

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

*Mémoire de fin d'études*

Présenté en vue de l'obtention  
Du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique

Option : Contrôle.

*Thème:*

*Etude et réalisation d'un soft starter pour  
moteur asynchrones triphasés de puissance avec  
mesure de courant.*

Présenté par :

M<sup>r</sup> : ITAALIT SALIM

M<sup>r</sup> : FAREZ HOCINE

Promoteur :

M<sup>r</sup> : OURABIA

Année universitaire 2011/2012

# Remerciements

Nous remercions avant tout Dieu le tout puissant de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'étude. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur M. OURABIA N., pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils. Et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre cursus.

Nous remercions aussi tous nos amis pour leur aide, leur patience, leur compréhension et leurs encouragements.

Enfin, nous tenons à remercier également les membres de jury qui nous ferons l'honneur de juger notre travail et l'enrichir par leurs propositions.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à :*

*Ma défunte mère.*

*Mon cher père qui s'est sacrifié pour moi tout  
au long de mes études.*

*Mes frères et mes sœurs, mes amis et tous ceux  
qui me sont chers.*

*Salim*

## *Dédicaces*

*A mes chers parents, A mes frères et sœurs*

*Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter. En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie. Avec toute ma tendresse.*

*A notre petite fille de la famille « ARYAME » et sa maman. Mon cousin et sa famille.*

*A toute ma famille et mes proches qui ont su me soutenir et m'encourager durant cette année.*

*A ma copine DALILA.*

*A tous mes amis de village et mes voisins.*

*A mon binôme Salim ITALIT et sa famille*

*A tous mes amis de oued aussi, 3.58 et C99 « Farid, Samir, Omar, Boudjemaa, Djamel, Mahdi, Idir, Lounes, Samir, Yacine, Chabane.....etc. » pour les moments partagés, pour leurs sympathie, leurs grande serviabilité et leurs solidarité.*

*A tous mes amies de la promotion «Salim, Ghilas, Nazim, Toufik, Radia, Naima, Nadia, Meriem, Kamilia, Lynda, Safia, Saliha ... ».*

*A ma mes chères amies « Serine, Nora, Karima, Fatiha, Dyhia ».*

*Je dédie ce modeste travail*

*Hocine*

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I. Rappels sur les moteurs asynchrones**

<b>I. 1. Introduction</b> .....	2
<b>I. 2. Constitution et principe de fonctionnement</b> .....	2
I. 2. 1. Le stator.....	3
I. 2. 2. Le rotor.....	3
I. 2. 2. 1. Le rotor bobiné à bague.....	4
I. 2. 2. 2. Le rotor a cage d'écureuil.....	4
I. 2. 3. Plaque à bornes.....	5
I. 2. 4. Plaque signalétique ou plaque d'identification.....	6
I. 2. 5. Symbole électrique des moteurs asynchrone.....	6
I. 2. 6. Principe de fonctionnement.....	7
I. 2. 6. 1. La vitesse de synchronisme.....	7
I. 2. 6. 2. Le glissement.....	7
<b>I. 3. Conclusion</b> .....	8

## **Chapitre II. Démarrage des moteurs**

<b>II. 1. Introduction</b> .....	9
<b>II. 2. Démarrage direct</b> .....	9
II. 2. 1. Couplage et procédure de commutation.....	9
II. 2. 2. Etude à vide.....	11
II. 2. 3. Etude en charge.....	11
II. 2. 4. Caractéristique mécanique $T_u=f(N)$ .....	11
II. 2. 5. Point de fonctionnement du moteur en charge.....	12
<b>II. 3. Bilan des puissances</b> .....	12
II. 3. 1. Puissance absorbée $P_a$ .....	13
II. 3. 2. Pertes statorique.....	13
II. 3. 2. 1. Pertes par effet joule.....	13

II. 3. 2. 2. Pertes fer statorique .....	13
II. 3. 3. Puissance transmise au rotor .....	13
II.3 .3. Puissance total au rotor .....	14
II. 3. 3. 2. Pertes rotorique.....	14
II. 3. 3. 2. 1. Les pertes fer rotorique .....	14
II. 3. 3. 2. 2. Pertes par effet joule .....	15
II. 3. 4. Pertes mécaniques.....	15
II. 3. 5. La puissance utile.....	15
II. 3. 6. Le rendement du moteur .....	16
<b>II. 4. Avantages et inconvénients du démarrage direct .....</b>	<b>16</b>
<b>II. 5. Démarrage sous tension réduite .....</b>	<b>16</b>
II. 5. 1. Démarrage étoile-triangle .....	16
II. 5. 1. 1. Principe .....	17
II. 5. 1. 2. Circuit de commande et de puissance .....	17
II. 5. 1. 3. Chronogramme de fonctionnement .....	18
II. 5. 1. 4. Montage étoile .....	18
II. 5. 1. 5. Montage triangle .....	19
II. 5. 1. 6. Avantages et inconvénients .....	21
II. 5. 2. Démarrage par résistances statorique .....	22
II. 5. 2. 1. Principe .....	22
II. 5. 2. 2. Circuit de commande et de puissance .....	22
II. 5. 2. 3. Chronogramme de fonctionnement .....	23
II. 5. 2. 4. Avantages et inconvénients .....	24
II. 5. 3. Démarrage par résistances rotorique .....	25
II. 5. 3. 1. Principe .....	25
II. 5. 3. 2. Circuit de commande et de puissance .....	25
II. 5. 3. 3. Chronogramme de fonctionnement .....	26
II. 5. 3. 4. Avantages et inconvénients .....	27
<b>II. 6. Conclusion .....</b>	<b>28</b>

## **Chapitre III. Le Soft Starter**

<b>III .1. Introduction</b> .....	29
<b>III. 2. Structure du soft starter</b> .....	29
III. 2. 1. Le module de commande .....	29
III. 2. 1. 1. Introduction .....	29
III. 2. 1. 2. Présentation du PIC 16f877 .....	29
III. 2. 1. 3. Organisation interne du PIC 16F877 .....	30
III. 2. 1. 4. Organisation externe du PIC 16F87 .....	32
III. 2. 1. 5. Configuration minimale du PIC .....	32
III. 2. 1. 5. 1. Alimentation .....	32
III. 2. 1. 5. 2. Le circuit d'initialisation .....	32
III. 2. 1. 5. 3. L'oscillateur .....	32
III. 2. 1. 6. Fonctionnement du module de commande .....	33
III. 2. 2. Le module de mesure de courant .....	34
III. 2. 2. 1. Introduction.....	34
III. 2. 2. 2. Le transformateur de courant .....	34
III. 2. 2. 3. Redressement et filtrage .....	36
III. 2. 2. 3. 1. Redressement double alternance .....	36
III. 2. 2. 3. 2. Filtrage capacitif .....	36
III. 2. 3. L'afficheur LCD .....	39
III. 2. 3. 1. Le brochage de l'afficheur LCD .....	39
III. 2. 3. 2. Fonctionnement de l'afficheur LCD .....	39
III. 2. 4. le port série RS232 .....	40
III. 2. 4. 1. Protocole de transmission de la norme RS 232 .....	40
III. 2. 4. 2. Le MAX232 (la conversion des niveaux) .....	43
III. 2. 5. Le module de puissance .....	45
III. 2. 5. 1. Modes de fonctionnement .....	45
III. 2. 5. 2. Caractéristique statique .....	46

III. 2. 6. Le circuit de puissance .....	47
III. 2. 6. 1. Circuit de détection de passage de zéro .....	48
III. 2. 6. 2. Circuit d'amorçage des thyristors .....	49
III. 2. 6. 3. Circuit de protection des thyristors .....	50
III. 2. 6. 3. 1. Protection contre les dv/dt (Snubber) .....	50
III. 2. 6. 3. 2. Les varistances .....	51
III. 3. Principe d'un gradateur .....	51
III. 2. 3. 4. Puissance de sortie du soft starter .....	52
III. 4. Fonctionnement du soft starter .....	53

## Chapitre IV. Conception et réalisation

IV. 1. Conception matérielle.....	55
IV. 1. 1. Introduction .....	55
IV. 1. 1. 1. Réalisation d'un circuit imprimé .....	55
IV. 1. 1. 1. 1. Avant l'insolation .....	55
IV. 1. 1. 1. 2. Réglage de la durée d'insolation .....	55
IV. 1. 1. 1. 3. Révéler la platine .....	55
IV. 1. 1. 1. 4. Gravure du circuit imprimé .....	56
IV. 1. 1. 1. 5. Le perçage .....	56
IV. 1. 1. 1. 6. L'étamage .....	56
IV. 1. 1. 1. 7. Vernissage .....	56
IV. 1. 1. 1. 8. Implantation des composants et soudage .....	56
IV. 1. 3. Les circuits imprimés .....	57
IV. 1. 3. 1. Nomenclature des composants utilisés .....	58

<b>IV. 2. Conception logicielle.....</b>	<b>59</b>
IV. 2. 1. Introduction.....	59
IV. 2. 2. La programmation du PIC 16F877.....	59
IV. 2. 2. 1. Le CCS Compiler.....	59
IV. 2. 2. 2. L'IC Prog.....	59
IV. 2. 3. L'organigramme du programme PIC1.....	60
IV.2.4. L'organigramme du programme PIC2.....	63
IV. 2. 4. Une partie du programme de PIC 1.....	66
IV. 2. 4. Une partie de programme de PIC 2.....	68

<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>70</b>
---------------------------------	-----------

Références bibliographiques

Annexes



## *Liste des figures*

Fig. I. 1. Vue éclatée d'un moteur asynchrone.....	P 2
Fig. I. 2. Le stator.....	P 3
Fig. I. 3. Rotor bobiné à bague.....	P 4
Fig. I. 4. Rotor à cage d'écureuil.....	P 5
Fig. I. 5. Plaque à bornes.....	P 5
Fig. I. 6. Couplage possible avec le réseau.....	P 5
Fig. I. 7. Plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé.....	P 6
Fig. I. 8. Symboles électriques.....	P 6
Fig. I. 9. Principes de fonctionnement.....	P 7
Fig. II. 1. Couplage de démarrage direct.....	P 9
Fig. II. 2. Courbe caractéristique du démarrage directe.....	P 10
Fig. II. 3. Bilan des puissances.....	P 13
Fig. II. 4. Démarrage étoile triangle.....	P 17
Fig. II. 5. Chronogramme de fonctionnement.....	P 18
Fig. II. 6. Couplage étoile.....	P 18
Fig. II. 7. Couplage triangle.....	P 19
Fig. II. 8. Courbes du démarrage étoile triangle.....	P 20
Fig. II. 9. Démarrage statorique par résistances.....	P 22
Fig. II. 10. Chronogramme de fonctionnement.....	P 23
Fig. II. 11. Courbes du démarrage statorique par résistances.....	P 24
Fig. II. 12. Démarrage rotorique par résistances.....	P 25
Fig. II. 13. Chronogramme de fonctionnement.....	P 26
Fig. II. 14. Courbes caractéristiques du démarrage rotorique.....	P 27
Fig. III. 1. Schéma synoptique du softstarter.....	P 29
Fig. III. 2. Signification de 16f877.....	P 30
Fig. III. 3. Organisation interne du PIC 16f877.....	P 31
Fig. III. 4. Brochage du PIC 16F877.....	P 32
Fig. III. 5. Transformateur.....	P 34
Fig. III. 6. Le capteur de courant.....	P 35
Fig. III. 7. Redressement double alternance.....	P 36

Fig. III. 8. Filtrage capacitif.....	P 37
Fig. III. 9. courbe d'étalonnage du capteur.....	P 38
Fig. III. 9. Protocole TTL.....	P 42
Fig. III. 10. Protocole RS232.....	P 42
Fig. III. 11. Le max 232.....	P 43
Fig. III. 12. Liaison RS232 avec le PIC.....	P 44
Fig. III. 13. Le thyristor.....	P 45
Fig. III. 14. Caractéristique statique.....	P 46
Fig. III. 15. Le circuit de puissance.....	P 47
Fig. III. 16. Détection passage de zéro.....	P 48
Fig. III. 17. Circuit d'amorçage des thyristors (schéma simplifié).....	P 49
Fig. III. 18. Protections des thyristors.....	P 50
Fig. III. 19. Principe d'un gradateur à angle de phase.....	P 51
Fig. III. 20. Couplage du gradateur triphasé avec la charge.....	P 52
Fig. III. 21. Simulation de la maquette sous ISIS.....	P 53
Fig. IV. 1. circuit imprimé.....	P 56
Fig. IV. 2. visualisation 3D du circuit imprimé.....	P 56
Fig. IV. 3. circuit imprimé du redresseur.....	P 57
Fig. IV. 4. visualisation 3d du circuit de redressement.....	P 57

## *Liste des Tableaux*

Tableau. I. 1. Influence du nombre de pôles sur la vitesse de synchronisme.....	8
Tableau. III. 1. Brochage de l'afficheur LCD.....	39
Tableau. IV. 1. : Nomenclature des composants utilisés.....	57

## *Liste des Abréviations*

$N_s$  : vitesse de synchronisme

$f$  : fréquence du réseau

$p$  : nombre de paires de pôles.

$g$  : glissement

$N$  : vitesse de rotation du rotor

$T_u$  : couple utile

$N$  : vitesse

$M_r$  : couple résistant

$J$  : moment d'inertie

$W$  : accélération angulaire.

$P$ : La puissance électrique absorbée

$U$ : La tension entre deux phases

$I$ : L'intensité du courant de ligne

$\varphi$  : L'angle de déphasage entre courant et tension

$P_{tr}$ : La puissance transmise au rotor

$P_{js}$ : Les pertes par effet Joule dans le stator

$P_{fs}$ : Les pertes dans le fer du stator

$P_u$  : La puissance utile

$\Omega_s$  : La vitesse angulaire du champ  $\vec{B}$

$\eta$  : Rendement du moteur

$I_{LY}$  : Courant d'alimentation avec couple étoile.

$I_{\Delta}$  : Courant d'alimentation avec couple triangle

$I_w$  : Courant d'enroulement

$R$  : Résistance d'une phase statorique

Cd : couple de démarrage.

Toute tâche d'entraînement nécessite l'utilisation d'un moteur dont la fonction principale est la transformation d'énergie (électrique ou combustible) en une énergie mécanique.

Le choix du moteur à utiliser, dépendra alors des propriétés de ce dernier afin quelles soient appropriées à la tâche à résoudre, notamment en ce qui concerne la vitesse, le couple et les possibilités de réglage.

Le moteur asynchrone triphasé est le moteur le plus utilisé à l'échelle mondiale. Le plus économique et le plus courant des moteurs électriques. Il se caractérise par une conception robuste et très simple, a des degrés de protection élevés et des versions normalisées.

A la mise sous tension d'un moteur asynchrone, un appel de courant aura lieu.

Si l'installation peut supporter cet appel de courant, celui-ci peut être directement couplé sur le réseau pour qu'il démarre sur ses caractéristiques naturelles. Dans le cas contraire, le courant de démarrage doit être limité. Pour cela des solutions ont été adoptées et on trouve :

L'ajout de résistances (rotorique, statorique).

Démarrage étoile-triangle.

L'utilisation d'un soft starter (Démarrage électronique).

Au cours de notre étude, nous nous intéresserons au démarrage progressif par un gradateur triphasé à thyristors et à la mesure du courant de ligne. Par ce procédé, on pourra augmenter progressivement la tension injecter, tout en mesurant la valeur efficace du courant absorbé par le moteur, sans toutefois dépasser une valeur limite prédéfinie par l'utilisateur.

Les données de mesures en fonction du temps de démarrage, seront transmises par la voie série vers un ordinateur via le port rs232 pour une représentation graphique.

Notre travail est subdivisé en 4 chapitres

Le premier est consacré aux rappels sur les moteurs asynchrones triphasés.

Le deuxième pour la mise sous tension et le démarrage moteur.

Le troisième pour le soft starter et la mesure de courant de ligne.

Le quatrième pour la conception matériel et logiciel

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

# CHAPITRE I

## RAPPELS SUR LES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

## I. 1. Introduction

Les moteurs asynchrones représentent plus de 80 % des moteurs électriques utilisés dans le monde. Ils sont utilisés pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique grâce à des phénomènes électromagnétiques. C'est une machine robuste, économique à l'achat et ne nécessitant que peu de maintenance. De plus, sa vitesse de rotation est presque constante sur une large plage de puissance.

## I. 2. Constitution et principe de fonctionnement

Leur fonctionnement est basé sur l'obtention d'un effort mécanique par action d'un champ magnétique sur un circuit électrique traversé par un courant fourni par une source extérieure, laquelle peut aussi produire éventuellement le champ magnétique.

La machine asynchrone se compose de deux parties principales :

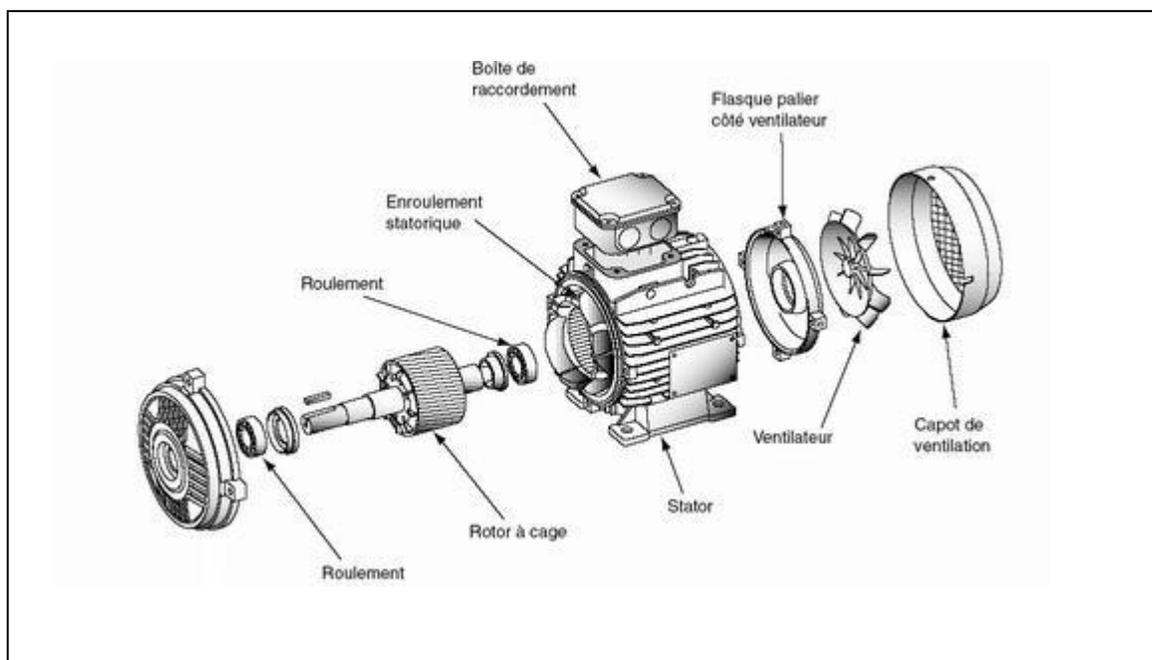


Fig. I. 1. Vue éclatée d'un moteur asynchrone

### I. 2. 1. Le stator

C'est la partie fixe du moteur, représente l'inducteur du moteur. Il est constitué d'une carcasse en *fonte* ou en *aluminium*, sur laquelle est fixée une couronne d'un empilement de tôles *ferromagnétiques* très fines (0.35 à 0.5mm). Des encoches se forment ainsi sur la périphérie interne permettant d'y loger les conducteurs en *cuivre* des bobinages du stator (fig. I. 2). Ils sont répartis dans ce dernier et formant un ensemble d'enroulements qui comporte autant de circuits qu'il y a de phases sur le réseau d'alimentation.

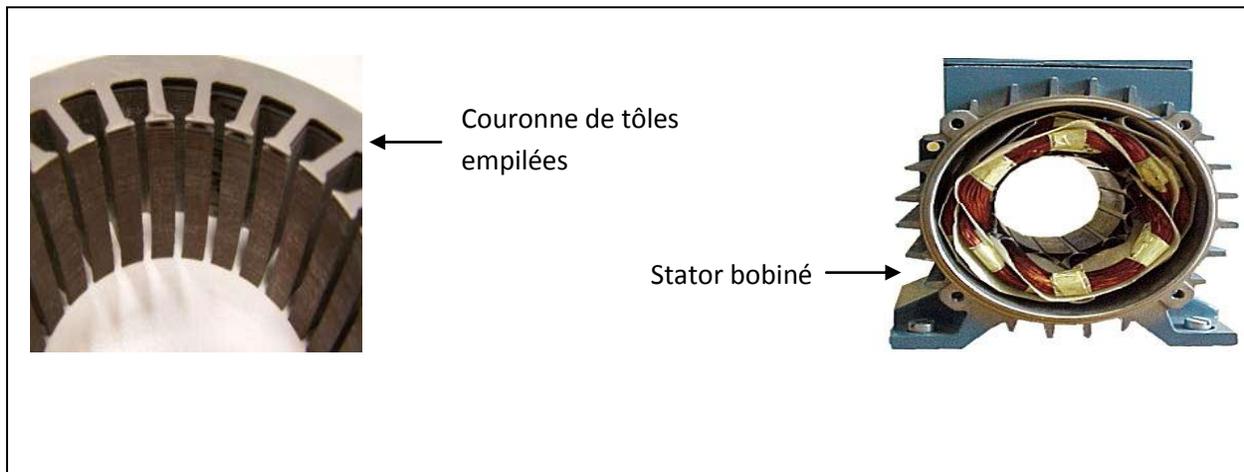


Fig. I. 2. Le stator

### I. 2. 2. Le rotor

C'est la partie mobile du moteur ; il est placé à l'intérieur du stator et représente l'induit de la machine, il est séparé du stator par un entrefer de 0,4 à 2 mm. Selon sa constitution on trouve :

### I. 2. 2. 1. Le rotor bobiné à bague

Les tôles de ce rotor sont munies d'encoches où sont placés des conducteurs formant un ensemble de bobinage le plus souvent triphasé monté en étoile, les autres extrémités sont reliées à des bagues tournantes avec l'arbre du rotor (fig. I. 3). Des balais sont prévus pour accéder à ces enroulements, permettant de modifier certaines des caractéristiques électriques du circuit en y ajoutant des résistances afin de réaliser un démarrage rotorique.

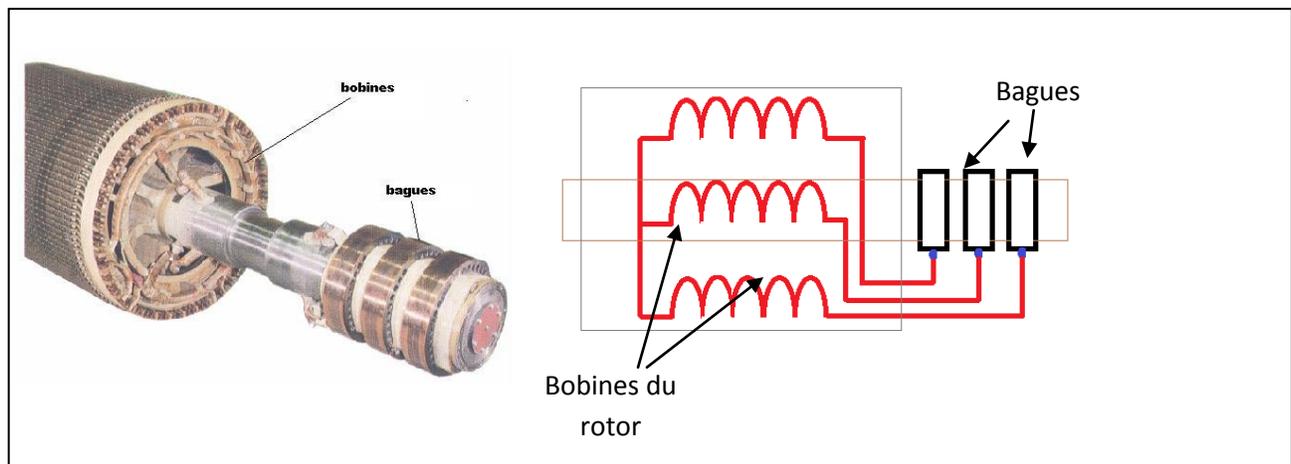


Fig. I. 3. Rotor bobiné à bague

### I. 2. 2. 2. Le rotor a cage d'écureuil

C'est le plus fréquent. Ces rotors sont constitués de tôles *ferromagnétiques* et de barres conductrices régulièrement réparties à la périphérie du rotor. Les barres sont reliées entre elles par deux anneaux de court-circuit formant ainsi une cage d'écureuil (fig. I. 4). Les tôles ferromagnétiques servent à guider les lignes du champ, tandis que les barres accueillent les courants induits. Le matériau constituant les barres et les anneaux de court-circuit est généralement un alliage à base *d'aluminium*, mais on peut aussi rencontrer du *cuivre* ou du *laiton*.

