

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD 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 : Communication

Thème:

***Conception et réalisation d'un variateur de
vitesse pour moteur à courant continu***

Proposé et dirigé par :

M^r : N.ORABIA

Conçu et réalisé par :

M^r: HOCINI Lotfi

M^{elle}: GHEMAM Scoura

Année universitaire 2008/2009

Sommaire

Introduction générale

Chapitre 1 : Moteur à courant continu

I. Introduction	1
I. 1. Constitution d'un moteur à courant continu.....	1
I.1.1. Inducteur.....	1
I.1.2. Induit.....	3
I.1.3. Collecteur et balais.....	4
I.2. Principe de fonctionnement.....	5
I.2.1. Analyse d'un moteur simplifié à aimants permanents.....	5
I.2.1.a. Moteur simplifié à une bobine au rotor.....	5
I.2.1.b. Moteur simplifié à trois bobines au rotor.....	7
I.2.2. Moteurs multipolaires.....	9
I.2.2 .a. Moteur tétrapolaire.....	9
I.2.2 .b. Moteur hexapolaire.....	9
I.3. Circuit électrique équivalent d'un moteur à courant continu	10
I.4. Equations de fonctionnement du moteur.....	11
I.4.1. La force contre-électromotrice.....	11
I.4.2. Accélération du moteur.....	12
I.4.3. Le couple.....	13
I.4.4. Sens du couple et de rotation.....	15
I.4.5. La vitesse de rotation du moteur.....	15
I.5. Couplages de l'excitation.....	16
I.5.1. L'excitation séparée.....	17
I.5.2. Excitation série.....	17
I.5.3. Excitation composée.....	19
I.5.4. Excitation parallèle.....	20
I.6. L'intérêt de la machine à courant continu.....	21
I.7. Bilan des puissances en moteur.....	21
I.7.1. Les pertes mécaniques.....	21
I.7.2. Les pertes fer.....	21
I.7.3. Les pertes dans les circuits électriques.....	22
I.7.4. Les pertes supplémentaires.....	22

Chapitre 2 : Conception matérielle

II.1. Introduction.....	23
II.2. Pont redresseur monophasé mixte avec diode de roue libre (étage de puissance).....	23
II.3. Principe de fonctionnement	26
II.4. Génération des arcs de cosinus et utilité.....	27
II.5. La consigne.....	29
II.5.1. guide d'utilisation.....	29
II.5.2. Organigramme.....	31
II.6. Circuit de démarrage.....	35
II.7. Générateur d'impulsion	35

II.8. Le retour.....	36
-----------------------------	-----------

Chapitre 3 : Réalisation pratique

III.1. Les circuits imprimés.....	37
III.1.1. Le typon.....	37
III.1.2. L'insolation.....	38
III.1.3. La gravure.....	38
III.1.4. Le perçage.....	38
III.1.5. L'implantation des composants.....	38
III.2. La programmation du pic.....	39

Conclusion générale

Bibliographie

Annexe

REMERCIEMENTS

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

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

*Nos sincères remerciements vont
à tous les enseignants du département de l'électronique pour leur efforts
constants et leur suivi durant notre cursus.*

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

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, les moteurs électriques équipent une part importante de l'outillage de l'homme, du petit gadget jusqu'aux grandes machines industrielles.

Les moteurs à courant continu furent les premiers à être inventés. Pendant longtemps, ils ont été les seuls aptes à la vitesse variable à large bande passante (robotique). Mais les progrès de l'électronique de puissance ont vite détrôné ces machines à balais, à l'avantage des technologies synchrones autopilotées. Vu leur grande souplesse pour l'asservissement de vitesse et de position, ils demeurent encore très utilisés.

Pour alimenter ces moteurs, des circuits électroniques appelés variateurs de vitesse, sont mis en œuvre, remplaçant ainsi les résistances, autrefois utilisées pour le démarrage et l'asservissement de vitesse.

Notre travail porte sur l'étude et la réalisation d'un variateur de vitesse pour les moteurs à courant continu assurant un démarrage doux.

Pour se faire, nous allons présenter notre travail en trois chapitres :

Chapitre I : Moteur à courant continu

Chapitre I : Variateur de vitesse

Chapitre I : Réalisation pratique

Et nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre I

Moteur à courant continu

I. Introduction :

Les moteurs à courant continu sont des appareils qui transforment l'énergie électrique qu'ils reçoivent en énergie mécanique. Comme leur nom l'indique, ils fonctionnent en tensions et en courants continus.

I.1. Constitution d'un moteur à courant continu :

Le moteur à courant continu est composé essentiellement de quatre parties : l'inducteur, l'induit, le collecteur et les balais. (**figure 1.1**).

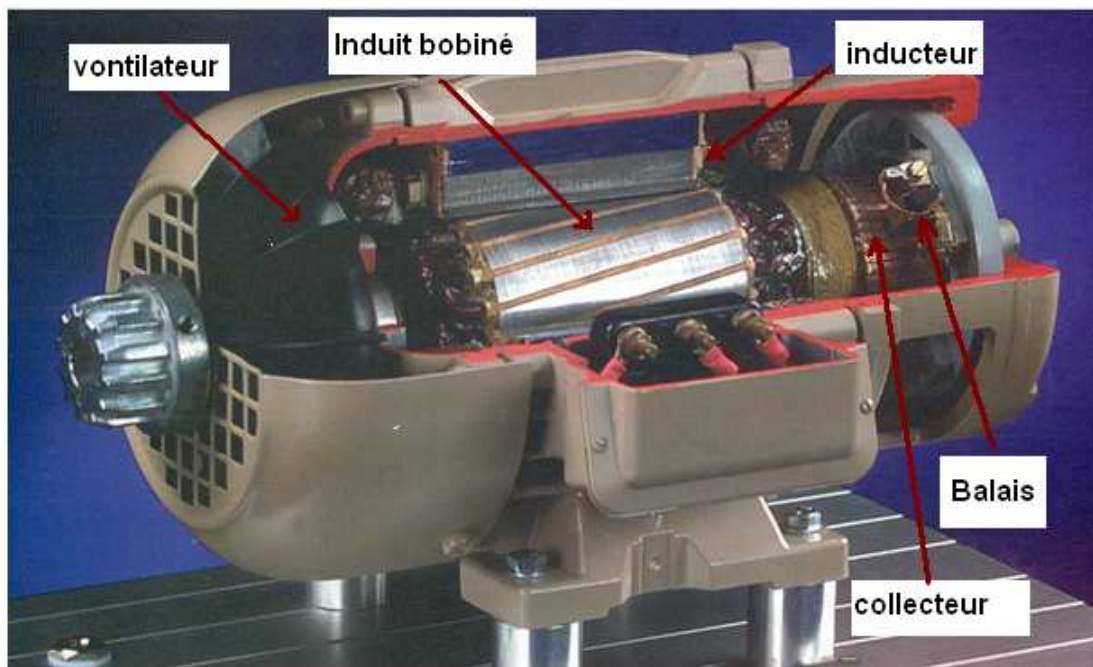


Fig 1.1. Vue en coupe d'un moteur à courant continu

I.1.1. Inducteur :

Porté par le Stator (partie fixe du moteur) (**figure 1.2.a**), l'inducteur (parfois appelé «champ») produit le flux magnétique dans la machine. Il est constitué d'un électro-aimant qui engendre la force magnétomotrice (FMM) nécessaire à la production du flux. Dans les machines bipolaires (à deux pôles), deux bobines excitatrices sont portées par deux pièces polaires montées à l'intérieur d'une culasse. La culasse est généralement en fonte d'acier, tandis que les pièces polaires sont formées de tôles d'acier doux. Les bobines excitatrices sont alimentées en courant continu, et le courant qui les traverse porte le nom de courant d'excitation. Elles sont composées de plusieurs centaines de spires et portent un courant relativement faible. Les bobines sont bien isolées des pièces polaires afin de réduire les risques de court-circuit à la terre. Dans certaines machines spéciales, les bobines et pièces polaires sont remplacées par des aimants permanents. La force magnétomotrice (FMM) des bobines crée un champ

magnétique qui traverse les pièces polaires, la culasse, l'induit et l'entrefer. L'entrefer est l'espace d'air séparant la surface de l'induit de celle des pièces polaires : il est de l'ordre de 1,5 mm à 5 mm pour les machines de faible et moyenne puissance. Comme l'induit et l'inducteur sont construits avec des matériaux possédant une bonne perméabilité, la majeure partie de la FMM sert à pousser le flux à travers l'entrefer. Donc, en réduisant la longueur de celui-ci, on peut diminuer la grosseur des bobines excitatrices. Le nombre de pôles que porte l'inducteur dépend surtout de la grosseur de la machine. Plus une machine est puissante et plus sa vitesse est basse, plus elle aura de pôles. En utilisant plus de deux pôles on réduit les dimensions et le coût des grandes machines. Les bobines excitatrices d'un inducteur multipolaire sont connectées de façon que les pôles adjacents aient des polarités magnétiques contraires (**Figure 1.2.b**). [B9]

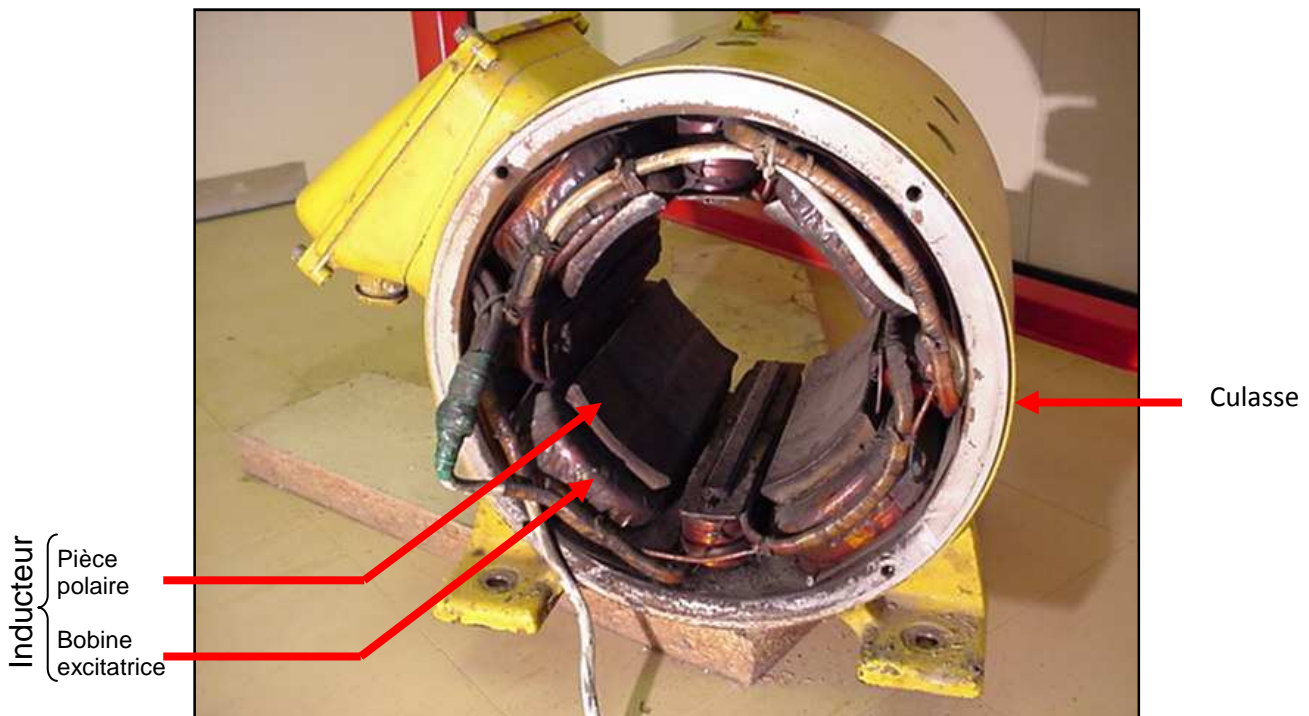


Fig. 1.2.a. Stator d'un moteur à courant continu.

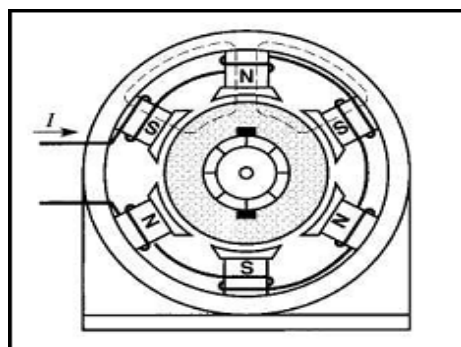


Fig. 1.2.b. Polarités magnétiques d'une machine à 6 pôles et mode de raccordement des bobines du champ shunt.

I.1.2. Induit :

L'induit (**figure 1.3**), est composé d'un ensemble de bobines identiques réparties uniformément autour d'un noyau cylindrique (**Figure 1.4.a**). Il est monté sur un arbre et tourne entre les pôles de l'inducteur. L'induit constitue donc un ensemble de conducteurs qui coupent le flux magnétique. Les bobines sont disposées de telle façon que leurs deux côtés coupent respectivement le flux provenant d'un pôle nord et d'un pôle sud de l'inducteur. Le noyau est formé d'un assemblage de tôles en fer doux. Ces tôles sont isolées les unes des autres et portent des encoches destinées à recevoir les bobines. Les conducteurs de l'induit sont isolés du noyau par des couches de papier ou d'autres feuilles isolantes. Pour résister aux forces centrifuges, ils sont maintenus solidement en place dans les encoches au moyen de cales en fibre (**Figure 1.4.b**). Si le courant est plutôt faible, on emploie des conducteurs ronds, mais s'il dépasse une cinquantaine d'ampères, on se sert de conducteurs rectangulaires qui permettent une meilleure utilisation du volume de l'encoche. L'ensemble induit plus arbre constitue un rotor. [B9]

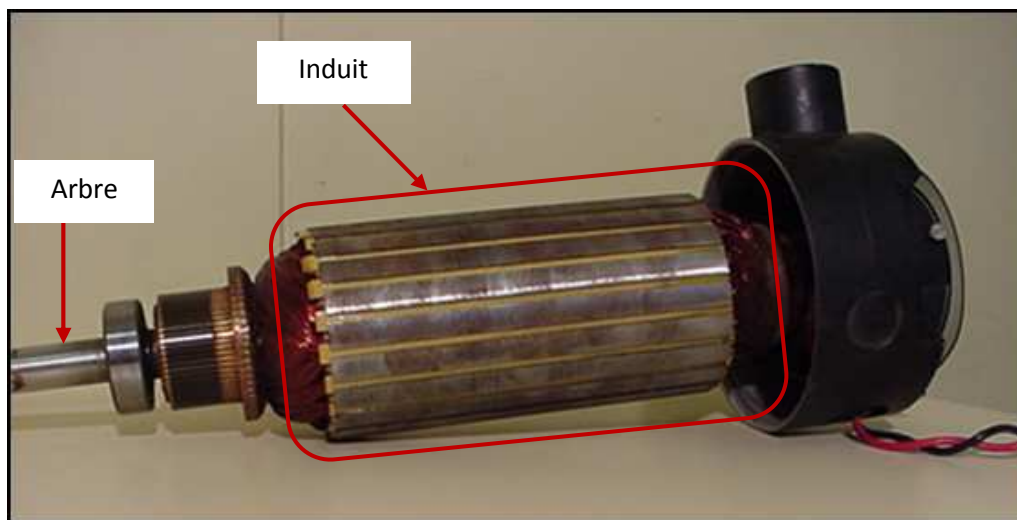


Fig. 1.3. Rotor d'un moteur à courant continu.

