du courant pour le moteur bipolaire - L'ordre d'alimentation des bobines
Fréquence de travail	Faible	grande	grande

1.5.2. Les caractéristique

Le couple maximum de rotation avec lequel on peut solliciter l'arbre d'un moteur pas à pas excité statiquement [02], sans qu'il ne se produise de modification de son angle de rotation.

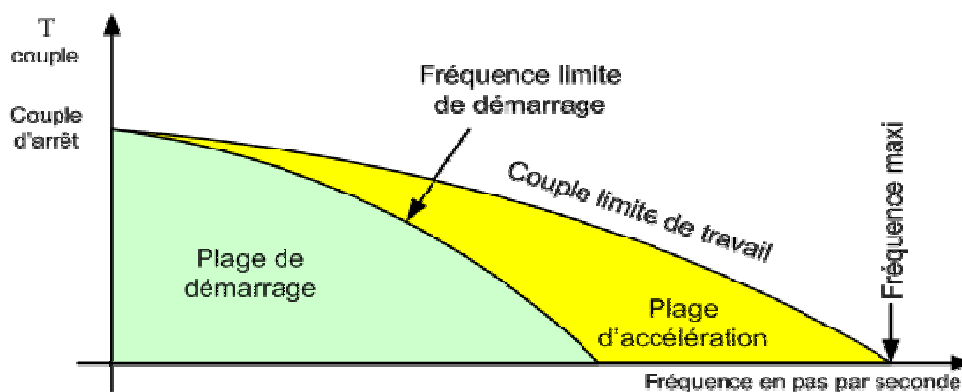


Fig.1.8. Couple d'arrêt ou couple de maintien

- ✓ **Plage de démarrage :** Plage dans laquelle un moteur pas à pas peut être actionné en synchronisation avec la fréquence de travail sans rampe d'accélération ou de décélération.
- ✓ **Fréquence limite de démarrage :** Fréquence maximale avec laquelle un moteur pas à pas ne peut démarrer à la charge indiquée, sans perdre de pas.
- ✓ **Plage d'accélération :** Plage de travail dans laquelle un moteur pas à pas peut être actionné en synchronisation avec la fréquence de travail, sans qu'il ne se produise

d'erreur de pas. Il faut cependant qu'il soit actionné avec une rampe d'accélération et de décélération.

- ✓ **Couple limite de travail :** Le couple de rotation maximale avec lequel on peut solliciter un arbre de rotation avant qu'il ne sorte de la cadence.
- ✓ **Fréquence maximale des pas :** La fréquence maximale admise avec laquelle un moteur pas à pas est actionné à vide sans perte de pas. Cependant, le moteur ne peut être démarré ou stoppé avec cette fréquence sans perte de pas.

1.6. Etude du courant dans un enroulement (phase) du moteur

La tension au borne d'une phase du stator du moteur pas à pas est donné par la formule suivante :

$$E = L \cdot \frac{di}{dt} + r \cdot i \quad (1.3)$$

Avec :

L : L'inductance d'un enroulement du moteur

r : Résistance du moteur

Solution générale de l'équation sans second membre

$$L \frac{di}{dt} + r \cdot i = 0 \Rightarrow \frac{di}{i} = -\frac{r}{L} dt \Rightarrow \text{Log} i = -\frac{r}{L} t + K1 \Rightarrow i = K2 * e^{-\frac{r}{L} t} \quad (1.4)$$

La résolution de l'équation différentielle (1.3) est comme suit :

Solution particulière de l'équation avec second membre:

$$i = \frac{E}{r} \quad (1.5)$$

Solution générale de l'équation avec second membre:

$$i = K2 * e^{-\frac{r}{L} t} + \frac{E}{r} \quad (1.6)$$

Détermination de la constante K2 à :

$$t = 0, i = 0 \Rightarrow K2 = -\frac{E}{r} \quad (1.7)$$

Equation finale

$$i = \frac{E}{r} - \frac{E}{r} e^{-\frac{r}{L} t} = \frac{E}{r} \left(1 - e^{-\frac{r}{L} t} \right) \quad (1.8)$$

On pose : $\tau = \frac{L}{r}$ constante de temps (exprimée en secondes)

$$i = \frac{E}{r} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1.9)$$

On constate que la constante de temps $\tau = L/r$ peut être diminuée par l'addition d'une résistance r' en série avec l'enroulement. Cependant, la valeur du courant (régime permanent) est réduite. Le couple moteur est donc diminué. Pour le rétablir, il faut augmenter la tension d'alimentation du moteur.

On constate que la vitesse de montée du courant dans l'enroulement est plus élevée avec une résistance additionnelle r' . Le couple moteur s'établit donc plus rapidement. Les performances du moteur (fréquence maximale d'arrêt - démarrage et fréquence maximale de survitesse) sont considérablement améliorées.

Cependant, la résistance additionnelle dissipe inutilement une puissance :

$$P = E^2 / r'. \quad (1.10)$$

1.7. Commande des moteurs pas à pas

Plusieurs types de commandes peuvent être envisagés lorsque l'on met en œuvre des moteurs pas à pas. La moins onéreuse, mais pas obligatoirement la plus efficace et certainement la plus compliquée, fera usage de transistors [01]. La plus sophistiquée fera appel à des circuits intégrés dédiés à ce type d'application.

Cette dernière solution sera de loin la plus simple à mettre en œuvre et facilitera grandement l'interfaçage entre les moteurs et l'organe commande, que ce soit un ordinateur de type PC ou un microcontrôleur. En effet, l'emploi de transistors nécessitera obligatoirement le calcul des séquences à envoyer au moteur lorsque l'on désirera inverser son sens de rotation ou le commander en mode demi-pas, ce qui, à la longue deviendra très « lourd ». Nous verrons cependant qu'il est possible de simuler le fonctionnement d'un circuit intégré dédié au moyen de circuits logique. Cette solution permettra d'employer des transistors de puissance et de simplifier le circuit. Nous donnerons l'exemple du circuit en **Annexe A** qui permettront de choisir la solution la plus adaptée à l'application envisagée.

Les commandes nécessitées par les différents types de moteurs sont représentées en figure 1.7. Le dessin situé dans le bas de la figure schématise la commande d'un moteur unipolaire. On voit qu'il suffit simplement d'alimenter, en la reliant à la masse, l'extrémité

de l'une des phases, l'autre extrémité étant connectée en permanence au V_s de l'alimentation. On comprend donc qu'un seul transistor sera nécessaire pour cette commutation. Le moteur comprenant quatre bobinages, quatre transistors seront utilisés, ce qui sera d'une grande simplicité.

Sur la figure 1.9, le schéma du haut symbolise la commande d'un moteur bipolaire. Ici les choses se compliquent quelque peu, puisque le sens du courant traversant les bobinages devra être inversé à chaque pas effectué par le moteur. Deux solutions sont alors envisageables, dans le premier cas, une alimentation symétrique sera nécessaire. Dans le second, une alimentation simple sera utilisée, mais le nombre de transistors sera doublé.

*

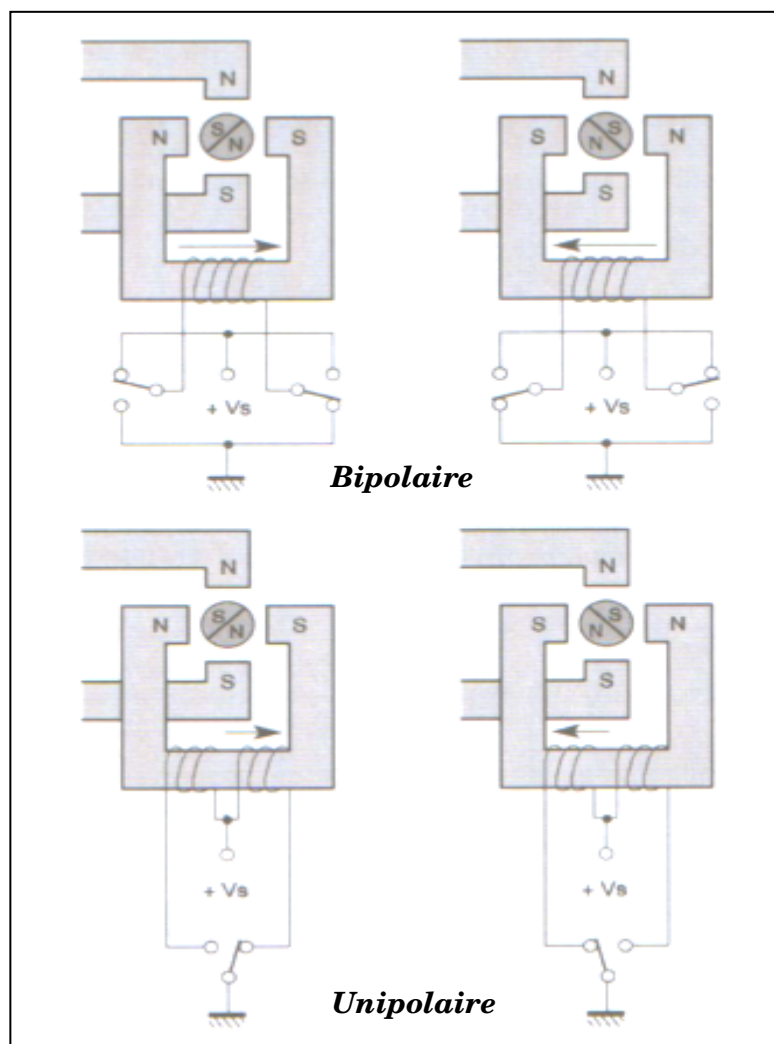


Fig.1.9. Schéma électrique de commande des moteurs unipolaire et bipolaire.

La figure 1.10 résume, d'une façon plus pratique, les différentes connexions à réaliser.

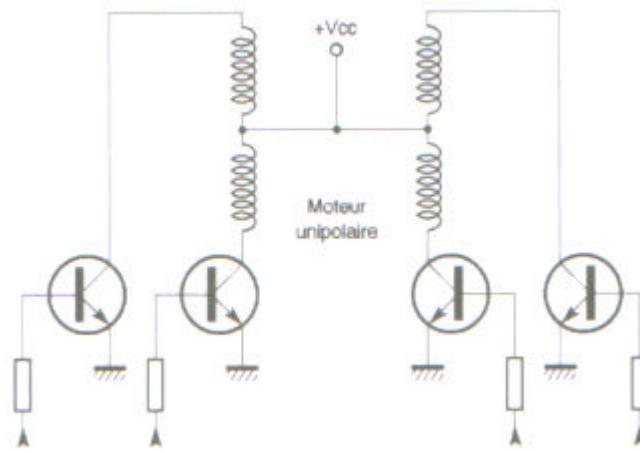


Fig.1.10. Schéma électrique de commande d'un moteur unipolaire par transistors.

1.8. Conclusion

L'étude théorique faite durant ce premier chapitre, s'appuie essentiellement sur quelques notions des moteurs pas à pas, ainsi que ces commandes, elles sont nécessaires pour tenir compte des contraintes de fonctionnement de notre réalisation.

Chapitre 2

Présentation du Pic 16F877

2.1. Introduction

Avec l'avènement des microcontrôleurs, qui sont des circuits intégrés dont on intègre des ROM qui va contenir le programme de base, ainsi que de la RAM et des périphériques (ports, Timers, convertisseurs...), a permis de faire évoluer les montages vers plus de simplicité et de rapidité.

Chaque fabricant possède ses familles de microcontrôleur, ou chaque famille est caractérisée par un noyau commun qui est le microprocesseur, plus son jeu d'instruction, ainsi les fabricants peuvent présenter un grand nombre de pins qui s'adaptent plus au moins à certaines tâches, mais un programmeur connaissant une famille n'a pas besoin d'apprendre à utiliser chaque membre, il lui faut connaître juste ces différences par rapport au père de la famille. Ces différences sont souvent, la taille des mémoires, la présence ou l'absence des périphériques et leurs nombres.

Les microcontrôleurs Pic sont aujourd'hui implantés dans la plupart des applications grand public ou professionnelles [04].

Dans ce chapitre nous décrirons l'architecture interne et externe du microcontrôleur Pic 16F877 dans une première partie, puis nous aborderons sa programmation.

2.2. Les avantages des Microcontrôleurs

Un Pic est un microcontrôleur, c'est à dire une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des circuits internes permettant de réaliser des montages sans nécessiter l'ajout de composants externes. Les Pics sont des composants dits RISC (Reduced Instructions Set Computer), ou encore (composant à jeu d'instructions réduit).