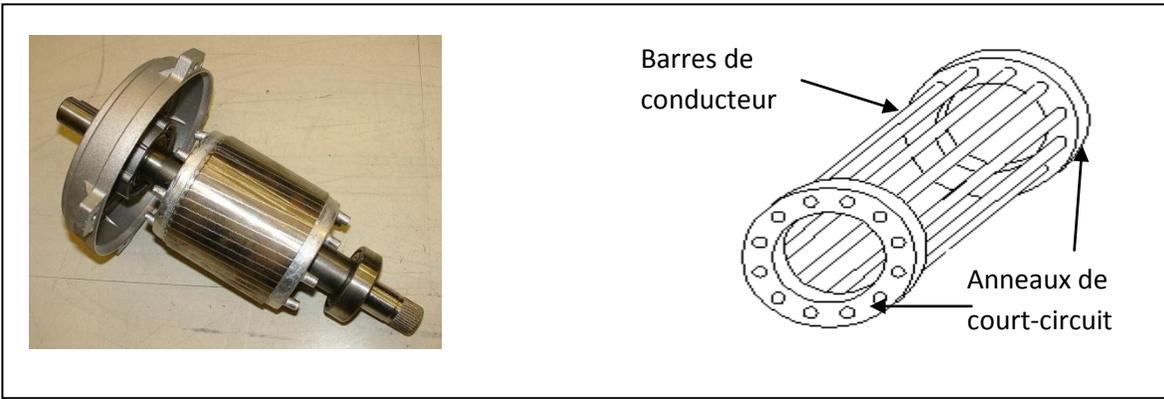


Fig. I. 4. Rotor à cage d'écureuil

### I. 2. 3. Plaque à bornes

C'est le dispositif permettant de raccorder le moteur à son alimentation. On n'y retrouve chacune des deux extrémités de chacun des trois enroulements du stator. Le moteur peut être couplé soit en étoile soit en triangle.



Fig. I. 5. Plaque à bornes

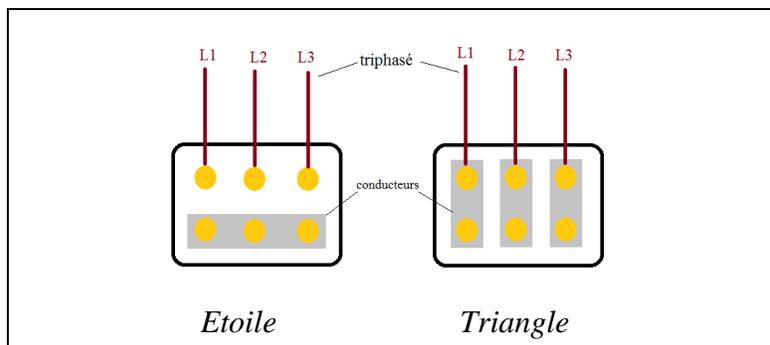


Fig. I. 6. Couplage possible avec le réseau

### I. 2. 4. Plaque signalétique ou plaque d'identification

C'est la carte d'identité du moteur asynchrone

- **Type : (LS90Lz)** : référence propre au constructeur.
- **Puissance : (1,5Kw)** : puissance utile délivrée sur l'arbre du moteur.
- **cos  $\phi$  : (0,78)** : facteur de puissance le calcul de la puissance réactive consommée.
- **(230v  $\Delta$ /400v Y)** : Tensions d'alimentation pour couplage  $\Delta$ /Y.
- **(6,65A  $\Delta$  /3,84A Y)** : représente l'intensité en ligne pour chacun des couplages.
- **(rdt%76)** : rendement du moteur.
- **(1440 Tr/mn)**: Indique la vitesse nominale du rotor. On dit aussi vitesse réelle.
- **(50HZ)** : fréquence du réseau d'alimentation.
- **(Ph 3)** : Nombre de phases.
- **(40°C)** : Température ambiante d'utilisation recommandée.



Fig. I. 7. Plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé

### I. 2. 5. Symbole électrique des moteurs asynchrone

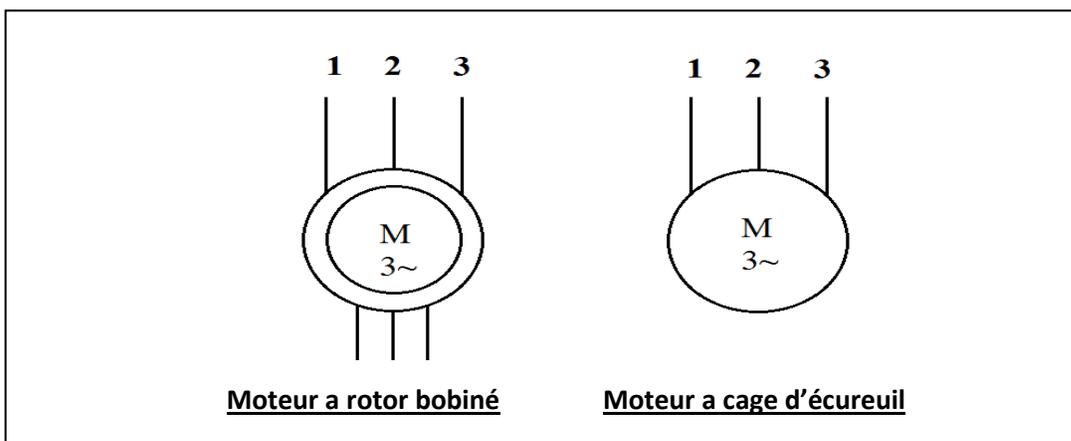


Fig. I. 8. Symboles électriques

### I. 2. 6. Principe de fonctionnement

L'alimentation des bobines du stator par un système de courant variable (*triphase*), produit un champ magnétique tournant (champ inducteur) au niveau de l'entre fer.

Tant que le rotor a une fréquence de rotation inférieure à celle du champ inducteur, chaque point de rotor subit une *variation de champ*. Les conducteurs rotorique produisent donc une f.é.m. qui, dans le circuit fermé, va donner naissance à des *courants induits* (courant de Foucault). Ces courants vont à leur tour produire un *champ magnétique induit*, qui va s'opposer à la cause qui lui a donné naissance (lois de Lenz). Cela se traduit concrètement par un phénomène de poursuite du rotor vis à vis du champ tournant n'arrive jamais à le rattraper.

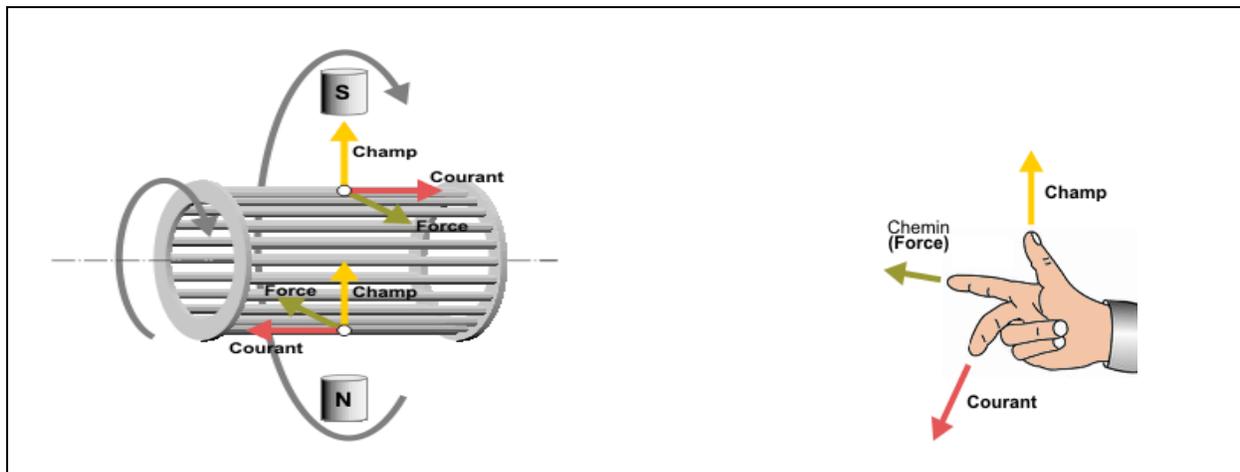


Fig. I. 9. Principes de fonctionnement

#### I. 2. 6. 1. La vitesse de synchronisme

La vitesse de synchronisme  $N_s$  est la vitesse du champ tournant statorique.

$$N_s = \frac{60f}{p}$$

$N_s$  : vitesse de synchronisme en [tr/min].

$f$  : fréquence du réseau en [Hz].

$p$  : nombre de paires de pôles.

Pour un réseau de 50 Hz :

Tableau I. 1. Influence du nombre de pôles sur la vitesse de synchronisme

<b>Paire de pôles</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
Nombre de pôles	2	4	6	8	12
Ns [tr/min]	3000	1500	1000	750	500

### I. 2. 6. 2. Le glissement

Il doit y avoir une différence de vitesse pour que ce type de moteur fonctionne, car c'est le décalage de vitesse entre le rotor et le champ statorique qui provoque l'apparition des courants induits au rotor (courants qui créent le champ rotorique). Le *glissement* correspond à cette différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique exprimé sous la forme d'un pourcentage.

$$g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

**g** : glissement [%].

**N<sub>s</sub>** : vitesse de synchronisme [tr/min].

**N** : vitesse de rotation du rotor [tr/min].

Le glissement dépend de la charge mécanique entraînée par le rotor, plus le couple résistant est important, plus le rotor glisse.

## I. 3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents organes constituant le moteur asynchrone triphasé à cage, à rotor bobiné ainsi que les matériaux utilisés pour leurs fabrications.

Une constitution très simple qui a fait sa place dans l'industrie pour son rapport qualité prix et sa garantie d'une durée de vie satisfaisante.

# CHAPITRE II

## DEMARRAGE DES MOTEURS

## II. 1. INTRODUCTION

Lors de la mise sous tension d'un moteur, l'appel de courant sur le réseau est important et la section de la ligne d'alimentation pourrait être insuffisante, cela peut provoquer une chute de tension susceptible d'affecter le fonctionnement des autres récepteurs. Parfois, cette chute de tension est perceptible sur les appareils d'éclairage.

En fonction des caractéristiques du moteur et de la charge, plusieurs méthodes de démarrages sont utilisées. Le choix sera dicté par des impératifs électriques, mécaniques et économiques.

## II. 2. Démarrage direct

C'est le plus simple à exécuté qu'avec le moteur asynchrone. Les enroulements du stator sont couplés directement sur le réseau d'alimentation.

### II. 2. 1. Couplage et procédure de commutation

C'est le mode de démarrage le plus simple dans lequel le stator est directement couplé sur le réseau. Le moteur démarre sur ses caractéristiques naturelles.

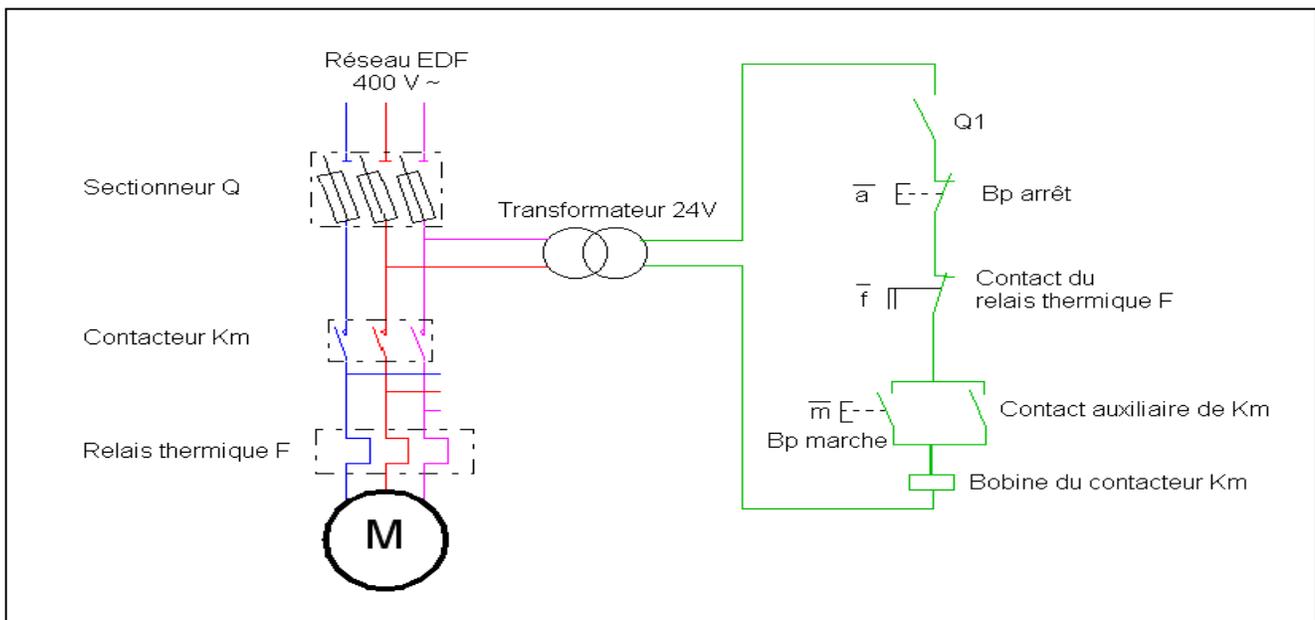


Fig. II. 1. Couplage de démarrage direct

Le sectionneur d'isolement avec fusible permet de déconnecter le moteur du réseau pour des opérations de maintenance. Il protège également le dispositif contre les risques de court circuit grâce aux fusibles.

Le contacteur permet d'alimenter le moteur avec commande manuelle ou automatique avec un automate programmable.

Le relais thermique protège le moteur contre les surcharges de courant, l'intensité maximale admissible est réglable. Son action différentielle permet de détecter une différence de courant entre les phases en cas de coupure d'une liaison par exemple.

Le transformateur abaisse la tension secteur a une valeur de 24V pour garantir la sécurité des utilisateurs sur la partie commande.

Au moment de la mise sous tension, le moteur se comporte comme un transformateur dont le secondaire, constitué par la cage du rotor très peu résistante, est en court-circuit. Le courant induit dans le rotor est important. Il en résulte une pointe de courant sur le réseau :

$$I_{\text{démarrage}} = \mathbf{5 \text{ à } 8 I_{\text{nominal}}}.$$

Le couple de démarrage est en moyenne :

$$C_{\text{démarrage}} = \mathbf{0.5 \text{ à } 1.5 \text{ nominal}}.$$

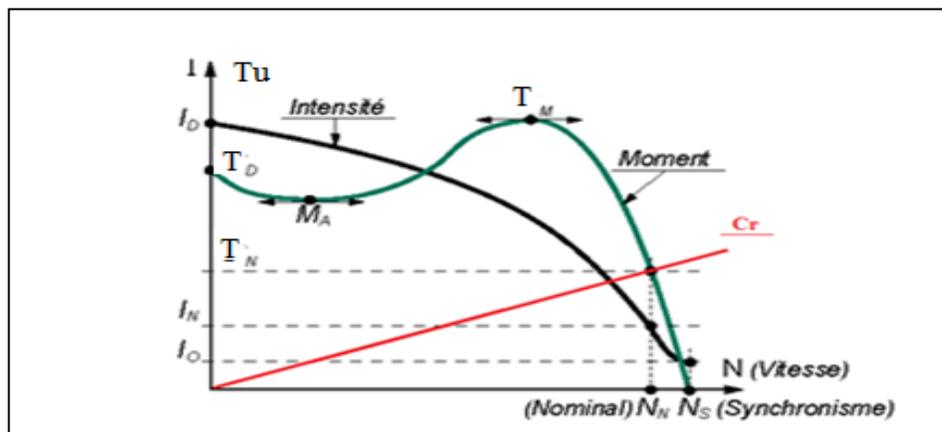


Fig. II. 2. Courbe caractéristique du démarrage direct

A gauche du couple maximum  $T_M$ , on ne peut obtenir un point de fonctionnement stable.

Il faut impérativement que le point de fonctionnement se situe à droite du point d'inflexion du couple maximum.

### II. 2. 2. Etude à vide

Dans ce fonctionnement, le rotor tourne pratiquement au synchronisme ( $g \approx 0$ ), l'intensité du courant en ligne est importante (20% du courant nominal) et le facteur de puissance est faible : il s'agit essentiellement d'un courant réactif, ou magnétisant, qui crée le champ magnétique.

### II. 2. 3. Etude en charge

Le stator étant toujours alimenté par le réseau, augmentons progressivement la charge à entraînée par le moteur jusqu'au fonctionnement nominal. Nous constatons que :

L'intensité du courant absorbé croît.

Le facteur de puissance augmente.

La fréquence de rotation diminue.

### II. 2. 4. Caractéristique mécanique $T_u=f(N)$

La figure (Fig. II. 2.) montre que le moment du couple utile :

Est important au démarrage.

Présente un maximum.

Varie de façon presque linéaire au voisinage de la fréquence de rotation nominale.

Cette zone correspondant au fonctionnement normal du moteur peut être représentée par l'équation de la caractéristique :

$$T_u = a.N + b \quad (1)$$

$T_u$  : couple utile.

$N$  : vitesse (tr/mn).

$a, b$  : des constantes.

$$\text{A vide : } T_u = 0 \text{ à } N_s = N \Rightarrow a.N_s + b = 0 \Rightarrow b = -a.N_s \quad (2)$$

$$\text{Au point nominal : on a } N = N_n \text{ de (1) et (2) } T_u = a.N_n - a.N_s = a.(N_n - N_s) \quad (3)$$

Or

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \Rightarrow g \cdot N_s = N_s - N_n \Rightarrow N_n = (1 - g)N_s \quad (4)$$

de (3) et (4)  $T_u = a \cdot [N_s(1 - g) - N_s] = -a \cdot N_s \cdot g$  en posant  $k = -a \cdot N_s$

$$T_u = k \cdot g$$

Au voisinage du point de fonctionnement nominal, le moment du couple utile est proportionnel au glissement

### II. 2. 5. Point de fonctionnement du moteur en charge

Il s'agit évidemment d'un point d'équilibre, d'après le principe fondamental de la dynamique :

$$M_m - M_r = j \frac{d\omega}{dt} = 0$$

$M_m$  : couple moteur.

$M_r$  : couple résistant en N.m.

$J$  : moment d'inertie en kg. m<sup>2</sup>.

$w$ : accélération angulaire en rad/s.

La quantité  $\{M_m - M_r\}$  est appelée « couple d'accélération ».

Sur la figure (Fig. II. 2.) le point de fonctionnement a pour coordonnées  $(T_n, M_n)$ .

Le temps de démarrages peut être estimé en considérant les deux couples comme constants sur la durée du démarrage par l'équation :

$$dt = j \frac{w_{init} - w_{final}}{M_m - M_r}$$

### II. 3. Bilan des puissances

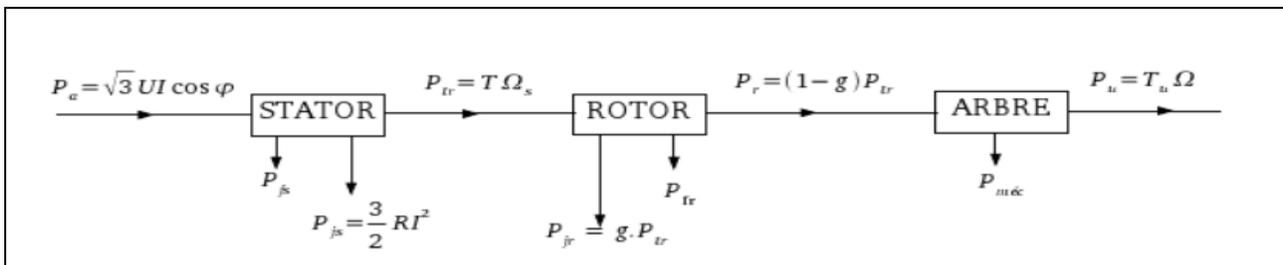


Fig. II. 3. Bilan des puissances

D'après la définition d'un convertisseur électromécanique, la puissance absorbée  $P_a$  est donc électrique tandis que la puissance utile  $P_u$  est mécanique.

### II. 3. 1. Puissance absorbée $P_a$

Quelque soit le couplage, le moteur absorbe une puissance :

$$P_a = UI\sqrt{3} \cos \varphi$$

P: La puissance électrique absorbée en watts [W]

U: La tension entre deux phases en volts [V]

I: L'intensité du courant de ligne en ampères [A]

$\varphi$  : L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [°]

### II. 3. 2. Pertes statorique

#### II. 3. 2. 1. Pertes par effet joule

$$P_{js} = \frac{3}{2} RI^2$$

I : courant de ligne.

R : résistance mesuré entre deux phases.

#### II. 3. 2. 2. Pertes fer statorique

Ces pertes sont considérées comme constantes et négligeable devant les pertes par effet joule.

### II. 3. 3. Puissance transmise au rotor

$$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs}$$

$P_{tr}$ : La puissance transmise au rotor en watts [W]

P: La puissance électrique absorbée en watts [W]

$P_{js}$ : Les pertes par effet Joule dans le stator en watts [W]

$P_{fs}$ : Les pertes dans le fer du stator en watts [W].

Cette puissance est transmise du stator au rotor par le champ magnétique sous la forme d'un couple électromagnétique de moment  $T$  qui tourne à la vitesse de synchronisme  $\Omega_s$ .

$$P_{tr} = T \cdot \Omega_s$$

$P_{tr}$ : La puissance transmise au rotor en watts [W]

$T$ : Le moment du couple transmis au rotor en Newton-mètre [Nm]

$\Omega_s$ : La vitesse angulaire du champ  $\vec{B}$  en radians par seconde [ $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

### II.3 .3. Puissance total au rotor

Le rotor reçoit le couple électromagnétique de moment  $T$  et tourne à la vitesse  $\Omega$ .

Sa puissance totale est :

$$P_r = T \cdot \Omega$$

$$T = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} = \frac{P_r}{\Omega} \text{ où } P_r = \frac{\Omega}{\Omega_s} P_{tr} \quad \text{sachant que} \quad g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = 1 - \frac{\Omega}{\Omega_s}$$

$$\frac{\Omega}{\Omega_s} = 1 - g$$

$$P_r = (1 - g)P_{tr}$$

$P_r < P_{tr}$  à cause des pertes rotoriques.

#### II. 3. 3. 2. Pertes rotorique

##### II. 3. 3. 2. 1. Les pertes fer rotorique

Ces pertes sont liées à la fréquence, et pour une référentielle liée au rotor, le champ magnétique tourne à la vitesse

Les courants de Foucault induits au rotor ont pour fréquence :  $f_r = g \cdot f$

On pourra alors négliger les pertes magnétiques au rotor, car en marche normale  $g \approx 0$ .

### II. 3. 3. 2. 2. Pertes par effet joule

Elles ne sont pas mesurables car le rotor est en court circuit. On peut les déduire par la relation :

$$P_{jr} = P_{tr} - P_r = P_{tr} - (1 - g)P_{tr}$$

$$g \cdot P_{tr} = P_{jr}$$

### II. 3. 4. Pertes mécaniques

En marche normal, ces pertes  $P_{méc}$  son considérer comme constantes.