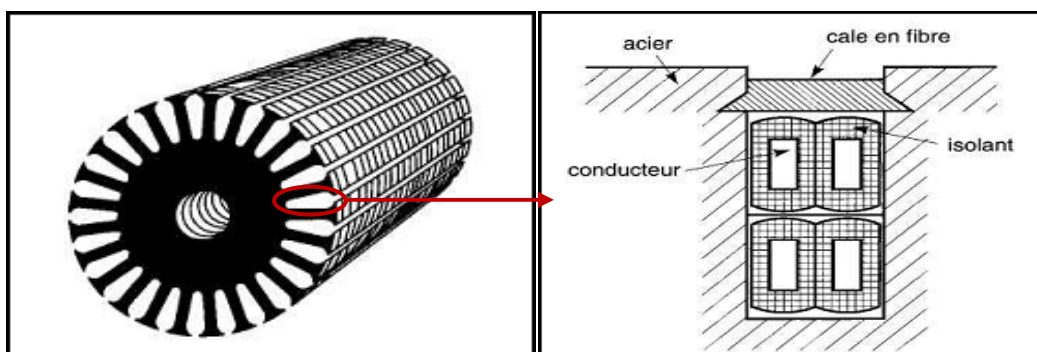


Fig. 1.4.a. noyau de l'induit

Fig. 1.4.b. les conducteurs retenus dans les encoches

I.1.3. Collecteur et balais :

Le collecteur est un ensemble cylindrique de lames de cuivre isolées les unes des autres par des feuilles de mica. Le collecteur est monté sur l'arbre du moteur, mais isolé de celui-ci (**Figure 1.5.a**). Les deux fils sortant de chaque bobine de l'induit sont successivement et symétriquement soudés aux lames du collecteur. Dans un moteur bipolaire, deux balais fixes et diamétralement opposés appuient sur le collecteur. Ainsi, ils assurent le contact électrique entre l'induit et le circuit extérieur (**Figure 1.5.b**). La construction du collecteur demande un soin considérable, car, s'il arrivait qu'une des lames dépasse les autres d'une fraction de millimètre seulement, des étincelles seraient produites par le rebondissement des balais quand le moteur serait en charge. De telles étincelles rongeraient et détérioreraient les balais, tout en surchauffant et en carbonisant le collecteur, ce qui ne peut évidemment être toléré. Les machines multipolaires ont autant de balais que de pôles. Par exemple, un moteur ayant 6 pôles possède 6 balais, dont 3 positifs (+) et 3 négatifs (-). Les balais (+) sont reliés ensemble pour former la borne positive du moteur. De même, les balais (-) sont reliés ensemble pour en former la borne négative (**Figure 1.5.c**). Les balais sont faits en carbone car ce matériau possède une bonne conductivité électrique et est assez doux pour ne pas user indûment le collecteur. Pour améliorer leur conductivité, on ajoute parfois au carbone une petite quantité de cuivre. [B9]

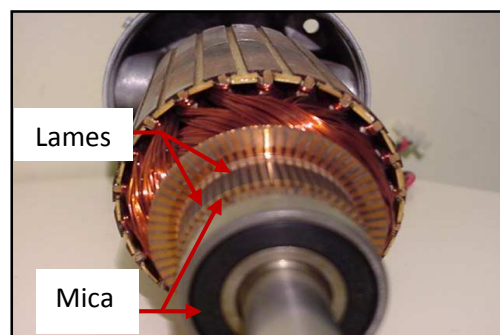


Fig. 1.5.a. Collecteur

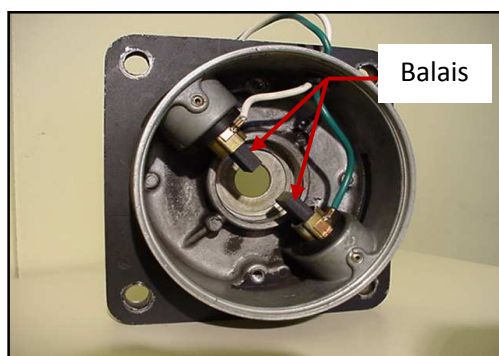


Fig. 1.5.b. Balais

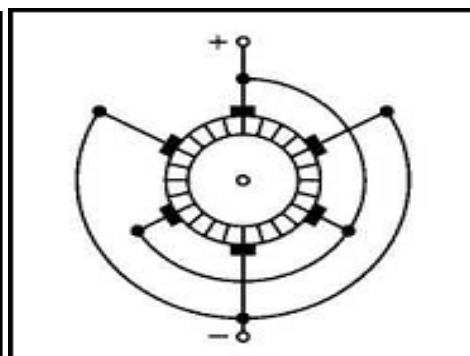


Fig. 1.5.c. groupement des balais

I.2. Principe de fonctionnement :

Lorsque les inducteurs sont alimentés, ils créent un champ magnétique dans l'entrefer. Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle sont parcourus par des courants de même sens et soumis à une force.

Les conducteurs situés sous le pôle opposé sont soumis à une force de même intensité et de sens opposé, les deux forces créent un couple qui fait tourner l'induit du moteur.

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur à courant continu il suffit d'inverser les polarités de la tension d'alimentation de l'induit ou des inducteurs.

[B4]

I.2.1. Analyse d'un moteur simplifié à aimants permanents :

I.2.1.a. Moteur simplifié à une bobine au rotor :

Commençons par étudier, sur la **Figure 1.6**, une version simplifiée de ce moteur. Il ne contient qu'une seule bobine rotorique, qui est alimentée par un collecteur à deux lames et un inducteur (stator) à aimants permanents (pôles nord N et sud S). Précisons que cette version ne démarre pas, car, en dessous de trois lames au collecteur, le rotor (induit) se bloque sur une position d'équilibre stable.

La source de tension alimente, via des frotteurs fixes, les bobines du rotor. Chacun de ces balais fixes touche successivement les lames du rotor, en direct ou en inverse. Les conducteurs vus par chaque pôle seront donc toujours orientés dans le même sens.

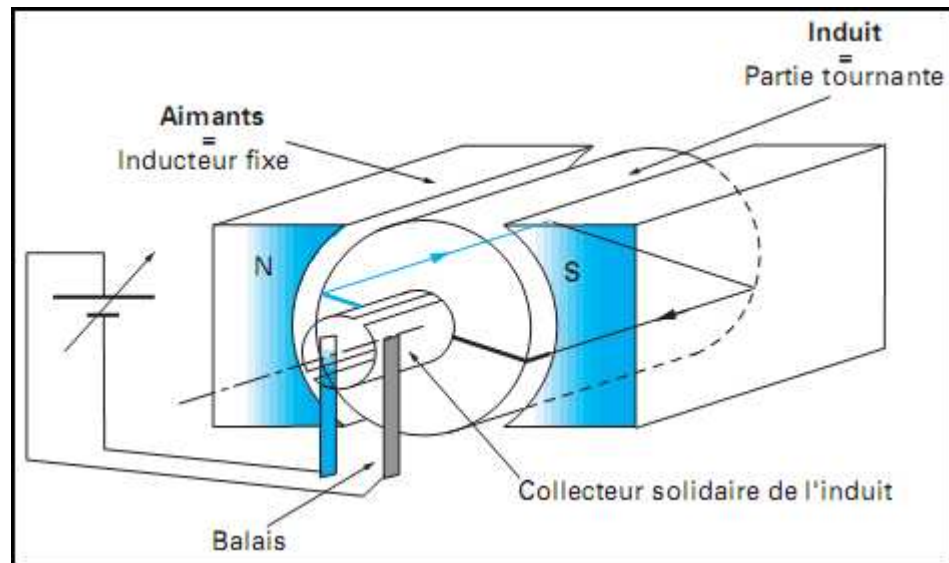


Fig. 1.6. Moteur à courant continu à aimants permanents simplifié

On suppose que le flux magnétique émis par les aimants inducteurs est radial dans l'entrefer et que les conducteurs de l'induit sont ramenés à la périphérie de ce dernier. La **figure 1.7** met en évidence cette disposition. Nous remarquons que cette disposition est idéale car les deux vecteurs (induction et courant) sont orthogonaux.

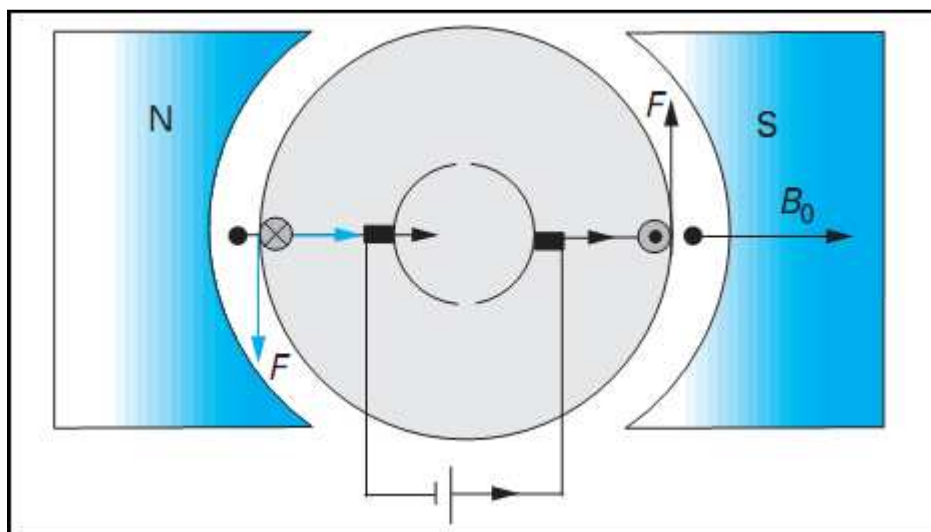


Fig. 1.7. Disposition des courants et du flux d'induction dans le moteur à courant continu à aimants permanents simplifié

La force de Laplace alors créée s'écrit:

$$F = I L B_0 \sin \alpha \quad (1)$$

appliquée sur un seul conducteur de longueur L parcouru par un courant I , soumis à une induction B_0 inclinée d'un angle α est donc maximale. Cette force est tangentielle au rotor et la quadrature est conservée durant toute la rotation (**figure 1.8**).

Nous voyons que l'ensemble lames-balais se comporte comme un redresseur tournant. Suivons à cet effet, tout au long de la rotation, le trajet du courant, depuis la source jusqu'au rotor. Les balais, en frottant contre les lames du collecteur, amènent un courant de signe toujours positif (conducteur en point) du côté du pôle inducteur Sud, et réciproquement (conducteur en croix) du côté Nord. Lorsque le rotor tourne, les lames inversent les courants dans le rotor, afin que le pôle Nord continue à voir des croix et le pôle Sud des points. Les forces de Laplace engendrent donc toujours un couple de même signe. Cette fonction de redresseur mécanique se justifie aussi par le fait que si le sens du courant dans les balais est fixe, en revanche, les courants dans le rotor changent de signe deux fois par tour mécanique. Ce dernier voit donc un flux alternatif. Le défaut de ce système reste malheureusement la création d'étincelles chaque fois qu'une lame quitte un balai (ouverture d'une inductance chargée). Heureusement, dans les moteurs industriels, ce phénomène est atténué par des dispositifs de compensation.

Notons enfin que, dans cette machine à aimants permanents, le flux inducteur reste constant. En effet, la réluctance des aimants étant voisine de celle de l'air, les courants de l'induit n'interfèrent pas avec le flux inducteur. Nous nous retrouvons par conséquent dans la situation idéale d'un ensemble de conducteurs mobiles au travers d'un champ d'induction constant. [B8]

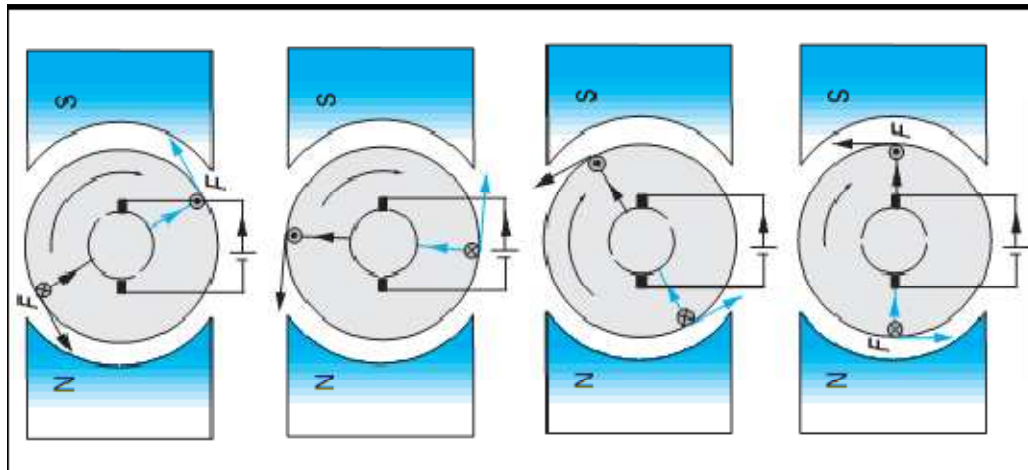


Fig. 1.8. Commutation dans le moteur à courant continu à aimants

I.2.1.b. Moteur simplifié à trois bobines au rotor :

La version précédente à deux lames au rotor ne pouvant pas démarrer, nous allons examiner sur la **Figure 1.9** le modèle à trois lames qui se rapproche des machines réelles. En effet, ces dernières ne comportent généralement guère plus de six lames par pôle au collecteur. L'inducteur à aimants permanents voit

ses lignes d'induction refermées par une culasse qui n'est pas représentée dans cette figure.

L'induit comporte trois enroulements bobinés chacun autour d'un pôle saillant du rotor; les deux connexions libres de chaque bobine sont reliées sur les deux lames voisines du collecteur. Nous pouvons aussi deviner que ce bobinage d'induit est connecté en triangle, comme dans la plupart des machines à courant continu (**Figure 1.10**).

Dans la **Figure 1.11**, nous remarquons la répartition systématique des courants en croix (entrant par rapport à la figure) sous le pôle Nord et en point (sortant par rapport à la figure) sous le pôle Sud.

Nous remarquons aussi la présence régulière d'une bobine en court-circuit lorsqu'un balai touche deux lames du collecteur. Dans ce dernier cas, la bobine n'est pas alimentée, car, en réalité, elle est en commutation et son courant change de sens.