Les microcontrôleurs présentent les avantages suivants :

Les microcontrôleurs présentent les avantages suivants :

- ✓ Simplification du tracé du circuit imprimé due à l'intégration de plusieurs périphériques (ROM, RAM, convertisseurs et PORTS E/S)
- ✓ *L'augmentation* de la fiabilité du système puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimés diminue.

2.3. Structure interne d'un microcontrôleur

Les PIC, au même titre que les microprocesseurs, sont composés essentiellement de registres ayant chacun une fonction bien définie en plus ils possèdent également des périphériques intégrés, tels qu'une mémoire de type ROM et/ou RAM, des Timers, des ports d'entrées/ sorties ou bien encore des convertisseurs analogique/numérique.

Les Pics sont des composants dits **RISC** (Reduced Instructions Set Computer), et à Architecture **Harvard** figure.2.1.

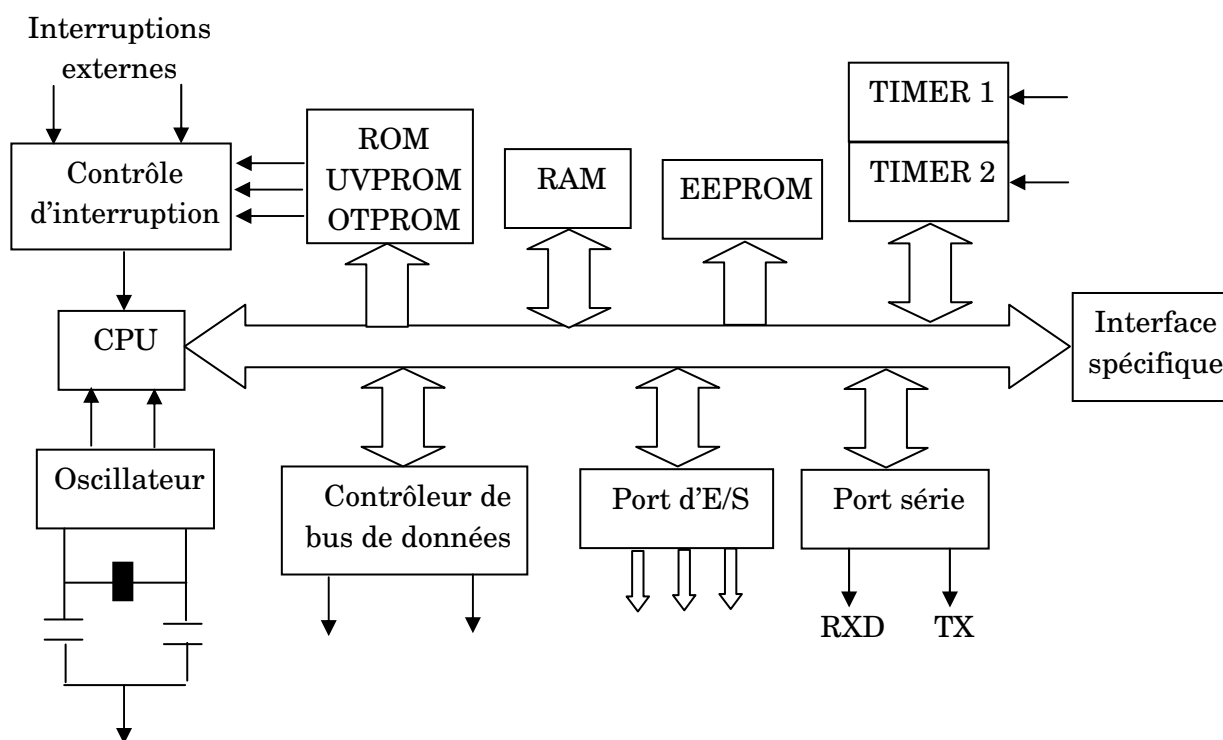


Fig.2.1. Structure interne d'un Pic.

Selon le type de PIC utilisé, on trouvera dans la structure interne un certain nombre de registres et de périphériques possédant des caractéristiques différentes :

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

2.4. Différentes familles des Pics

Il y a trois grandes familles de Pic:

- ✓ La famille **Base Line**, qui utilise des mots d'instructions de **12** bits.
- ✓ La famille **Mid-Range**, qui utilise des mots de **14** bits (comme le pic 16F877).
- ✓ La famille **High-End**, qui utilise des mots de **16** bits.

Tous les microcontrôleurs Pic Mid-Range ont un jeu de 35 instructions et 4 sources d'interruptions :

- ✓ Interruption externe commune avec la broche RB0.
- ✓ Interruption due au TIMER.
- ✓ Interruption sur changement d'état des broches de port RB0 à RB1.
- ✓ Interruption de fin d'écriture en EEPROM.

Pour identifier un PIC, on utilise simplement son numéro.

1. Les 2 premiers chiffres indiquent la catégorie du microcontrôleur **Pic**, **16** indique une **Pic Mid-Range**.
2. Vient ensuite parfois une lettre :
 - **L**: Celle-ci indique que le microcontrôleur **Pic** peut fonctionner avec une plage de tension plus tolérante.
 - **C** indique que la mémoire programme est une **EPROM** ou une **EEPROM**.
 - **CR** pour indiquer une mémoire de type **ROM**.
 - **F** pour indiquer une mémoire de type **FLASH**.

Les microcontrôleurs PIC sont des composants STATIQUES, c'est à dire que la fréquence d'horloge peut être abaissée jusqu'à l'arrêt complet sans perte de données et sans dysfonctionnement.

Par exemple le Pic 16F877-20 est un MID-RANGE (16) où la mémoire programme est de type FLASH (F) et réinscriptible de type 876 et capable d'accepter une fréquence d'horloge de 20MHz.

16	F	877	20
Indique la famille Mid-Range.	Mémoire de type FLASH	Identité	Fréquence d'horloge de 20 Mhz.

2.5. Le microcontrôleur Pic 16F877

2.5.1. Organisation externe du Pic16F877

Le Pic 16F877 est un circuit intègre contenu dans un boîtier nommé « DIL 40 », il présente 40 broches, 20 de chaque côté figure.2.2. Les broches sont virtuellement numérotées de 1 à 40. La 1^{ère} broche est placée dans le coin situé à gauche de l'encoche de repérage (Annexe D).

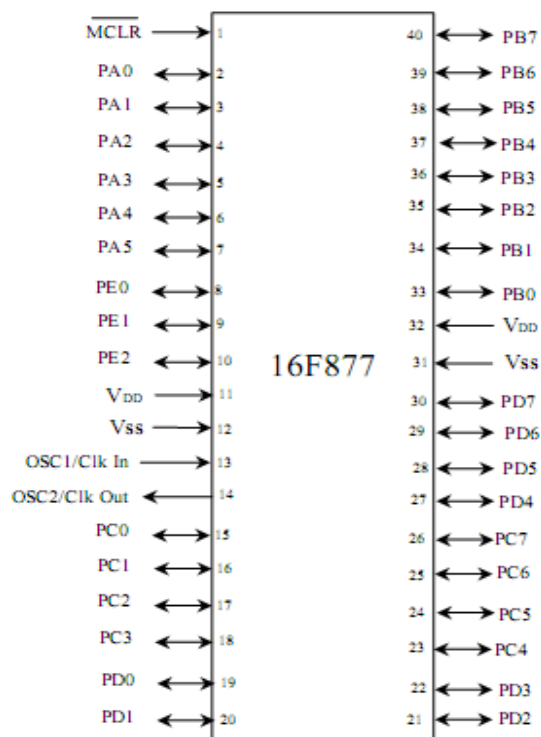


Fig.2.2 Brochage du PIC 16F877

Le boîtier du Pic 16F877 comprend 40 pins :

- ✓ 33 pins d'entrées/sorties,
- ✓ 4 pins pour l'alimentation : Les broches VDD (broches 11 et 32) et VSS (broches 12 et 31) servent à alimenter le Pic. La présence de ces 2 pins s'explique pour une raison de dissipation thermique car les courants véhiculés dans le PIC sont loin d'être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles.
- ✓ 2 pins pour l'oscillateur : Les broches OSC1 (CLKIN) et OSC2 (CLOUT) permettent de faire fonctionner l'oscillateur interne du Pic qui peut être un quartz, un résonateur céramique, un oscillateur externe ou un réseau RC dont le rôle est de créer des impulsions de fréquences élevées.

- ✓ *Ipin pour le reset (MCLR)* : cette broche sert à initialiser le Pic en cas de la mise sous tension, de remise à zéro externe, de chien de garde et en cas de la baisse de tension d'alimentation.

Lors de la programmation, la broche MCLR doit être portée à un niveau compris entre 12 V et 14 V et le PIC16F877 commence à programmer en appliquant un signal d'horloge sur la broche RB6 (broche 39) et les informations binaires transitent en série sur la broche RB7 (broche 40). Chacune des informations qui transitent sur la broche RB7 est validée à la retombée du signal d'horloge sur la broche RB6

2.5.2. Principales caractéristiques du Pic 16F877

Le Pic 16F877 est caractérisé par :

- ✓ Une fréquence de fonctionnement élevée, jusqu'à 20 MHz
- ✓ Une mémoire vive de 368 octets.
- ✓ Une mémoire EEPROM pour sauver des paramètres de 256 octets
- ✓ Une mémoire morte de type FLASH de 8 Kmots (1mot = 14 bits), elle est réinscriptible à volonté
- ✓ Chien de garde WDT
- ✓ 33 Entrées et sorties
- ✓ Chaque sortie peut sortir un courant maximum de 25 mA
- ✓ 3 Temporisateurs : TIMER0 (8 bits avec prédiviseur), TIMER1 (16 bits avec prédiviseur avec possibilité d'utiliser une horloge externe réseau RC ou QUARTZ) et TIMER2 (8 bits avec prédiviseur et postdiviseur)
- ✓ 2 entrées de captures et de comparaison avec PWM (Modulation de Largeur d'impulsions)
- ✓ Convertisseur Analogique Numérique 10 bits avec 8 entrées multiplexées maximum
- ✓ Une interface de communication série asynchrone et synchrone (USART/SCI)
- ✓ Une interface de communication série synchrone (SSP/SPI et I2 C)
- ✓ Une tension d'alimentation entre 2 et 5.5 V

2.5.3. Architecture interne du Pic 16F877

Le Pic 16F877 et d'architecture de type Harvard, les données sont placées dans une mémoire de type RAM de 368 octets. La mémoire programme est constituée de mot de 14 octets, et de type FLASH (non volatile).

La figure suivante présente l'architecture interne du Pic 16F877 :

2.5.5. L'horloge

L'horloge peut être soit interne soit externe. L'horloge interne est constituée d'un oscillateur à quartz ou d'un oscillateur RC. Avec l'oscillateur à quartz, on peut avoir des fréquences allant jusqu'à 20 MHz.

Le filtre passe bas (R_s , C_1) limite les harmoniques dus à l'écrêtage et réduit l'amplitude de l'oscillation. Avec un oscillateur RC, la fréquence de l'oscillation est fixée par V_{dd} , R_{ext} et C_{ext} . Elle peut varier légèrement d'un circuit à l'autre.

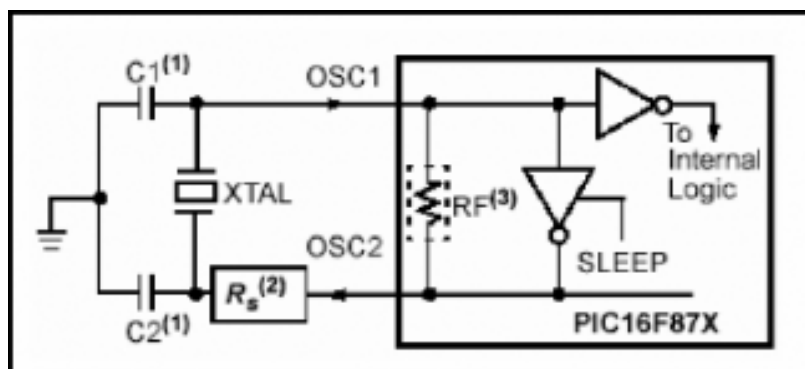


Fig.2.4. Schéma électrique de l'horloge.

2.5.6. Différente Mémoires du PIC 16F877

Le PIC 16F877 contient trois types de mémoires :

2.5.6.1. Mémoire vive RAM

Cette mémoire contient les registres de configuration du Pic ainsi que les différents registres de données. Elle contient également les variables utilisées par le programme.