### II. 3. 5. La puissance utile

Le moteur développe un couple utile de moment  $T_u$  en tournant à la vitesse  $\Omega$  (celle du rotor).

$$P_u = T_u \cdot \Omega = P_r - P_{méc}$$

### II. 3. 6. Le rendement du moteur

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

$\eta$  : Rendement du moteur [sans unités].

$P_u$  : La puissance utile en watts [W].

$P$  : La puissance absorbée en watts [W].

## II. 4. Avantages et inconvénients du démarrage direct

Malgré les avantages qu'il présente (simplicité de l'appareillage, couple de démarrage élevé, démarrage rapide, prix faible), le démarrage direct ne peut convenir que dans les cas où :

- la puissance du moteur est faible par rapport à la puissance du réseau, de manière à limiter les perturbations dues à l'appel de courant.
- la machine entraînée ne nécessite pas une mise en vitesse progressive où comporte un dispositif amortisseur qui réduit le choc du démarrage,
- le couple de démarrage peut être élevé sans incidence sur le fonctionnement de la machine ou de la charge entraînée.

## II. 5. Démarrage sous tension réduite

Plusieurs dispositifs permettent de réduire la tension aux bornes des enroulements du stator pendant la durée du démarrage du moteur ce qui est un moyen de limiter l'intensité du courant au démarrage. L'inconvénient est que le couple moteur est également diminué et que cela augmente la durée avant laquelle la machine atteint le régime permanent.

### II. 5. 1. Démarrage étoile-triangle

Ce procédé s'applique qu'aux moteurs dont toutes les extrémités d'enroulements sont sorties sur la plaque à bornes, et dont le couplage triangle correspond à la tension du réseau.

Par exemple, pour un réseau triphasé 380 V, il faut un moteur bobiné en 380 V triangle et 660 V étoile.

### II. 5. 1. 1. Principe

Le démarrage s'effectue en deux temps :

- Premier temps : mise sous tension et couplage étoile des enroulements Q, KM1, KM2 fermés.

Le moteur démarre à tension réduite pour se stabilisé généralement entre 75 et 85 % de la vitesse nominale.

- Deuxième temps : Suppression du couplage étoile (KM1 ouvert) et mise en couplage triangle (KM3 fermé) Le moteur est alimenté sous pleine tension.

### II. 5. 1. 2. Circuit de commande et de puissance

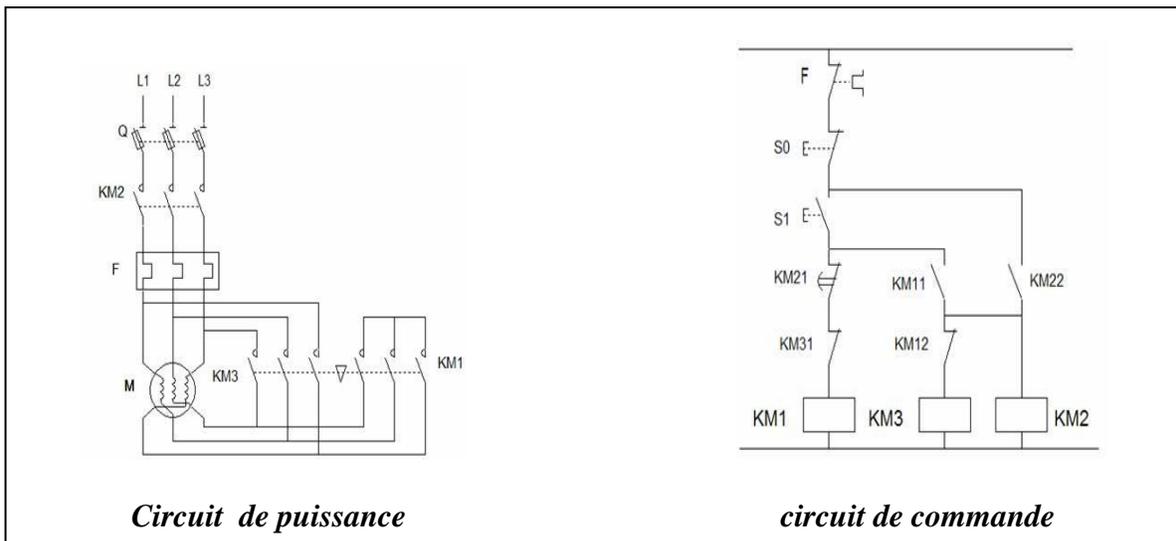


Fig. II. 4. Démarrage étoile triangle

F : contact auxiliaire du relais thermique.

KM3 : bobine du contacteur couplage triangle.

S<sub>0</sub> : bouton poussoir arrêt.

KM21 : contact auxiliaire à ouverture **retardé** à l'ouverture.

S<sub>1</sub> : bouton poussoir marche.

KM1 : bobine du contacteur couplage étoile.

KM2 : bobine du contacteur ligne.

**II. 5. 1. 3. Chronogramme de fonctionnement**

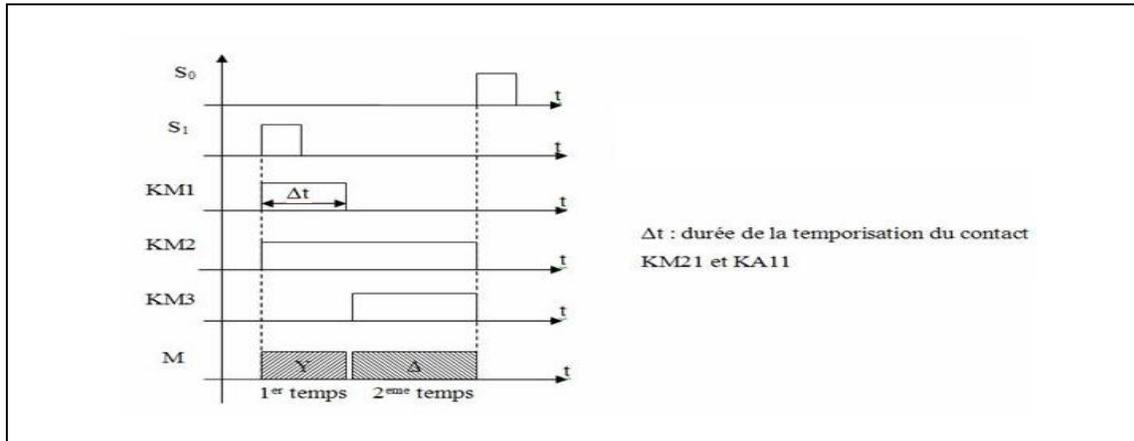


Fig. II. 5. Chronogramme de fonctionnement

On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé en étoile-triangle dans un sens de rotation par un bouton poussoir  $S_1$  et l'arrêter par l'appui sur un bouton poussoir  $S_0$ .

Le passage étoile triangle se fait par un temporisateur réglable  $\Delta t$  a deux contacteurs KM21 et KM11 travaillant en opposition pour éviter la fermeture simultanée de KM1 et KM3

**II. 5. 1. 4. Montage étoile**

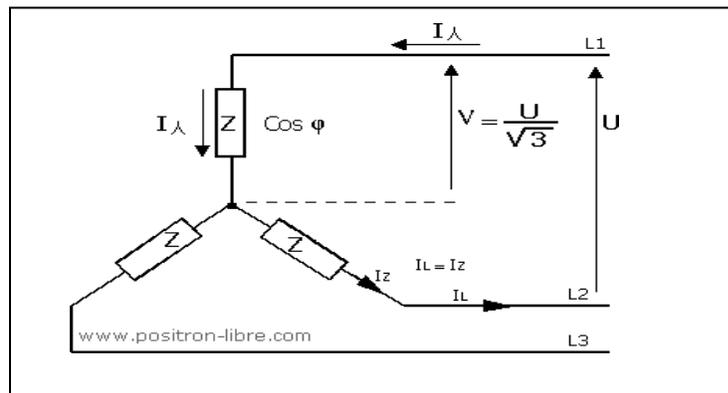


Fig. II. 6. Couplage étoile

Intensité en ligne  $I$  (A) :

Nous avons : Intensité en ligne = Intensité récepteur ( $I_L = I_Z$ ) soit :

$$I_Y = \frac{U}{Z} = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{Z} I_Y = \frac{U}{Z\sqrt{3}} = \frac{U\sqrt{3}}{3Z}$$

Puissance :

$$P_Y = UI_Y\sqrt{3} \cos \varphi = \frac{UU\sqrt{3} \cos \varphi}{Z\sqrt{3}}$$

$$P_Y = \frac{U^2 \cos \varphi}{Z}$$

### II. 5. 1. 5. Montage triangle

Considérons le schéma suivant où les trois récepteurs sont couplés en triangle :

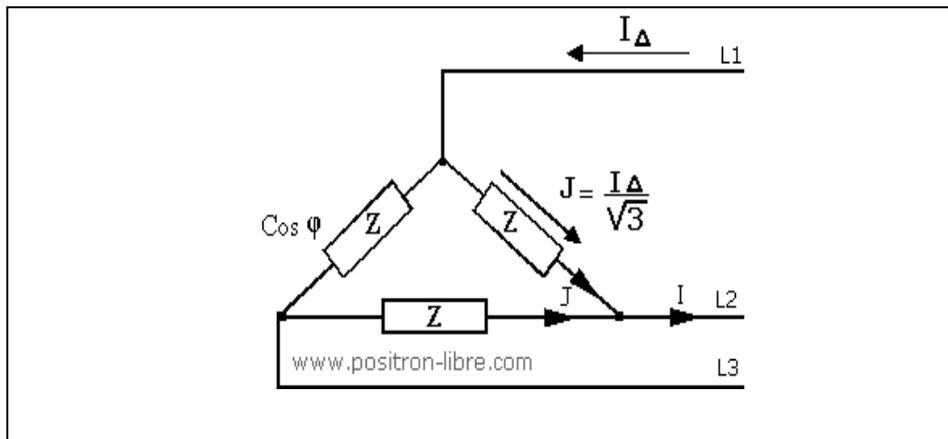


Fig. II. 7. Couplage triangle

Intensité dans chaque récepteur  $J = \frac{U}{Z}$  et  $J = \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}}$

Nous savons que :

$$\frac{U}{Z} = \frac{I_{\Delta}}{\sqrt{3}} \quad \text{Et} \quad I_{\Delta} Z = U\sqrt{3} \quad \text{d'où} \quad I_{\Delta} = \frac{U\sqrt{3}}{Z}$$

Puissance en triangle

Calculons :

$$P_{\Delta} = UI_{\Delta}\sqrt{3} \cos \varphi = U \frac{U\sqrt{3}}{Z} \sqrt{3} \cos \varphi$$

$$P_{\Delta} = \frac{3U^2 \cos \varphi}{Z}$$

Le rapport  $I_{\text{triangle}}$  sur  $I_{\text{étoile}}$  :

$$\frac{I_{\Delta}}{I_Y} = \frac{\frac{U\sqrt{3}}{Z}}{\frac{U}{Z\sqrt{3}}} = \frac{U\sqrt{3} Z\sqrt{3}}{Z U} = 3$$

Le rapport  $P_{\text{triangle}}$  sur  $P_{\text{étoile}}$

$$\frac{P_{\Delta}}{P_Y} = \frac{\frac{3U^2 \cos \varphi}{Z}}{\frac{U^2 \cos \varphi}{Z}} = \frac{3U^2 \cos \varphi}{Z} \frac{Z}{U^2 \cos \varphi} = 3$$

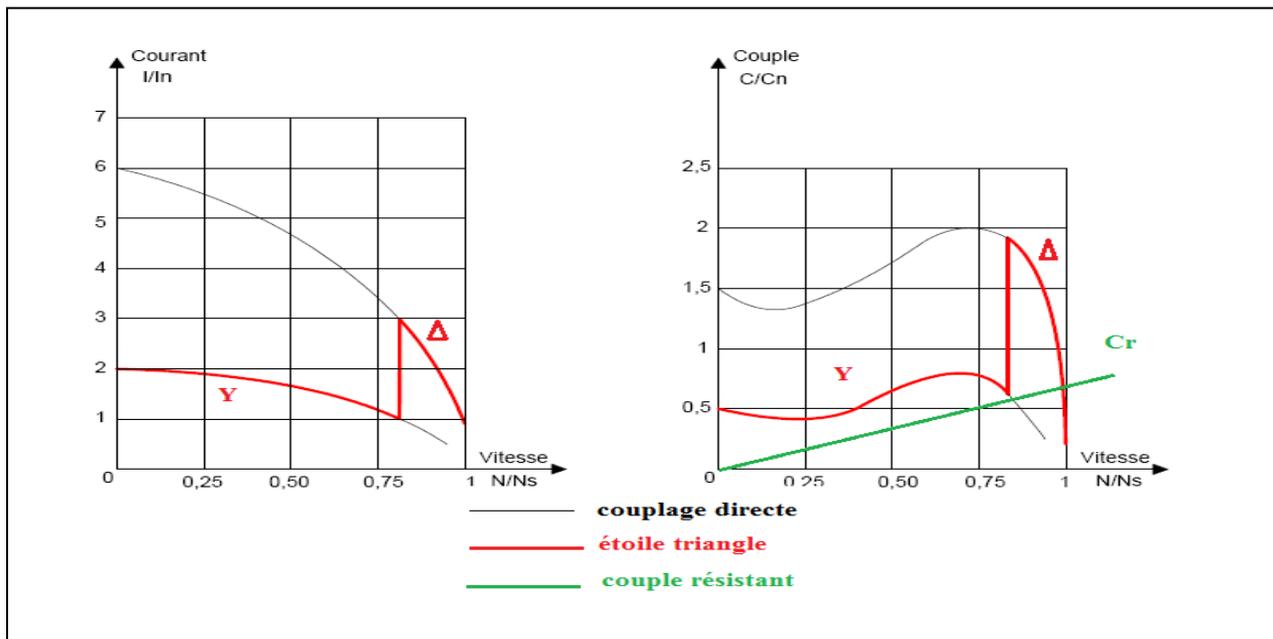


Fig. II. 8. Courbes du démarrage étoile triangle

Remarque : le passage étoile vers triangle doit se faire avant que le couple moteur en étoile soit inférieur au couple résistant  $C_r$ , car il faut conserver une accélération positive.

### **II. 5. 1. 6. Avantages et inconvénients**

#### ***a) Avantages***

- Appel de courant en étoile réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Faible complication d'appareillage.

#### ***b) Inconvénients***

- Couple réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Coupure entre les positions étoile et triangle d'ou apparition de phénomènes transitoires.

## II. 5. 2. Démarrage par résistances statorique

### II. 5. 2. 1. Principe

Le principe consiste à démarrer le moteur sous tension réduite en insérant des résistances en série avec les enroulements statorique. Lorsque la vitesse se stabilise, les résistances sont éliminées et le moteur est couplé directement sur le réseau. Cette opération est généralement commandée par un temporisateur.

### II. 5. 2. 2. Circuit de commande et de puissance

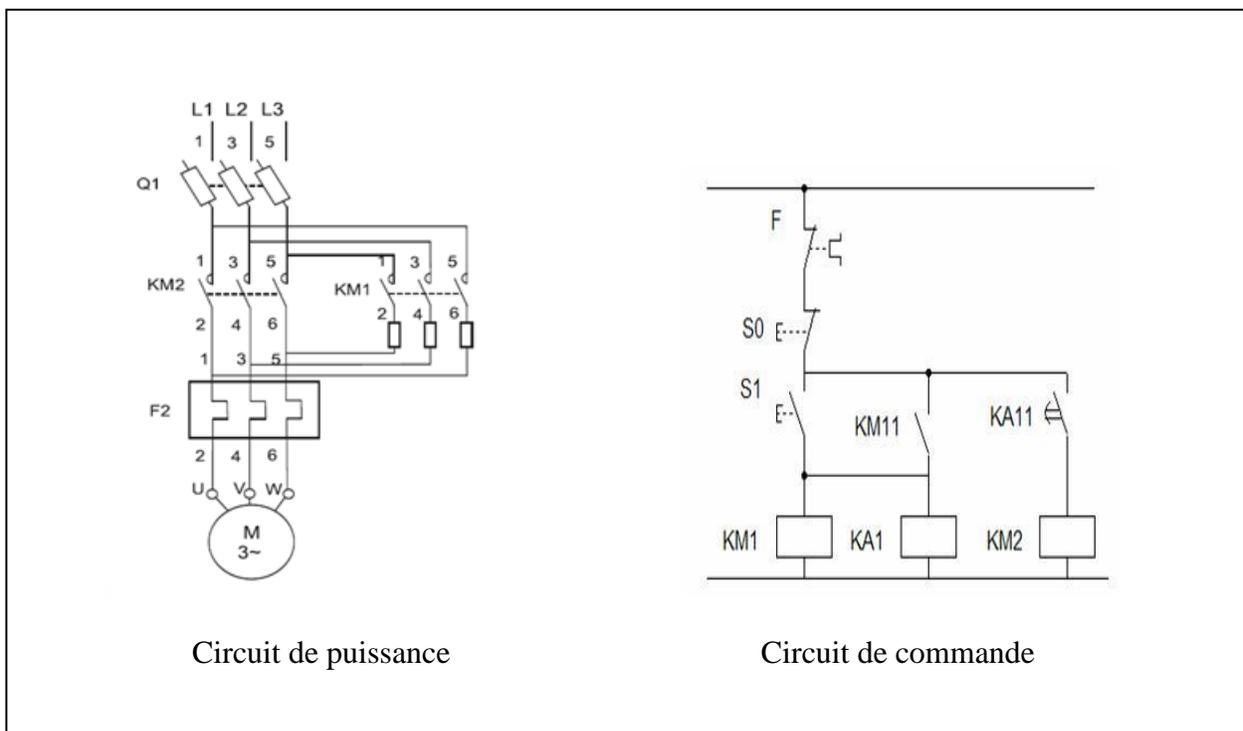


Fig. II. 9. Démarrage par résistances statorique

F : contact auxiliaire du relais thermique KA1 : relais qui possède un contact temporisé retardé.

S0 : bouton poussoir arrêt

S1 : bouton poussoir marche

### II. 5. 2. 3. Chronogramme de fonctionnement :

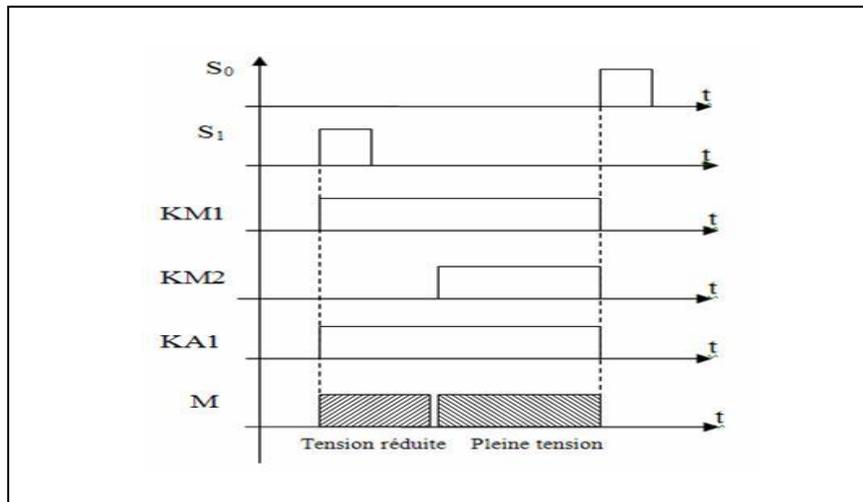


Fig. II.10. Chronogramme de fonctionnement

Le couplage des enroulements du moteur n'est pas modifié. Il n'est donc pas nécessaire que les deux extrémités de chaque enroulement soient sorties sur la plaque à bornes.

Le démarrage s'effectue en deux temps :

- 1er temps - Impulsion sur  $S_1$  : le relais  $KA1$  est activé et le contacteur  $KM1$  (partie puissance) se ferme, démarrage sous tension réduite.
- 2nd temps – Le contacteur temporisé  $KA1$  se ferme, entraînant l'alimentation du relais  $KM2$ .

Les contacteurs de puissances  $KM2$  court-circuitent les résistances, ce qui relie le moteur à pleine tension.

L'arrêt est obtenu par une impulsion sur  $S_0$ .

Selon les caractéristiques du moteur, il arrive parfois, que l'on utilise deux à plusieurs étages de résistances.

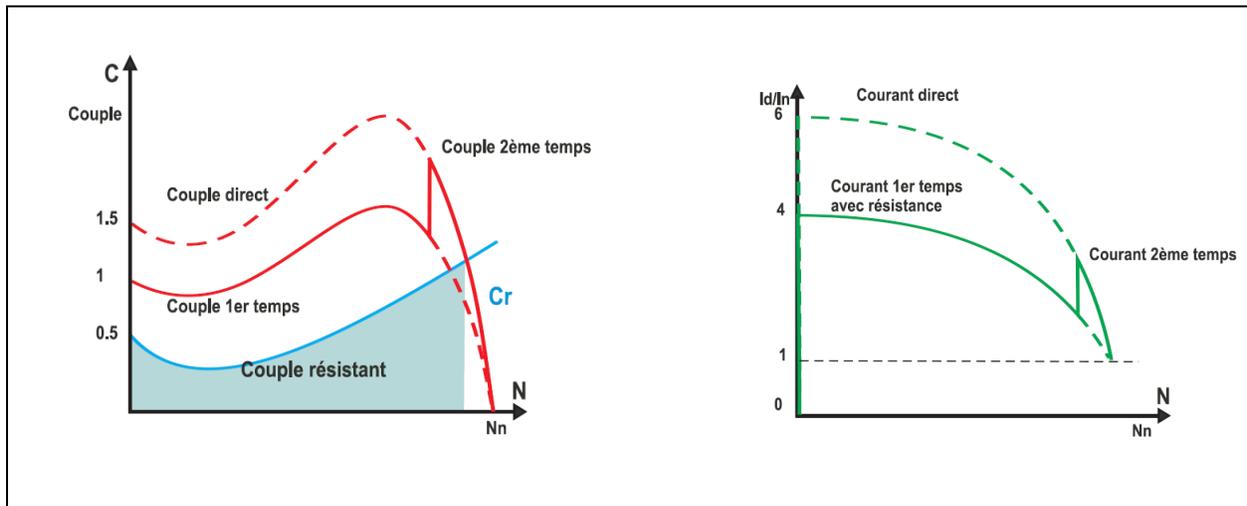


Fig. II. 11. Courbes du démarrage statique par résistances

La valeur de la résistance est calculée en fonction de la pointe de courant au démarrage à ne pas dépasser, ou de la valeur minimale du couple de démarrage nécessaire compte tenu du couple résistant de la machine entraînée. En général, les valeurs de courant et de couple de démarrage sont :

- $I_d = 4.5 I_n$
- $C_d = 0.75 C_n$

#### II. 5. 2. 4. Avantages et inconvénients

Ce mode de démarrage convient donc bien aux machines ayant un couple résistant croissant avec la vitesse, comme par exemple les ventilateurs ou les pompes centrifuges.

Il présente l'inconvénient d'une pointe de courant relativement importante au démarrage. Cette pointe pourrait être réduite en augmentant la valeur de la résistance, mais cela entraînerait une chute de tension supplémentaire aux bornes du moteur, et par conséquent une diminution importante du couple de démarrage.

En revanche, l'élimination de la résistance en fin de démarrage se fait sans qu'il y ait interruption de l'alimentation du moteur, donc sans phénomène transitoire.

### II. 5. 3. Démarrage par résistances rotorique

#### II. 5. 3. 1. Principe

Réservé spécialement pour les moteurs à rotor bobiné à bague, le principe consiste à alimenter le stator sous pleine tension du réseau et d'insérer dans le circuit rotorique des résistances qui seront ensuite court-circuitées progressivement. Le moteur étant analogue à un transformateur dont le primaire serait le stator et le secondaire le rotor. On limite le courant secondaire et par conséquent l'intensité absorbé au primaire.