La commutation se fait telle que le montre la **Figure 1.12**. Les balais, en frottant chacun contre une ou deux lames du collecteur, vont répartir de façon symétrique le courant dans l'induit. Nous observons que la commutation d'une lame de collecteur vers une autre se fait par la mise en court-circuit d'une bobine au travers de la lame. Cette commutation est mal réglée, à chaque fois qu'une lame quitte un balai, l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine élémentaire provoque une étincelle. Nous comprenons aussi l'intérêt d'augmenter le nombre de lames au collecteur afin de réduire les énergies mises en jeu. [B8]

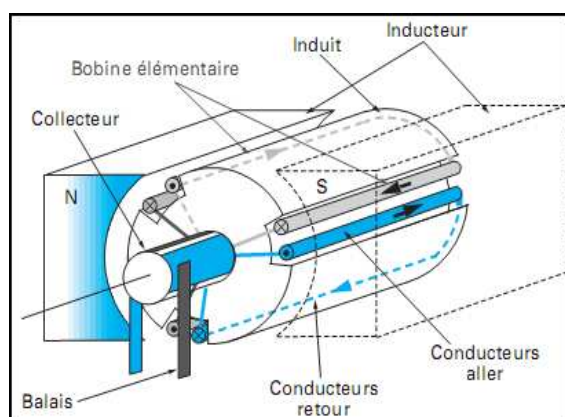


Fig1.9 Moteur simplifié à trois bobines au rotor

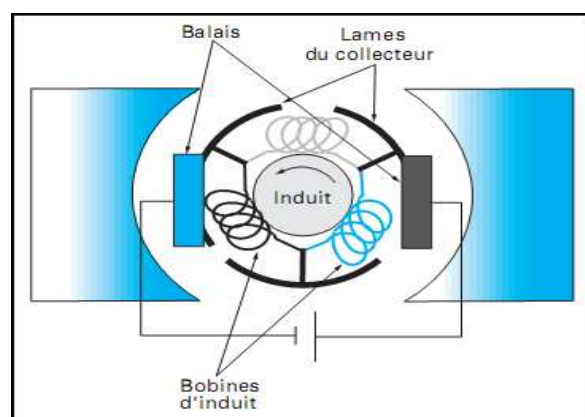


fig. 1.10 Détail de l'induit dans un moteur simplifié à trois bobines au rotor

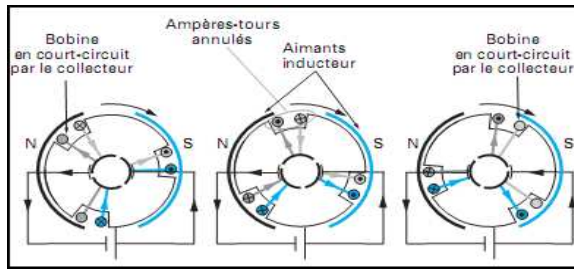


Fig. 1.11 Répartition des courants réels lors de la commutation.

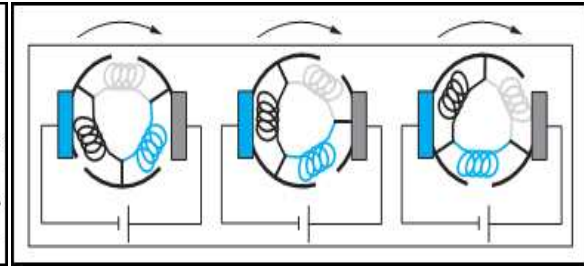


Fig. 1.12 Commutation dans l'induit d'un moteur simplifié à trois bobines au rotor.

I.2.2. Moteurs multipolaires :

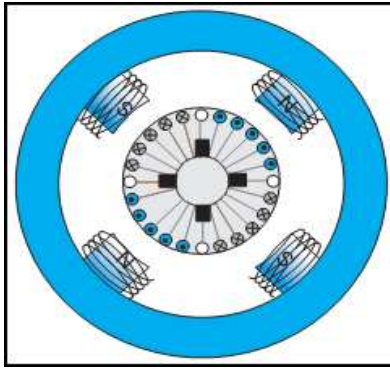
Prenons seulement deux exemples pour bien illustrer les moteurs réels :

1.2.2 .a. Moteur tétrapolaire :

La machine tétrapolaire décrite à la **figure 1.13** se déduit de la précédente en alternant deux pôles Nord avec deux pôles Sud. L'induit suit la même répartition. Le collecteur doit, dans ce cas, être alimenté par quatre balais, qu'il faut souvent connecter électriquement en série, du côté de la source continue. Nous remarquons le sens réel des courants dans les conducteurs d'induit, qui sont tous en point sous les pôles Nord et en croix sous les pôles Sud. Les forces de Laplace résultantes s'additionnent donc. Beaucoup de moteurs de puissance moyenne (1 à 10 kW) adoptent cette polarité, ce qui permet un achat sur stock, avec une sécurité d'approvisionnement en cas de panne. Ce critère est souvent prépondérant dans l'industrie, face à celui de l'optimisation du couple moteur-réducteur. [B8]

1.2.2 .b. Moteur hexapolaire :

Ajoutons une paire de pôles au cas précédent. Nous obtenons alors la machine hexapolaire décrite à la **figure 1.14** illustrée par un exemple de stator industriel. L'alternance des pôles Nord et Sud coïncide avec celle des courants d'induits en croix et en point. Nous pouvons ajouter, à ce stade, que les polarités élevées se rencontrent le plus souvent avec les grandes puissances (supérieures à 1 MW). En effet, ces machines étant produites à l'unité, sur cahier des charges, la seule contrainte qui reste alors au concepteur est la réduction du coût de l'ensemble moteur-réducteur. Nous pourrions démontrer que la puissance massique des moteurs à courant continu augmente beaucoup avec la polarité. La valeur optimale du nombre de pôles est évidemment liée à la puissance nominale ainsi qu'à d'autres paramètres. [B8]



**Fig. 1.13. Moteur
tétrapolaire**

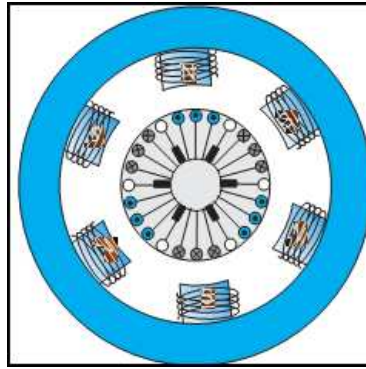


Fig. 1.14. Moteur hexapolaire

I.3. Circuit électrique équivalent d'un moteur à courant continu :

Le circuit électrique équivalent d'un moteur à courant continu comprend :

- Une résistance en série avec la f.e.m générée par le mouvement de rotation, cette f.e.m est nulle au démarrage du moteur.
- Le collecteur et les balais peuvent être assimilés à des chutes de tension de quelques fractions de volts ou à des résistances de contact.

Le stator (l'inducteur) est assimilé à une bobine de champ magnétique défini par un courant constant, ce champ est nul pour un courant nul et il augmente au fur et à mesure que le courant augmente (**figure 1.13**). [B9]

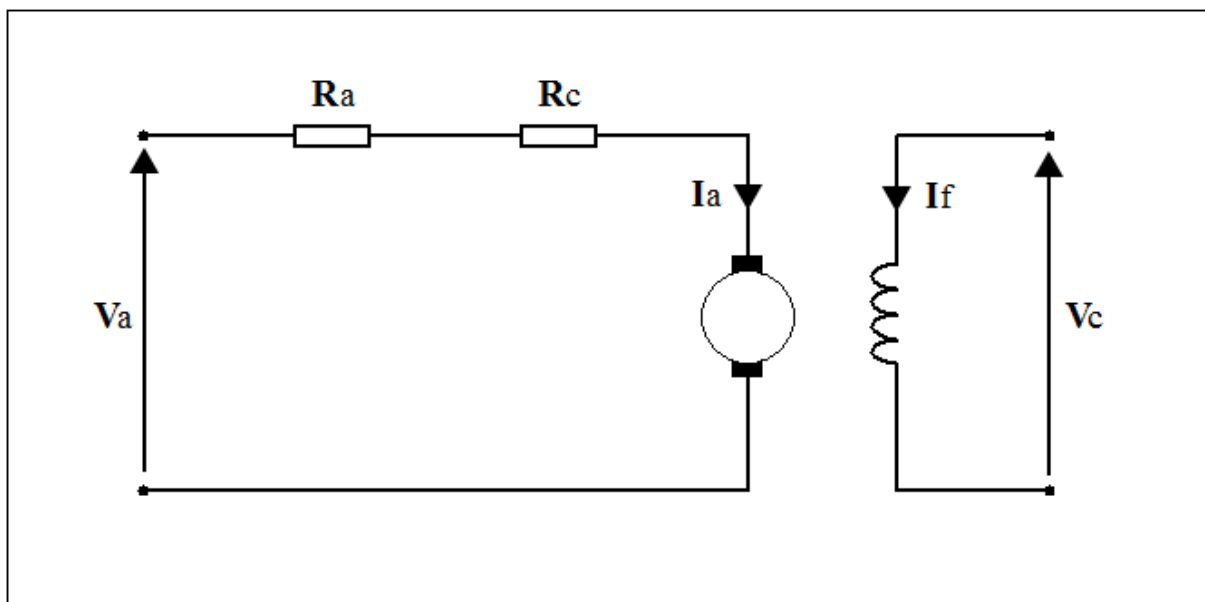


Fig. 1.13 schéma électrique équivalent d'un moteur à courant continu

I.4. Equations de fonctionnement du moteur :

Dans les moteurs à courant continu, la compréhension des phénomènes mécaniques faisant intervenir le couple, la vitesse et l'inertie est particulièrement importante. Donc on va les calculer (ces paramètres) un par un :

I.4.1. La force contre-électromotrice :

En alimentant l'induit par une source de tension (E_s), cette dernière fait passer un courant très intense dans l'induit, car la résistance (R_o) de celui-ci est très faible. Or, nous savons que le passage du courant dans les conducteurs de l'induit, situés dans le champ magnétique de l'aimant permanent, (ou bien généré par les bobines), engendre une force sur chacun d'eux. L'action de ces forces produit un couple qui fait tourner l'induit.

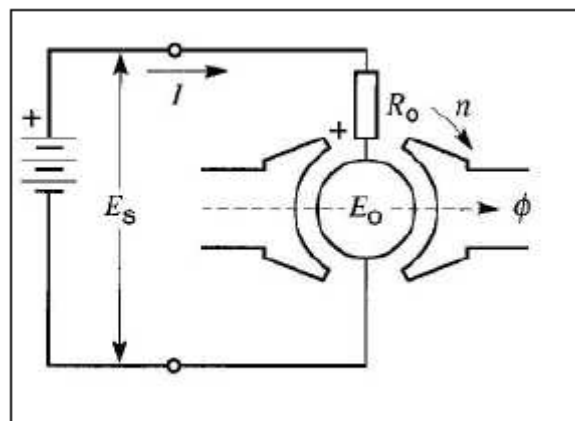


Fig. 1.14. Induction d'une tension E_o par la rotation du moteur

D'autre part, dès que l'induit se met à tourner, un autre phénomène se manifeste « l'effet générateur ». En effet, dans toute machine à courant continu, une tension est induite dans les conducteurs de l'induit dès que ceux-ci coupent des lignes de flux, quelle que soit la cause produisant le mouvement de l'induit.

Pour les moteurs, cette tension induite (E_o) porte le nom de force contre électromotrice (f.c.é.m.) car sa polarité est telle qu'elle agit « contre » la tension de la source. Donc la tension totale agissant sur le circuit série est égale à $(E_s - E_o)$ volts et non pas à $(E_s + E_o)$ volts.

La tension induite E_0 est proportionnelle à la vitesse de rotation « n » du moteur et au flux Φ entre les pôles. Elle peut donc être exprimée par l'équation suivante :

$$E_0 = \frac{ZN\Phi}{60} \quad (2)$$

Où :

E_0 = tension induite dans l'induit [V]

Z = nombre de conducteurs sur l'induit

N = vitesse de rotation du moteur [r/min]

Φ = flux par pôle [Wb]

60 = constante tenant compte des unités [B9]

I.4.2. Accélération du moteur :

On a montré que la tension résultante agissant sur le circuit valant ($E_s - E_0$) volts, le courant I n'est limité que par la résistance R_0 , ce qui donne :

$$I = \frac{E_s - E_0}{R_0} \quad (3)$$

Lorsque le moteur est au repos, la vitesse est nulle, donc la tension induite $E_0 = 0$, et l'équation (2) devient :

$$I = \frac{E_s}{R_0} \quad (4)$$

C'est dire qu'au démarrage le courant est énorme car la résistance R_0 de l'induit est très basse. En effet, ce courant de démarrage peut être de 20 à 50 fois plus grand que le courant de pleine charge du moteur. La grande force agissant alors sur les conducteurs produit un couple de démarrage puissant, provoquant une accélération rapide de l'induit.

À mesure que la vitesse croît, E_0 augmente et la valeur de la tension résultante ($E_s - E_0$) diminue. On en conclut que le courant I diminue avec l'augmentation de la vitesse. Pendant que le courant diminue dans l'induit, le moteur continue d'accélérer jusqu'à une vitesse limite. Pour la marche à vide, cette vitesse est telle qu'elle produit une force contre-électromotrice légèrement inférieure à la tension de la source. En effet, si la f.c.é.m. pouvait devenir égale à la tension de la source, la tension résultante ($E_s - E_0$) serait nulle, ce qui donnerait une valeur nulle pour le courant I . Dans ces conditions, aucune force électromagnétique n'agirait sur les conducteurs de l'induit. Cependant, pour continuer à tourner, le moteur doit toujours produire un couple suffisant pour vaincre le frottement. Par conséquent, la f.c.é.m. doit donc être quelque peu inférieure à la tension de la source pour permettre le passage du faible courant nécessaire à la production de ce couple. [B9]

I.4.3. Le couple :

La puissance mécanique et le couple sont des caractéristiques importantes d'un moteur à courant continu.

Et on a l'expression de la tension induite est donnée par :

$$E = \frac{ZN\Phi}{60} \quad (5)$$

En se référant à la **figure 1.14**, la puissance électrique fournie à l'induit est :

$$P_s = E_s I \quad (6)$$

D'autre part, E_s est égale à la f.c.é.m (E_0) plus la chute de tension ($R_0 I$) dans l'induit soit :

$$E_s = E_0 + R_0 I \quad (7)$$

Par conséquent, la puissance fournie à l'induit est :

$$\begin{aligned} P_s &= (E_0 + R_0 I) I \\ &= E_0 I + R_0 I^2 \quad (8) \end{aligned}$$

Le terme $R_0 I^2$ représente les pertes Joule dissipées sous forme de chaleur dans l'induit. Par conséquent, le très important terme $E_0 I$ représente la puissance électrique convertie en puissance mécanique.

Donc:

$$P_m = E_0 I \quad (9)$$

Où :

P_m est la puissance mécanique développée par le moteur [W]

E_0 = f.c .é .m du moteur [V]

I = courant dans l'induit [A]

Rappelons que la puissance mécanique d'une machine est donnée par :

$$P_m = \frac{NT}{9,55} \quad (10)$$

Où N est la vitesse de rotation en tours par minute et T le couple, en newton-mètre. En combinant les équations

(2), (9) et (10) on obtient:

$$T = \frac{ZI\Phi}{6,28} \quad (11)$$

Où :

T = couple du moteur [N • m]

Z = nombre de conducteurs sur l'induit = flux par pôle [Wb]

I = courant dans l'induit [A]

6,28 = constante tenant compte des unités [valeur exacte = 2π]

Cette équation indique qu'on peut augmenter le couple d'un moteur en augmentant, soit le courant I dans l'induit, soit le flux provenant des pôles. [B9]

I.4.4. Sens du couple et de rotation :

Le sens des forces électromagnétiques, donc le sens du couple moteur, dépend du sens relatif du flux inducteur et du courant dans l'induit. Il faut qu'un seul des deux changes de sens pour que le sens du couple moteur et de la rotation soit inversé. Cette considération conduit à la règle pratique « des quatre variables ».