Cette mémoire RAM disponible sur le 16F877 est de 368 octets, elle est répartie de la manière suivante:

- ✓ 80 octets en banque 0, adresses 0x20 à 0x6F
- ✓ 80 octets en banque 1, adresses 0xA0 à 0xEF
- ✓ 96 octets en banque 2, adresses 0x110 à 0x16F
- ✓ 96 octets en banque 3, adresses 0x190 à 0x1EF
- ✓ 16 octets communs aux 4 banques, soit 0x70 à 0x7F; 0xF0 à 0xFF; 0x170 à 0x17F; 0x1F0 à 0x1FF

2.5.6.2. Mémoire morte FLASH

C'est dans celle-ci qu'est stocké le programme [05] du Pic. Après compilation du fichier source, le compilateur génère un fichier « .hex », Celui-ci est transféré ensuite dans la mémoire programme du PIC à l'aide du programmeur. La capacité de cette mémoire est de 8K mots.

Cette mémoire n'est pas reliée au bus de données (DATA Bus), elle sert à stocker le programme du Pic, mais pas les variables du programme. L'avantage de cette mémoire c'est qu'on peut l'effacer et la réécrire facilement.

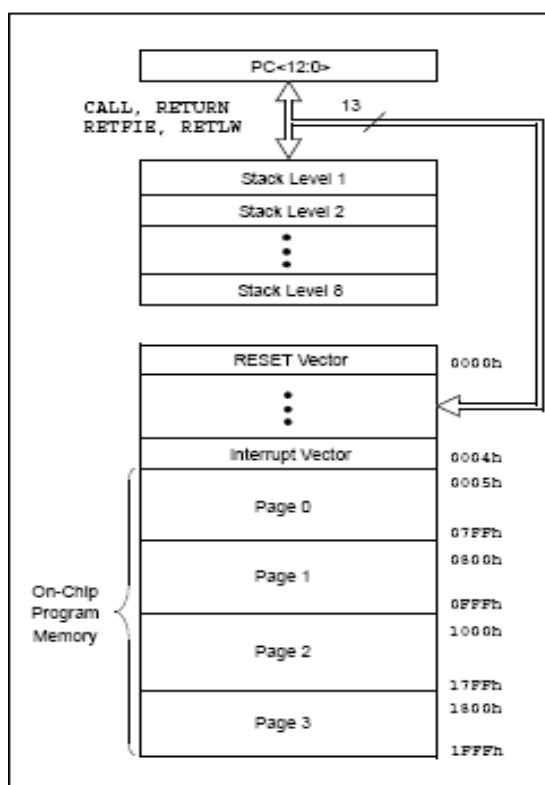


Fig.2.5. Mémoire De Programme.

2.5.6.3. Mémoire EEPROM

Cette mémoire est de 256 octets, elle est électriquement effaçable, réinscriptible et stable. Ce type de mémoire est d'accès plus lent, elle est utilisée pour sauver des paramètres. L'adresse relative de l'accès EEPROM est comprise entre 0000 et 00FF, ce qui nous permet d'utiliser qu'un seul registre de huit bits pour définir cette adresse

2.5.7. Les registres

Les principaux registres internes utilisés pour désigner un emplacement mémoire sont [06] [07] :

- ✓ **Le registre « W »** : Ce registre est un registre utilisé par les pics pour réaliser toutes sortes de calculs donc joue le rôle de l'accumulateur
- ✓ **Les registres TRISA, TRISB et TRISD** : Ils sont utilisés pour la définition du sens de fonctionnement des ports parallèles **PORTA, PORTB et PORTD** respectivement.
- ✓ **Le registre INTCON (INT errupt CON trol)** : Ce registre sert au contrôle global des interruptions.

GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
-----	------	------	------	------	------	------	------

- ✓ **Les registres PIE1, PIE2, PIR1 et PIR2** : Ces composants disposent de plus de sources d'interruptions que ne peut en gérer le registre INTCON. Donc, les autorisations d'interruptions vont se trouver dans d'autres registres
- ✓ Ces registres sont PIE1 et PIE2. Les flags correspondants se trouvent quant à eux dans les registres PIR1 et PIR2.
- ✓ **Le registre d'état (STATUS)** : Ce registre contient un certain nombre de bits d'état de l'unité centrale figure.2.5, chaque bit à une signification particulière. Il est principalement utilisé pour tout ce qui concerne les tests, il est donc également d'une importance fondamentale.

Ce registre est principalement utilisé en cas de tests. Il est donc également d'une importance fondamentale.

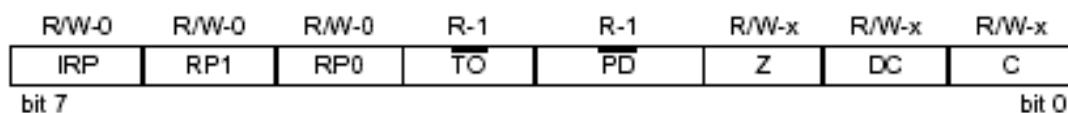


Fig.2.6. le Registre d'état.

- ✓ **Le registre OPTION** : Ce registre est utilisé pour programmer les options de fonctionnement de l'horloge temps réel et du **watchdog**.
- ✓ **Le registre tmr0** : Ce registre, contient tout simplement la valeur actuelle du timer0. on peut écrire ou lire tmr0.
- ✓ **Le registre T1CON** : Ce registre, situé en banque 0, permet de configurer le timer1
- ✓ **Le registre T2CON** : Ce registre, situé en banque 0, permet de paramétrer pré-diviseur et post-diviseur, ainsi que d'autoriser ou non le fonctionnement du timer2.

- ✓ **Les registres CCP1CON et CCP2CON :** Ces registres ont la même fonction, simplement CCP1CON concerne le module CCP1, tandis que CCP2CON concerne le module CCP2. Ce registre CCP x CON permet donc, en toute logique, de déterminer le mode de fonctionnement du module CCPx. « x » remplace « 1 » ou « 2 » suivant le module utilisé.

2.5.8. Les Ports d'entrées/sorties

Le PIC 16F877 dispose de 5 PORTS (A, B, C, D et E). Tous les ports d'entrées sorties sont bidirectionnels. La plupart des lignes ont une double fonction.

- ✓ Port A : 6 pins I/O numérotées de RA0 à RA5
- ✓ Port B : 8 pins I/O numérotées de RB0 à RB7
- ✓ Port C : 8 pins I/O numérotées de RC0 à RC7
- ✓ Port D : 8 pins I/O numérotées de RD0 à RD7
- ✓ Port E : 3 pins I/O numérotées de RE0 à RE2

Tous ces ports se trouvent dans la banque 0, mais tous leurs registres se trouvent dans la banque 1, pour déterminer les modes des ports (I/O), il faut sélectionner leurs registres TRISX:

- ✓ Le positionnement d'un bit à « 1 » place la pin en entrée.
- ✓ Le positionnement de ce bit à « 0 » place la pin en sortie.

Notez, comme pour tous les ports, que la mise sous tension du PIC, et tout autre reset, force tous les bits utiles de TRISx à 1, ce qui place toutes les pins en entrée.

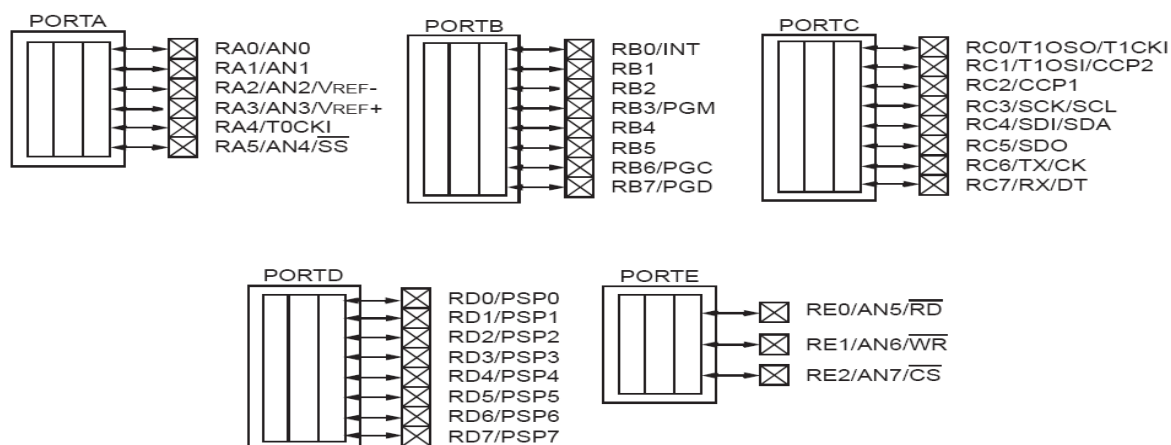


Fig.2.7. Les ports d'entrées /Sorties du PIC 16F877.

2.5.8.1. Le Port A

Le port A est formé de six pins numérotées de RA0 à RA5 qui peuvent être utilisées comme des entrées pour le Convertisseur Analogique/ Numérique ou utilisé pour le TIMER 0, dans ce dernier cas le pin RA4 sera utilisé comme entrée pour configurer TOCKI est de type drain ouvert. On peut utiliser ce port, soit pour la conversion analogique /numérique, soit en mode (I/O).

2.5.8.2. Le Port B

Le PORTB est configuré en entrée si le registre TRISB est mis à 1 et lorsque ce dernier est mis 0 le PORTB est en sortie.

En mode entrée chaque broche du PORTB doit être maintenue à un niveau haut par l'intermédiaire de résistances de 10 k pour ne pas déclencher d'interruptions imprévues qui peut être activé ou désactivé par la mise à 1 ou a 0 du 7ème bit du registre OPTION.

Au reset, le tirage est désactivé. Il est inactif quand le port est configuré en sortie.

En entrée, les broches RB4 à RB7 peuvent déclencher l'interruption.

2.5.8.3. Le Port C

Il s'agit d'un PORT de 8 bits bidirectionnels de RC0 à RC7. Il est partagé avec le module de transmission synchrone I2C et l'USART. La configuration de direction se fait à l'aide du registre TRISC.

Les pins en entrée sont configurées en Trigger de Schmitt, pour éviter les incertitudes de niveau entre (0V et +5V), en général pour les signaux qui varient lentement d'un niveau à l'autre.

2.5.8.4. Le Port D

Ce port est configuré par le registre TRISD, les 8 pins I/O, en mode entrée, sont de type Trigger de Schmitt.

Son fonctionnement dépend de la valeur placée dans TRISE, qui concerne, a première vue, le port E. Mais au moment de mise sous tension, la valeur placée dans TRISE configure le PORTD en port I/O de type général. Ce port est très utilisé en mode parallèle esclave (slave).

2.5.8.5. Le Port E

Le port E possède trois pins, RE0 à RE2 du type « trigger de Schmitt, il est utilisé comme entrées au Convertisseur Analogique Numérique ou pour contrôler le port D.

Le registre ADCON1 détermine si ce port sera utilisé comme port I/O ou comme port analogique.

2.5.9. Les TIMERS

Le Pic 16F877 dispose de trois Timers [06]

2.5.9.1. Le Timer 0

Le compteur/Timer TMR0, travaille en mode Timer ou en mode compteur et 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 PREDIVISEUR est partagé entre le Watch dog et TMR0.

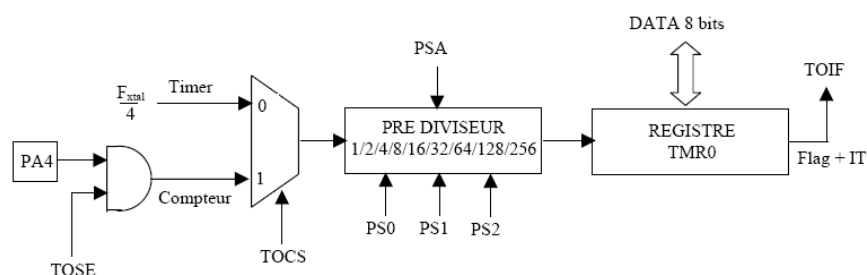


Fig.2.8. Schéma interne du Timer0.

2.5.9.2. Le Timer1

Le compteur/Timer TMR1 fonctionne dans son ensemble comme le Timer 0, mais avec un registre de comptage plus gros : 16 bits au lieu de 8, ce qui étend notablement ces capacités de comptage. Il est accessible en lecture/écriture par l'intermédiaire des registres 8 bits TMR1H et TMR1L, On le configure à l'aide du registre T1CON. On peut l'utiliser en association avec un des modules **CCP** (modules de capture et de comparaison) et présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Compteur sur 16 bits.
- ✓ Lecture / écriture de TMR1L et TMR2H.
- ✓ Pré-diviseur 8 bits programmable.