#### II. 5. 3. 2. Circuit de commande et de puissance

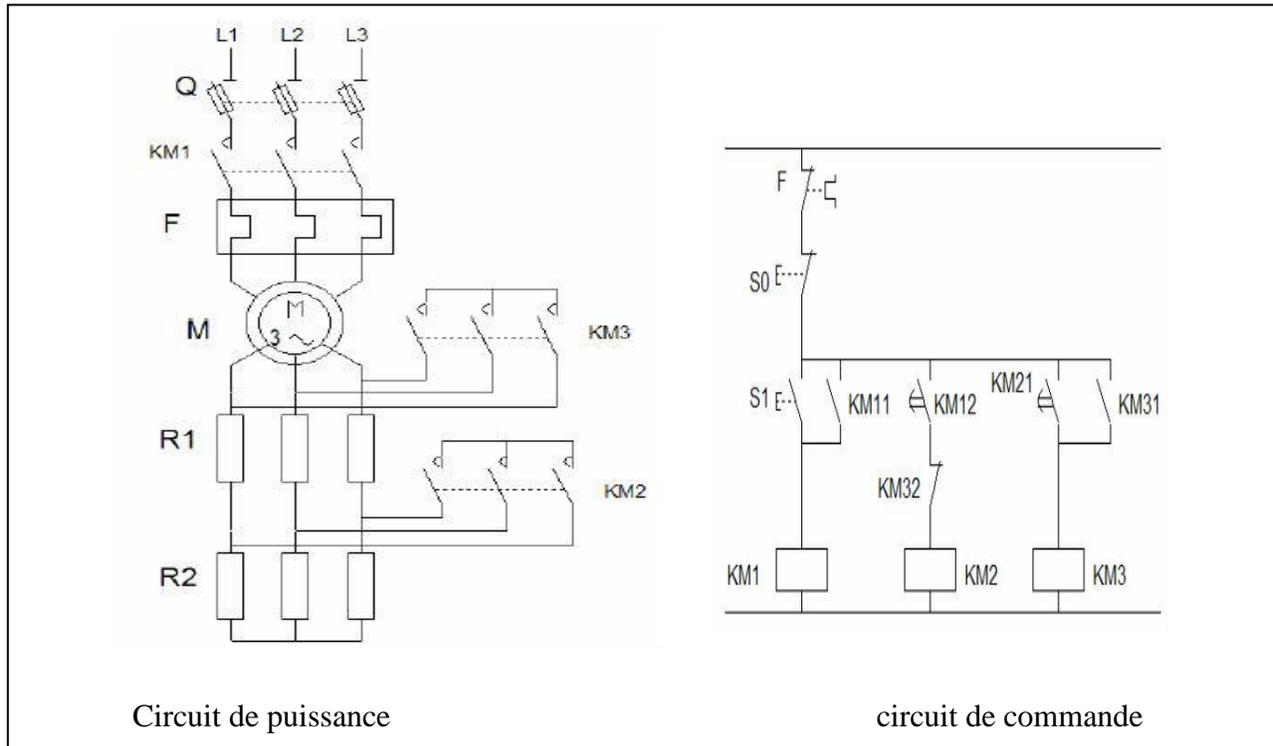


Fig. II. 12. Démarrage rotorique par résistances

Q : fusible sectionneur.

KM2 : contacteur 2<sup>ème</sup> temps.

F : relais thermique.

KM1 : contacteur de ligne.

M : moteur à rotor bobiné.

R1 et R2 : 2 groupes de résistances.

KM3 : contacteur 3<sup>ème</sup> temps.

### II. 5. 3. 3. Chronogramme de fonctionnement :

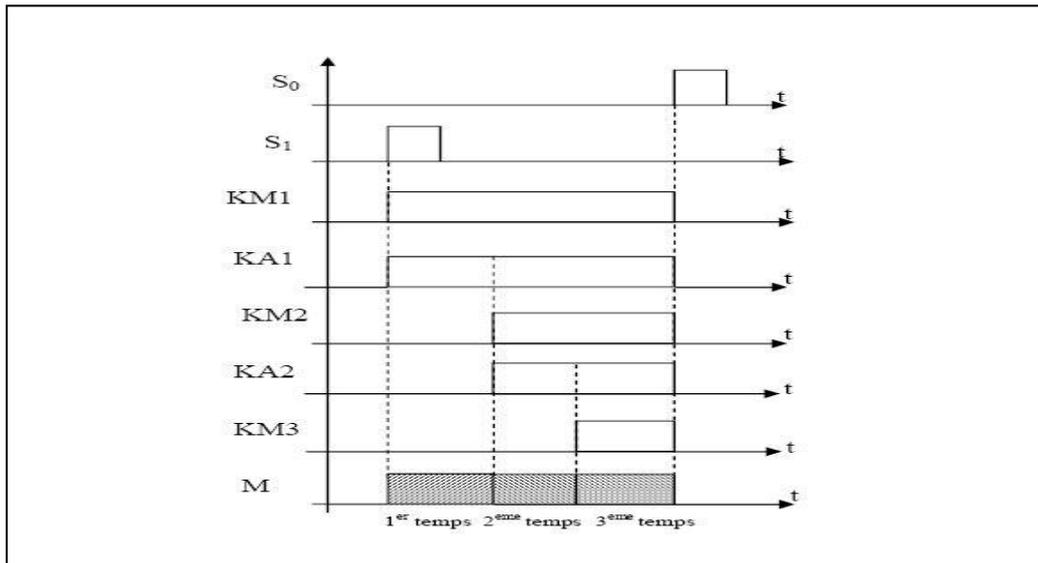


Fig. II. 13. Chronogramme de fonctionnement

- Impulsion sur  $S_1$  :
  - 1<sup>er</sup> temps : le relais  $KA1$  est activé, démarrage sous tension réduite.
  - 2<sup>ème</sup> temps : Le contacteur temporisé  $KA1$  se ferme, entraînant l'alimentation du relais  $KM2$ . le premier étage de résistances est court-circuité.
  - 3<sup>ème</sup> temps : Le contacteur temporisé  $KA2$  se ferme, entraînant l'alimentation du relais  $KM3$ . le deuxième étage de résistances est court-circuités
- L'arrêt est obtenu par une impulsion sur  $S_1$ .

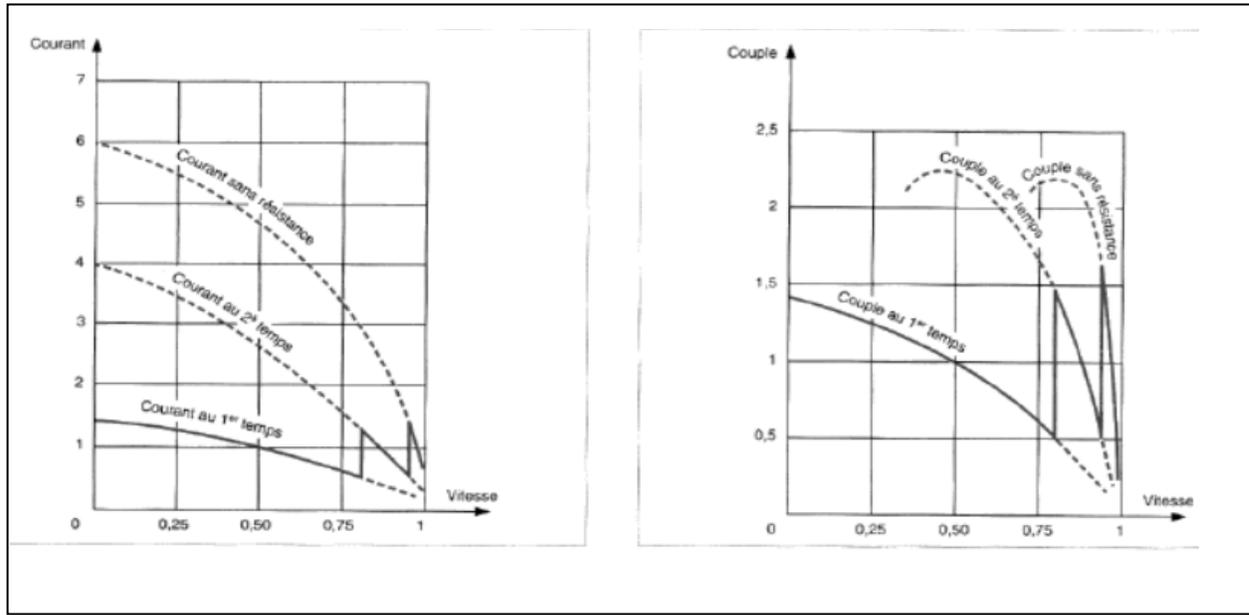


Fig. II. 14. Courbes caractéristiques du démarrage rotorique

Le calcul de la résistance insérée dans chaque phase permet de déterminer de façon rigoureuse la courbe couple-vitesse obtenue.

Le courant absorbé est sensiblement proportionnel au couple fourni ou très peu supérieur. Exemple : pour un couple de démarrage  $T_d = 2.5T_n$ , l'intensité  $I_d$  sera sensiblement inférieure à  $2.5I_n$ .

#### II. 5. 3. 4. Avantages et inconvénients

##### a) Avantages:

Appel de courant au démarrage le plus faible par rapport aux autres modes de démarrages  
Couple élevé.  
Possibilité de réduire les pointes de surintensité en augmentant les temps de démarrage.

##### b) Inconvénients :

Nécessite un moteur asynchrone à rotor bobiné plus cher et moins robuste qu'un moteur asynchrone à cage.  
Équipement nécessitant autant de contacteurs et de résistances que de temps de démarrages.

## **II. 6. Conclusion**

Ces procéder de démarrage a tension réduite ne semblent pas être une solution parfaite pour le démarrage des moteurs. Lorsqu'une tension réduite est appliquée à un moteur, le courant absorbé par ce dernier est réduit, le couple engendré est aussi réduit d'un facteur qui est d'environ le carré du pourcentage de la réduction de tension. En plus, un changement brusque ; passage étoile triangle, suppression de résistance de démarrage, fait apparaitre des à-coups qui ne sont pas souvent tolérer pour certaine applications.

# **CHAPITRE III**

## **LE SOFT STARTER**

### III .1. Introduction

L'évolution de la technologie notamment de l'électronique de puissance a permis l'invention et la création d'un dispositif de démarrage plus performant et plus fiable.

Toujours à fin d'éliminer le fort appel de courant de démarrage, ce dernier utilise le principe d'un gradateur, qui est la modulation progressive de l'énergie absorbé à travers un montage à thyristors de puissance, tout en évitant le dépassement d'une certaine valeur de courant admissible par le réseau d'alimentation.

### III. 2. Structure du soft starter

Il est constitué de trois modules principaux :

- Un module de commande.
- Un module de mesure du courant.
- Un module de puissance.

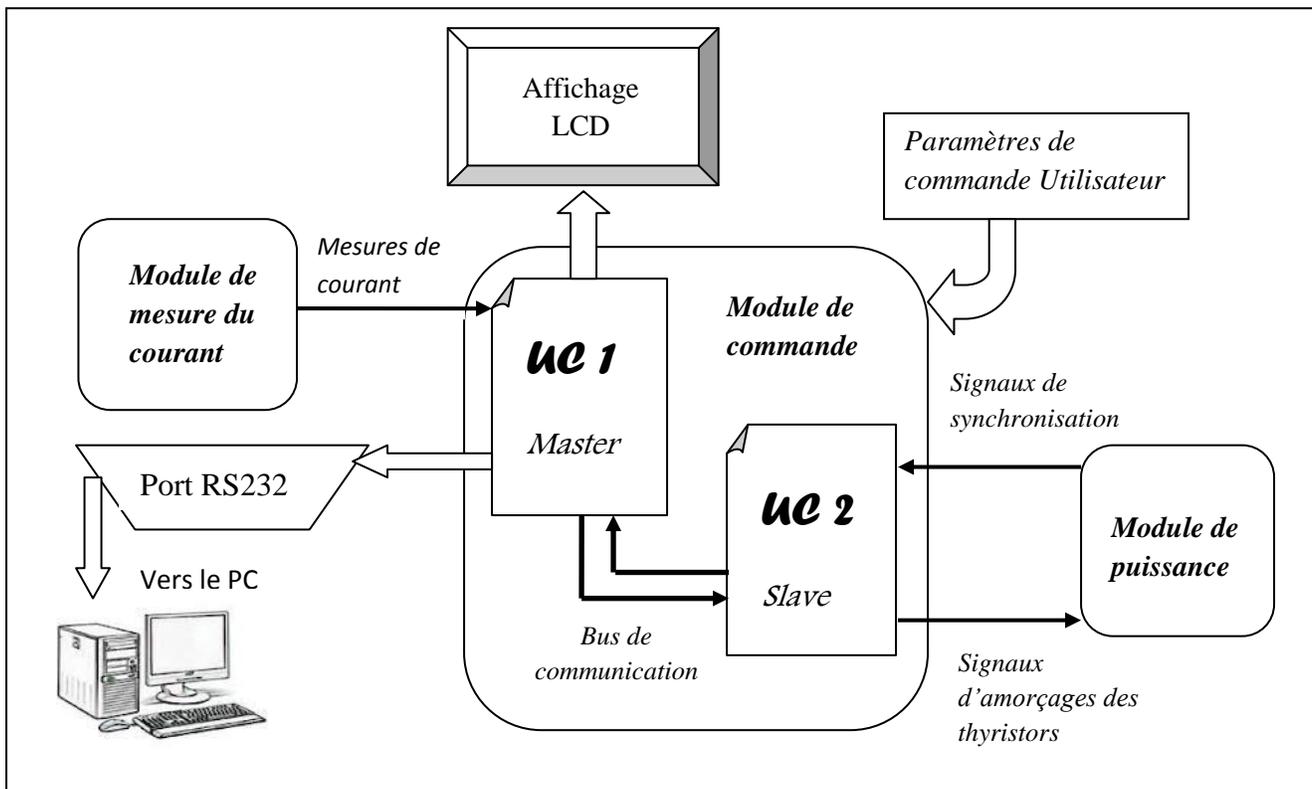


Fig. III. 1. Schéma synoptique du soft starter

## III. 2. 1. Le module de commande

### III. 2. 1. 1. Introduction

Un microcontrôleur se présente comme étant une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, à savoir microprocesseur, des mémoires et des périphériques (ports, timers, convertisseurs...). Chaque fabricant a sa ou ses familles de microcontrôleur. Une famille se caractérise par un noyau commun (le microprocesseur, le jeu d'instruction...).

### III. 2. 1. 2. Présentation du PIC 16f877

Le PIC 16F877 est un composant de *Microchip*. Il fait partie de la famille mid-range, sa mémoire programmable est de type Flash, il est capable de fonctionner à une fréquence d'horloge de 20Mhz.

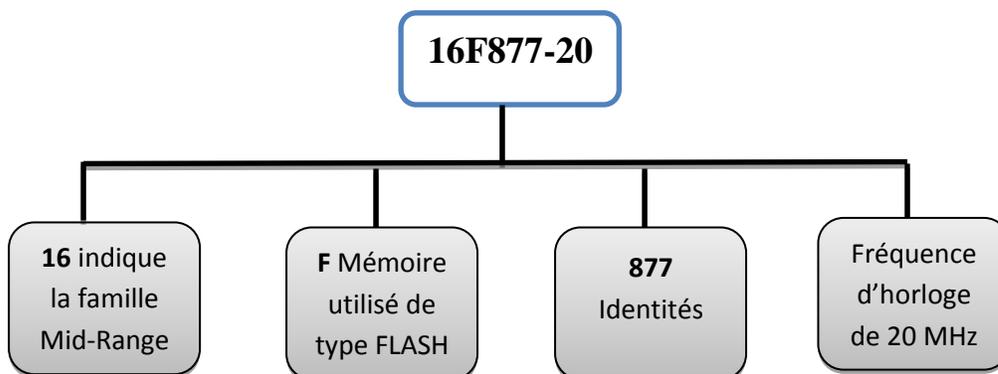


Fig. III. 2. Signification de 16f877

### III. 2. 1. 3. Organisation interne du PIC 16F877

Le PIC 16F877 présente toute une série de composants, ces principales caractéristiques sont :

- Mémoire programmable de type FLASH de 8K mots.
- RAM de 368 octets.

- EPROM de 256 octets.
- 33 E/S réparties en 5 ports bidirectionnels.
- 8 convertisseurs A/N de 8 bits.
- 14 sources d'interruption.
- Chien de garde WDT.
- Chaque sortie présente un courant max de 25 mA.
- Une interface de communication série synchrone (SSP/SPI).
- Jeu de 35 instructions.
- Une interface de communication série asynchrone et synchrone (USART/SCD).
- Une tension d'alimentation entre 4,5 et 6v.
- Trois temporisations (TIMER0, TIMER1, TIMER2).

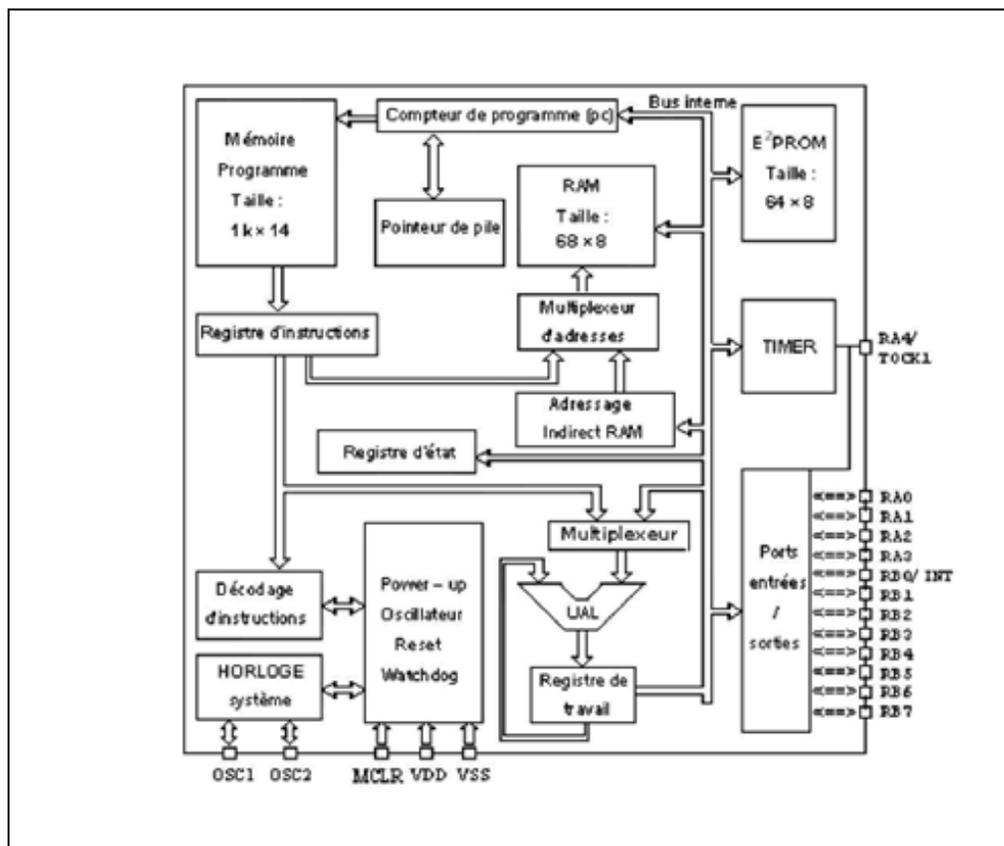


Fig. III. 3. Organisation interne du pic 16f877

### III. 2. 1. 4. Organisation externe du PIC 16F87

Les entrées sorties du microcontrôleur peuvent être groupées par rapport à la fonction.

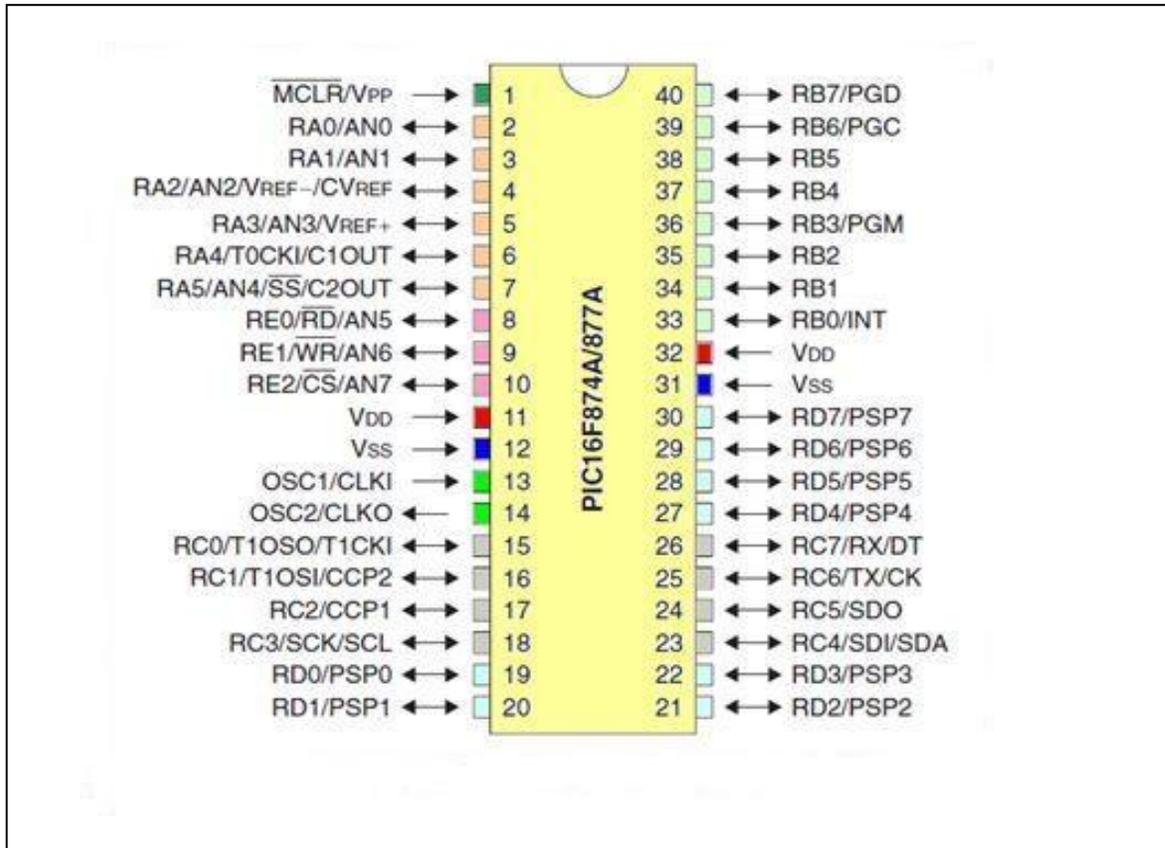


Fig. III. 4. Brochage du PIC 16F877

Le PIC 16F877 dispose de 33 pins d'E/S pour communiqué avec l'environnement extérieur.

Celles-ci sont réparties en 5 ports parallèles bidirectionnels :

- 6 lignes pour le port A.
- 8 lignes pour le port B.
- 8 lignes pour le port C.
- 8 lignes pour le port D.
- 3 lignes pour le port E.

### III. 2. 1. 5. Configuration minimale du PIC

Pour réaliser une carte à base d'un pic 16F877, il faut au moins configurer son alimentation, le MCLR et l'horloge voir **Figure**.

#### III. 2. 1. 5. 1. Alimentation

Le PIC fonctionne dans la plage de tension qui s'étend de 4,5 à 6v.

#### III. 2. 1. 5. 2. Le circuit d'initialisation

Le MCLR est habituellement relié au 5v. Cette pine étant utilisée pour effectuer un reset du composant en cas de connexion à la masse.

#### III. 2. 1. 5. 3. L'oscillateur

L'oscillateur est le cœur du microcontrôleur, c'est lui qui cadence le déroulement du programme. Il doit fournir un signal carré périodique au microcontrôleur.