Si, dans une machine à courant continu, on considère les quatre variables suivantes : nature de fonctionnement (moteur ou générateur), sens de rotation, sens du courant dans l'induit, sens du courant inducteur, celles-ci ne peuvent varier qu'en nombre pair. On en déduit que pour changer le sens de rotation d'un moteur, il faut croiser les connections entre inducteur et induit. [B2]

I.4.5. La vitesse de rotation du moteur :

Lorsqu'un moteur à courant continu marche en régime normal, la chute de tension ($R_0 I$) dans la résistance de l'induit est généralement faible, de sorte qu'on peut la négliger dans la plupart des calculs de la vitesse. Cette approximation revient à supposer que la f.c.é.m. E_0 est égale à la tension de la source E_s .

D'autre part, nous avons vu que la f.c.é.m. peut s'exprimer sous la forme :

$$E_0 = \frac{ZN\phi}{60}$$

En remplaçant E_0 par E_s , on obtient :

$$E_s = \frac{ZN\phi}{60} \quad (12)$$

On en déduit que la vitesse est égale :

$$N = \frac{60E_s}{Z\phi} \quad (13)$$

Où :

N = vitesse de rotation [r/min]

E_s = tension aux bornes de l'induit [V]

Z = nombre de conducteurs sur l'induit

ϕ = flux par pôle [Wb]

Pour un moteur donné, cette expression nous indique que la vitesse de rotation dépend de la tension de la source E_s et du flux par pôle Φ .

Les quatre quadrants représentant le fonctionnement d'une machine à courant continu sont illustrés sur la figure ci-dessus.

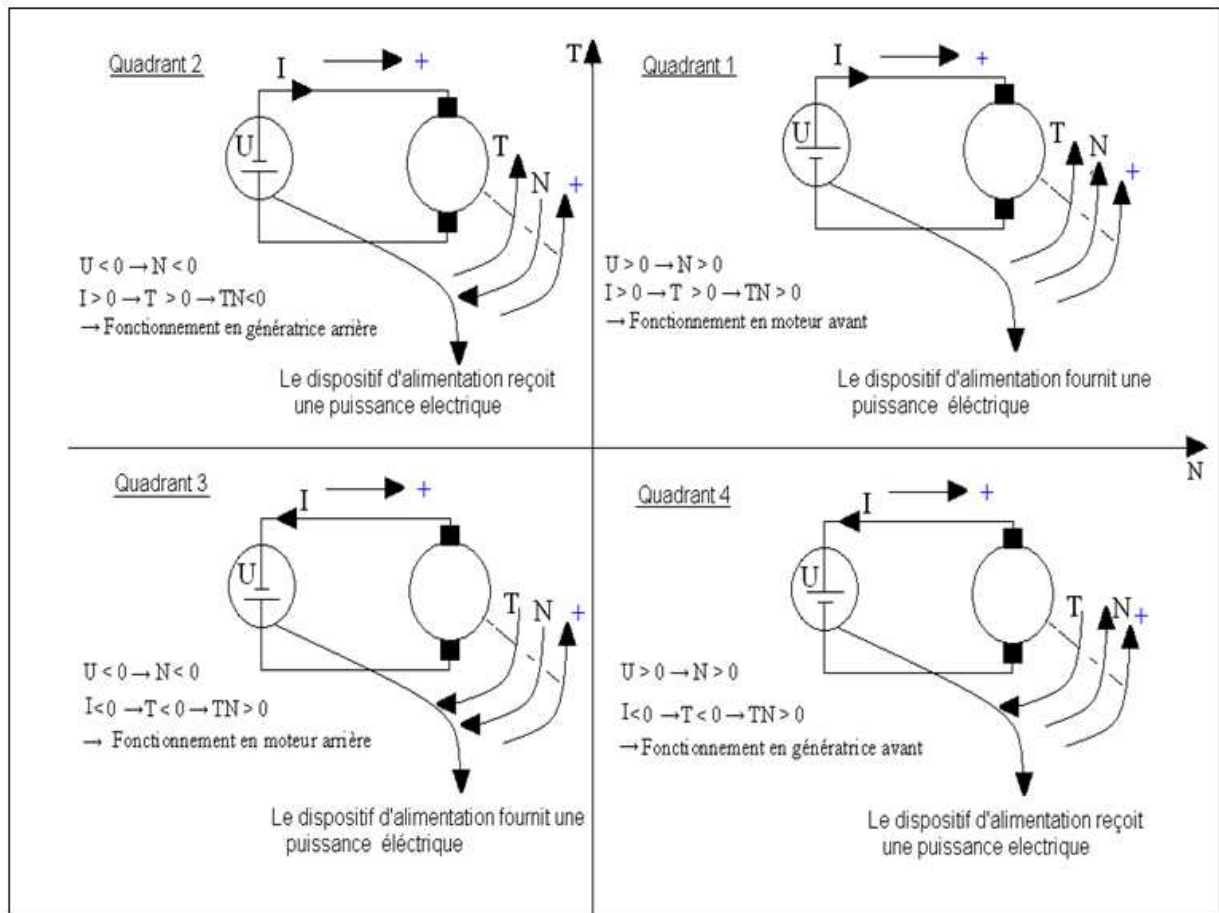


Fig. 1.15 Les quatre quadrants représentant le fonctionnement d'une machine à courant continu [B8]

I.5. Couplages de l'excitation :

Un moteur à courant continu comporte donc deux parties distinctes :

- l'une qui ne sert qu'à magnétiser (inducteur) ;
- l'autre qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique (induit).

Plusieurs possibilités de connexions électriques existent :

I.5.1. L'excitation séparée :

Dans un moteur à excitation séparée, l'inducteur et l'induit sont alimentés par deux sources distinctes. Les cas fréquents où la tension d'excitation est constante sont équivalents à ceux des moteurs à aimants permanents, dont le flux est constant.

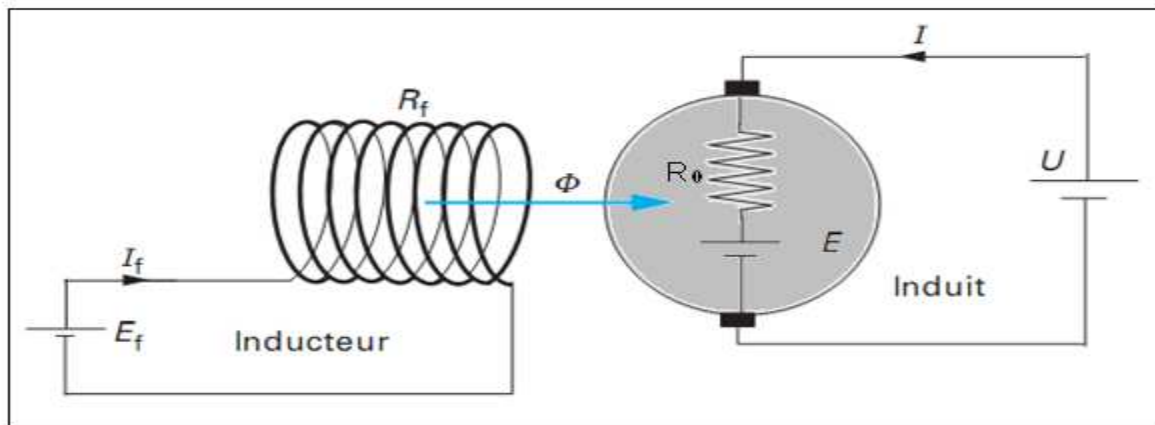


Fig. 1.16 Excitation séparée.

I.5.2. Excitation série :

Pour ce type de connexion, l'inducteur est connecté en série avec l'induit. Dans ce cas, le courant de l'induit et celui de l'inducteur est le même. Sachant que la résistance de l'induit (R_a) et la résistance de l'inducteur (R_c) sont de faibles valeurs, le courant de l'induit est important, ce qui est nécessaire pour le démarrage d'un moteur à courant continu.

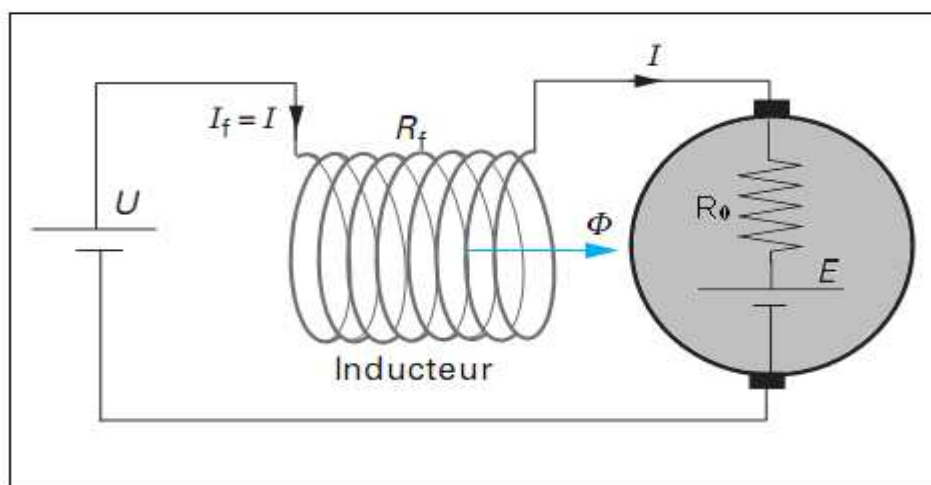


Fig. 1.17 Excitation série.

Au démarrage, le courant d'induit est supérieur au courant nominal, le flux est donc supérieur au flux obtenu à pleine charge. Par contre, lorsque la charge est inférieure à la puissance nominale, le courant d'induit et le flux par pôle sont inférieurs aux valeurs nominales.

Par exemple, si le courant d'un moteur série diminue de la moitié de sa valeur nominale, le flux diminue également de la moitié de sorte que la vitesse double.

Il est clair que, si la charge mécanique est faible, la vitesse risque d'atteindre des valeurs dangereuses. Pour cette raison, on ne doit jamais permettre à un moteur série de fonctionner à vide. Il a tendance à s'emballer, et les forces centrifuges peuvent arracher les enroulements de l'induit et provoquer la destruction de la machine.

Sur le fonctionnement d'un moteur série on remarque que :

- C'est la charge qui impose le courant d'induit I .
- Si le couple augmente, l'intensité I augmente et la vitesse de rotation du moteur diminue.

La loi d'Ohm appliquée à la maille définie par l'induit et l'inducteur permet d'écrire :

$$U = (R_0 + R_f)I + E \quad (14)$$

Donc on aura comme caractéristique couple-vitesse la courbe présentée sur la **figure 1.18**.

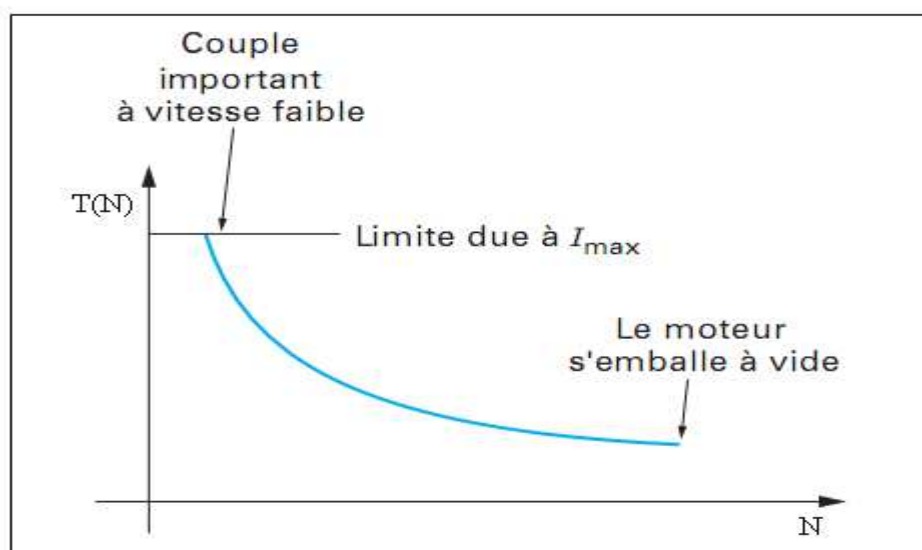


Fig. 1.18 Caractéristique couple-vitesse d'un moteur série.

La **figure 1.18** montre que la caractéristique est une hyperbole qui se rapproche des axes lorsque U diminue. Nous retrouvons la limite maximale du couple, imposé par le courant d'induit maximal. Donc, en examinant la caractéristique, on remarque que la vitesse est devenue très sensible au couple et que le moteur s'emballe à vide. [B7]

- **Domaine d'application du moteur série :**

- Il est surtout utilisé en traction où l'on apprécie sa robustesse (l'enroulement inducteur gros fil ne risque pas la rupture) et surtout son autorégulation de puissance qui lui permet, comme au bon cheval, de ralentir en cote, de la monter sans échauffement exagéré et de bien supporter les surcharges.

- Il est utilisé dans toutes les applications analogues, par exemple la commande des engins de levage (avec les dispositifs de limitation de la vitesse) car la vitesse de montée doit être faible pour les masses importantes et plus grande pour les faibles masses. On l'emploie également dans la commande des appareils pour lesquels le couple résistant croît rapidement avec la vitesse (ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs, etc.) parce qu'une même variation de tension produit, avec le moteur série, une variation de puissance moindre qu'avec le moteur dérivation.

- Il est également utilisé lorsque la puissance absorbée ne doit pas croître aussi vite que le couple résistant (pompes piston). Signalons que les moteurs de très faible puissance ($p \leq 0,1 \text{ kW}$) sont toujours série, car en excitation dérivation il faudrait utiliser pour l'enroulement inducteur un fil trop fin, donc trop fragile. [B2]

I.5.3. Excitation composée :

Dans l'excitation composée, l'inducteur est divisé en deux parties, l'une connectée en série et l'autre en parallèle.