- ✓ Choix de l'horloge : interne en Timer et externe en compteur.
- ✓ Interruption au débordement (passage de FFFF à 0000).

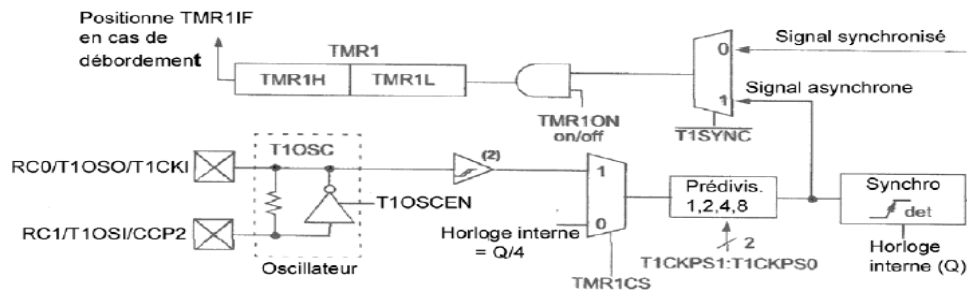


Fig.2.9. Schéma-bloc du Timer 1.

2.5.9.3. Le Timer 2

Le Timer 2 a un fonctionnement différent des Timer 0 et Timer 1. C'est un compteur 8 bits avec pré-diviseur et post-diviseur. Son horloge ne peut être que l'horloge interne divisée par 4 ($F_{osc}/4$). On s'en sert pour générer des signaux carrés, ou, en association avec le module CCP, des signaux PWM.

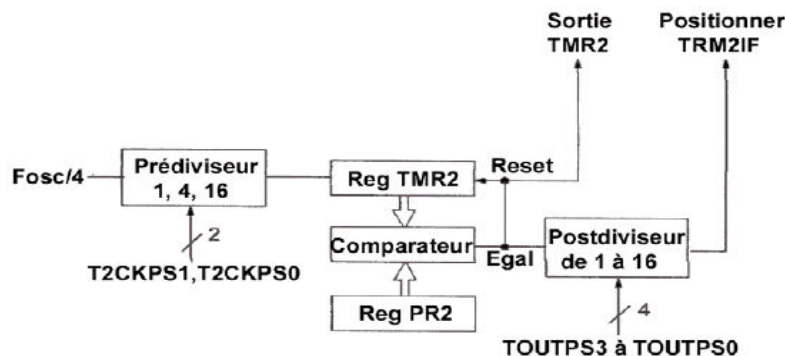


Fig.2.10. Schéma-bloc du timer2

2.5.10. Les interruptions

Le microcontrôleur dispose de 14 sources d'interruptions :

- ✓ Une interruption externe, action sur la broche INT/RB0.
- ✓ Débordement du Timer0.
- ✓ Changement d'état logique sur une des broches du PORTB (RB4 à RB7).
- ✓ Fin de programmation d'une case mémoire de l'EEPROM.
- ✓ Changement d'état sur le PORTD

- ✓ Fin de conversion analogique numérique
- ✓ Réception d'une information sur la liaison série
- ✓ Fin d'émission d'une information sur la liaison série
- ✓ Interruption SPI ou I2C du module MSSP
- ✓ Interruption du registre de capture et/ou de comparaison 1
- ✓ Interruption du registre de capture et/ou de comparaison 2
- ✓ Débordement du Timer 1
- ✓ Débordement du Timer2

2.5.11. Les modules Capture, Compare, and PWM (CCP1 et CCP2)

Le Pic 16F877 dispose de 2 modules CCP. CCP signifie Capture, Compare, and PWM. Ces modules CCP sont fortement liés et dépendant des Timers 1 et 2, et aussi liés au convertisseur A/D, les 2 modules CCP1 et CCP2 sont strictement identiques, excepté le module CCP2 qui a la possibilité de démarrer automatiquement la conversion A/D. les modules CCPx utilisés en mode compare et en mode capture font appel au Timer 1, alors que le mode PWM nécessite l'utilisation du Timer 2.

2.6. Conclusion

Après avoir présenté les différentes parties qui constituent le noyau de notre réalisation qui est le Pic 16F877, nous pouvons dire que ce Pic peut bien jouer le rôle d'une unité d'interfaçage et de contrôle pour notre système. Dans le chapitre suivant nous allons montrer le fonctionnement et la réalisation de notre carte de commande.

Chapitre 3

**Etude et réalisation de la carte
de variateur de vitesse du
moteur pas à pas**

3.1. Introduction

La carte de variateur de vitesse d'un moteur pas à pas construite autour du microcontrôleur Pic 16F876 de la famille Micro-chip. Permet de faire varier la vitesse du moteur pas à pas.

Dans un premier temps, nous allons faire l'étude des différents étages que constitue notre carte de variateur. Ensuite on montrera les étapes de réalisation de notre carte ainsi que son organigramme de fonctionnement.

3.2. SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA CARTE DE COMMANDE

Le schéma synoptique de la carte de variateur de vitesse d'un moteur pas à pas est illustré par la figure suivante :

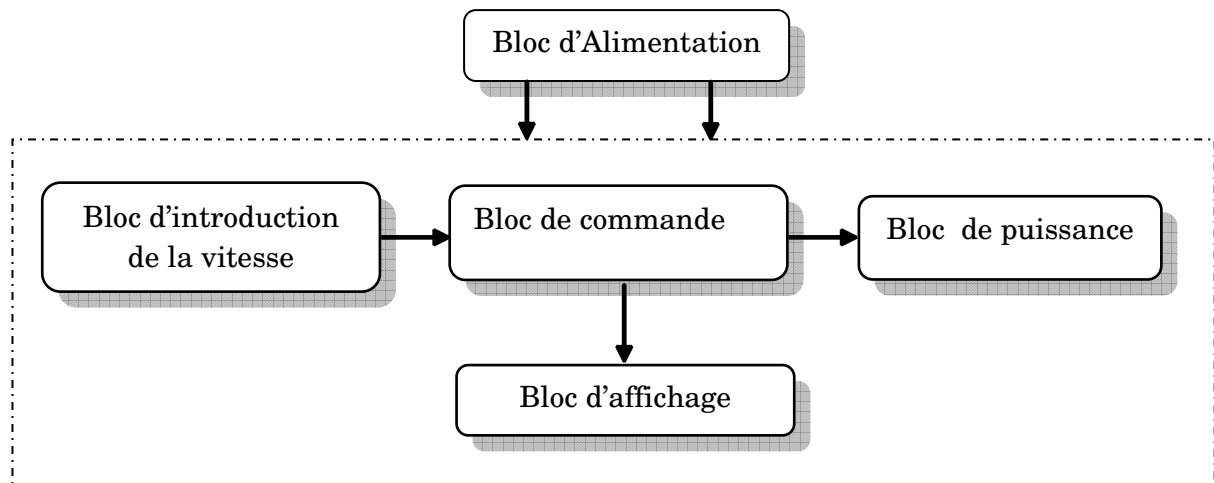


Fig.3.1. Schéma synoptique de la carte de variateur

La carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas comporte les cinq blocs suivant :

- Bloc d'alimentation qui fourni les tensions de fonctionnement de la carte
- Bloc d'introduction de la vitesse pour introduire la vitesse de référence
- Bloc de commande constitué du pic qui est de la famille 16F 876
- Bloc d'affichage pour afficher la vitesse de rotation désirée du moteur
- Bloc de puissance qui a pour rôle d'amplifier les courants de commande du moteur pas à pas,

3.3. Etude théorique des différents blocs

3.3.1. Bloc d'alimentation

Pour alimenter les différents blocs on réalise une alimentation stabilisée qui fournit une tension de 5 Volts, décrit par la figure suivante :

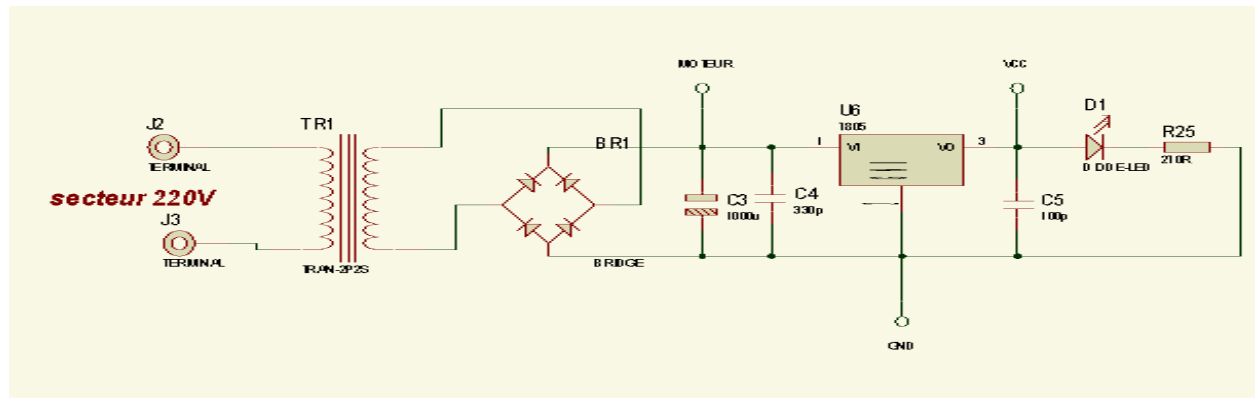


Fig .3.2. Schéma électrique du bloc d'alimentation

Notre carte a besoin d'une tension de 5V et un courant de 0.07A pour alimenter le Pic 16F876 et les autres circuits. Constituer essentiellement d'un transformateur TR1 qui fournit en sortie une tension sinusoïdale d'amplitude crête $V_M = 12 V$ et de fréquence $F=50Hz$.

Cette tension est redressée par le pont de diodes BR1 puis la capacité C₃ filtre les ondulations de la tension secteur.

Le régulateur U1 de référence 7805 a pour rôle de stabiliser le potentiel de sortie à une valeur 5V puis les capacités C₄ et C₅ servent pour le découplage de l'alimentation avec le reste du montage.

La diode électroluminescente D₁, est une diode témoin de la présence de la tension.

3.3.2. Bloc d'introduction de la vitesse

Le rôle de ce bloc est l'introduction de la vitesse de fonctionnement du moteur pas à pas désiré. Constituer de deux boutons poussoirs raccordés respectivement aux pins RA0 et RA1 du pic 16F 876 permet de varier la vitesse de fonctionnement du moteur pas à

pas soit par incrémentation pour chaque appui sur RA0, soit par décrémentation pour chaque appui sur RA1.

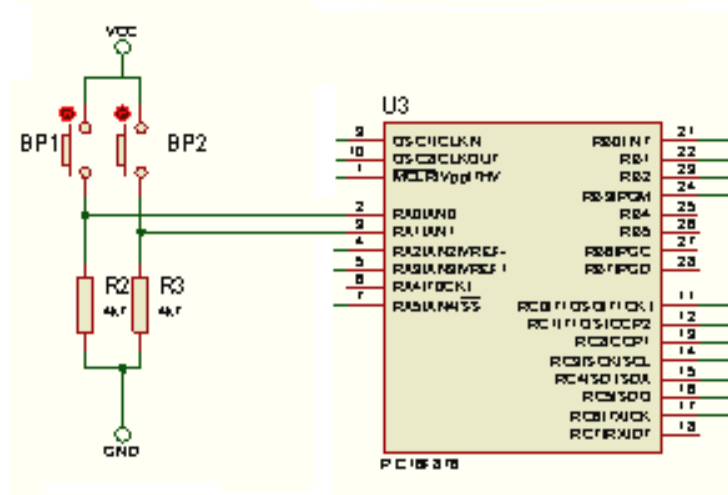


Fig.3.3. Schéma électrique du bloc d'introduction de la vitesse de fonctionnement.

3.3.3. Bloc de commande

Constitué du pic 16F 876, comme nous l'avons déjà vue dans le deuxième chapitre, C'est lui qui gère toute les opérations et réalise la coordination entre les différents blocs que contient notre carte de commande grâce à un programme.

Piloter par une horloge qui permet de générée des fréquences allant jusqu'à 20 MHz. Cette dernière est constituée d'un oscillateur à quartz et de deux capacités C1 et C2 qui limitent les harmoniques dus à l'écrêtage et réduit l'amplitude de l'oscillation.