Dans le cas de notre application nous utiliserons l'oscillateur de type HS avec un quartz de 20 MHz.

### III. 2. 1. 6. Fonctionnement du module de commande

Les deux pics fonctionnent en mode maitre (pic 1) esclave (pic 2).

**Le pic 1**, a pour fonctions :

L'affichage sur écran LCD des paramètres de commande entrés par l'utilisateur (puissance de démarrage, temps de démarrage, coutant maximum admissible).

Donner l'ordre de démarrage pour le pic 2 (amorçage progressif des thyristors).

La mesure du courant de ligne, en faisant la conversion analogique numérique sur une résolution de 8bits, les comparer a la valeur limite  $I_{max}$ .

Si  $I_{mesurer} < I_{max}$  commande maitre esclave → décrémentation temps d'amorçage.

Si  $I_{mesurer} = I_{max}$  commande maitre esclave → stop décrémentation temps d'amorçage.

Si  $I_{mesurer} > 2 I_{max}$  commande maitre esclave → annulation du démarrage.

Un rapport contenant toutes les données du démarrage (temps de démarrage, puissance de démarrage, les valeurs  $I_{mesurer}$  toutes les 300us) est envoyé par la voie série rs232 vers un PC pour une interprétation graphique.

**Le pic 2**, envoie les signaux d'amorçage en fonction des paramètres de commandes et les ordres reçus par le pic 1 et envoie un signal de fin de démarrage pour ce dernier.

## III. 2. 2. Le module de mesure de courant

### III. 2. 2. 1. Introduction

Il est aujourd'hui possible de mesurer le courant électrique au moyen d'une quinzaine de conceptions ou technologies différentes, avec isolation galvanique ou non. Dans la plupart des cas, on fait appel à des technologies à isolement galvanique, qui mesurent indirectement le courant en détectant le champ magnétique qui lui est associé.

Nous allons présenter ici une de ces techniques utilisées.

### III. 2. 2. 2. Le transformateur de courant

**Loi de Faraday** : une variation de flux à travers une spire créer une f.é.m.

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

**Flux magnétique** :

Pour un transformateur parfait, l'enroulement du primaire, formé de  $N_1$  spires, est le siège d'une f.é.m.

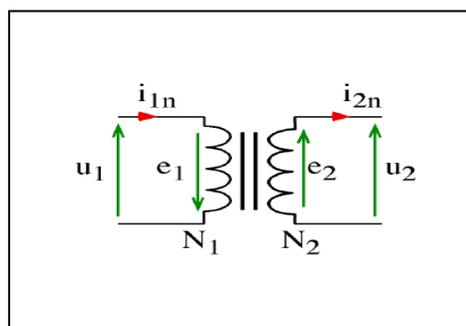


Fig. III. 5. Transformateur

$$e_1 = -N_1 \frac{d\varphi}{dt}$$

Si  $u_1$  est sinusoïdale :  $u_1 = U_1\sqrt{2} \cos(\omega t)$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1} \cos(\omega t) \quad \text{on a} \quad \varphi = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$b$  est le champ magnétique à travers les spires et  $s$  la section (supposée constante) du circuit magnétique.

$$b = \frac{\varphi}{s}$$

$$b = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1 S \omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$B = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1 S \omega}$  est la valeur maximum du champ magnétique.

Relation entre les tensions :

$$u_1 = -e_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad u_2 = e_2 = -N_2 \frac{d\varphi}{dt} \quad \frac{u_2}{u_1} = -\frac{N_2}{N_1}$$

Lorsqu'un courant  $I_1$  passe dans un bobinage  $B_1$ , il crée par le circuit magnétique commun, un courant  $I_2$  dans le bobinage  $B_2$ . Le nombre de tours des enroulements et les courants  $I_1$  et  $I_2$  sont liés par la relation :  $N_1 \times I_1 = N_2 \times I_2$  où  $N_1$  et  $N_2$  sont les nombres de tours de chaque enroulement.

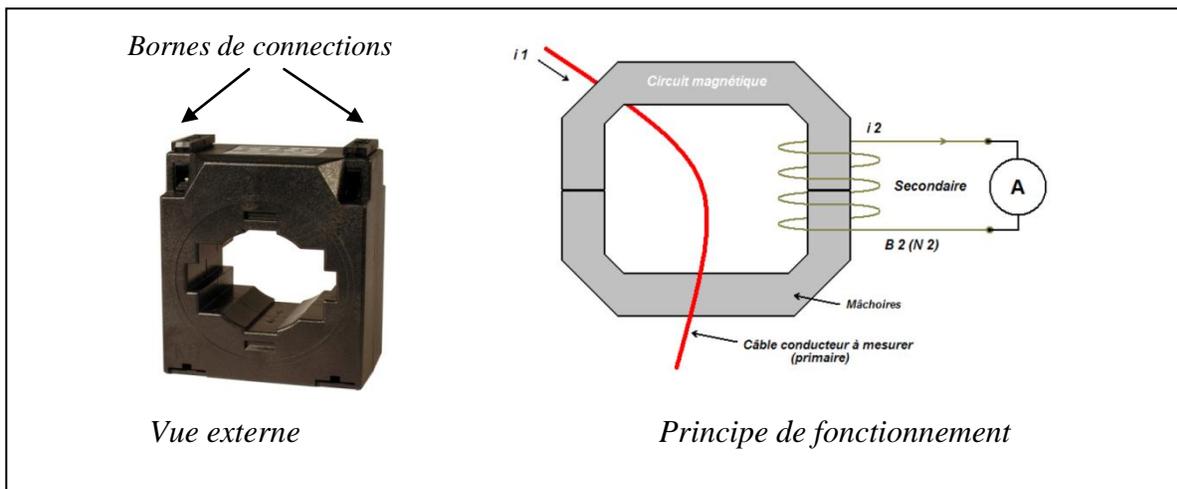


Fig. III. 6. Le capteur de courant

Dans ce type de capteur le bobinage principal est constitué du câble conducteur d'où  $I_2 = \frac{I_1}{N_2}$

Par le constructeur le capteur utilisé débite un courant moyen en sortie de 5A pour 600A. Le bobinage du secondaire a 120 spires.

La tension de sortie est suffisamment forte, na pas besoin d'amplification. Mais cette tension nécessite d'être redresser et filtré à fin quelle soit mesurable sur le port du PIC 16f877, sachant que ce dernier est capable de convertir des tensions entre 0 et 5V sur une résolution de 8bit.

### III. 2. 2. 3. Redressement et filtrage

Le courant de sortie du capteur est considéré comme sinusoïdal.

#### III. 2. 2. 3. 1. Redressement double alternance

Un redresseur double alternance est un montage à diode qui conserve les alternances positive et redresse les alternances négatives d'une tension d'entré  $v(t)$ .

La fréquence en sortie est le double de la fréquence d'entré.

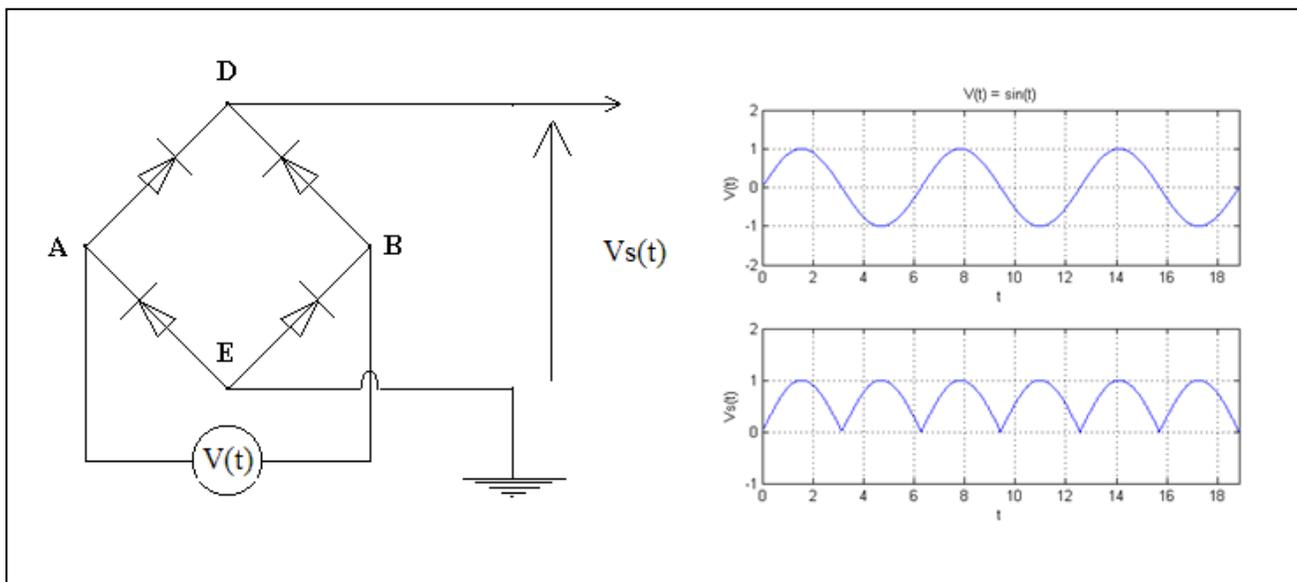


Fig. III. 7. Redressement double alternance

Calcul de la valeur moyenne de la tension de sortie :

$$v(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t) \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

La tension de sortie est donc périodique de période  $\frac{T}{2}$ . La valeur moyenne de la tension de sortie est :

$$\langle v_s(t) \rangle = \frac{1}{\left(\frac{T}{2}\right)} \int_0^{\frac{T}{2}} v(t) dt = \frac{1}{\left(\frac{T}{2}\right)} \int_0^{\frac{T}{2}} V\sqrt{2} \sin(\omega t) dt$$

$$\langle v_s(t) \rangle = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V$$

### III. 2. 2. 3. 2. Filtrage capacitif

L'ajout d'un condensateur chimique (électrolytique) C1 assure le filtrage de la tension redressée, afin d'obtenir une tension qui ressemble plus à du continu qu'à de l'alternatif. Sa valeur dépendra du courant maximal de sortie.

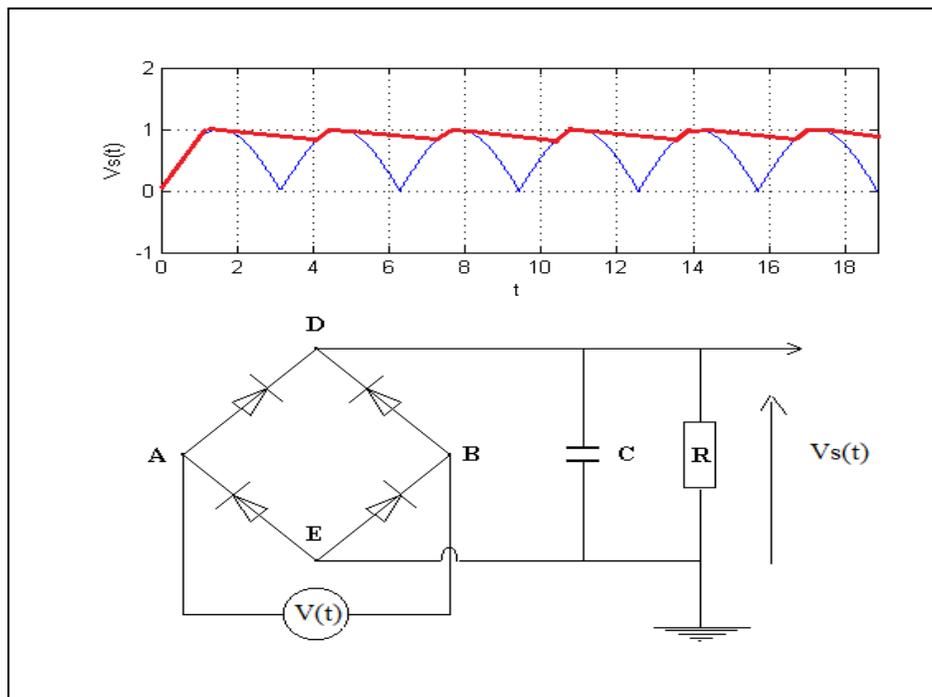


Fig. III. 8. Filtrage capacitif

Le redressement de la tension alternative délivrée par le secondaire du transformateur, est assuré par le pont de diodes que forment les quatre diodes D1 à D4. Les diodes utilisées ici sont de type 1N4007, qui supportent un courant direct de 1 A.

Choix de la résistance et de la capacité : on définit le taux d'ondulation par la relation :

$$\tau = \frac{1}{2fRC}$$

$\tau \longrightarrow 0$  implique  $RC \longrightarrow \infty$

Une expérience dans un laboratoire nous a permis d'étalonner le capteur en utilisant un ampèremètre (alternatif) en série avec un rhéostat en entrée, un voltmètre pour mesurer la tension redressée et filtrer en sortie du capteur.

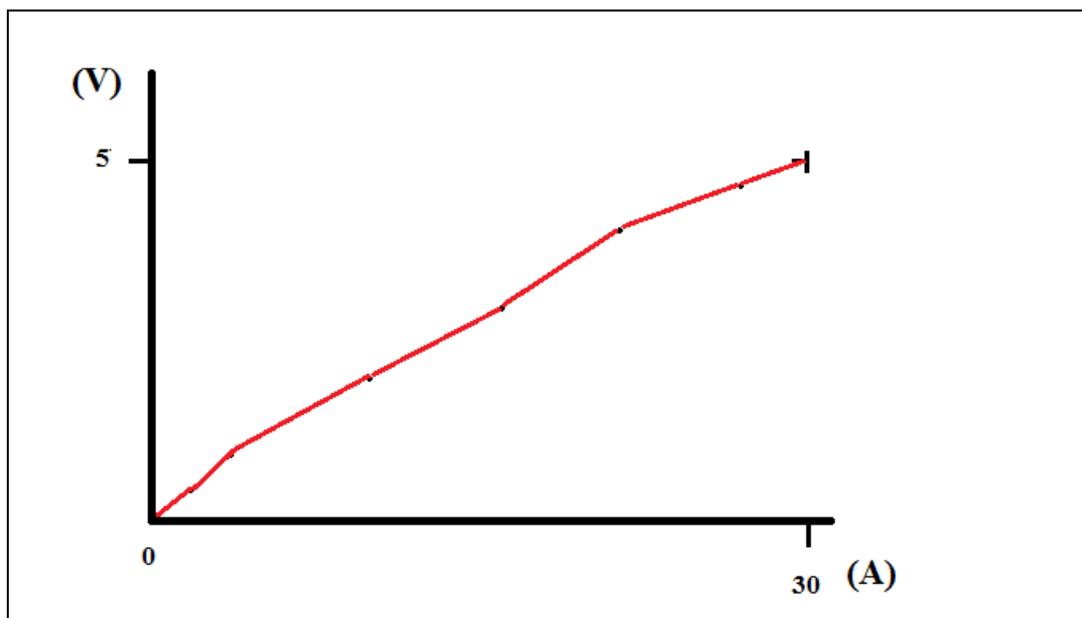


Fig. III. 9. Courbe d'étalonnage du capteur

La valeur limite que nous avons fixée est de 30 ampères.

### III. 2. 3. L'afficheur LCD

Pour l'affichage, on a choisit un écran LCD 2 lignes de 16 caractères qui intègre son propre module de gestion, il est donc directement connecté aux broches du PIC et alimenté sous une tension de 5V.

Pour la transmission de données, c'est un afficheur à accès parallèle avec une possibilité de choix entre une transmission sur 4 ou 8 bit en la configurant dans le programme principale du PIC.

#### III. 2. 3. 1. Le brochage de l'afficheur LCD

Tableau III. 1. Brochage de l'afficheur LCD

VSS	La masse de l'alimentation
VDD	+5V
VEE	+5V (contraste maximale)
RS	Registre selecte (mode instruction ou données)
R/W	Read/ Write (lecture / écriture)
E	Enable (sélection de l'afficheur)
D0-D7	Données (8 bits)

#### III. 2. 3. 2. Fonctionnement de l'afficheur LCD

Le fonctionnement de ce genre d'afficheurs est basé sur 2 principales taches :

- Affecter les registres de configurations en fonction de format (nombre de ligne par exemple).
- Affecter la mémoire DDRAM avec le message à afficher.

Pour exécuter ces deux opérations on dispose des signaux de contrôles : E, RS,

R/W et un bus de données de 8 bits bidirectionnel :

E : enable.

Cycle d'écriture : l'état de bus de données est pris en compte au front descendant de ce signal.

Cycle de lecture : la donnée est fournie pendant l'état haut de ce signal.

R/W : indique le sens du transfère :

« 0 » : écriture vers l'afficheur.

« 1 » : lecture depuis l'afficheur.

RS : register select. L'état de ce signale indique la destination de la donnée :

« 0 »registre de contrôle.

« 1 »mémoire DDRAM.

D7—D0 : bus de donnée bidirectionnel

### III. 2. 4. le port série RS232

Le protocole RS232 est utilisé en industrie pour la communication entre un ordinateur via un port série et un système électronique en limitant le nombre de fils de transmission. Elle nécessite un minimum de 3 fils comportant les trames de données en émission (Tx) et en réception (Rx).

#### III. 2. 4. 1. Protocole de transmission de la norme RS 232

Afin que les éléments communicants puissent se comprendre, il est nécessaire d'établir un protocole de transmission. Ce protocole devra être le même pour les deux éléments afin que la transmission fonctionne correctement.

Les paramètres rentrant en jeu :

**Longueur des mots** : 7 bits (ex : caractère ascii) ou 8 bits.

**La vitesse de transmission** : les différentes vitesses de transmission sont réglables à partir de 110 bits par seconde (bps) de la façon suivante : 110 bps, 150 bps, 300 bps, 600 bps, 1200 bps, 2400 bps, 4800 bps, 9600 bps ...18,2 kbps ...56 kbps

**Parité** : le mot transmis peut-être suivi ou non d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission. Il existe deux types de parité.

- **Parité paire** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit paire sur l'ensemble données + bit de parité.

Ex : soit la donnée 11001011 contenant 5 états 1, le bit de parité paire est positionné à 1, ramenant ainsi le nombre de 1 à 6.

- **Parité impaire** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit impaire sur l'ensemble données + bit de parité.

Ex : soit la donnée 11001011 contenant 5 états 1, le bit de parité impaire est positionné à 0, laissant ainsi un nombre de 1 impaire.

**Bit de start** : la ligne au repos est à l'état logique 1. Pour indiquer qu'un mot va être transmis la ligne passe à l'état bas avant de commencer le transfert.

**Bit de stop** : après la transmission, la ligne est positionnée au repos pendant 1, 2 ou 1,5 période d'horloge selon le nombre de bits de stop.

Format des trames :

Le bit de Start apparaît en premier dans la trame, puis les données (poids faible en premier), la parité éventuelle et le (les) bit(s) de stop.

*Exemple :*

Soit à transmettre en parité paire, 7 bits de données, 2 bits de stop, le caractère "B" dont le codage ASCII est (42)<sub>16</sub> ou (1000010)<sub>2</sub> ; La trame sera la suivante :

D'un point de vue logique (TTL)

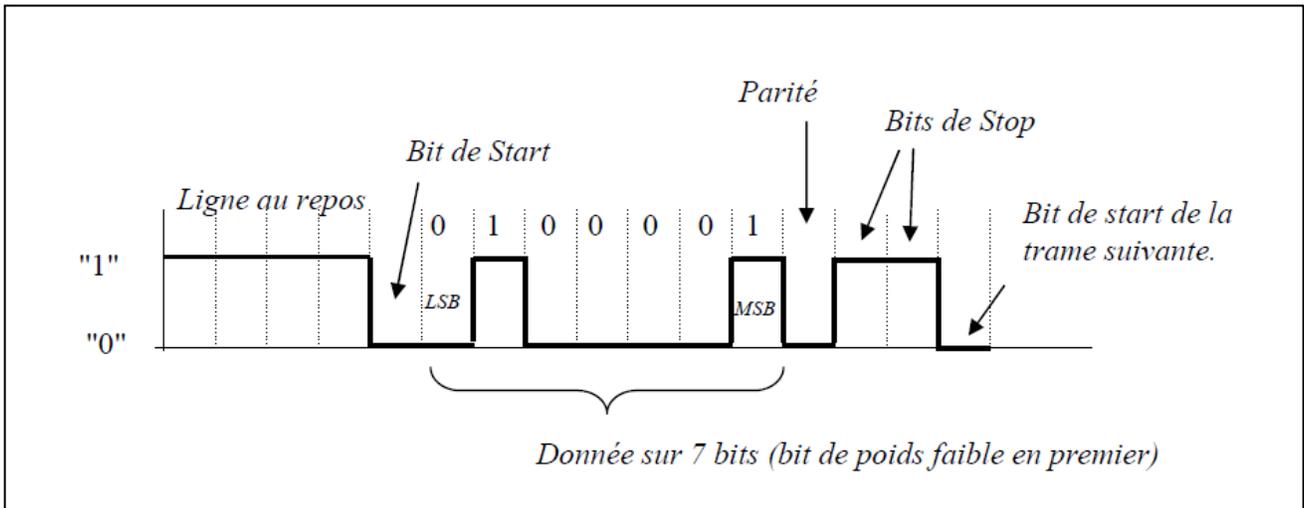


Fig. III. 10. Protocole TTL

D'un point de vue électrique (RS232)

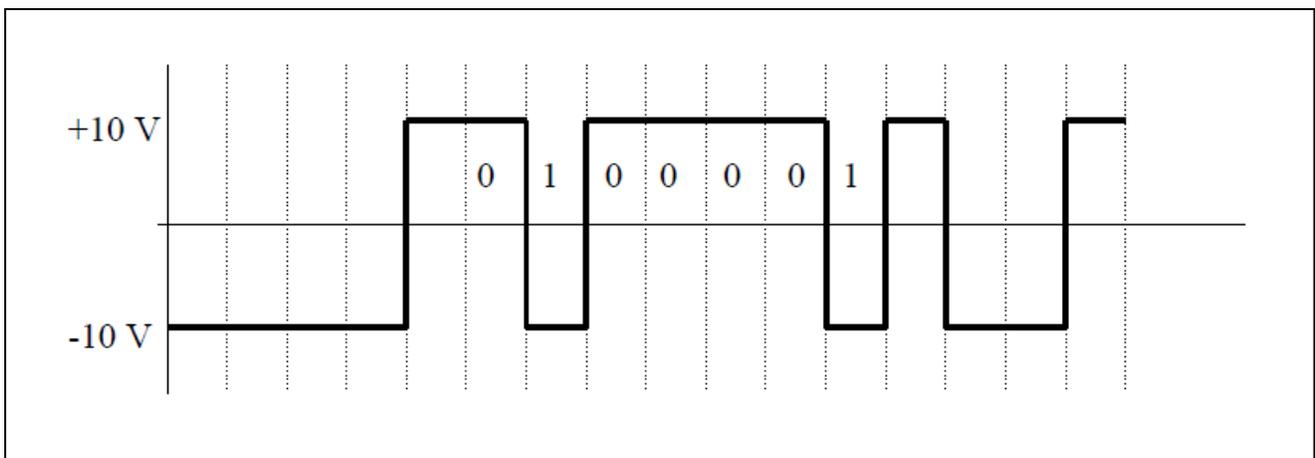


Fig. III. 11. Protocole RS232

### III. 2. 4. 2. Le MAX232 (la conversion des niveaux)

Les cartes électroniques à base de microcontrôleurs fonctionnent très souvent avec des niveaux TTL soit 0-5Volt, 0V pour le niveau 0 et 5Volt pour le niveau 1. Brancher donc directement une ligne RS232 sur un microcontrôleur n'aurait donc aucun sens et pourrait aussi endommager le système en imposant des tensions très élevées.