En mode moteur, l'inducteur série est connecté de façon à diminuer le flux lorsque le courant d'induit augmente. Cet effet démagnétisant accélère l'arbre, en opposition avec l'effet de la résistance d'induit. [B8]

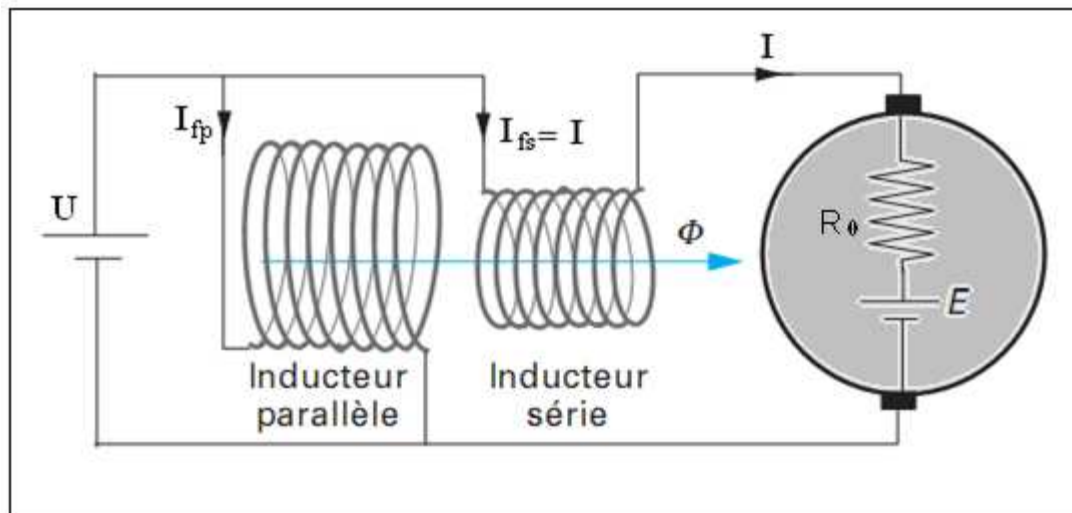


Fig. 1.18 Excitation composée.

I_{fp} et I_{fs} sont le courant inducteur respectivement dans l'inducteur parallèle et dans l'inducteur série.

Φ_{fp} et Φ_{fs} sont les flux inducteurs correspondant.

Si : $\Phi_{fs} \geq \Phi$ et $\Phi_{fs} \geq 0$ on dit que le mode est additif.

Si : $\Phi_{fs} \geq \Phi$ et $\Phi_{fs} \leq 0$ on dit que le mode est soustractif.

I.5.4. Excitation parallèle :

L'excitation parallèle n'est utilisée que pour les génératrices, car le moteur, démagnétisé à l'arrêt, ne peut pas démarrer. Le schéma de Branchement est représenté sur la **figure 1.19**.

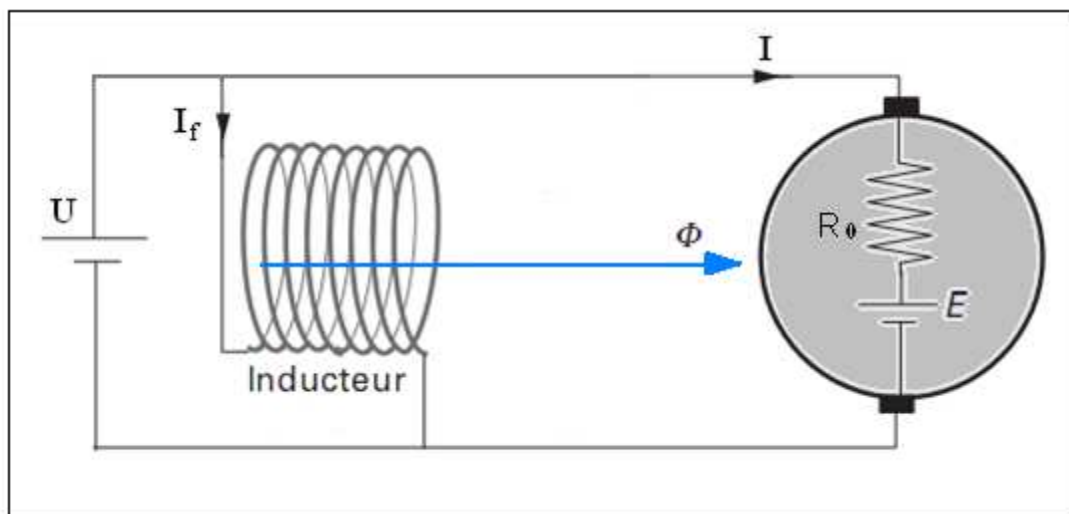


Fig. 1.19 Excitation parallèle.

I.6. L'intérêt de la machine à courant continu :

En électronique, on s'intéresse toujours en premier lieu à la machine à courant continu, car il est possible d'obtenir de manière relativement simple sa modélisation dans le cas où le flux agissant sur l'induit est constant (machine à flux constant). Il s'ensuit que la machine à courant continu est une **référence**, aussi bien en fonctionnement moteur qu'en génératrice. Les caractéristiques des systèmes associant des convertisseurs de puissance aux machines alternatives synchrones ou asynchrones ressemblent de plus en plus à celles des machines à courant continu. [B3]

I.7. Bilan des puissances en moteur :

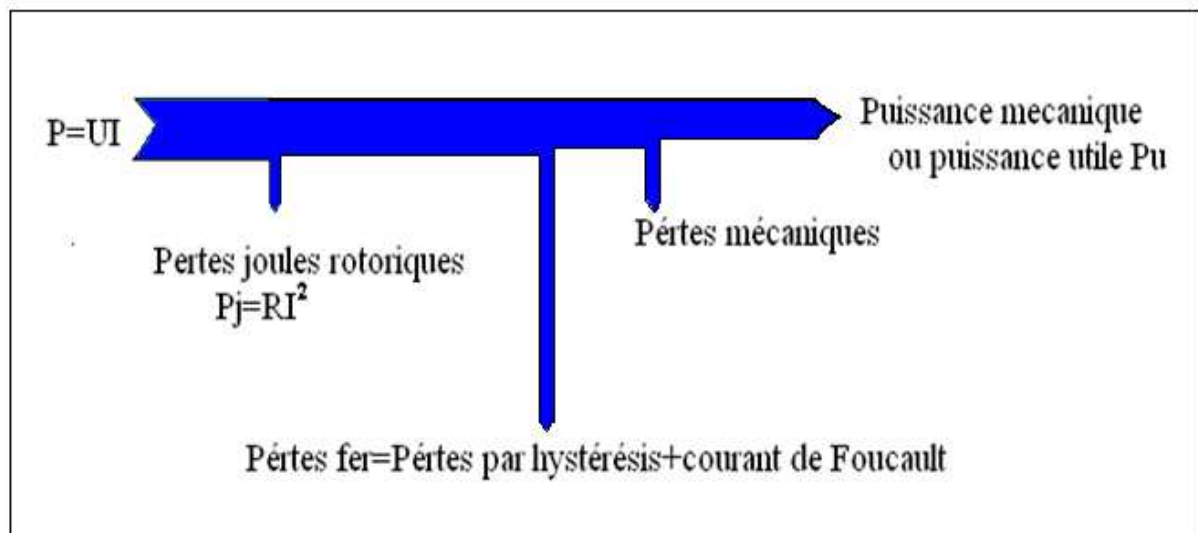


Fig. 1.20 Bilan des puissances. [B4]

I.7.1. Les pertes mécaniques :

Elles ont pour origine le frottement solide de l'arbre sur ses paliers, et le brassage de l'air dans l'entrefer (pertes par ventilation).

Ces pertes ne sont pas calculables, elles font partie des pertes mesurables lors de l'essai en moteur à vide.

I.7.2. Les pertes fer :

Elles sont essentiellement localisées dans le rotor, car par rapport au référentiel du rotor les lignes d'induction ont une position variable.

Ces pertes regroupent les pertes par hystérésis et les pertes par courants de Foucault. Ces dernières correspondent à un déplacement des électrons libres du matériau sous l'effet d'une variation de flux magnétique, alors que les pertes par hystérésis correspondent à une modification locale du mouvement des électrons liés (au noyau), qui modifie l'orientation des moments magnétiques des atomes associés, sous l'effet de la variation de champ magnétique appliqué.

I.7.3. Les pertes dans les circuits électriques :

Ce sont les pertes par effet Joule dans les enroulements d'induit, d'excitation et, plus généralement, dans toutes les parties conductrices d'une machine traversées par des courants, y compris les balais.

I.7.4. Les pertes supplémentaires :

Elles ne sont pas calculables, et traduisent des phénomènes fins qu'il est difficile de mettre en évidence, ou l'isoler.

Citons entre autre :

- Les pertes par courant de Foucault dans le cuivre,
- Les pertes dans les spires en commutation,
- L'augmentation des pertes fer due à une répartition différente d'induction lors de la marche en charge,
- L'axe de symétrie magnétique ne coïncidant pas parfaitement avec l'axe de symétrie mécanique,
- Le facteur de forme de courant. **[B6]**

Chapitre II

Variateur de vitesse

II.1. Introduction :

La variation de vitesse des moteurs à courant continu à flux d'inducteur constant (inducteur à aimant permanent ou inducteur à courant d'excitation constant) ne dépend que de la tension de l'induit. Cependant, pour varier la vitesse il suffit de varier cette tension. Reste, la distribution ce fait en courant alternatifs, d'où la nécessité des convertisseurs qui transforment ce courant en un courant continu.

Une pleine tension appliquée à un moteur au repos risque de faire sauter les fusibles, de brûler l'induit et d'endommager le collecteur vu l'appel énorme de courant. Il faut donc, prendre des précautions appropriées pour limiter le courant de démarrage.

II.2. Pont redresseur monophasé mixte avec diode de roue libre (étage de puissance) :

On nomme redresseur commandé, un montage redresseur dont une partie des diodes a été remplacée par un ensemble équivalent de thyristor **Figure 2.1. [B5]**

L'intérêt de tel pont est l'obtention d'une tension de sortie de valeur moyenne réglable. La tension redressée d'un pont mixte symétrique étant unidirectionnelle, on peut placer une diode D aux bornes de la sortie continue du redresseur. Cette diode peut apparaître comme un troisième interrupteur associé à la cellule positive. Elle s'amorce spontanément au passage par zéro de la tension V et l'amorçage commandé d'un thyristor provoque son blocage.

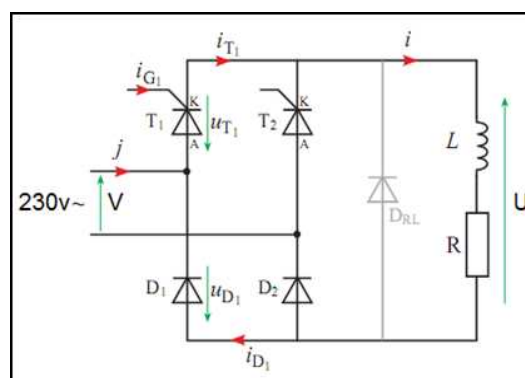


Fig 2.1 pont mixte à diode de roue libre

Le cyclogramme des temps de conduction des interrupteurs est représenté sur la **figure 2.2**. Pendant les séquences de roue libre, la diode D_{RL} assure la continuité du courant i en remplaçant la diode et le thyristor en série.

La diode de roue libre permet de faire bénéficier le pont mixte symétrique des avantages suivants :

- meilleure aptitude aux surcharges.
- soulagement des thyristors et des diodes principales.
- arrêt de fonctionnement par suppression des impulsions de gâchette.

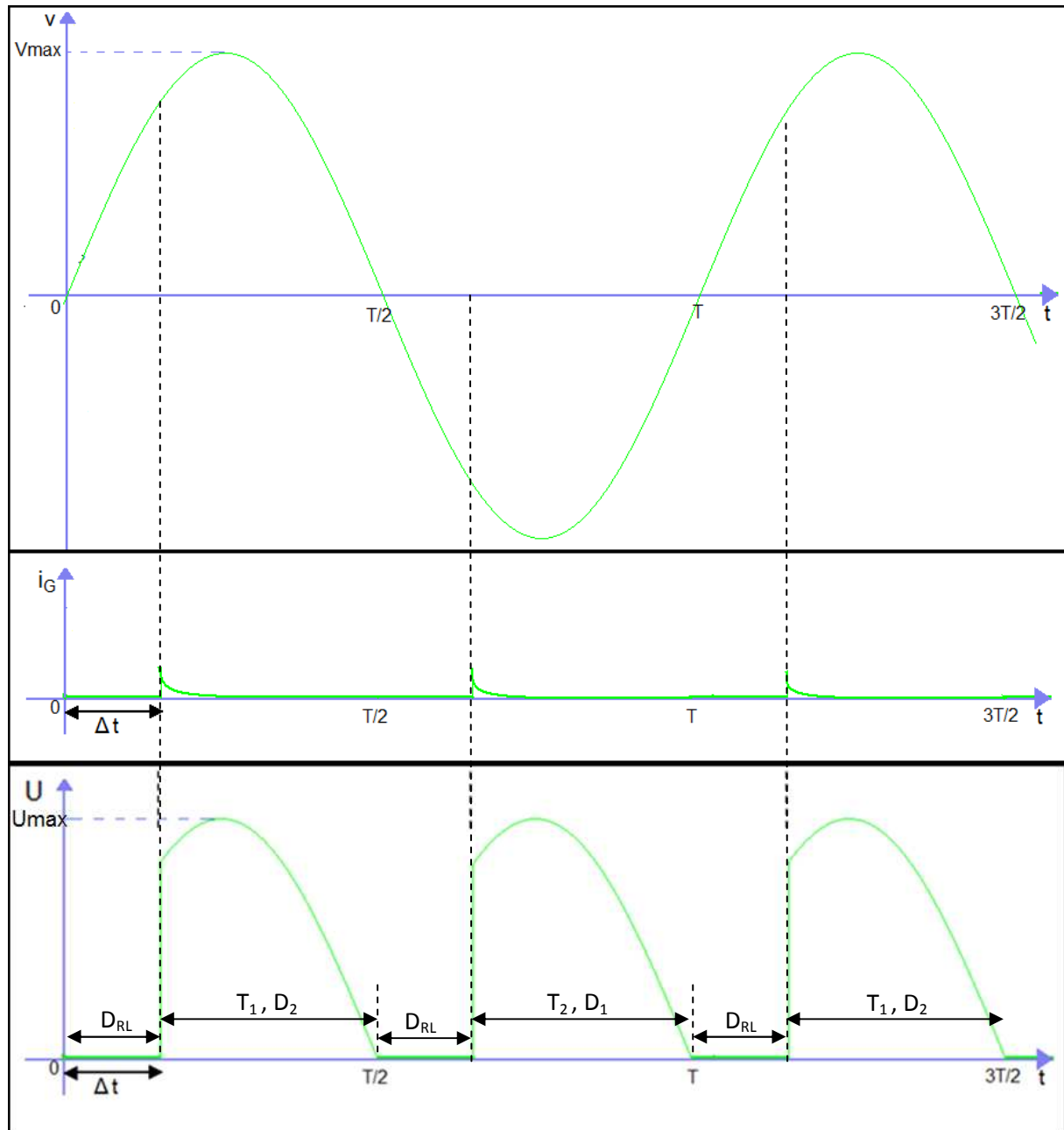


Fig 2.2 cyclogramme de conduction et formes de la tension

- **Calcul de la valeur moyenne de la tension de sortie :**

$$U_{\text{moy}} = \frac{1}{T/2} \int_{\Delta t}^{T/2} U_{\text{max}} \sin(\omega t) dt$$

$$U_{\text{moy}} = \frac{1}{T/2} \frac{1}{\omega} U_{\text{max}} (-[\cos \omega t]_{\Delta t}^{\frac{T}{2}}) = \frac{2}{T} \frac{T}{2\pi} U_{\text{max}} (-\cos \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} + \cos(\omega \cdot \Delta t))$$

$$U_{\text{moy}} = \frac{U_{\text{max}}}{\pi} (1 + \cos(\omega \cdot \Delta t))$$

$$U_{\text{moy}} = \frac{U_{\text{max}}}{\pi} (1 + \cos(\omega \cdot \Delta t))$$

U : Tension de sortie

U_{max} : Tension maximale.