Dans le cas de blocage de fonctionnement dû à un conflit d'exécution, le bouton poussoir BP3 associé au condensateur polarisé C3 et à la résistance R12 ont pour rôle la remise à zéro volontaire du Pic 16F876.

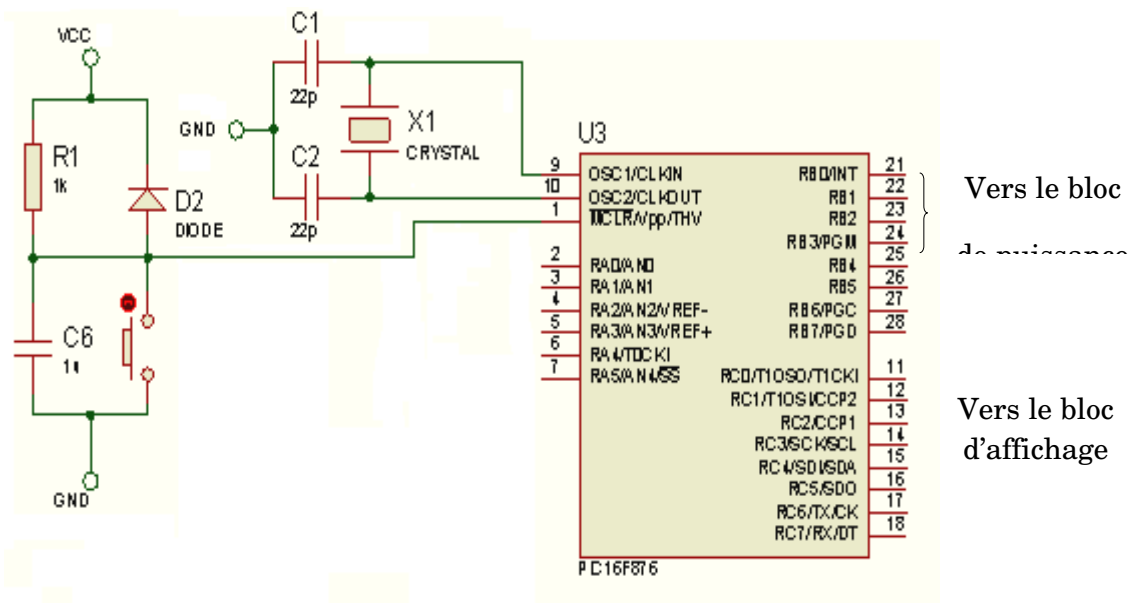


Fig.3.4. Schéma électrique de bloc de commande (Pic 16F876).

3.3.4. Bloc d'affichage et de mémorisation de la vitesse

Le bloc d'affichage est constitué de trois afficheurs sept segments à cathode commune qu'en utilisera pour l'affichage de la variation de la vitesse l'un pour afficher les unités le deuxième pour afficher les dizaines et le dernier pour les centaines ce qui va permettre d'afficher une variation de la vitesse de 0 jusqu'à 399 pas. La mémorisation de la vitesse est effectuée avec trois circuits verrou de référence 74LS 273 associés aux trois afficheurs raccordés avec le Pic 16F876 sur le port C.

Le circuit verrou de référence 74LS 273 est un registre à 8 bits, composé de 8 bascules D qui fonctionne au front d'horloge, ou chaque front est délivré pour chaque appuis sur les boutons poussoir BP1 et BP2 ce qui permettra de charger le contenu du port C sur les sorties de ce circuit.

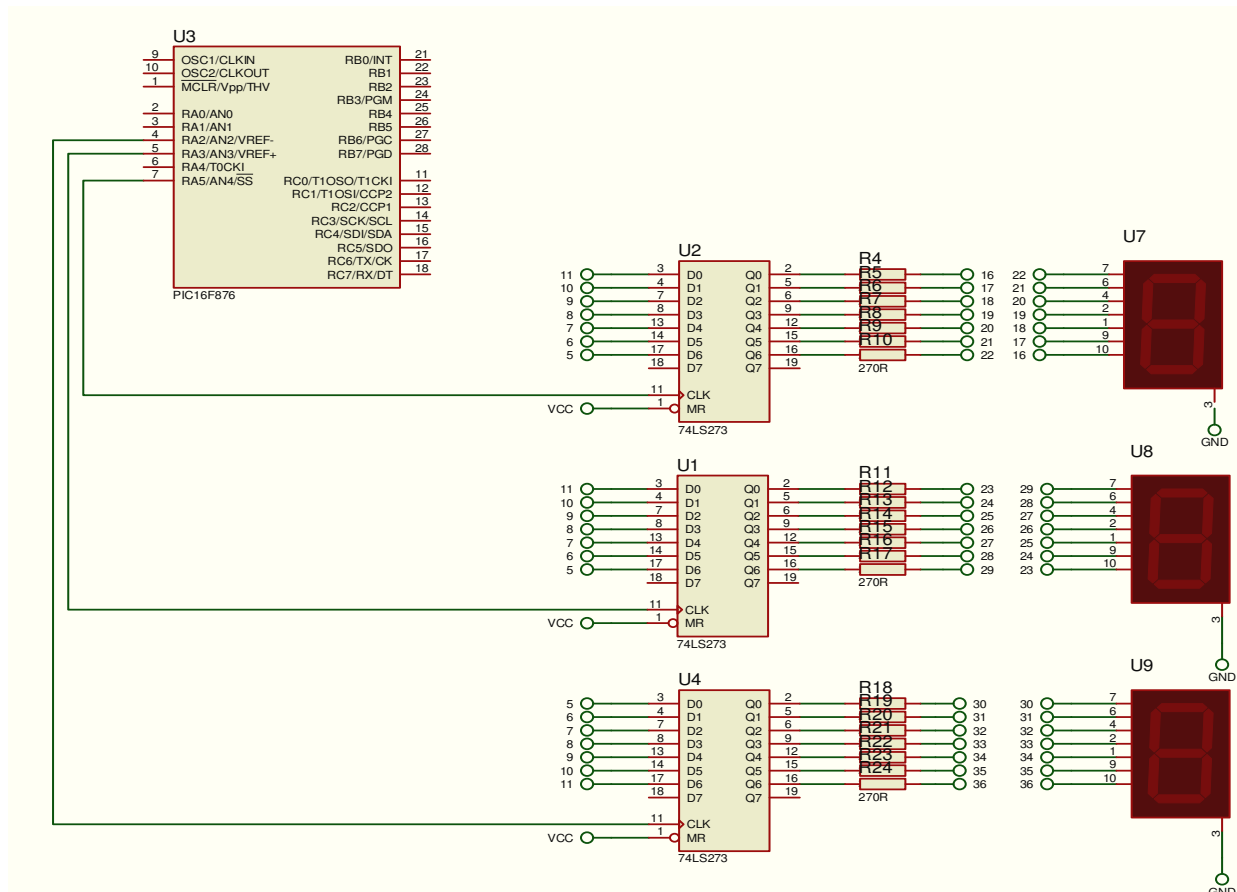


Fig.3.5. Schéma électrique du bloc d'Affichage.

3.3.5. Bloc de puissance

Sachant que les signaux de commande (séquences de rotation) du moteur pas à pas issus du pic 16F876 sont très faibles ce qui nécessitera évidemment une amplification par des transistors de puissance (Darlington) dont les bases sont attaqués par les séquences du pic 16F876, on utilise pour cela le circuit intégré de référence ULN2813 qui contient huit (8) transistors Darlington associés avec huit (8) diodes, voir Annexe A. Ces dernières (diode de roue libre) sont utilisées pour décharger les bobines du moteur au moment de commutation.

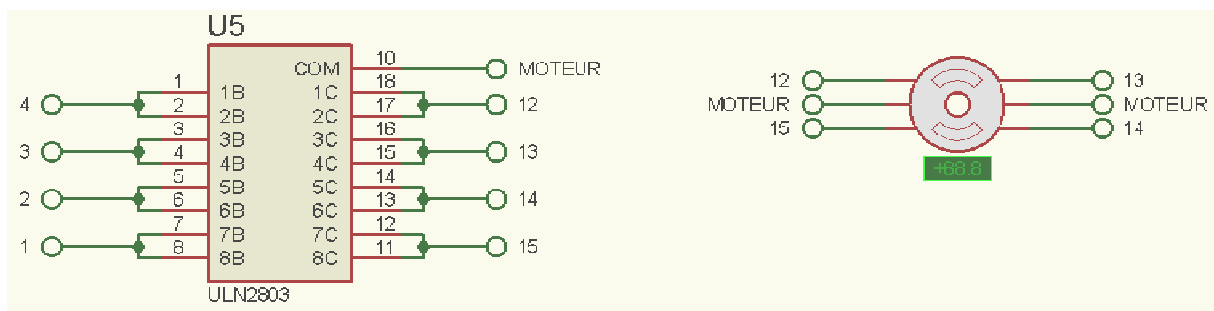


Fig.3.6. Schéma électrique du bloc de puissance.

La figure 3.7 représente le schéma électrique général de la carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas.

Chapitre3 : Etude & Réalisation de la carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas.

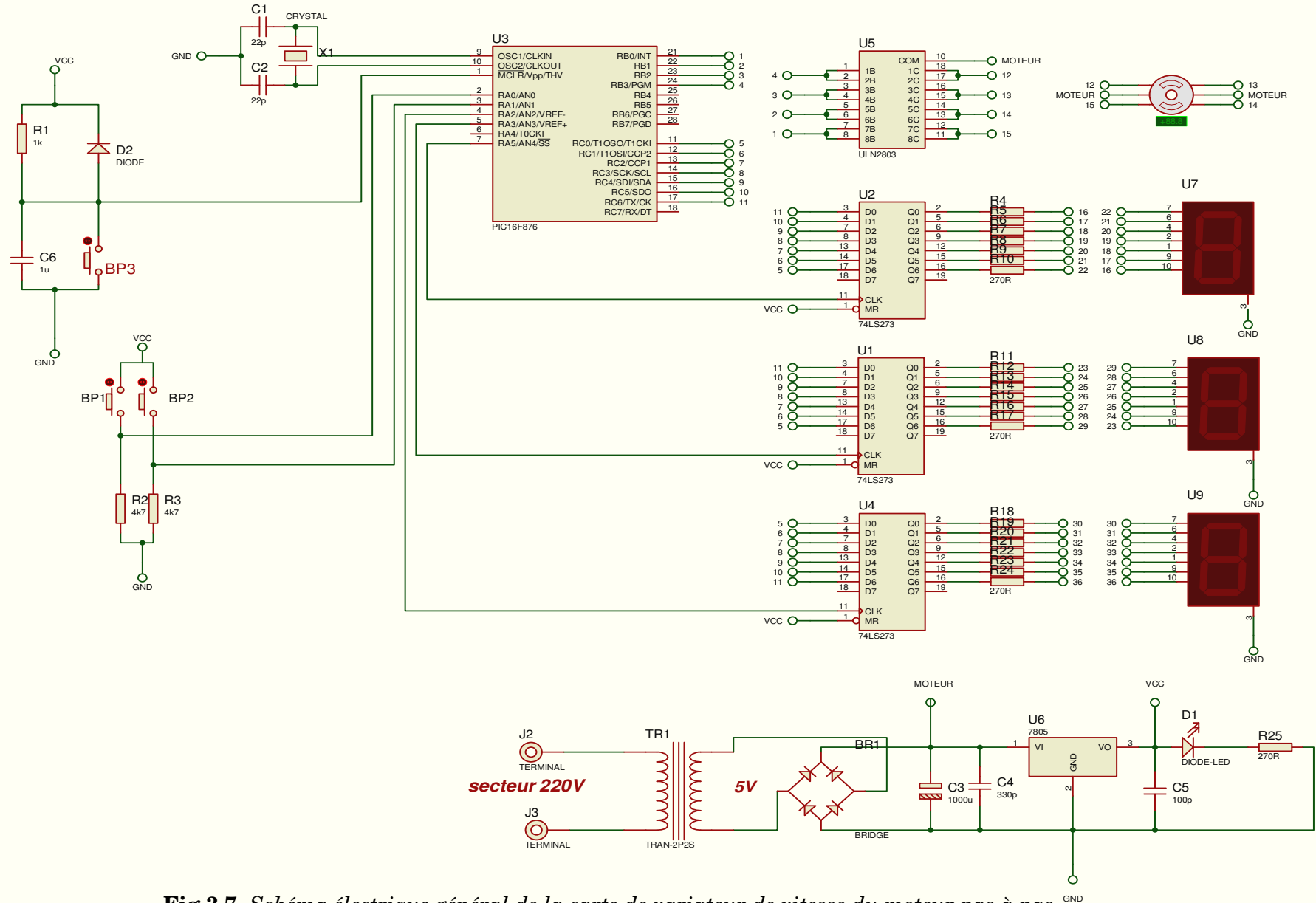


Fig.3.7. Schéma électrique général de la carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas.