Pour rendre compatible une ligne RS232 avec une carte de ce type il existe un composant très simple d'utilisation que nous allons étudier : le max232. En regardant son schéma interne ci-dessous, nous constatons directement qu'il est premièrement doté d'un convertisseur de tension, au travers des capacités C1 et C3 il génère une tension de 10Volt depuis les 5Volt (doubleur de tension), et au moyen des capacités C2 et C4 il génère une tension de -10Volt à partir de la tension de 10Volt. Il est bien sur évident que la puce est munie de tout un système, avec un oscillateur, des diodes et ... afin d'intégrer ce convertisseur DC-DC. Il existe une version de cette puce, le max233, où les capacités sont intégrées directement dedans, mais nous ne rentrerons pas dans ce détail. La valeur des capacités va dépendre de la version de la puce.

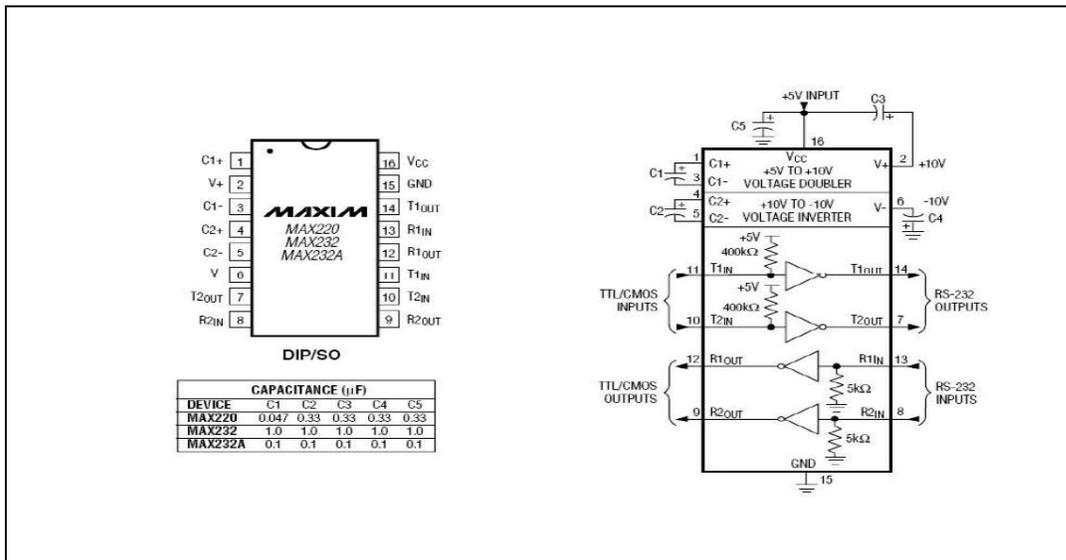


Fig. III. 12. Le max 232

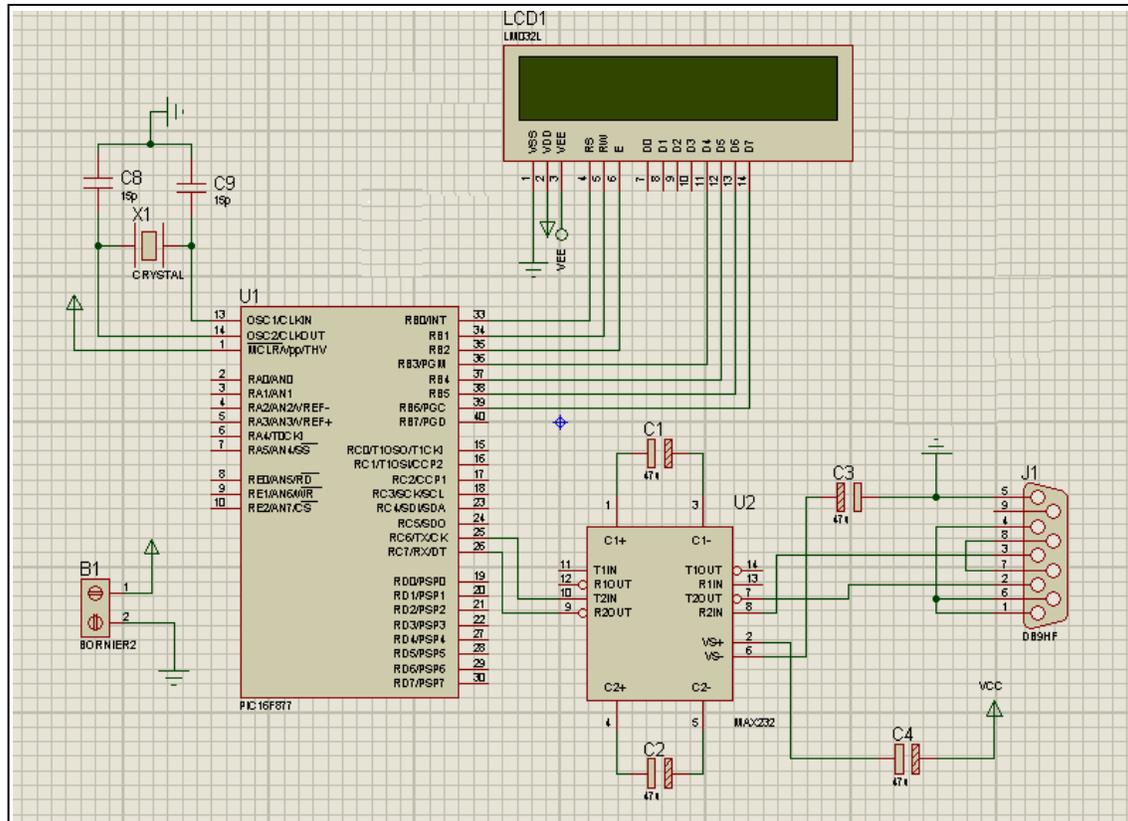


Fig. III. 13. Liaison RS232 avec le PIC

### III. 2. 5. Le module de puissance

Le thyristor (ou "Diode commandée") est un composant électronique semi-conducteur composé de quatre couches de silicium dopées alternativement positivement et négativement. Dans sa structure en couches P-N-P-N le thyristor peut être modélisé par deux transistors PNP et NPN.

Il est muni d'une électrode de déblocage ou *gâchette*, le tout constitue un interrupteur unidirectionnel à fermeture commandée.

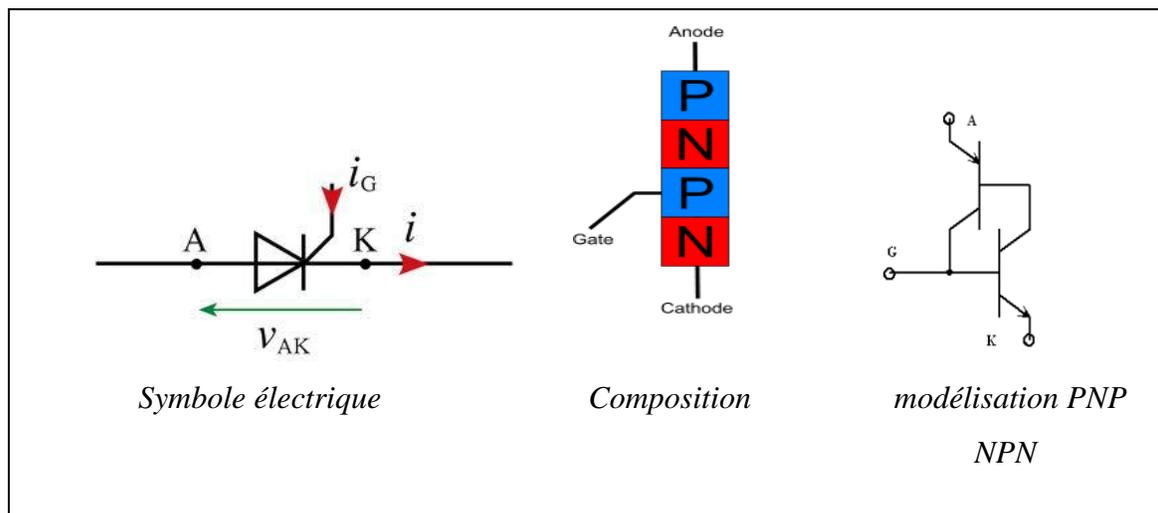


Fig. III. 14. Le thyristor

#### III. 2. 5. 1. Modes de fonctionnement

Si la tension  $v$  à ses bornes est négative, le thyristor est bloqué ; il n'est parcouru que par un faible courant inverse. **Il faut veiller à ne pas dépasser la tension inverse maximale** (risque de détérioration).

Si la tension devient positive, **le thyristor reste bloqué** ; il n'est parcouru que par un faible courant de fuite direct. **Il faut veiller à ne pas dépasser la tension directe blocable à courant de gâchette nul** (toujours risque de détérioration).

Si la tension  $v$  est positive, et que l'on fait passer une impulsion de courant dans la gâchette, **le thyristor s'amorce et devient passant**. Il faut veiller à ce que la durée de l'impulsion soit suffisante pour que le courant dans le thyristor soit **supérieur au courant d'accrochage**.

Quand il est conducteur, le thyristor se comporte comme une *diode*.

Il ne se bloque que lorsque le courant direct s'annule. (En réalité, il se bloque lorsque le courant qui le traverse devient inférieur à une valeur limite appelée courant de maintien).

### III. 2. 5. 2. Caractéristique statique

Elle comprend trois grandes parties :

- OA, tension négative, thyristor bloqué.
- OB, tension positive, thyristor bloqué, pas d'impulsion sur la gâchette.
- OC, après l'envoi d'une impulsion alors que  $v$  est positive, le thyristor est passant.

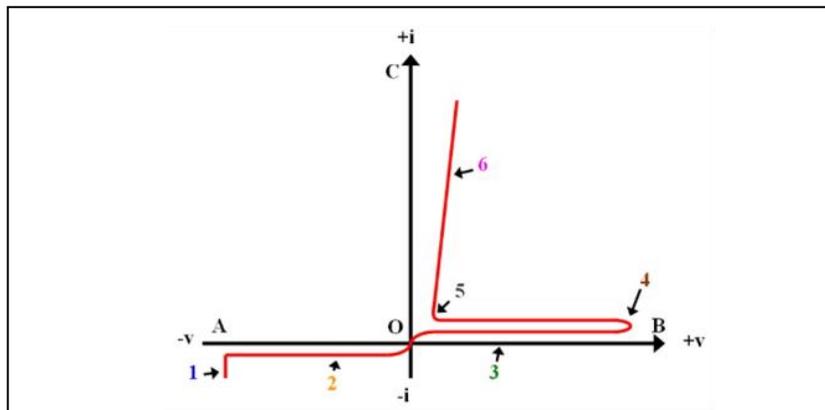


Fig. III. 15. Caractéristique statique

- 1 :** Avalanche, ou tension de claquage négative  
**2 :** Courant inverse  
**3 :** Courant de fuite direct  
**4 :** Tension d'amorçage (claquage positive) directe  
**5 :** Courant de maintien  
**6 :** Courant de conduction

### III. 2. 6. Le circuit de puissance

La maquette que nous voulons utiliser est une maquette officielle du constructeur **ABB**.

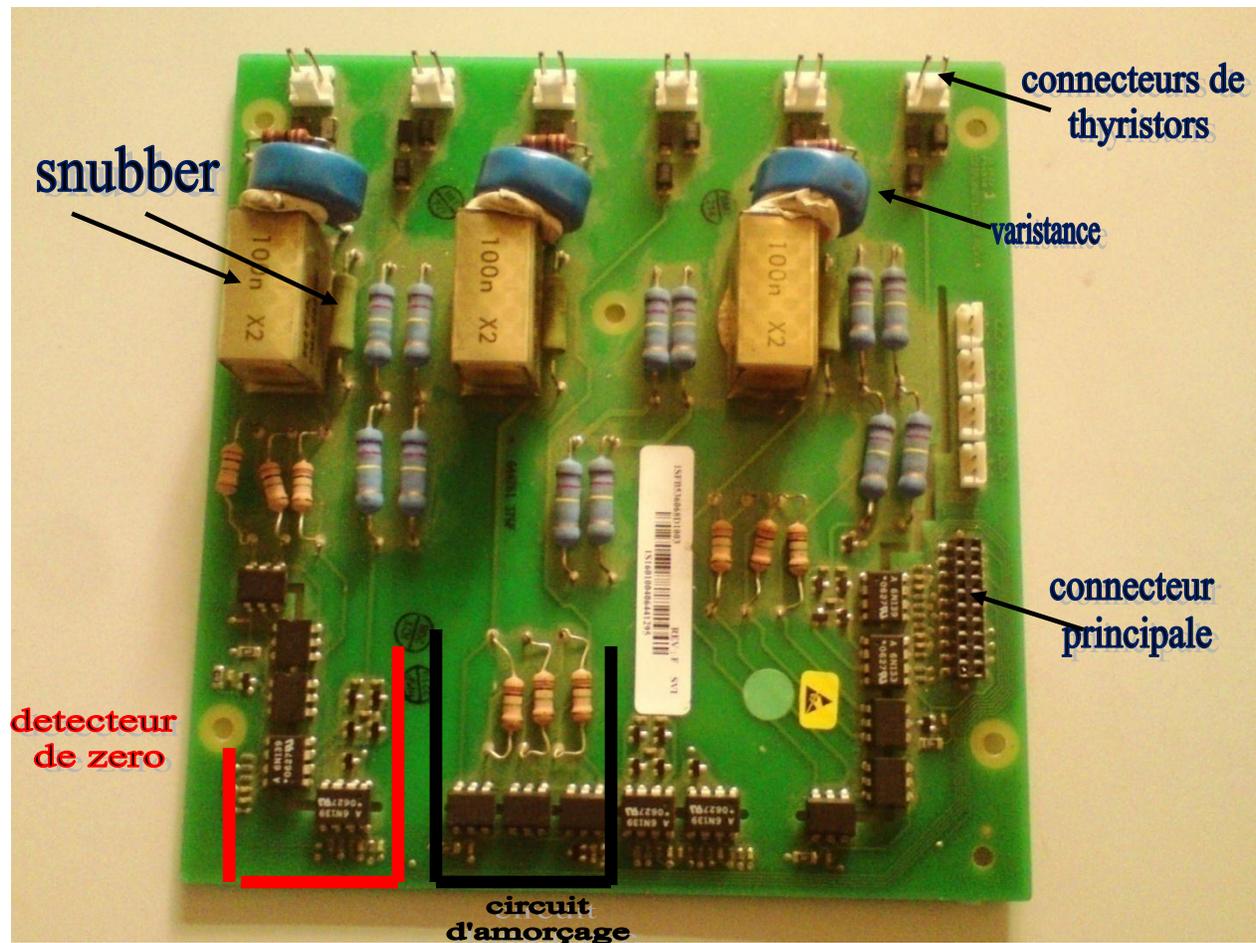


Fig. III. 16. Le circuit de puissance

### III. 2. 6. 1. Circuit de détection de passage de zéro

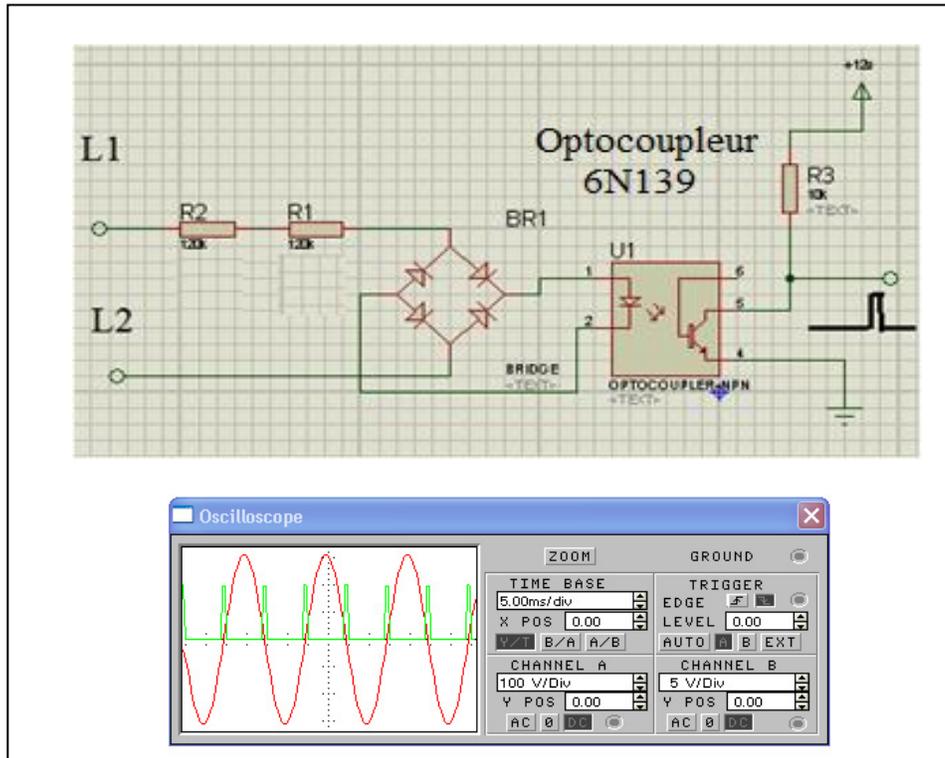


Fig. III. 17. Détection passage de zéro

R2 et R3 étant des résistances très grande, créent une chute de tension importante avant l'étage du pont redresseur. Chaque alternance positive allume la led de l'optocoupleur.

Le transistor se sature et relie la sortie à la masse, d'où à chaque passage de zéro une impulsion de 5V apparait sur la sortie du dispositif.

### III. 2. 6. 2. Circuit d'amorçage des thyristors

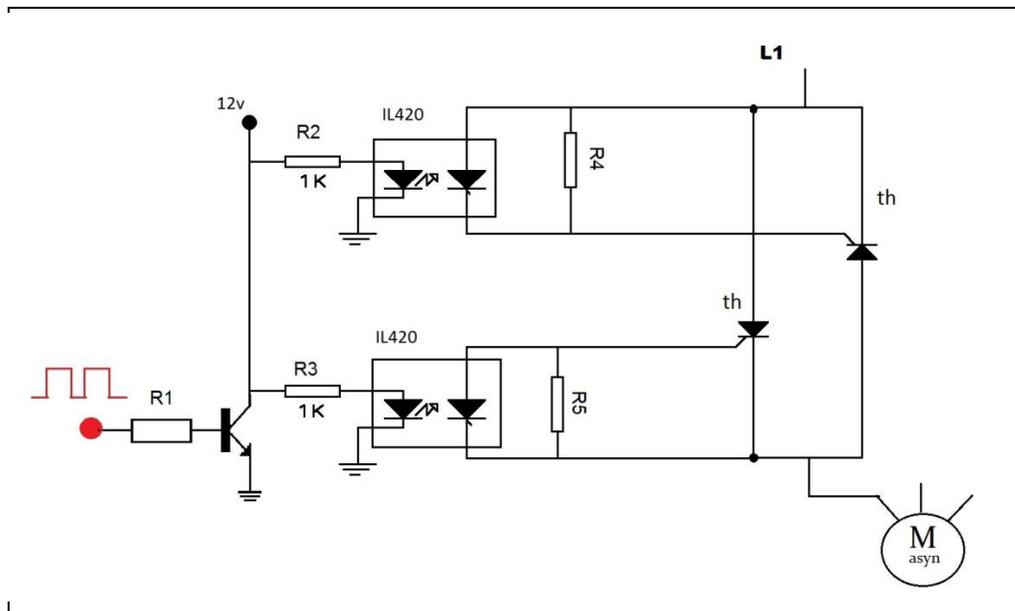


Fig. III. 18. Circuit d'amorçage des thyristors (schéma simplifier)

Les deux thyristors sont amorcés en même temps. Seule la polarisation désignera alors le thyristor qui va être amorcé.

Une impulsion sur la base du transistor, de durée suffisante relie l'émetteur à la masse. Les optotriacs s'alimentent et court-circuitent les résistances en série avec la gâchette et la cathode, le thyristor conduit jusqu'à l'arrivée de l'alternance qui le bloquera.

### III. 2. 6. 3. Circuit de protection des thyristors

#### III. 2. 6. 3. 1. Protection contre les $dv/dt$ (Snubber)

Si la tension anode-cathode augmente trop rapidement, elle peut entraîner un **amorçage intempestif** du thyristor (sans signal de gâchette). Pour neutraliser ce phénomène, on utilise le circuit suivant:

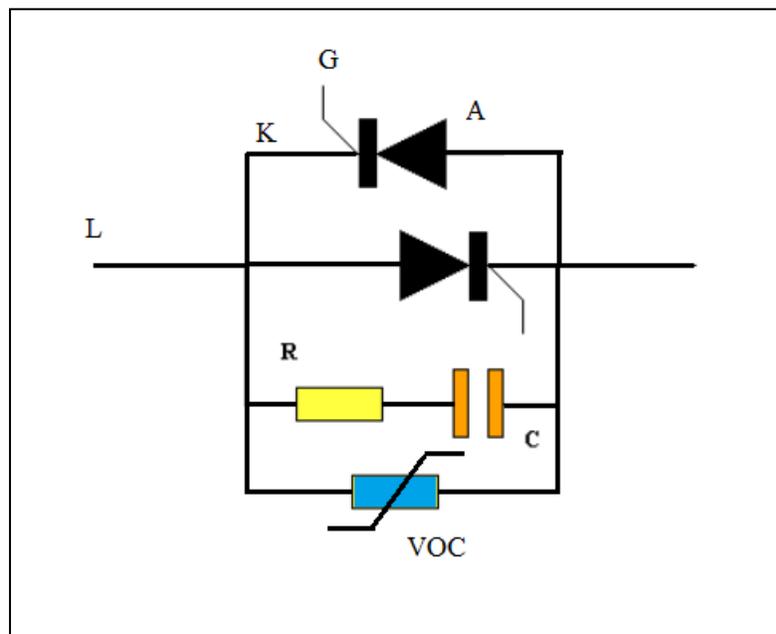


Fig. III. 19. Protections des thyristors

Lorsqu'un front raide se présente entre les points A et K, le **condensateur** se charge à travers R. La tension  $V_{ak}$  évolue plus lentement (comme aux bornes du condensateur). La résistance R intervient aussi lors de l'amorçage commandé et limite le courant de décharge du condensateur dans le thyristor ( $di/dt$ ). Ce circuit présente aussi l'avantage d'un **amorçage plus facile** du thyristor, la décharge du condensateur permettant un établissement plus rapide du courant d'accrochage.

### III. 2. 6. 3. 2. Les varistances

Les varistances ont une caractéristique tension/courant extrêmement non linéaire. Au delà d'un certain seuil de tension l'impédance de la varistance chute pour permettre l'évacuation du courant créant la surtension ; quand la tension revient à son niveau normal l'impédance de la varistance reprend sa valeur à l'état de veille (donc pas de courant).