ω : Pulsation de la tension.

T : Période de la tension.

U_{moy} : Tension moyenne à la sortie du pont.

α : l'angle de retard , $\alpha = \omega \cdot \Delta t$

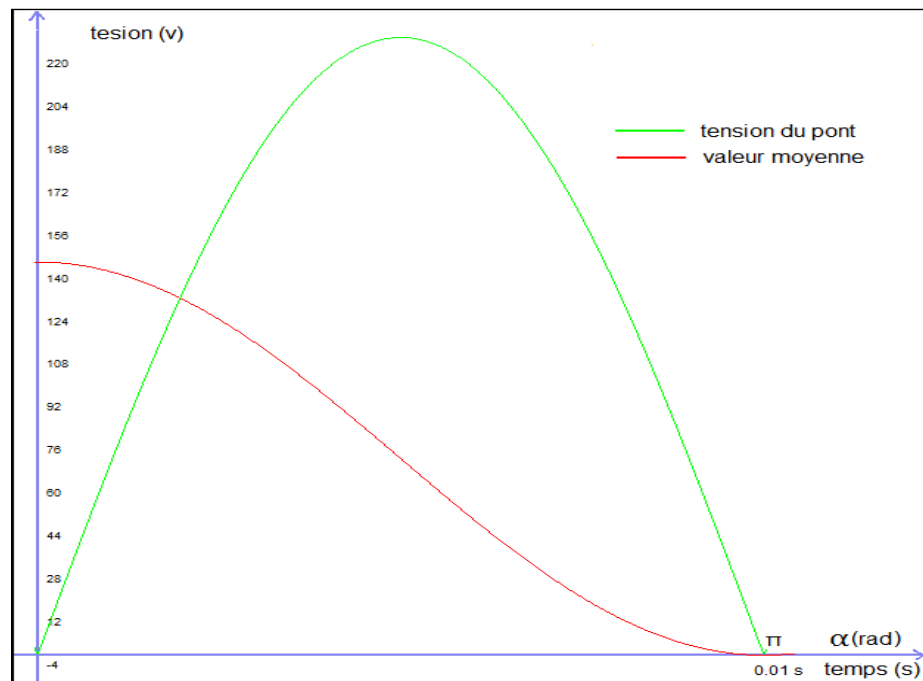


Fig 2.3 valeur moyenne de la tension de sortie en fonction de l'angle de retard et du temps

II.3. Principe de fonctionnement :

Le but de cette carte de commande est de générer des impulsions pour amorcer les deux thyristors du pont mixte afin d'obtenir à la sortie, une tension de valeur moyenne variant linéairement en fonction de la consigne. En utilisant cette tension pour alimenter l'induit du moteur, on obtiendra une variation linéaire de la vitesse en fonction de la consigne.

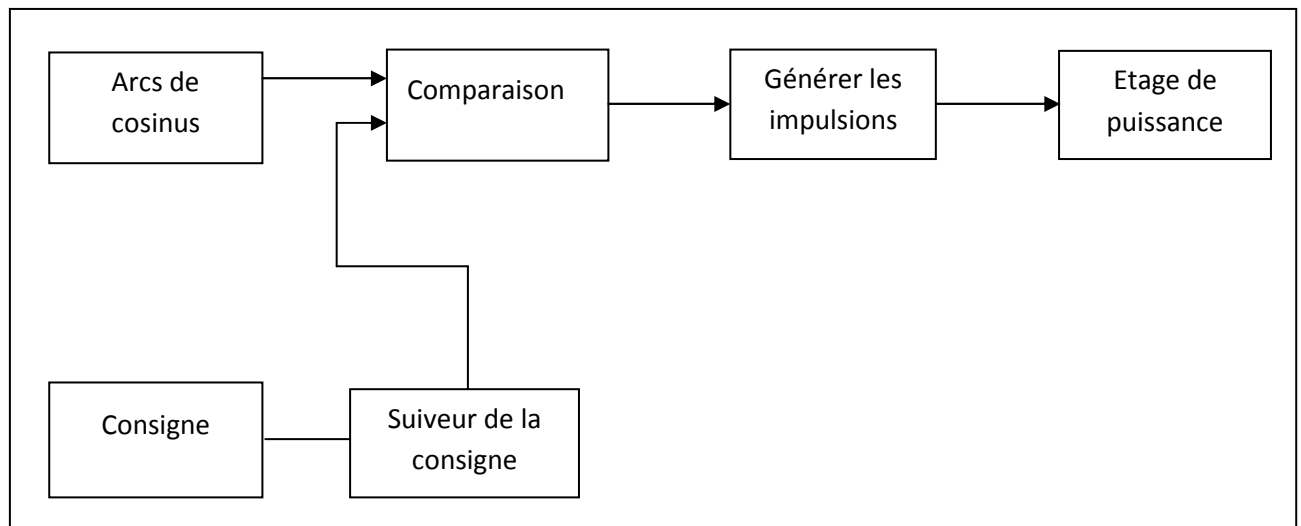


Fig. 2.4. Schéma de principe de fonctionnement du variateur en boucle ouverte

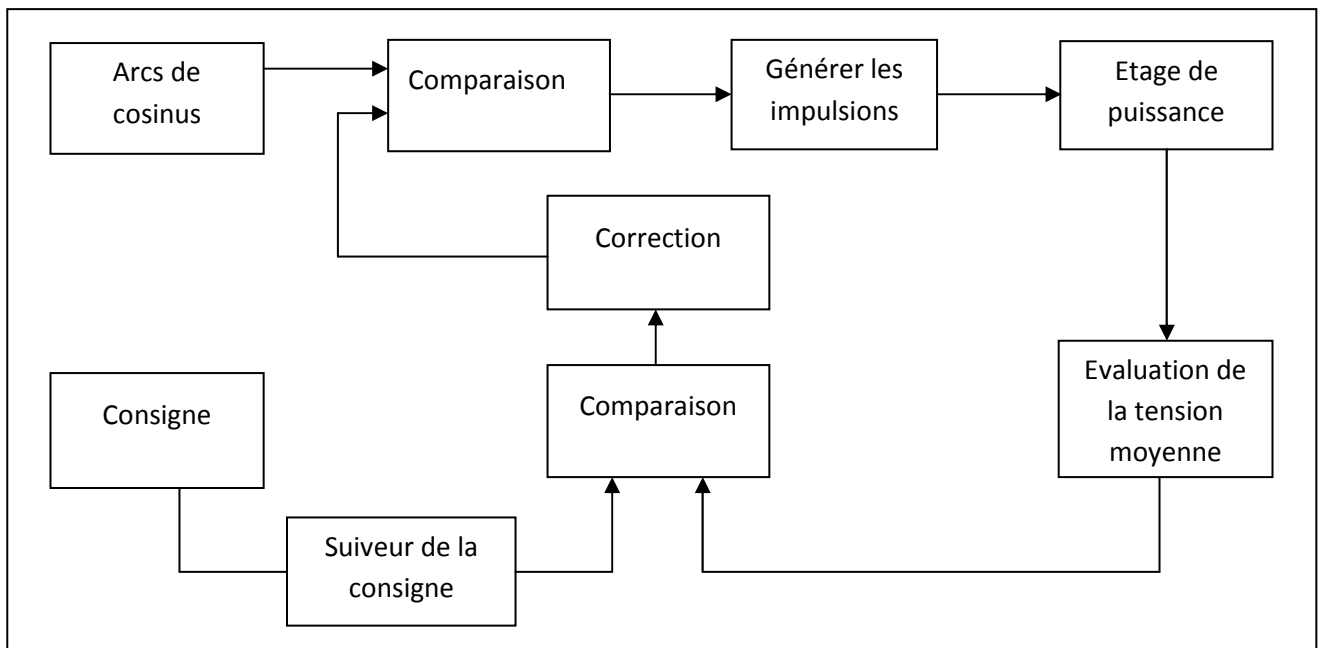


Fig.2.5. Schéma de principe de fonctionnement du variateur en boucle fermée

II.4. Génération des arcs de cosinus et utilité :

On a vu que la valeur moyenne de la tension varie en cosinus :

$U_{\text{moy}} = \frac{U_{\text{max}}}{\pi} (1 + \cos(\alpha))$, donc pour la faire varier linéairement, on aura qu'à varier le $\cos(\alpha)$ linéairement. Pour cela, on compare une tension continue (consigne) à des arcs de cosinus pour produire des impulsions à des moments précis telles qu'elles amorcent les thyristors de l'étage de puissance en ces mêmes moments.

Pour générer ces arcs de cosinus, on injecte la tension sinusoïdale issue du transformateur à l'entrée du circuit représenté dans la **figure 2.6**

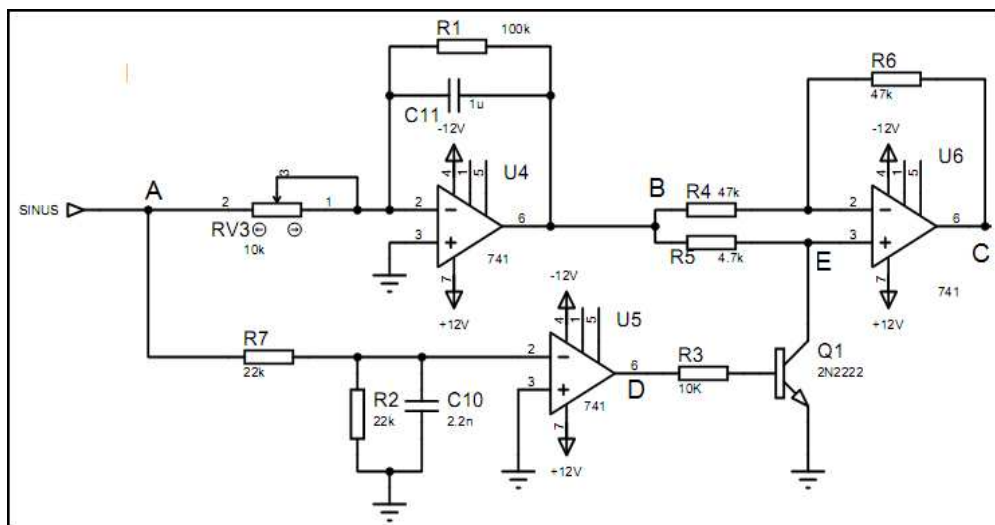


Fig.2.6. Génération des arcs de cosinus

- L'amplificateur U4 et un intégrateur inverseur de gain :

$$G_1 = -\frac{R_1}{RV_3} \left(\frac{1}{1 + jR_1C_{11}\omega} \right)$$

Et de phase :

$$\phi = \text{Arg } G_1 = \pi - \text{Arct } R_1C_{11}\omega \approx \frac{\pi}{2}$$

A l'entrée A, on a un sinus => un cosinus en B.

- L'amplificateur U5 est un comparateur.
- L'amplificateur U6 est un :
 - suiveur lorsque le transistor Q1 est bloqué
 - inverseur lorsque le transistor Q1 est saturé

La **figure 2.7** permet de suivre les différentes formes de tensions en divers points du générateur d'arcs de cosinus

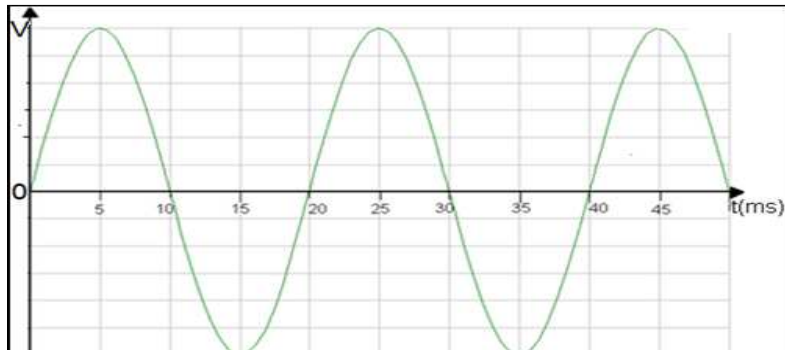


Fig 2.7.a tension en A

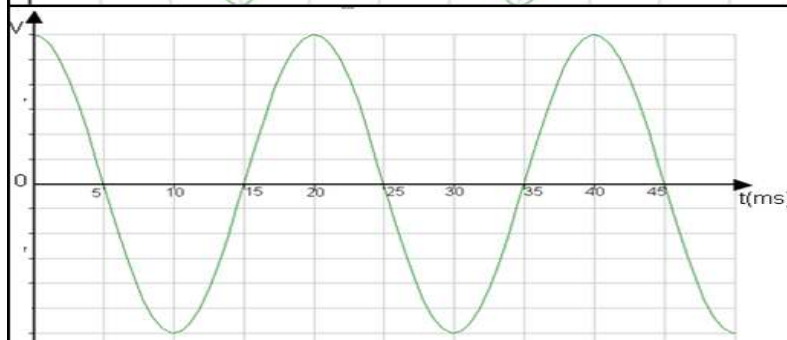


Fig. 2.7.b tension en B

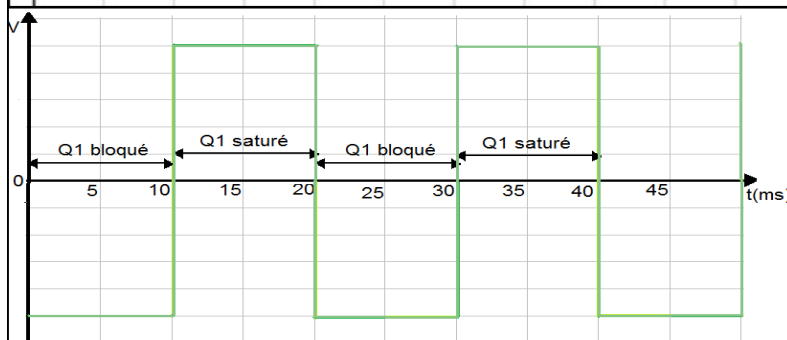


Fig.2.7.c tension en D

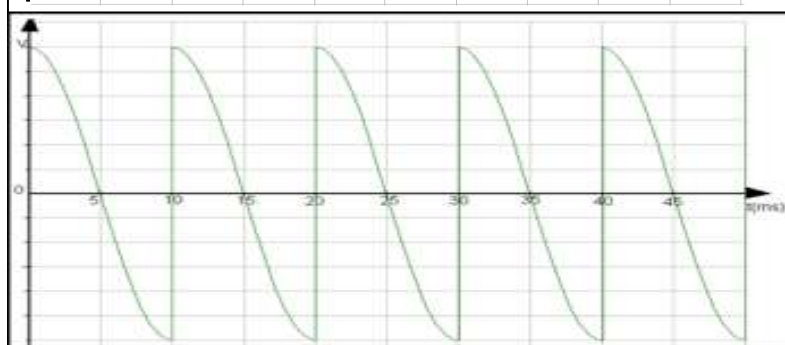


Fig.2.7.d tension I en C

Fig.2.7 formes de tensions dans différents points
du générateur d'arcs de cosinus

II.5. La consigne :

La consigne est générée par le pic 16F877A à l'aide d'un réseau R2R qui est utilisé comme convertisseur numérique/analogique. On peut faire varier cette consigne en pas constants de 0 à 5 volts à 256 niveaux différents à l'aide des boutons poussoirs. L'afficheur LCD permet de visualiser cette tension, soit sa valeur, soit son niveau correspondant.