3.5. Réalisation de la carte de commande

Après avoir réalisé le schéma de la carte de commande et simuler son bon fonctionnement ceci en utilisant le logiciel "ARES (Proteus) 7 Professional", on passe maintenant à la réalisation du circuit imprimé

3.5.1. Le Circuit imprimé

Notre circuit imprimé est constitué d'une seule maquette double face d'une surface de $8.49 \times 6.35 \text{ cm}^2$ voir figures 3.8 et 3.9.

a- La création du typon et impression

Après avoir réalisé le typon (tracé du circuit imprimé) par le logiciel "ARES (Proteus) 7 Professional", on passe à l'impression sur un support transparent (papier Mylar, ou bien papier calque),

b- L'Insolation

Dans cette étape on superpose le calque sur la plaque cuivrée protégée d'une couche de résine (face implémentation à l'intérieur), puis on expose l'ensemble au rayonnement ultraviolet, le but étant de fragiliser la résine non caché par le tracé.

Le temps d'insolation de 3 minutes 15 secondes donne de bons résultats (selon le type de la plaque et de l'insoleuse).

c- La Révélation

La prochaine étape est de plonger la maquette dans un bac qui contient un produit révélateur. Cependant on peut utiliser de la lessive de soude mélangé dans un petit bac: 250mL d'eau et environ 6mL de lessive de soude à 33%.

Il ne faut plus qu'il reste du vernis à l'endroit où il n'y a pas de piste, même pas un petit peu, sinon la gravure se passera mal.

d- La gravure

Après la révélation la plaque est plongée dans un bain de perchlorure de fer pour gravure pour une durée de 30 minutes. Après cette opération le module sera soigneusement rincé à l'eau tiède. Par précaution il faut vérifier les piste s'il n'y a pas des coupures ou/et des courts-circuits.

e- Le perçage

Toutes les pastilles seront percées à l'aide de 0,8mm de diamètre, certains trous seront à agrandir suivant le diamètre des composants à implanter. Enfin les pistes

pourront être étamées pour conférer au circuit imprimé une meilleure résistance tant mécanique que chimique.

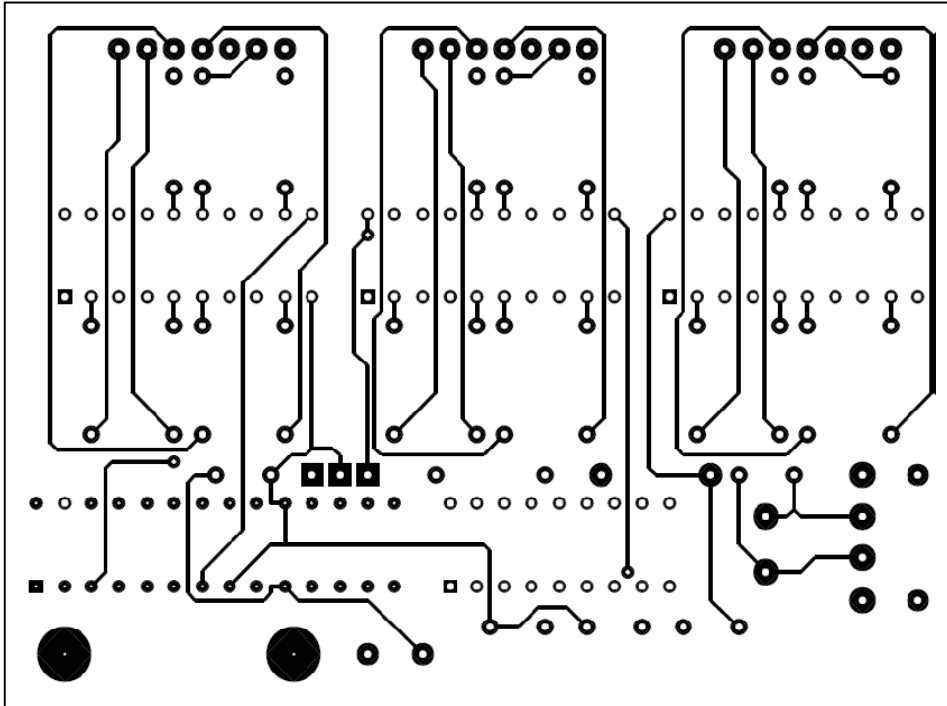


Fig.3.8. *Tracé du circuit imprimé face dessous.*

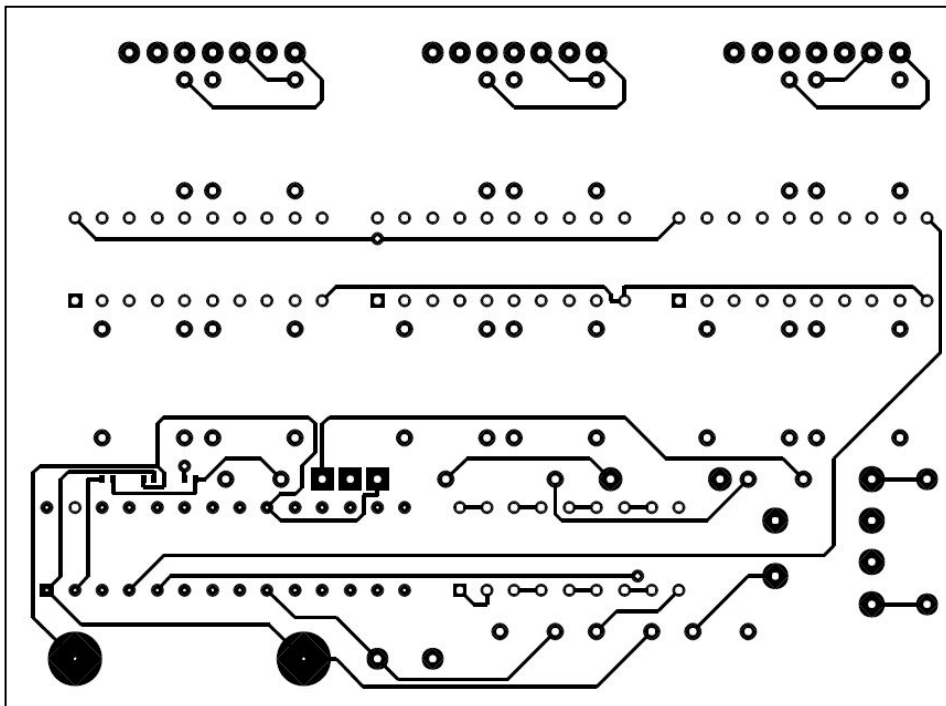


Fig.3.9. *Tracé du circuit imprimé face dessus.*

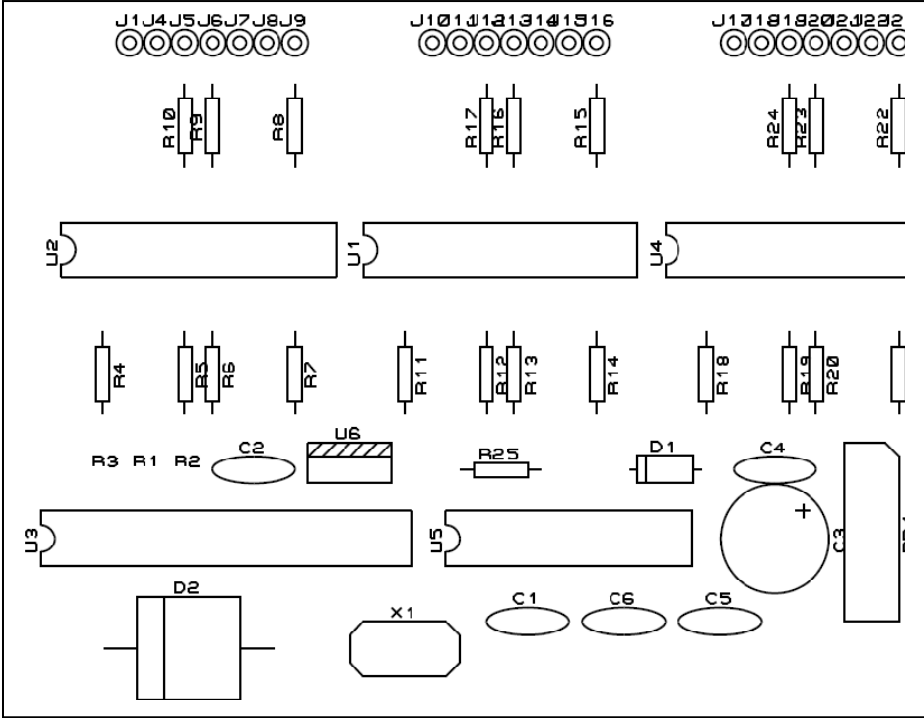


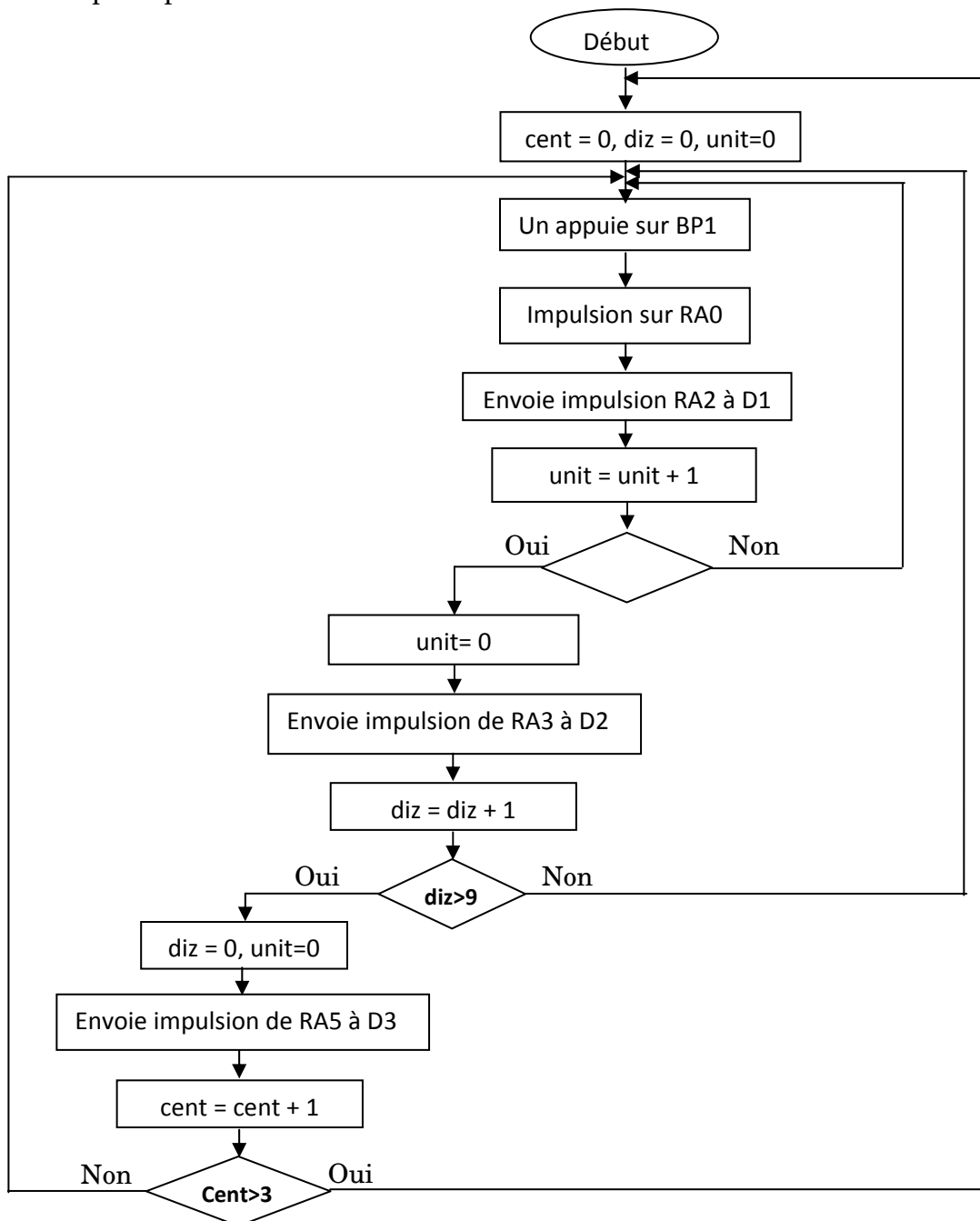
Fig.3.10. Tracé du circuit imprimé face implémentation composants.