### III. 3. Principe d'un gradateur

Chaque phase du réseau est séparée du récepteur (moteur) par deux thyristors montés en tête bêche. L'interrupteur autorise le passage du courant durant un temps plus ou moins long de la demi-période. Ce temps est défini par le rapport cyclique qui est le rapport du temps de fermeture divisé par la demi-période, il est donc compris entre 0 et 1. Quand il est égal à 0 la tension de sortie est quasiment nulle et quand il est égal à 1 la tension de sortie est la même que celle de l'entrée (du réseau). Le signal de commande, appelé angle de retard à l'ouverture, doit être synchrone avec la tension aux bornes de l'interrupteur grâce a un système de détection de passage de Zéro

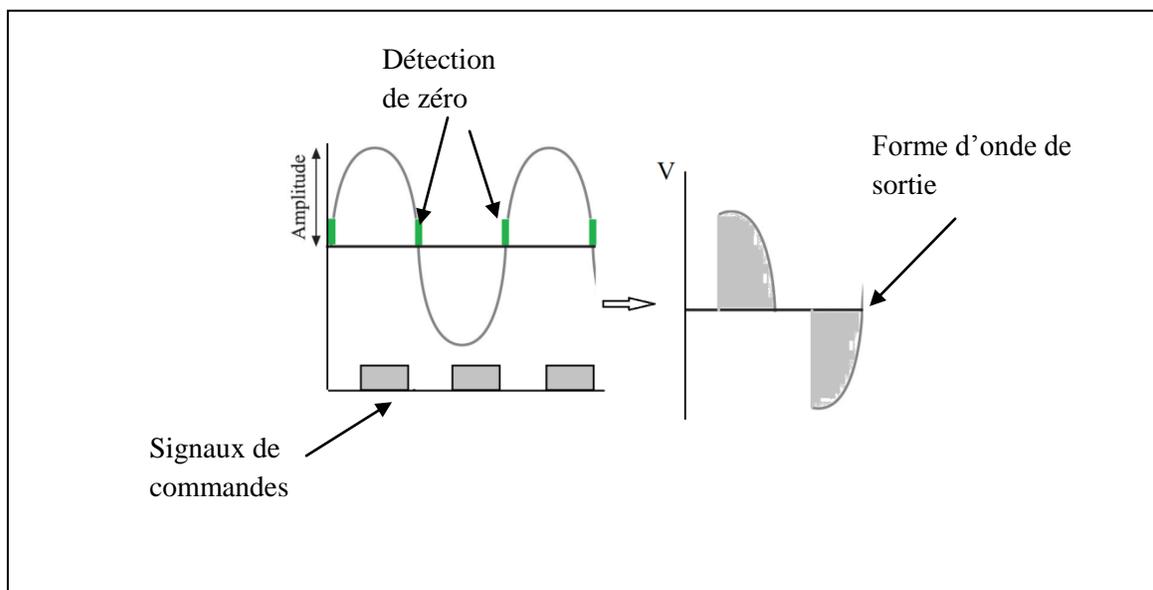


Fig. III. 20. Principe d'un gradateur à angle de phase

### III. 2. 3. 4. Puissance de sortie du soft starter

$$V_{moy} = U_{Max} \left[ \left( \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) \right]$$

$$V_{eff} = U_{eff} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$V_{moy}$  : Valeur moyenne aux bornes de la charge.

$U_{Max}$  : La valeur maximale entre phase a l'entré du soft starter.

$V_{eff}$  : La valeur efficace entre phase a l'entré du soft starter.

$U_{eff}$  : La valeur efficace aux bornes de la charge.

$\alpha$  : angle d'amorçage (rad).

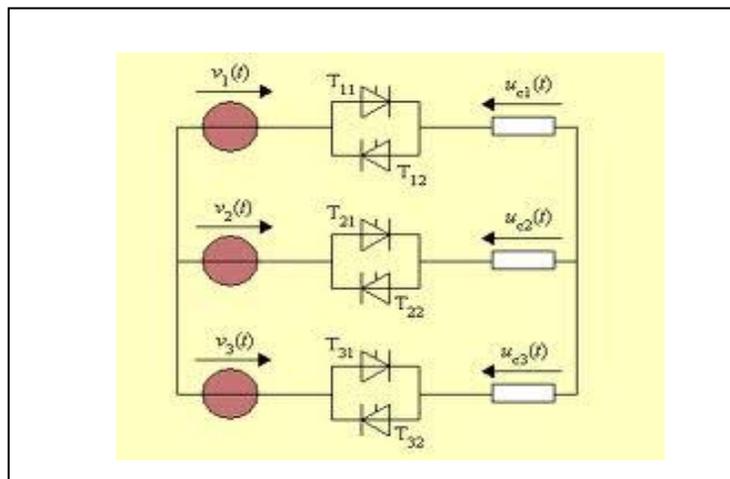


Fig. III. 21. Couplage du gradateur triphasé avec la charge

### III. 4. Fonctionnement du soft starter

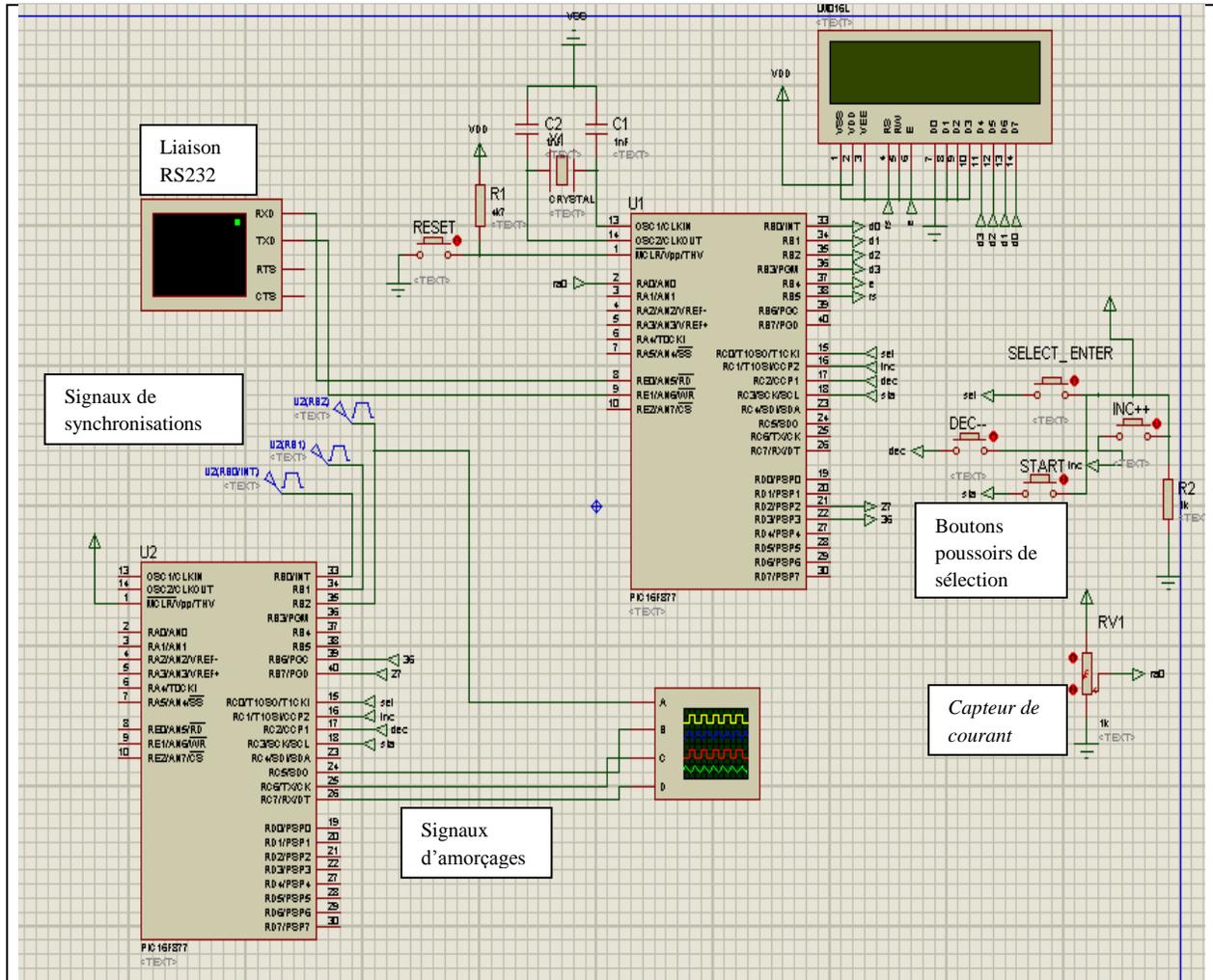


Fig. III. 22. Simulation de la maquette sous ISIS

A la mise sous tension, sur l'écran LCD apparait l'affichage « SOFT STARTER ».

Un message est envoyé vers l'ordinateur via le port rs232 « Transmission de données OK » indiquant que le câble est bien branché et que la maquette est prête à communiquer avec l'ordinateur. L'utilisateur doit alors appuyer sur le bouton select.

Le message « Sélection de puissance de démarrage » apparait sur l'écran.

L'utilisateur doit alors choisir la puissance du démarrage qui varie entre 30 et 100% grâce aux boutons poussoirs Inc. et Déc. Puis valider avec le bouton entrer.

Le message « Sélection du temps de démarrage » apparait sur l'écran.

Le temps de démarrage varie entre 1 et 30 secs. Ce temps signifie le temps d'évolution, de la puissance sélectionnée jusqu'à la puissance maximale.

Après la sélection du temps de démarrage l'utilisateur valide avec le bouton entrer.

Le message « Sélection du courant Max » apparait sur l'écran. L'utilisateur sélectionne la valeur du courant qui ne doit pas être dépassé au cours du démarrage et appuie sur entrer.

Un message récapitulatif contenant toutes les données introduites par l'utilisateur apparait sur l'écran et demande une confirmation pour le début du démarrage.

Si une erreur apparait le soft starter doit être réinitialisé par le bouton poussoir RESET et refaire la configuration.

Si les données affichées sont confirmés, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton START.

Le soft starter :

Autorise l'amorçage progressif des thyristors tout en mesurant le courant absorber.

Afficher les valeurs sur l'écran LCD, et les envoie vers l'ordinateur toutes les 300ms.

**Si** la puissance atteint 100% et que le courant mesurer n'a pas dépassé  $I_{max}$ , c'est que le démarrage a réussi.

**Si**  $I$  mesurer vient à égaler  $I_{max}$ , la puissance transmise au moteur n'évolue plus.

**Si** le moteur consomme cette énergie et que  $I$  mesurer baisse au dessous de  $I_{max}$  le soft starter continue de fournir la puissance jusqu'à 100%. Le démarrage est réussi.

**Si**  $I$  mesurer continue d'augmenter et dépasse deux fois  $I_{max}$ , le démarrage est automatiquement annuler par le soft starter.

# **CHAPITRE IV**

## **CONCEPTION ET REALISATION**

**CONCEPTION  
MATERIELLE**

## **IV. 1. Conception matérielle**

### **IV. 1. 1. Introduction**

Une fois que le choix des composants a été fait, nous allons voir dans ce chapitre la partie réalisation qui consiste à relier tout les composants et les faire fonctionner ensemble.

### **IV. 1. 2. Réalisation d'un circuit imprimé**

Avant d'entreprendre quoi que ce soit, il faut avoir sous la main une plaque qui contient de la résine photosensible (époxy, téflon) et une insoleuse, Ensuite, il faut découper cette plaque au format de notre typon. On utilise normalement une cisaille ou une scie à métaux.

#### **IV. 1. 2. 1. Avant l'insolation**

Une fois les préparatifs effectués, on peut enlever la pellicule en plastique (noire ou blanche) qui protège la résine photosensible qui recouvre notre plaque.

Positionner notre typon sur la vitre de l'insoleuse, puis la recouvrez avec votre platine vierge (la résine en contact avec le typon) comme le montre le schéma ci-dessous.

A ce niveau il faut éviter de faire l'erreur de sens, pour éviter cette erreur, il faut s'imaginer être à la place des tubes UV, et regarder à travers la vitre. On doit observer l'image des pistes du circuit définitif, et pas l'inverse...

#### **IV. 1. 2. 2. Réglage de la durée d'insolation**

Réglage du temps d'exposition : dans notre cas, il est a deux minute, mais ce temps dépend effectivement de : l'insoleuse (nombre et espacement des tubes), de la qualité de la résine, du révélateur utilisé et du temps de révélation.

#### **IV. 1. 2. 3. Révéler la platine**

Plonger le circuit que nous avons au préalable insolé dans une cuvette qui contient un révélateur (la soude), la face résine en l'air.

Balancer la cuvette d'avant en arrière pour mettre le révélateur en mouvement.

Les pistes apparaissent maintenant clairement en vert.

Enlever la pellicule de vernis qui subsiste sur le cuivre.

Sortir le circuit du liquide et le rincer abondamment à l'eau claire, puis laissez le sécher verticalement.

#### **IV. 1. 2. 4. Gravure du circuit imprimé**

Faire encore plonger la maquette dans une bassine qui contient du perchlore de fer réchauffé à une température de 45°C environ, face cuivre en l'air.

Remuer la bassine avec un mouvement de balancier, surveiller régulièrement la gravure, celle-ci doit durer au maximum 15 minutes. Si le circuit ne se grave pas rapidement, c'est que votre perchlore est trop froid ou bien qu'il est saturé. Il faut donc soit le remettre à chauffer, soit en changer...

Le circuit est correctement gravé quand tout le cuivre à nu est enlevé. On peut alors retirer le circuit, et le rincer abondamment

#### **IV. 1. 2. 5. Le perçage**

Pour cette étape il est important d'avoir les forets des diamètres suivants :

0.6 Mm pour les circuits intégrés, les transistors, petits condensateurs et straps, 0.8 mm pour les composants normaux, 1 mm pour les ajustables ou les condensateurs électrochimiques, 1.5 mm pour quasiment tout le reste.

Jusqu'ici on peut dire que notre maquette est prête, mais on peut également améliorer la qualité de cette maquette avec :

#### **IV. 1. 2. 6. L'étamage**

L'étamage est facultatif, mais il reste un excellent moyen pour protéger le circuit.

Autre avantage, il élimine totalement les micro- coupures que l'on rencontre parfois sur les pistes fines.

#### **IV. 1. 2. 7. Vernissage**

Le vernissage est un plus et n'est pas obligatoire. En plus de l'étamage, il a pour vocation de protéger à la fois les pistes et l'époxy nu.

#### **IV. 1. 2. 8. Implantation des composants et soudage**

Insérer chaque composant à ça place à laide du schéma d'implantation obtenu lors de développement du PCB et souder soigneusement avec une bonne qualité d'étain.

### IV. 1. 3. Les circuits imprimés

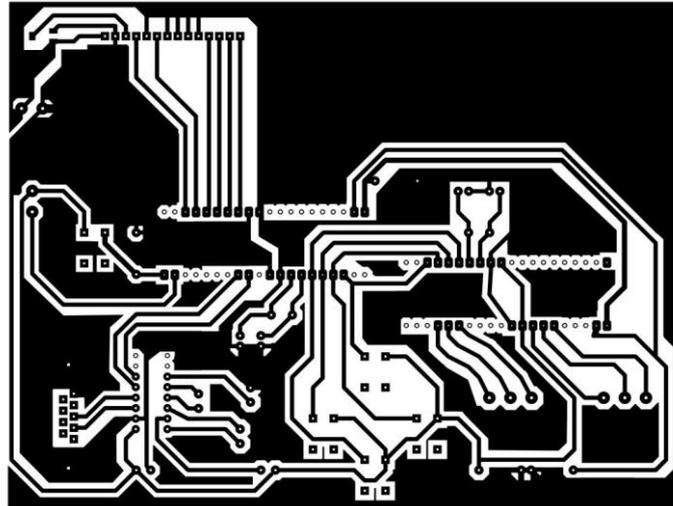


Fig. IV. 1. circuit imprimé principale

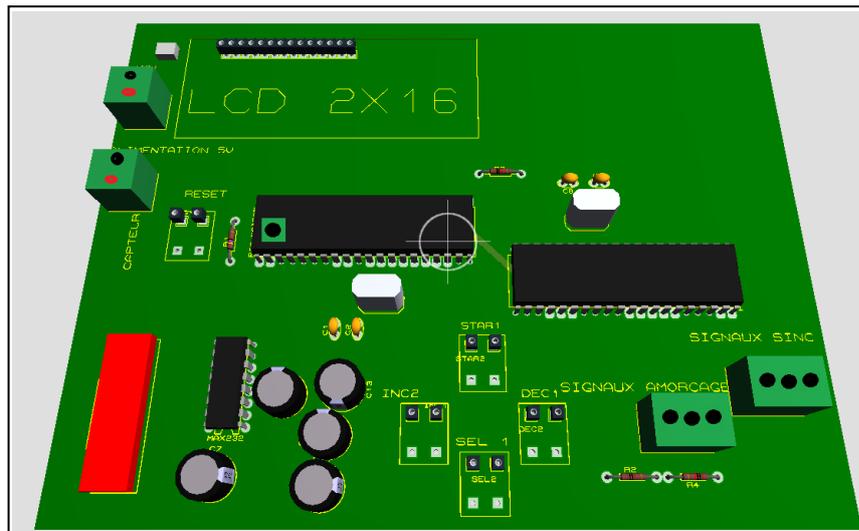


Fig. IV. 2. Visualisation 3D du circuit principale

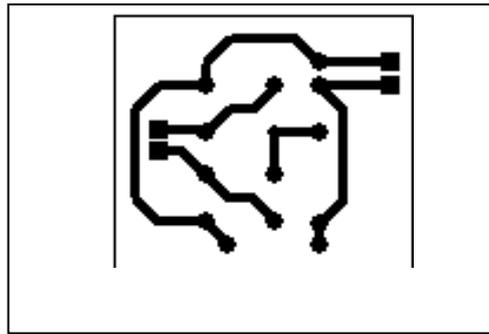


Fig. IV. 3. Circuit imprimé du redresseur

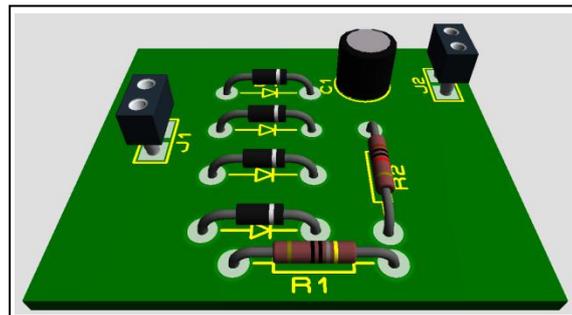


Fig. IV .4. Visualisation 3d du circuit de redressement

### IV. 1. 3. 1. Nomenclature des composants utilisés

Tableau IV. 1. Nomenclature des composants utilisés

Désignation	Quantité	Référence
Resistances	4	1k
	1	10k
	1	5k
Condensateur polarisé	5	1uf
	1	450uf
Capacité	4	15pf
PIC	2	16f877
Quartz	2	20mhz
Adaptateur rs232	1	Max232
Bouton poussoir	5	
connecteurs	7	
Diodes	4	1N4007

# CONCEPTION LOGICIELLE

## IV. 2. Conception logicielle

### IV. 2. 1. Introduction

Une fois que toute la réalisation électronique est faite, nous allons dans le présent chapitre expliquer le programme qui est élaboré afin d'assurer le bon fonctionnement de l'ensemble. Le programme élaboré est mis au point sous CCS Compiler pour faire fonctionner les pics du Soft starter en général.

### IV. 2. 2. La programmation du PIC 16F877

Pour programmer notre PIC, nous avons utilisé deux logiciels et un programmeur universel.

#### IV. 2. 2. 1. Le CCS Compiler

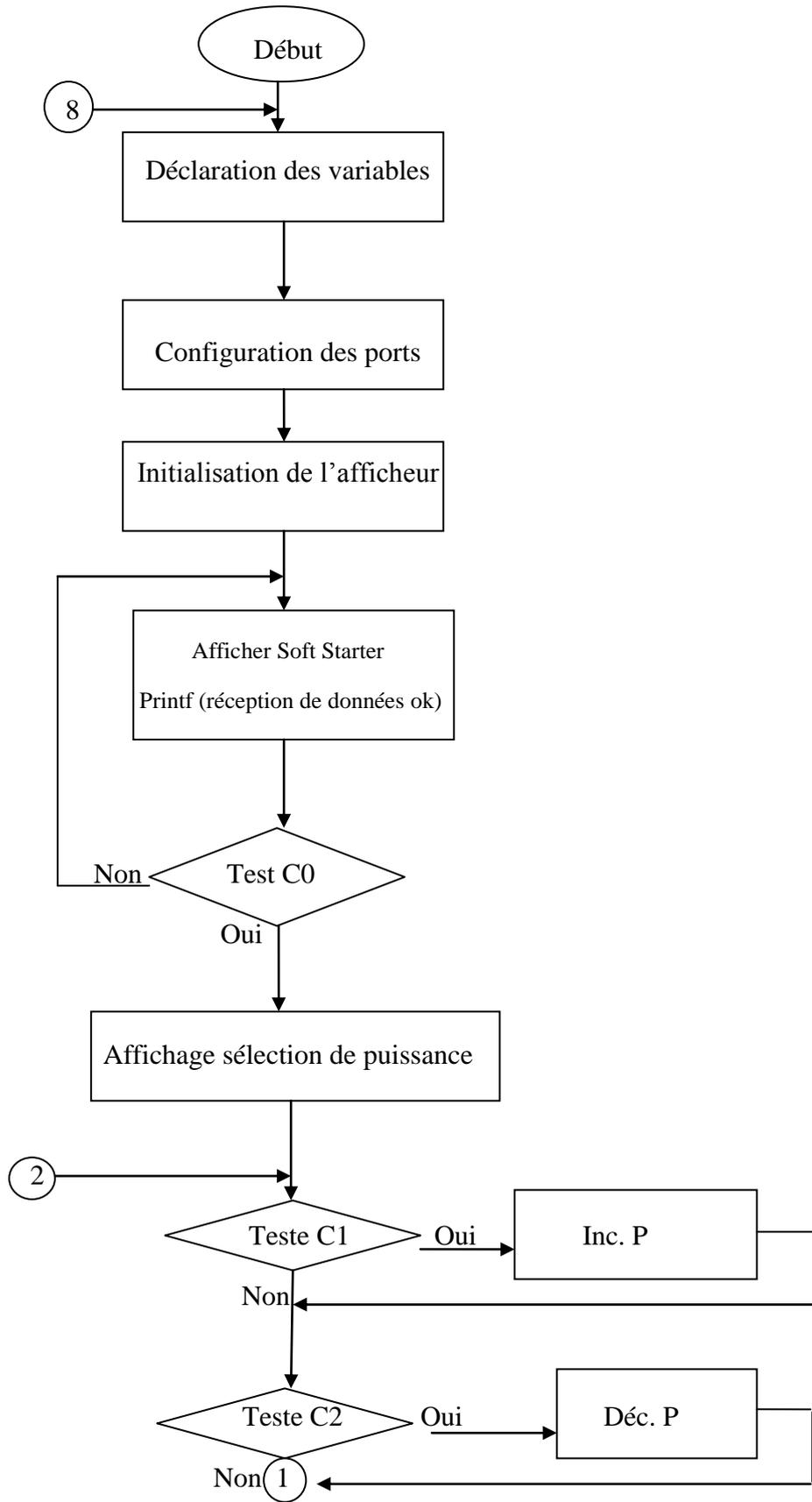
Le CCS Compiler est un outil informatique conçu spécialement pour la programmation des Pics. La compilation d'un programme dans ce même logiciel génère un fichier avec l'extension « **.Hex** » ce dernier est injecté dans les PICs à l'aide de logiciel **IC Prog** et le programmeur.