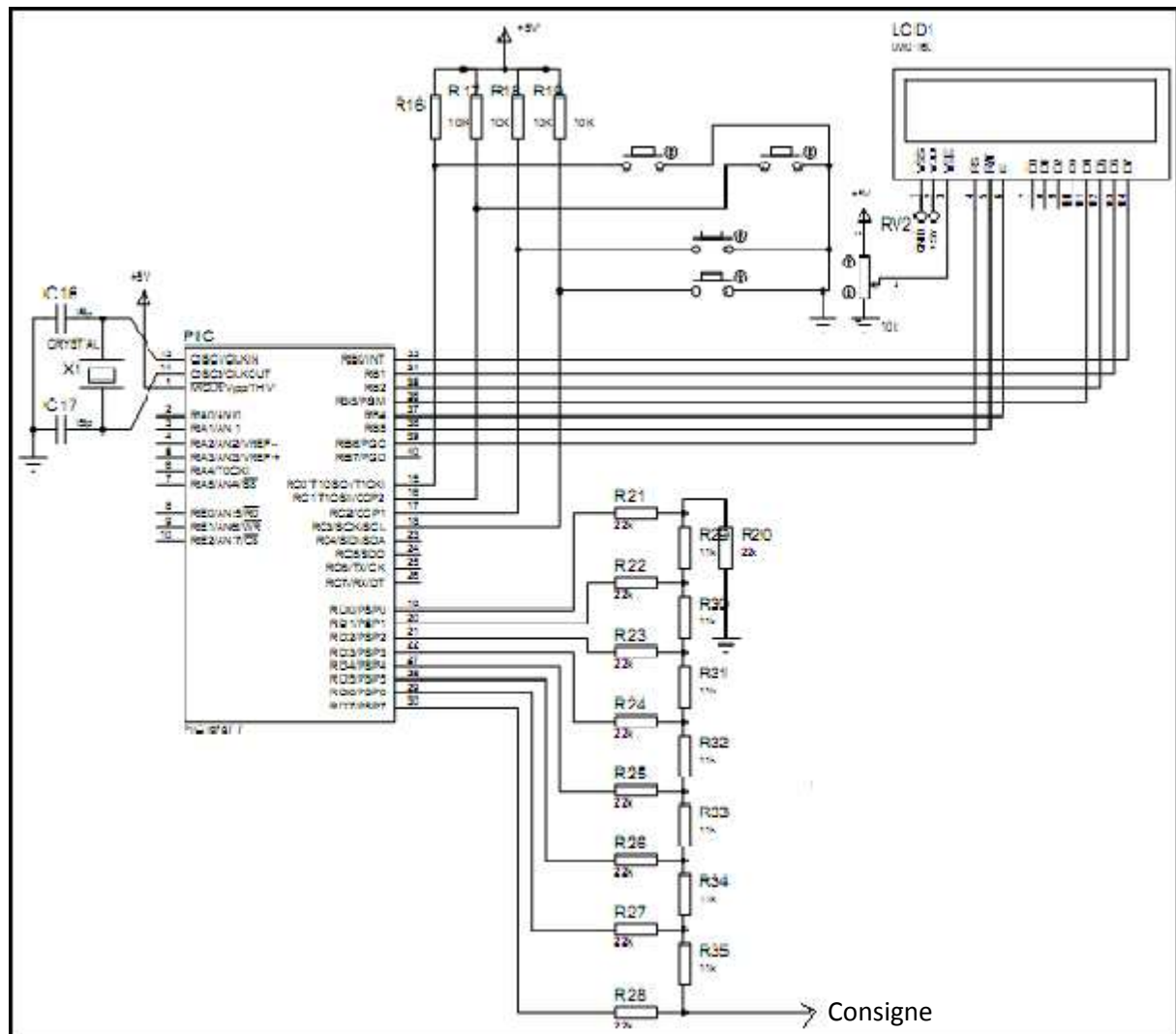
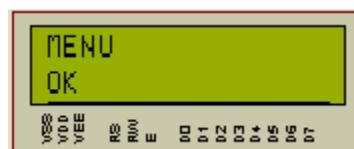


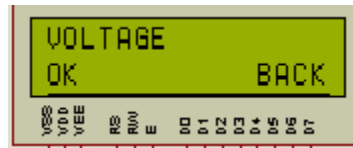
Fig.2. 8. Générateur de la consigne

II. 5.1 Guide d'utilisation :

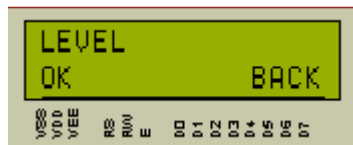
A l'alimentation du circuit, la page MENU s'affiche.



Pour continuer, on appuie sur le bouton poussoir correspondant à OK. La page suivante s'affiche :



En fait, ici il y a deux pages : VOLTAGE et LEVEL, les boutons UP et DOWN permettent de basculer entre ces pages.

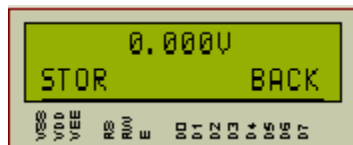


Le bouton BACK permet de revenir au menu

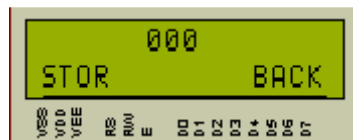
Le bouton OK permet de valider la page en cours .

Une fois la page est validée, on aura l'affichage suivant :

Si on était sur VOLTAGE on aura :



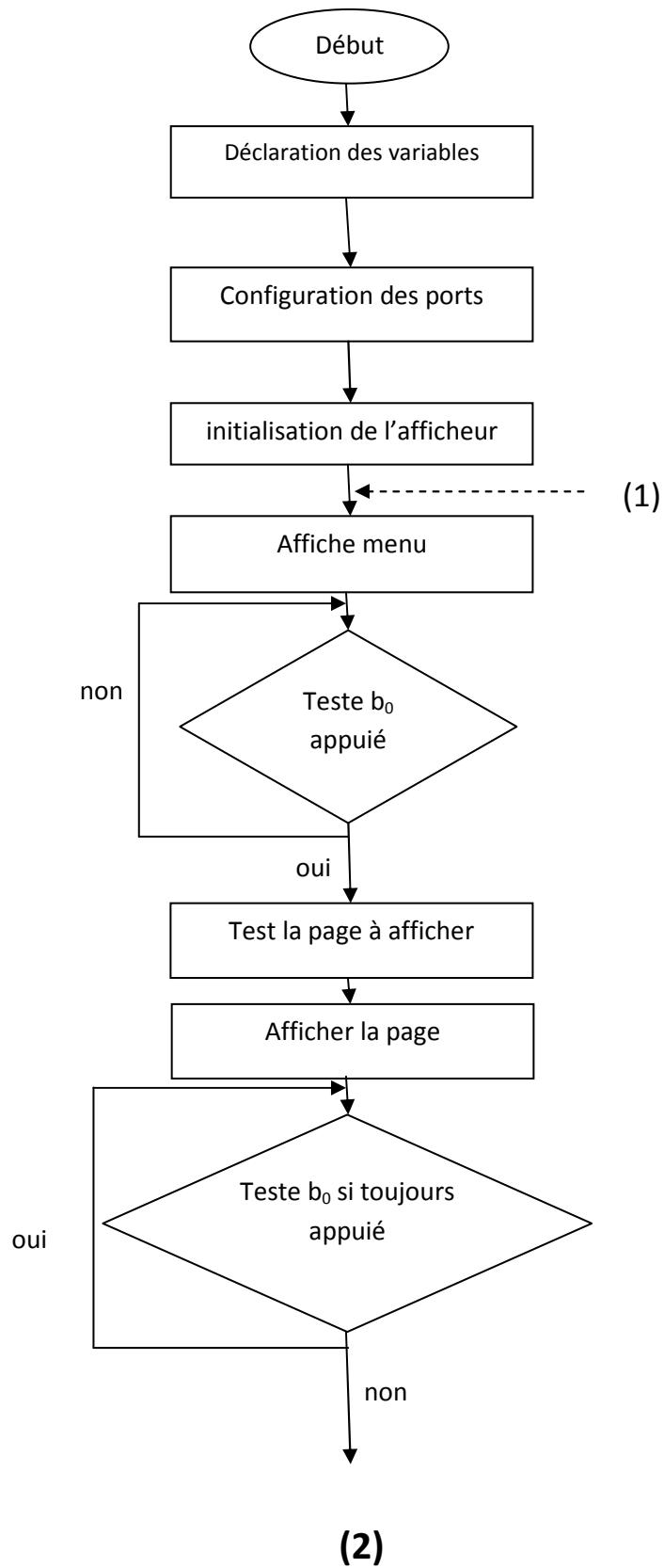
Et Si on était sur LEVEL on aura :

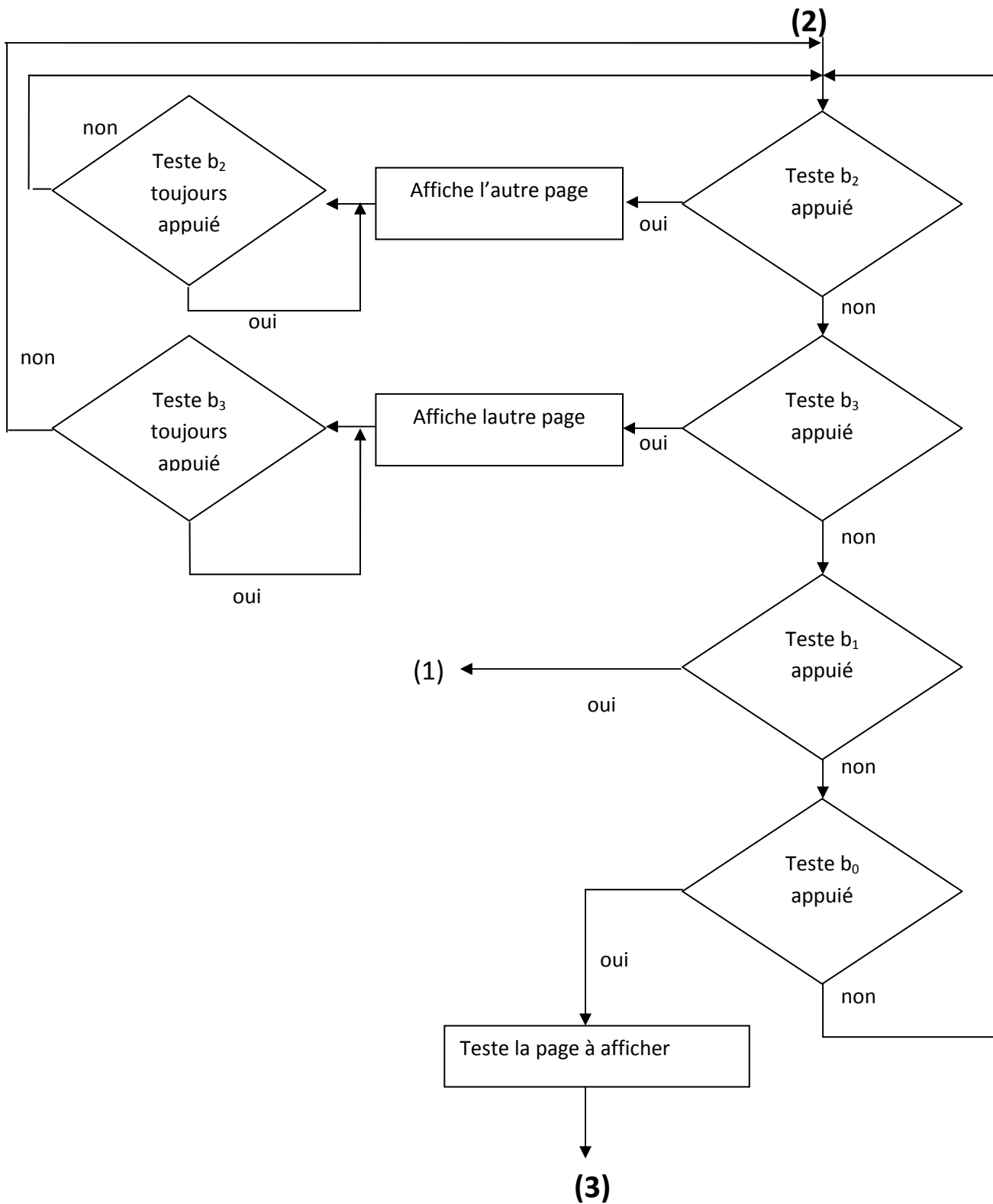


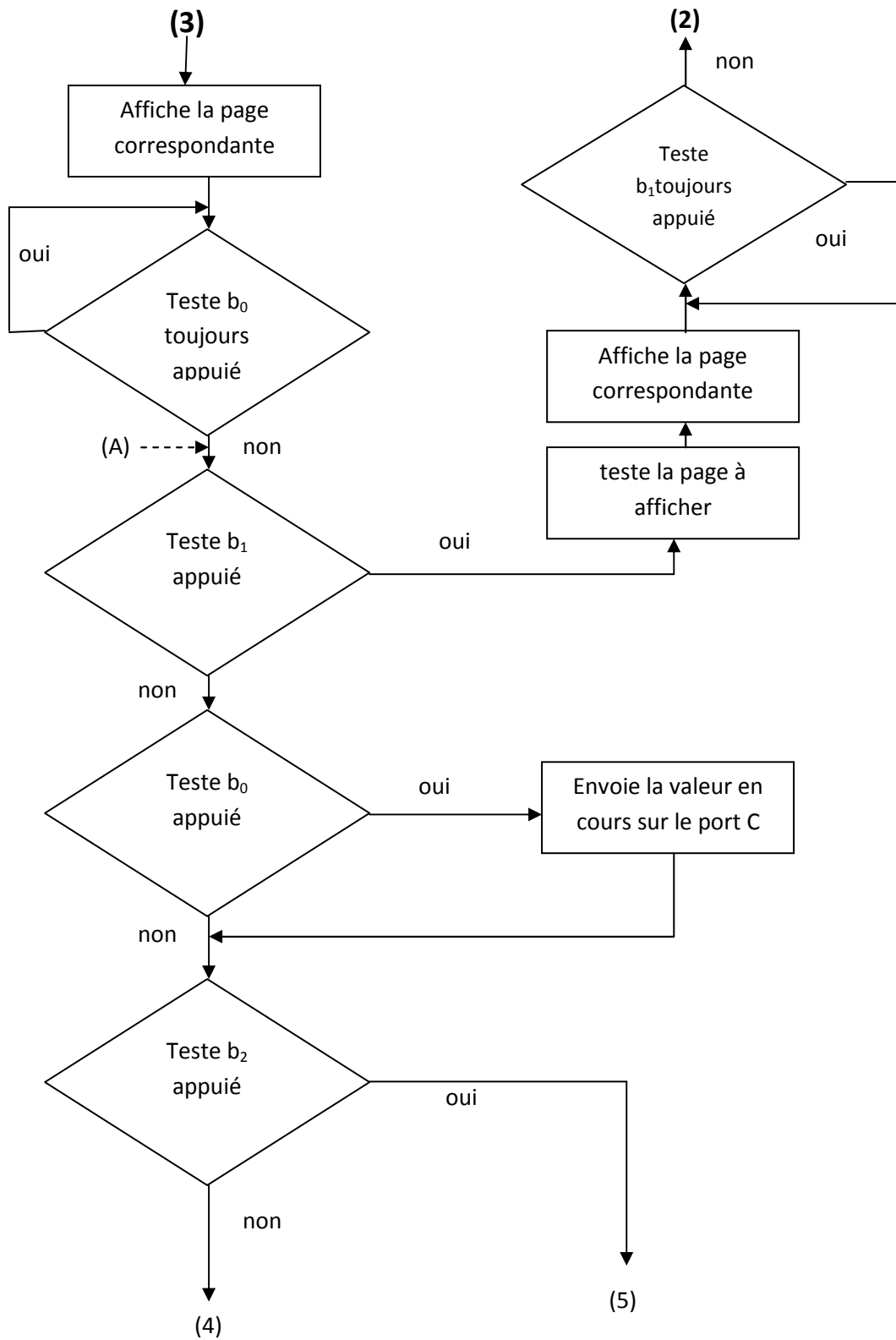
Le bouton BACK permet de revenir à la page précédente.