3.6. Fonctionnement de la carte de variateur de vitesse

La carte de variateur de vitesse du moteur pas à pas réaliser, peut commander le fonctionnement du moteur avec une variation allons de 0 jusqu'à 399 pas. La variation est effectuée par deux boutons poussoirs l'un pour l'incréméntation et l'autre pour la décrémentation. La vitesse désirée est affichée sur trois afficheurs sept segments à cathode commune.

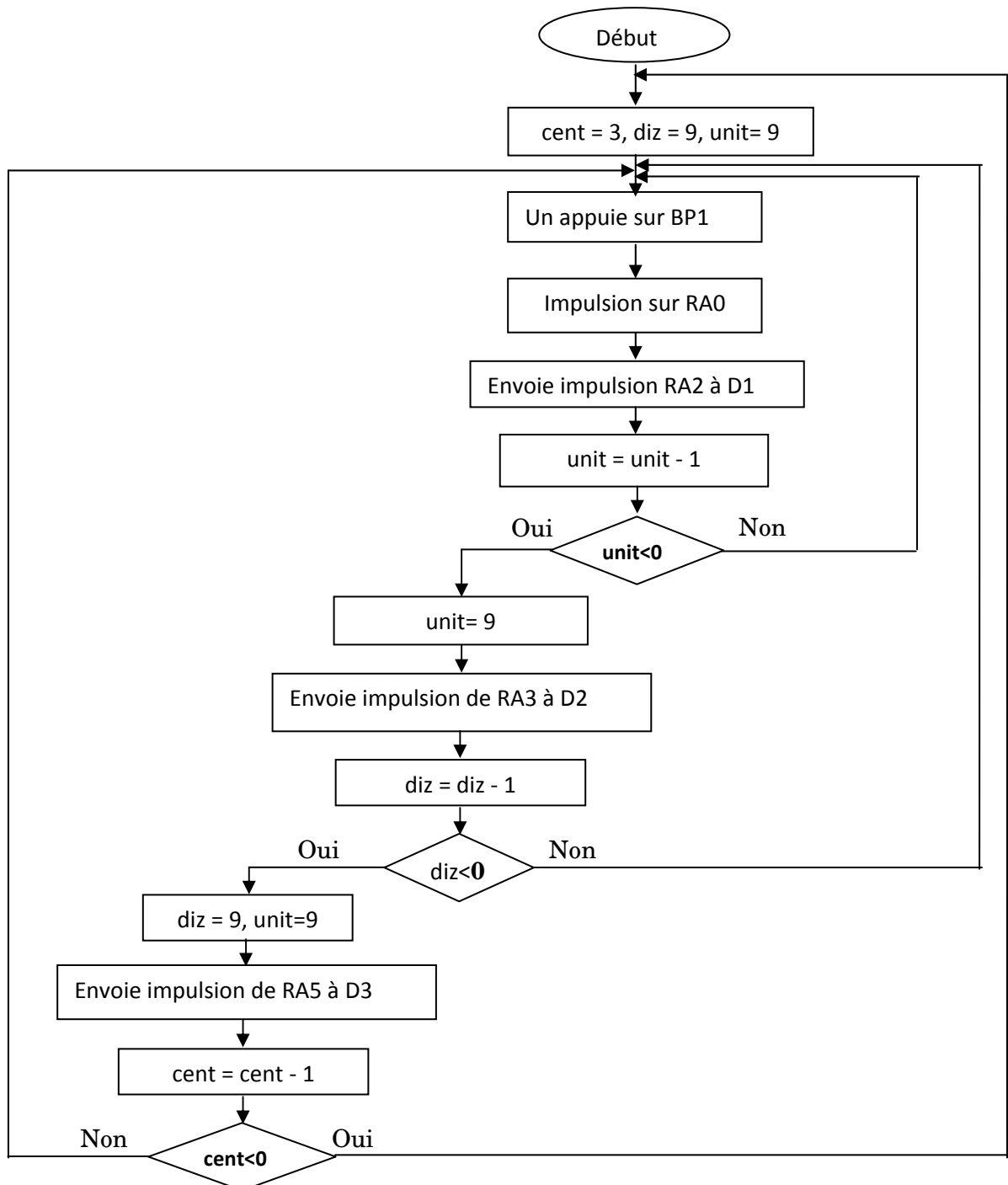
3.6.1. Organigramme d'incréméntation / décrémentation de la vitesse

Cet organigramme présente l'étape d'introduction de la vitesse de fonctionnement du moteur pas à pas.



Chaque appui sur le bouton poussoir BP1 permet de solliciter le Pin RA0 ce qui d'envoyer un potentiel haut selon le fonctionnement du compteur modulo 400 (boucle infinie) sur les Pins RA2, RA3 et RA5 qui permettra d'incrémenter le compteur.

Par contre l'appui sur le bouton poussoir BP2 permettra de solliciter le Pin RA1 qui réalisera l'opération de décrémentation du compteur modulo 400 (boucle infinie) dont le fonctionnement est illustré par l'organigramme suivant.



3.7. Programmation du Pic 16F876

Après avoir réalisé la carte de commande, on doit réaliser le programme qui va gérer les différentes tâches citées ci-dessus, car c'est lui le coordinateur.

Le programme réalisé est une traduction des organigrammes de fonctionnement présentés précédemment. On a deux méthodes pour rédiger notre programme soit en langage assembleur ou en langage C, pour faciliter la tâche nous avons choisi le langage C qui est un langage évolué. Ensuite vient l'étape d'introduction du programme dans le Pic 16F876.

Avant l'introduction du programme dans le Pic nous l'avons compilé, avec le PicC nommé PCW.

Pour l'introduire, nous avons utilisé un programmeur, ce dernier est un circuit électronique qui se raccorde avec un micro ordinateur à travers le port série ou le port parallèle. Puis on insère le Pic 16F876.

Lors de la programmation d'un Pic, nous avons configuré le Pic 16F876 ainsi que le matériel utilisé, le type et la fréquence de l'horloge, les adresses et les variables utilisés.

En premier temps, il faut écrire le programme principal, ce programme contient des instructions et des boucles et peut contenir des sous-programmes. Lorsqu'elle existe une interruption extérieure en dehors du programme principal et quand elle est activée le programme s'arrête là où il est et le microcontrôleur exécute ce qu'il y a comme instruction dans l'interruption extérieure puis il retourne là où il s'est arrêté avant l'interruption extérieure pour continuer l'exécution du programme principal.

Le programme que nous avons réalisé est composé de trois parties :

- 1- une partie pour l'introduction et la variation de la vitesse soit en incrémentation ou en décrémentation,
- 2- une autre partie pour le calcul de la vitesse pour déterminer le temps d'attente entre deux impulsions successives,
- 3- et la dernière partie pour le fonctionnement du moteur et l'envoi des séquences de fonctionnement.

3.8. Liste des composants

Désignation	Référence	Valeur	Quantité
Résistance	R1, R3	4K7 Ω	3
	R4, R25	270 Ω	22
Capacités	C1, C2	22 PF	2
	C3 (chimique)	1000 PF	1
	C4, C5	100 NF	2
Circuit intègre	U1, U2, U4	74LS273	3
	U3	PIC 16F876	1
	U5	ULN 2813	1
	U6	7805	1
Divers	LED	Diode	1
	BP1, BP2	boutons poussoir	2
	RB1	Pont de diode	1
	Quartz	4Mhz	1
	Transformateur TR1	6V – 10VA	1
	DIL-6	Connecteur	1

3.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons constaté que la réalisation pratique de notre carte de variateur de vitesse, nous à permet d'acquérir des connaissances pratiques sur le développement des circuits imprimés ainsi que sur la programmation des microcontrôleurs.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons effectué consiste en l'étude et la réalisation d'une carte de variateur de vitesse d'un moteur pas à pas unipolaire à base du Pic 16F876.

La carte réalisée est en mesure de commander les moteurs pas à pas unipolaires avec une marge de variation de vitesse variant de 0 jusqu'à 399 pas.

Ce travail nous a permis de maîtriser l'utilisation du logiciel «Proteus», qui est un logiciel puissant pour la simulation et la réalisation des cartes électroniques. Ainsi que l'utilisation du Pic 16F877, la description de son architecture interne et externe nous a permis de comprendre son fonctionnement ce qui nous a permis de configurer ces ports en sortie (pour l'affichage et l'envoi des séquences de commande du moteur et en entrée pour l'introduction de la vitesse de fonctionnement.

Enfin nous souhaitons que ce travail soit un support de documentation appréciable et utile pour les promotions à venir.

Annexes

ANNEXE A

Les Circuits de commande des moteurs pas à pas

Le Circuit ULN 2813

Pour commander le moteur pas à pas dans un sens bien défini et avec un mode de fonctionnement choisi il faut faire la commutation selon un organigramme convenable, et puisque les signaux générés par le microcontrôleur sont très faibles. Au lieu d'utiliser des transistors de Darlington dont les bases sont attaqués par les signaux du microcontrôleur et qui traduisent les chronogramme de chaque mode de fonctionnement du moteur on utilise un circuit spécialisé, c'est le ULN2813 dans laquelle 8 transistors de Darlington sont intégrés et 8 diodes rapides (diodes de roue libre) qui sont utiles pour la décharge des bobines du moteur au moment de commutation. Les caractéristiques de ce circuit sont définies dans la fiche technique.

L'ULN2813 est décrit comme "un conducteur à 8 lignes". Cela signifie qu'il contient le circuit pour contrôler huit lignes de productions individuelles, chaque acte indépendamment des autres.

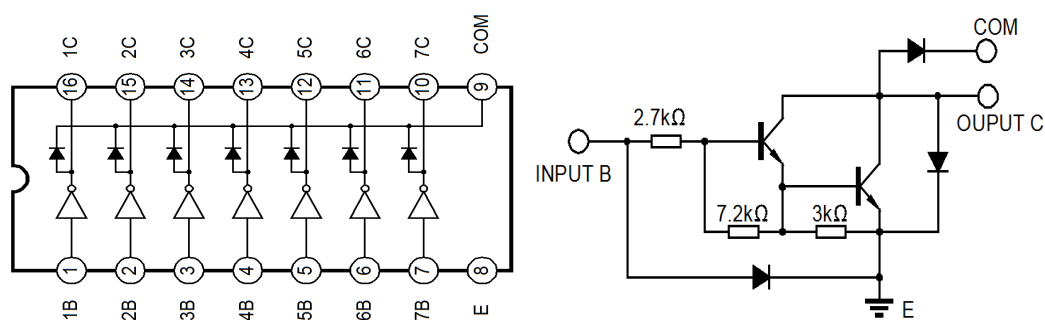


Fig.A.1. logic diagramme

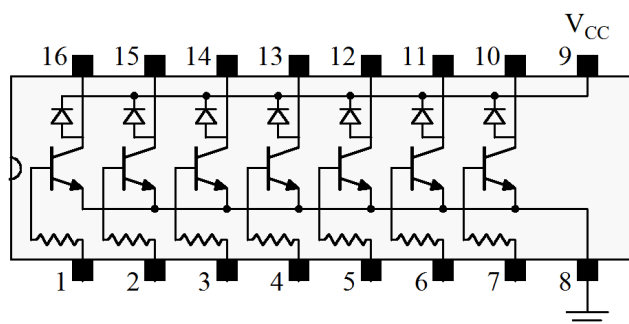


Figure.A. 2. brochage du circuit ULN2813

On a choisie le ULN 2813 pour trois raisons la première c'est parce que il peut supporter un courant maximale de 600mA (1.2A si en buffers chaque deux entrée ensembles), et la deuxième raison c'est que ce circuit peut être alimenté sous la tension standard (5v). La deuxième il n'est pas vraiment très cher et elle se trouve sur le marché.

En dernier, comme la montre la montre la figure ci-dessous l'avantage de ce circuit intégré c'est qu'il peut se mettre sur un support.

Le circuit intégré L6203

Le L6203 est un circuit intégré bipolaire monolithique dessiné pour le pilotage des 2 enroulements de stator d'un moteur pas à pas .ce circuit contente d'un nombre de composants externe infime et se laisse facilement piloter par un microprocesseur ou un contrôleur logique La partie de puissance du dit circuit intégré comporte 2 ponts complets capables de commuter des tensions allant jusqu'à 50v . Les 2 ponts de puissance sont dotés chacun de 4 diodes de protection et d'un circuit de régulation par MLI (Modulation en Largeur d'impulsion) du courant circulant dans les enroulements.