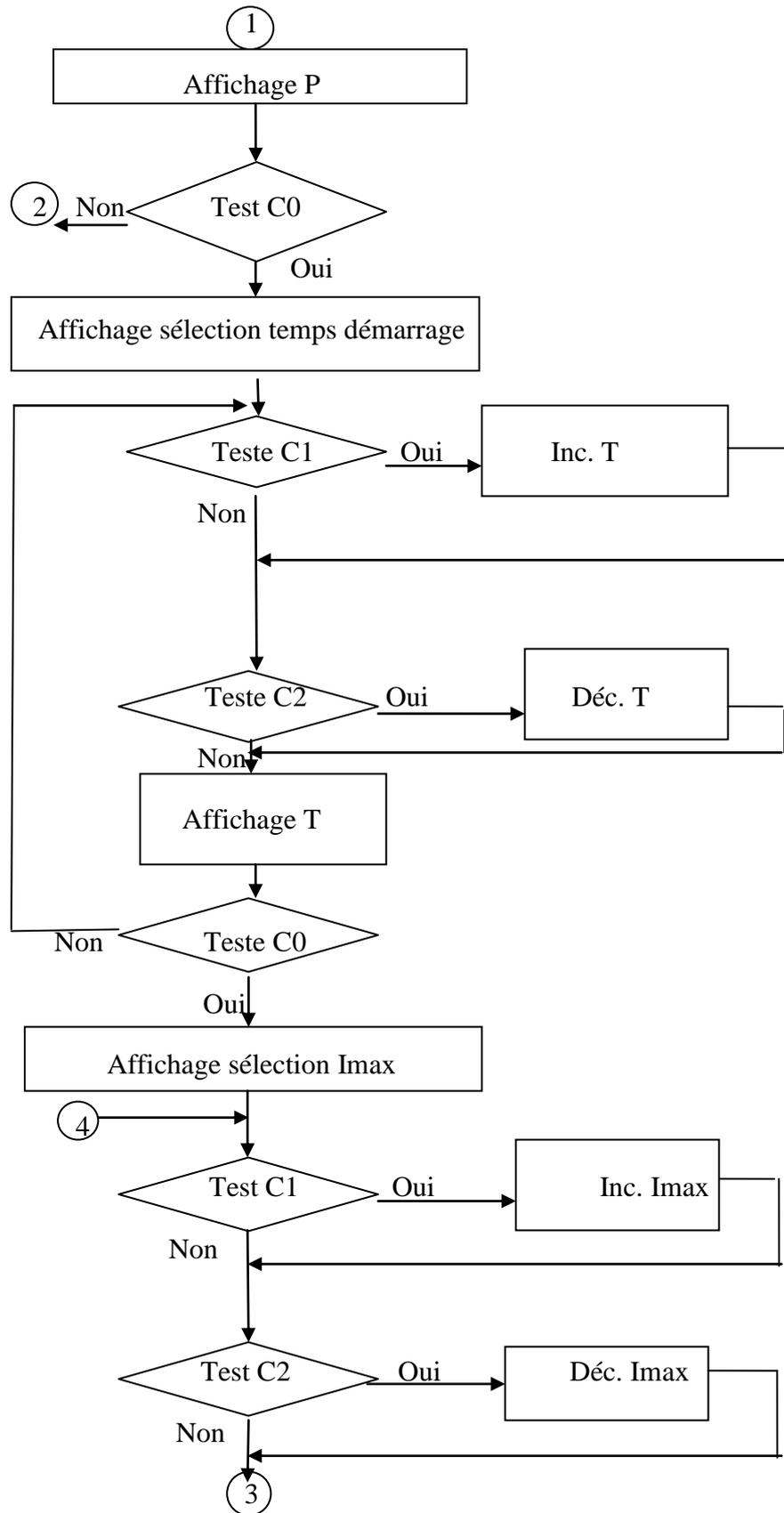
#### IV. 2. 2. 2. L'IC Prog

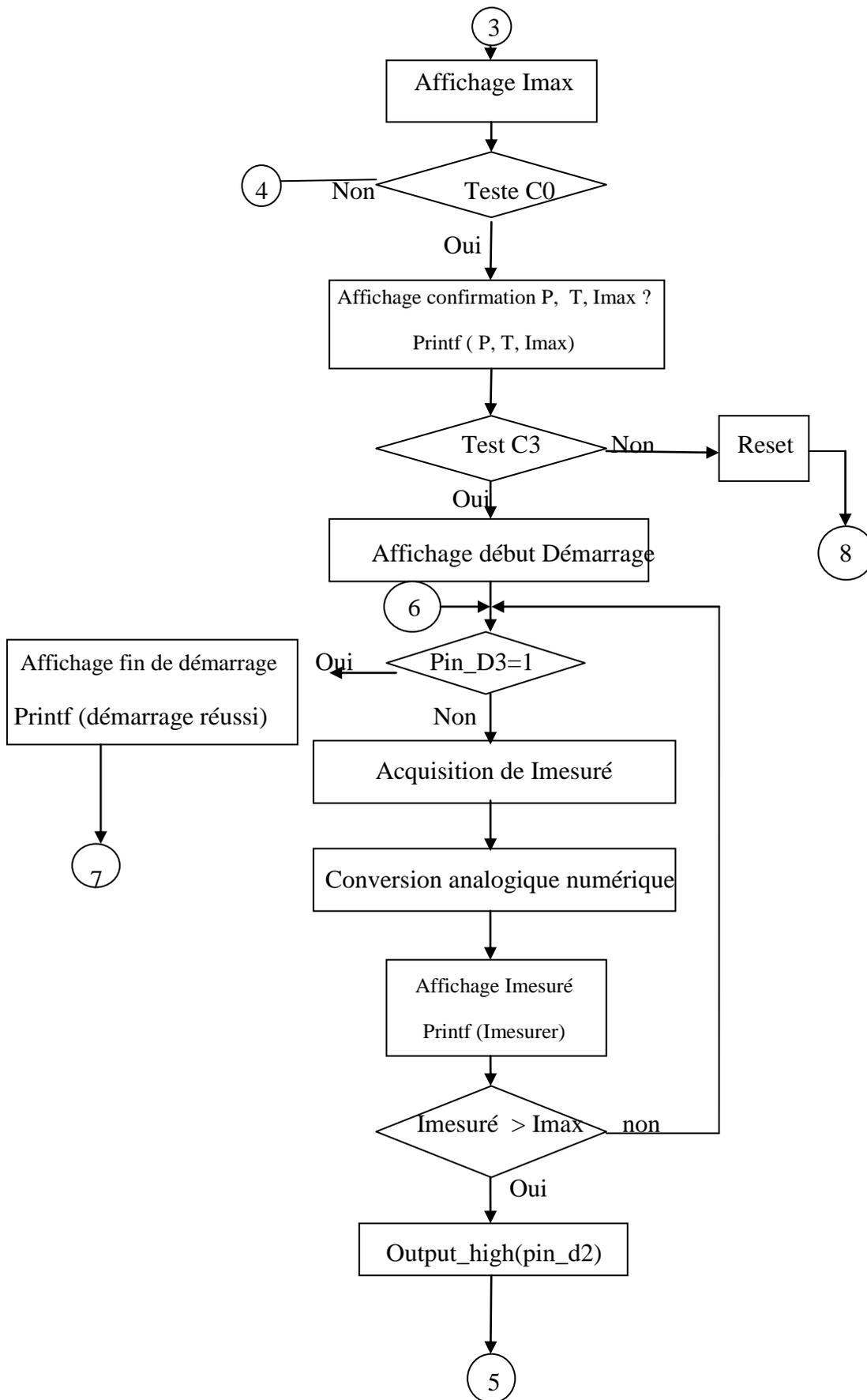
Pour le flashage du PIC nous suivons les étapes suivantes :

1. Placer le PIC 16F877 sur le support de programmeur universel ;
2. Brancher le programmeur à l'unité centrale de micro-ordinateur et le mettre sous tension ;
3. Lancer le logiciel IC Prog ;
4. Choisir le PIC (dans notre cas c'est le 16F877) ;
5. Configurer les paramètres du PIC sur le logiciel.

IV. 2. 3. L'organigramme du programme PIC1







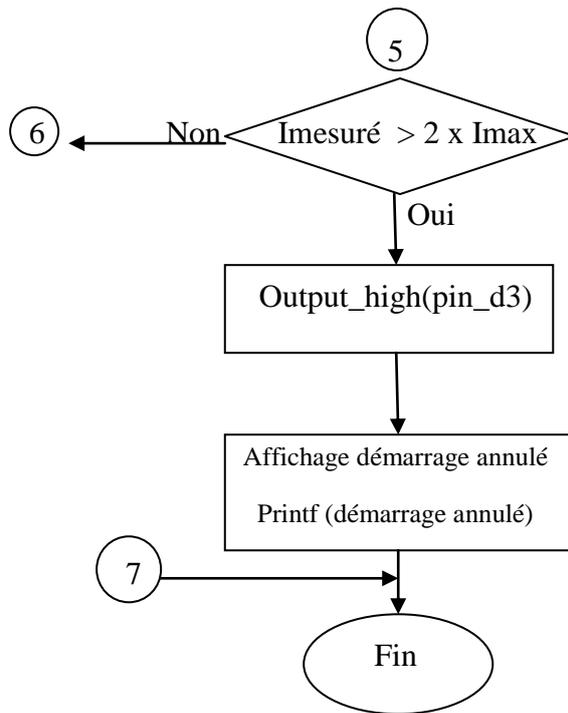
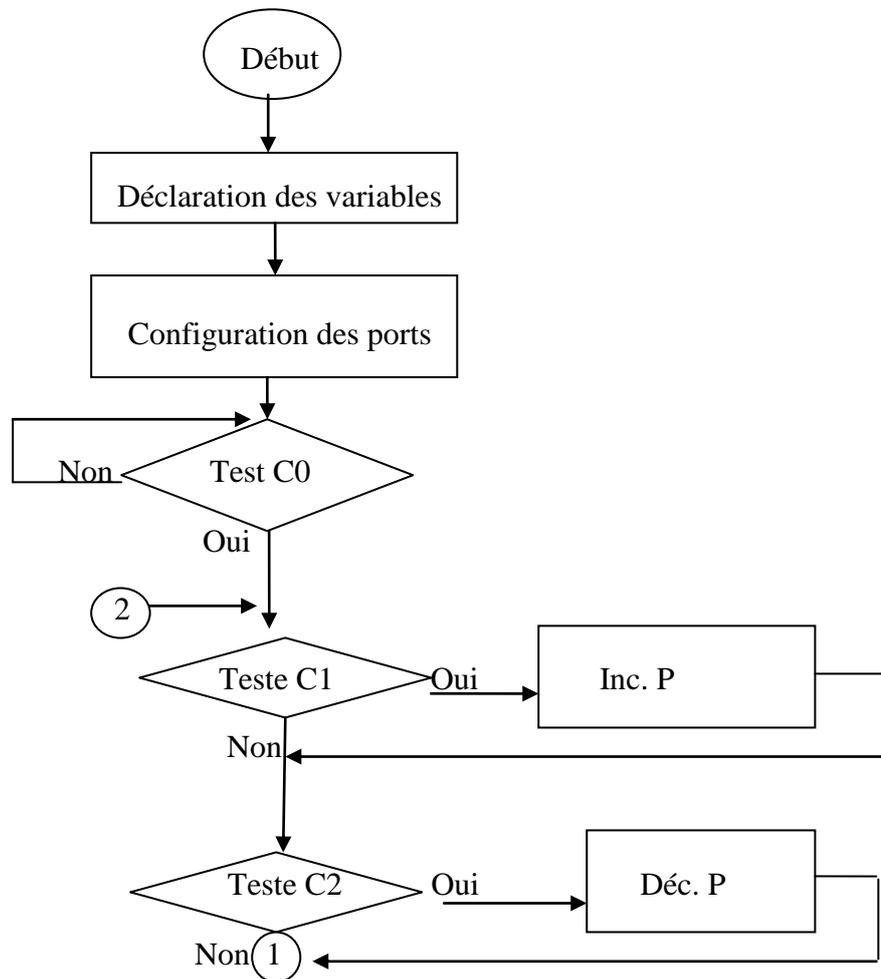
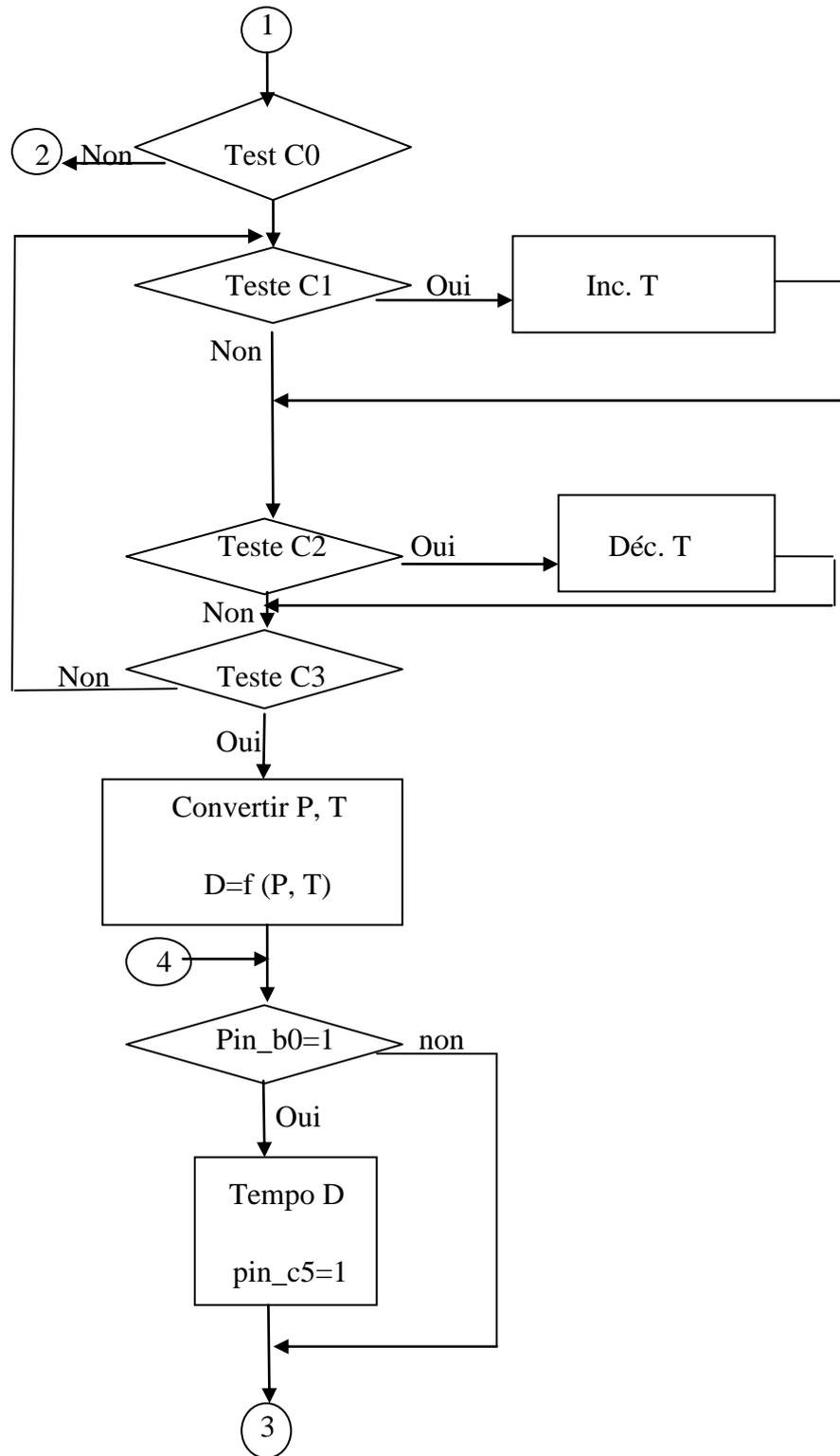


Fig. IV. 6. Organigramme du pic 2

#### IV.2.4. L'organigramme du programme PIC2





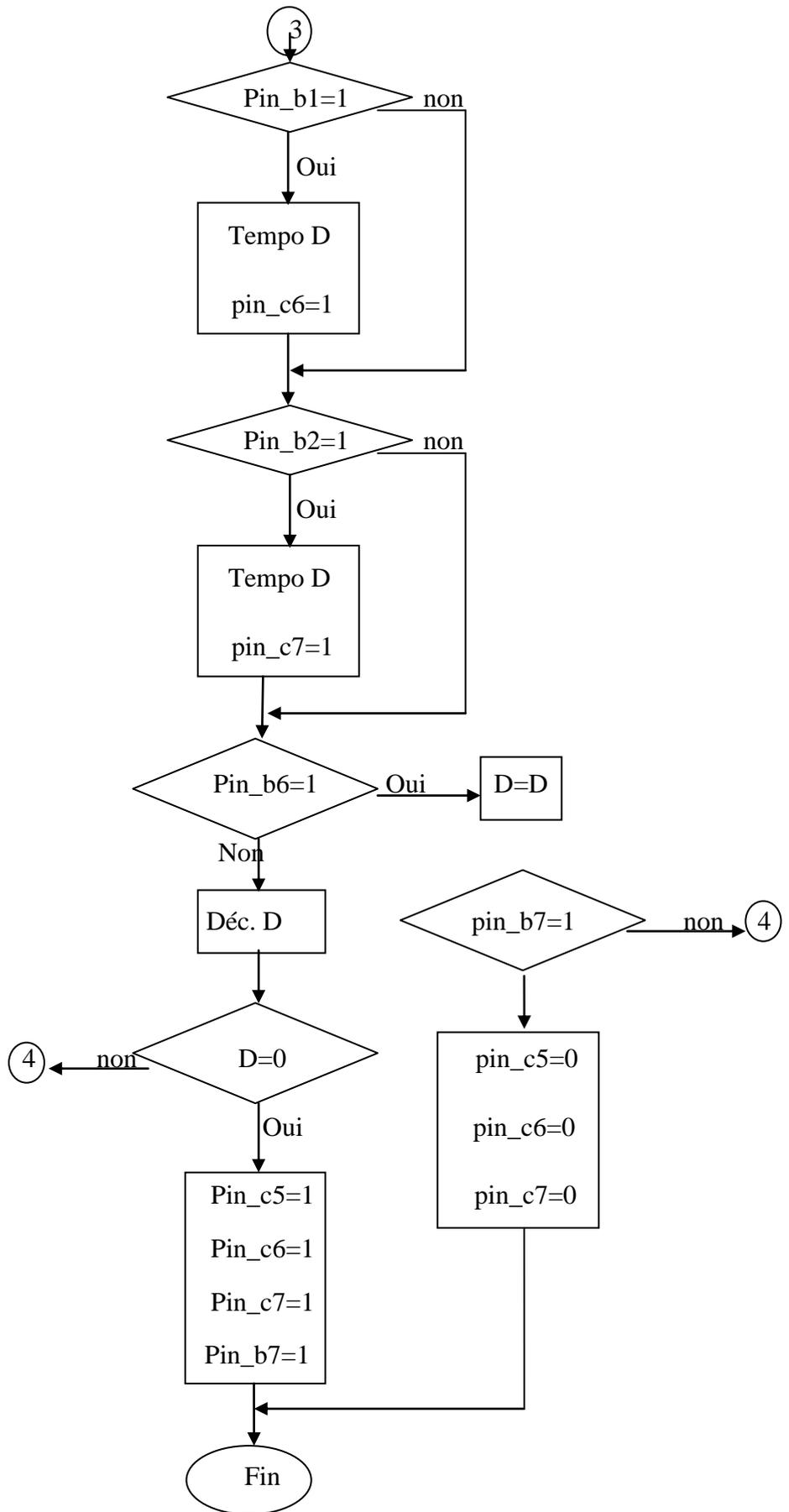


Fig. IV. 6. Organigramme du pic 2

**IV. 2. 4. Une partie du programme de PIC 1.**

```
#include <16f877.h>

#use delay(clock=20000000)

#include "c:/flex_lcd.c"

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP

//#use rs232(baud=9600, bits=8, xmit=pin_e0, rcv=pin_e1, PARITY=N)

void main()

{

int v;

float a;

int t=0,c=10,i=0;

set_tris_c(0xff);

set_tris_d(0x00);

output_d(0);

lcd_init();

//printf("SOFT STARTER data OK !\r");

debut:

if(input(pin_c0)){

delay_ms(200);

lcd_init();

goto selectC;

.....

goto selectI;

ready:

setup_adc_ports(all_analog);

setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL );

lcd_gotoxy(1,1);
```

```
    printf(lcd_putc, "Start? Cd=%i", c);
    lcd_gotoxy(1, 2);
    printf(lcd_putc, "Td=%is Imax=%iA", t, i);
    if(input(pin_c3)){
        lcd_init();
        goto boucle;
        failure:
//printf("DEMARRAGE ANNULE !!\r");
    lcd_gotoxy(4, 1);
        printf(lcd_putc, "DEMARRAGE");
        lcd_gotoxy(5, 2);
        printf(lcd_putc, "ANNULE !!");
    output_high(pin_b1);
    delay_ms(1000);
    goto failure;
    fin:
    lcd_gotoxy(4, 1);
        printf(lcd_putc, "DEMARRAGE");
        delay_ms(1000);
        lcd_gotoxy(5, 2);
        printf(lcd_putc, "REUSSI !!");
        delay_ms(500);
        goto fin;
    }
```

**IV. 2. 4. Une partie de programme de PIC 2.**

```
#include <16f877.h>

#use delay(clock=20000000)

#include "c:/flex_lcd.c"

#include "math.h"

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP

#use rs232(baud=9600, bits=8, xmit=pin_e0, rcv=pin_e1, PARITY=N)

void main()

{

int t=0,c=10;

long int d=1300,p,x,y,z,b,r;

set_tris_c(0xff);

set_tris_d(0x00);

output_d(0);

printf("SOFT STARTER data OK !\r");

debut:

if(input(pin_c0)){

delay_ms(200);

goto selectC;

goto debut;

selectC:

r=65000/d;

printf("p=%li\r",r);

if(input(pin_c1)) {

delay_ms(300);

if(c<100){
```

```
        c=c+10;
        d=d-130;
    }
}
if(input(pin_c2)){
    delay_ms(300);
    if(c>0){
        c=c-10;
        d=d+130;
    }
}
if(input(pin_c0)){
    delay_ms(400);
    //printf("Cd=%i'\\r",c);
    goto selectT;
    .....
    goto algodem;
    etiq:
    output_c(224);
    output_high(pin_b5);
    goto etiq;
    failure:
    output_c(0);
    goto failure;
}
```

# CONCLUSION GENERALE

Les technologies numériques et L'informatique que nous connaissons aujourd'hui n'auraient pas connu un tel essor, sans cette évolution spectaculaire de l'électronique. L'avantage aujourd'hui avec l'électronique c'est le pouvoir de passer à la conception des circuits importants et de leur mise en œuvre avec une grande souplesse et fidélité offertes par l'énorme degré d'intégration des circuits électroniques actuels, tout ce qu'on désire comme fonction existe comme circuit. La réalisation pratique des montages était pour nous une expérience très enrichissante du fait que nous avons vécu un cas réel de conception et fabrication. Les expériences que nous avons menées durant ce chapitre nous ont montrés que l'étude théorique et l'étude par simulation étaient très proches de la réalité pratique, sauf que la théorie ne tient pas compte des problèmes d'origine aléatoire.

Nous avons donc pu tester notre montage afin de déterminer ses performances et limites. D'autre part, on peu envisager des améliorations futures pour ce projet et utiliser des capteurs de tensions de phases. Ces capteurs vont être reliés à notre PIC 16F877 ce qui va permettre de déterminer l'équilibre du réseau, les fréquences de phases, et le déphasage entre tension et courant.

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. **M. ILLOURMANE, S. AOUDIA, N. BOUADMA.** « Etude et comparaison des différents modes de démarrages d'un moteur asynchrone à cage d'écurueil ». Mémoire de fin d'études électronique. UMMTO 2006. 13-15p.
2. **PALERMO C. 2008/2009.** Cours d'électricité 2—Electrotechnique. « Le moteur asynchrone triphasé ». I.U.T Mesures Physique – Université Montpellier 2. Année universitaire 2008/2009. <http://web-mp.iutmontp.univ-montp2.fr>, rubrique " Le DUT", enseignement "Electricité, Electronique, Electrotechnique et Automatique. 10p.
3. **BAGHLI. L. 2005.** Modélisation et commande de la machine asynchrone. Notes de cours. IUFM de Lorraine UHP. 22p
4. **DIVOUX C. 1999.** Moteur asynchrone triphasé. Cours Terminal STI Moteur asynchrone. 8p
5. **START, WP. 1998.** Notions fondamentales sur le démarrage des moteurs – Démarrage traditionnel – Démarrage progressif, convertisseur de fréquence. Motor management. 43p
6. **T. WILDI, G. SYBILLE.** « Electrotechnique ». 4ème édition : de boeck.
7. **Schneider électrique,** Chapitre 5 : « Départ moteurs », 110-111p.
8. **REAL-PAUL BOUCHARD, GUY OLIVIER.** « Conception de moteurs asynchrones triphasés ». Ecole polytechnique de Montréal. 2006.
9. **GHARBI S, SADI A.** « Réalisation d'un softstarter pour un moteur asynchrone triphasé de puissance ». Mémoire de fin d'études électronique. UMMTO 2009/2010.
10. **MICROCHIP.** <http://www.microchip.com>

# ANNEXES