La régulation MLI fait en sorte que le courant de stator prenne la valeur définie par l'utilisateur .Le courant nominal que le circuit puisse le fournir en mode continue est 3A.

Il peut également fournir un courant de crête de 4A, mai cela pendant une courte durée.

Le circuit comporte en outre un certain nombre d'entrées logiques offrant le choix de la direction et du mode de fonctionnement (demi pas, ou pas entier ou micro pas).

Une protection thermique efficace fait en sorte que le circuit soit mis hors fonction lorsque sa température devient anormalement élevée.

Mais comme la montre la montre la figure en dessous l'inconvénient de ce circuit intégré c'est qu'il ne peut pas se mettre sur un support, donc en cas de panne en doit dessouder et souder le circuit.

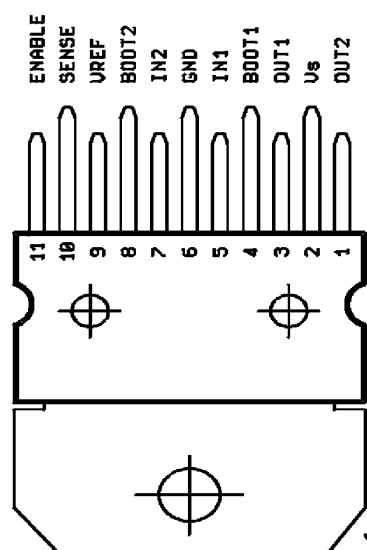


Figure .A.3. brochage de circuit intégré L6203

Le circuit intégré L298

Outre le 6203 évoqué plus haut, il est fait appel, pour la commande du moteur principale, à une électronique combinée associant un L298. Le L298 est un double pont utilisable en combinaison avec, par exemple, L297.

Le courant nominal qui peut fournir le pont est de 2 ampères, mais il est en mesure de donner des courants de crête de 3 A à condition qu'il soit de courte durée. La tension d'alimentation maximale admissible par le pont est de 36V.

Le courant de stator circulant par le pont, produit une chute de tension aux bornes des résistances des détections (sens) qui se trouve reliées à la connexion d'émetteur commune.

Des transistors présents dans la partie inférieure du pont. Ce point est trouver sur les broches 1et 15.de ce circuit intégré.

Une modification de la tension de référence influe de ce fait sur la valeur nominale du courant de stator.

Mais comme la montre la montre la figure en dessous et comme en à déjà vue pour le L6203 , l'inconvénient de ce circuit intégré c'est qu'il ne peut pas se mettre sur un support, doue en cas de panne en doit dessouder et souder le circuit.

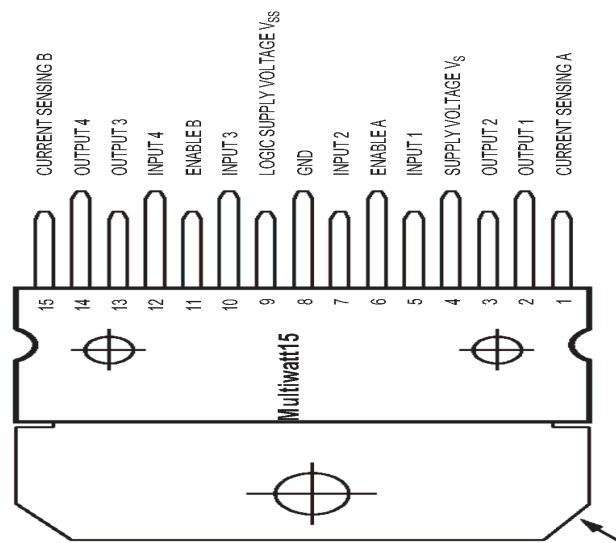


Figure. A .4. brochage de circuit intégré L298

ANNEXE B



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

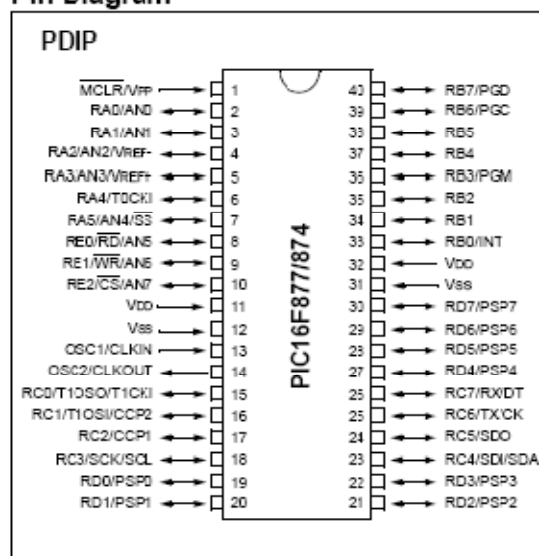
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current:

Pin Diagram

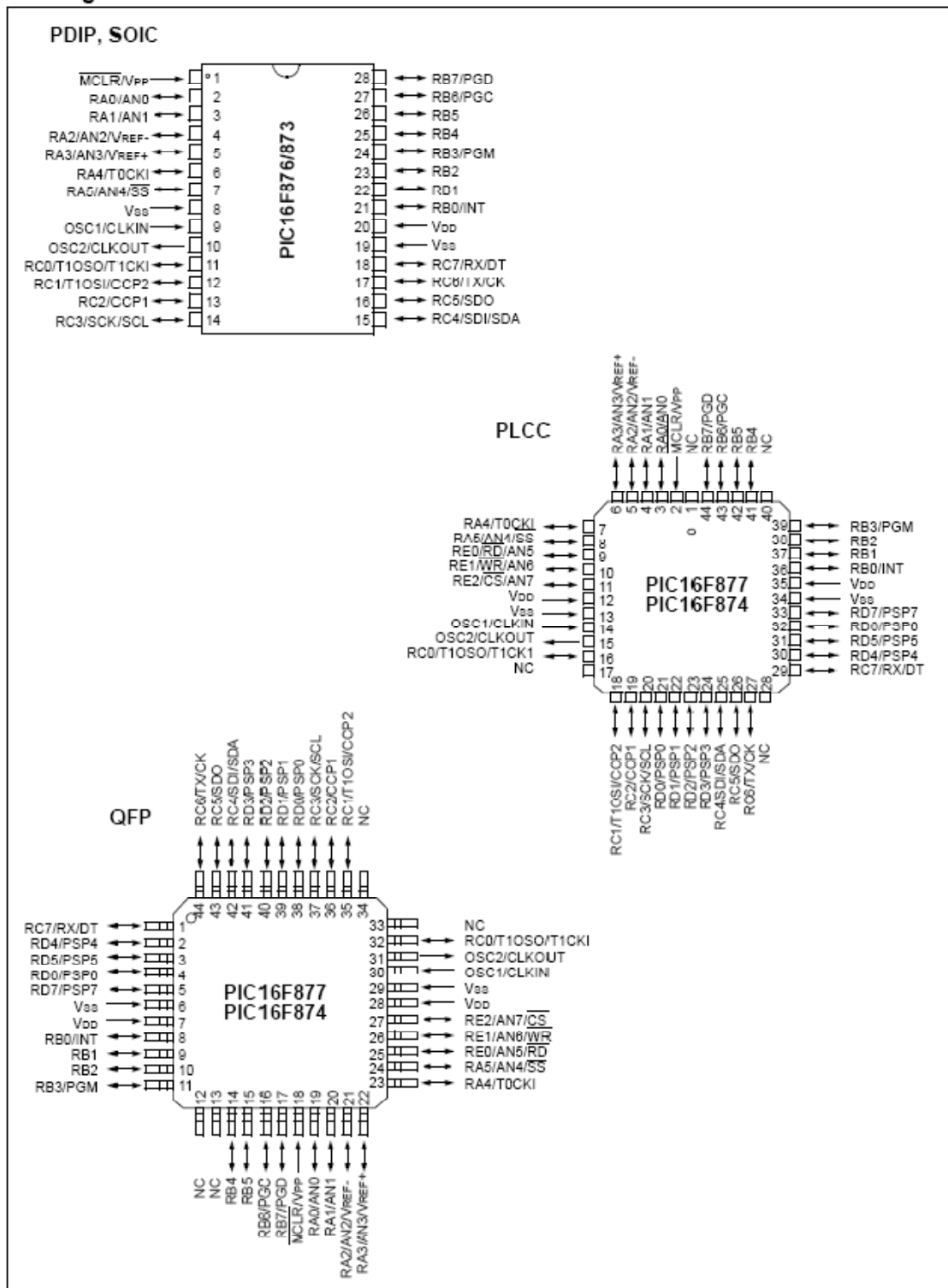


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



ANNEXE C

Les afficheurs sept segments

Les afficheurs 7 segments sont des afficheurs numériques qui peuvent représenter des caractères, des chiffres, bien que quelques lettres soient utilisées pour l'affichage hexadécimal dont le fonctionnement en allumant ou en éteignant des segments, au nombre de sept. Quand les 7 segments sont allumés, on obtient le chiffre 8.

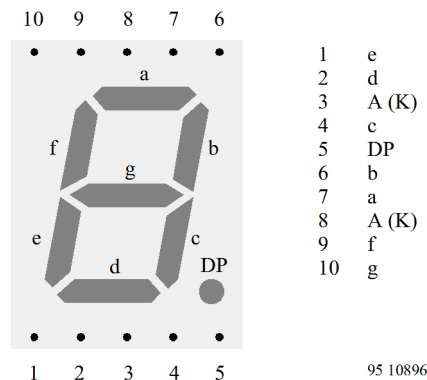


Fig.C.1. *brochage des pins de l'afficheur*

L'afficheur est composé de 7 LEDS (segments) **a, b, c, d, e, f et g** selon la polarisation des Leds, en trouve deux types des afficheurs 7-segments

- **Afficheur à anode commune** : toutes les anodes sont reliées et connectées au potentiel haut. La commande du segment se fait par sa cathode mise au potentiel Bas.
- **Afficheur à cathode commune** : toutes les cathodes sont reliées et connectées au potentiel bas. La commande du segment se fait par son anode mise au potentiel haut.

Bibliographie

- [01] Patric OGUIC, « Moteur pas à pas et PC », 2^{eme} édition .Dunod, Paris 2004.
- [02] ABADI Hatem. BECHA Faouzi, « Réalisation d'un carte de commande pour moteur pas à pas ». Institut supérieur des études techno de NABEUL , juin 2008.
- [03] BEDBOUDI Mouhamad et LALAOUI Lahouaoui, « Etude simulation du fonctionnement et réalisation pratique d'une carte de commande de deux moteurs pas à pas ».Mémoire d'ingénieur, université de M'SILA, 2006.
- [04] Guy Séguier, «Electronique de puissance (structure, fonction de base, principales applications) ». 7^{eme} édition, Dunod, 2004.
- [05] R. BOUZID et A. BOUDISSA, « Serrure codée par infrarouge basée sur le microcontrôleur PIC 16F84». Mémoire d'ingénieur, université de M'sila, 2006.
- [06] BEN AISSI Mounir et BOUHADJA Ameer «Commande d'un moteur à courant continu par microcontrôleur PIC 16F876 » Mémoire d'ingénieur, université de M'SILA, 2006.
- [07] B.Y. Messaid et A. Fettar, « Conception et réalisation d'un système de localisation par balaises ultrason synchronisées par des signaux infrarouges». Mémoire d'ingénieur, université de Blida, 2006.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION :COMMANDEELECTRIQUE

Année universitaire :2010/2011

Dirigé par : Mr.A.HAMMOUCHE

Présenté par:

Abdeslam BOULARES

Fayçal HAMADOUCHE

Aissa KHAOUANE

Thème:

Etude et Réalisation d'une carte de variateur de vitesse d'un
moteur pas à pas

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire consiste en l'étude et la réalisation d'une carte de variateur de vitesse d'un moteur pas à pas à base du Pic16F876.

Pour ce faire dans une première partie; nous avons étudié la constitution et le fonctionnement du moteur pas à pas. Pour réaliser la carte de commande nous avons abordé dans la deuxième partie l'étude du Pic16F877 qui va s'en charger des différents calculs et la communication entre l'utilisateur et la périphérie.

Dans la dernière partie nous avons abordé le fonctionnement de la carte de commande et la réalisation de cette dernière.

Mots clés: moteur pas à pas, Pic 16F876, Pic 16F877, carte de commande.