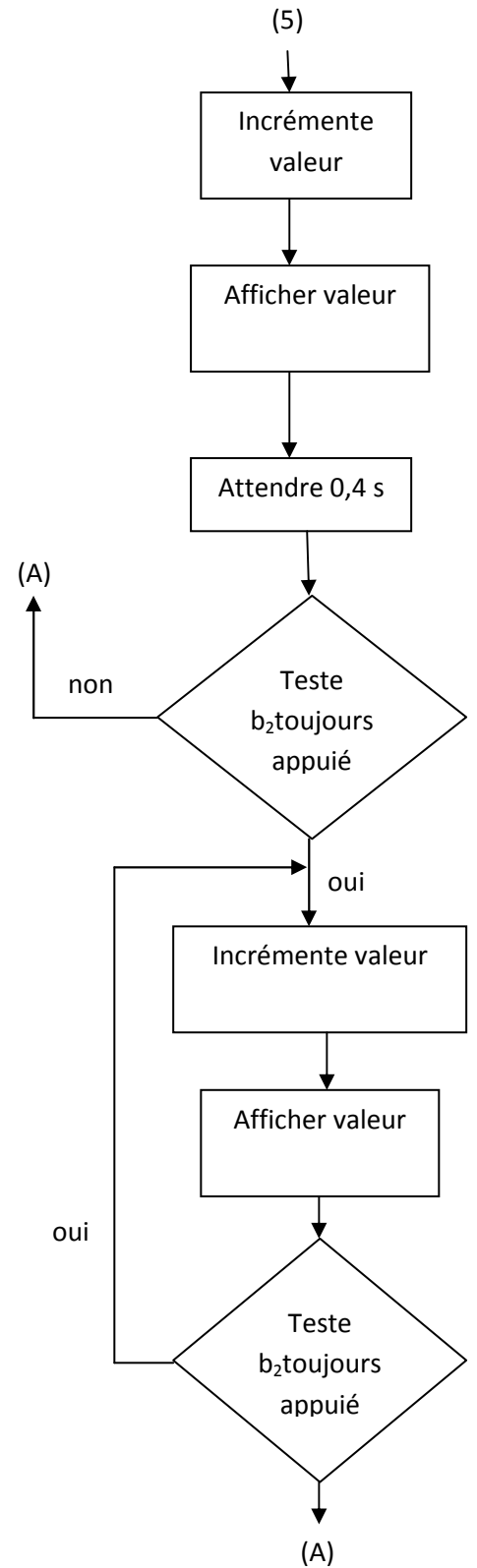
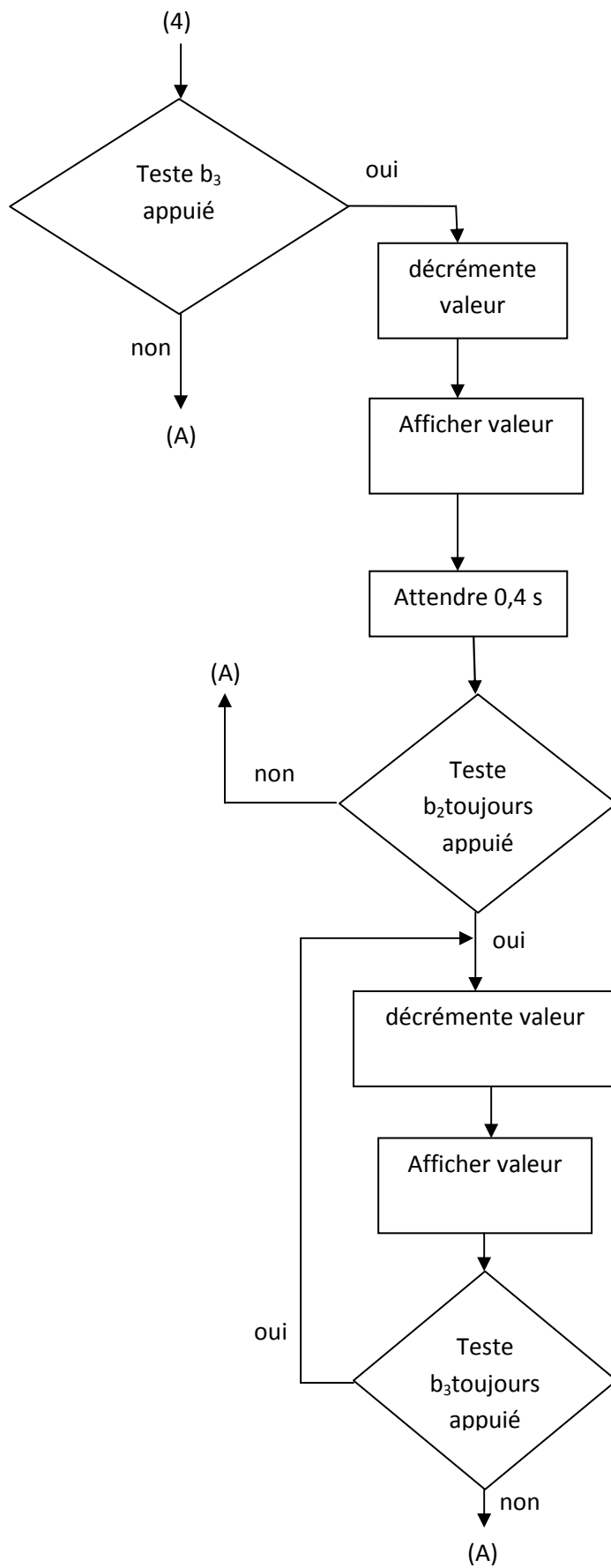
Le bouton UP et DOWN permettent, respectivement, d'incrémenter ou de décrémenter la valeur qui s'affiche.

Le bouton OK permet d'envoyer la consigne correspondant à la valeur affichée à travers le port C du pic.

II. 5.2 Organigramme :







II.6. Circuit de démarrage :

Il sert à démarrer le moteur doucement (soft start) mais aussi, à éviter les changements brusques de la tension lors de la variation de la consigne. La tension V_s suit la consigne mais à retards variables, ajustables grâce au potentiomètre RV1.

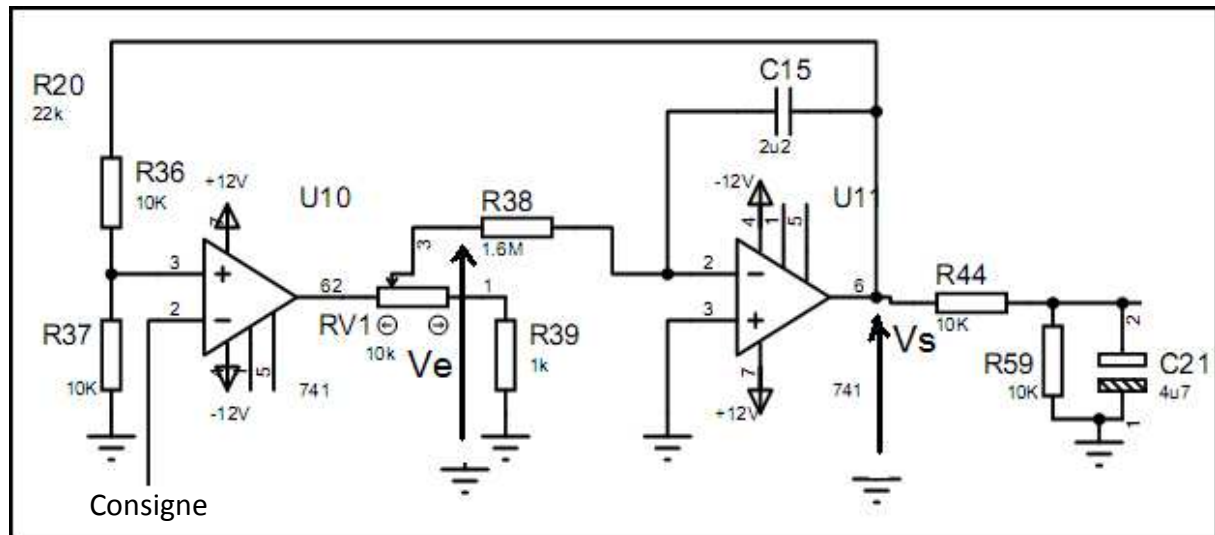


Fig.2.9 circuit de démarrage

$$V_s = -\frac{1}{R_{38}C_{15}} \int V_e dt$$

II.7. Générateur d'impulsion :

Une fois la consigne est établie (soit en boucle ouverte ou en boucle fermée après correction), elle sera comparée aux arcs de cosinus (fig 2.10)

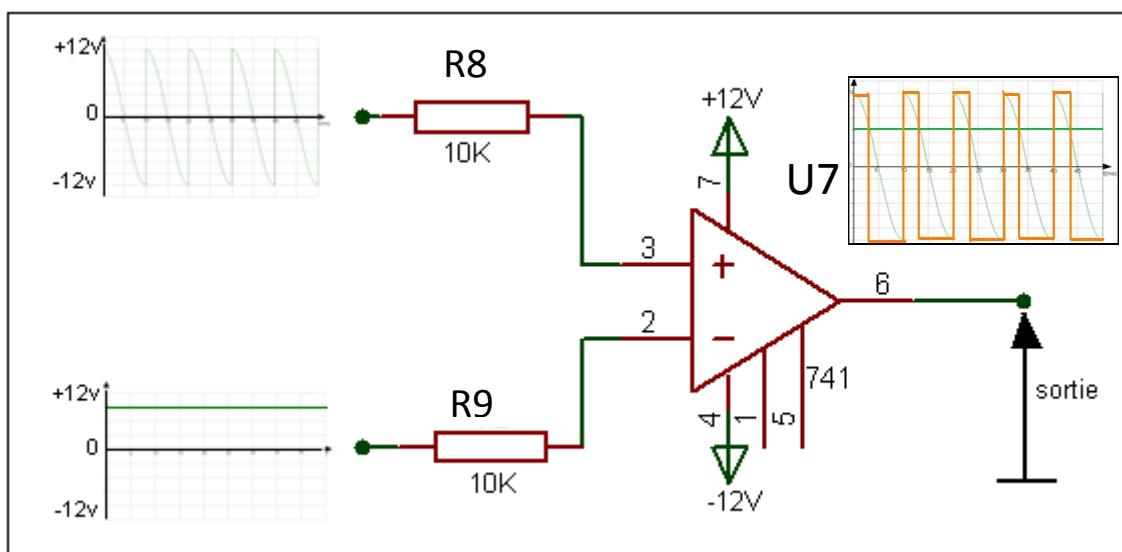


Fig.2.10 entrées du comparateur

A la sorti de ce comparateur on aura un signal carré qui attaquera un dérivateur. A chaque front descendant de ce signal, on aura une impulsion négative à l'entrée TR de 1^{er} NE555 monté en monostable. Il générera une impulsion positive sur l'entrée reset du 2^{eme} NE555 qui est monté en astable. On aura alors générer un train d'impulsions qui sera transmit aux transformateurs d'impulsions pour amorcer enfin les deux thyristors du pont. **(Figure 1.11).**

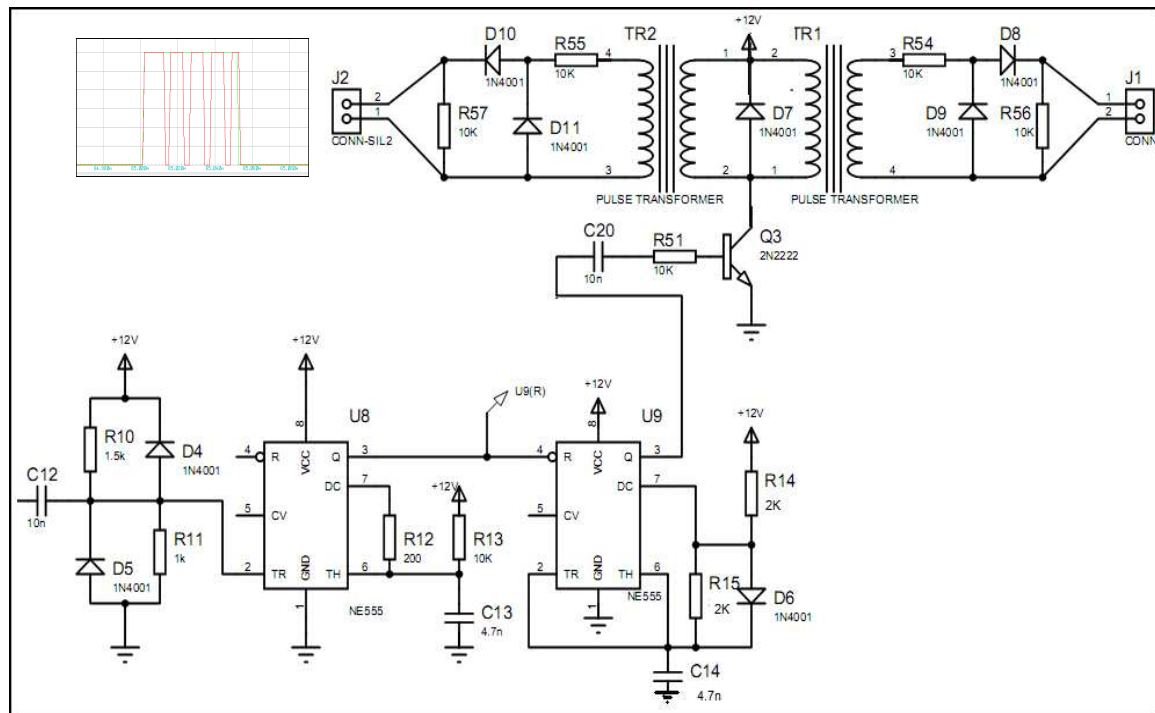


Fig.1.11 générateur d'impulsions

II.8. Le retour :

Sert à ramener la tension moyenne à la sortie du pont à l'échelle de la consigne pour être comparée ensuite à celle-là.

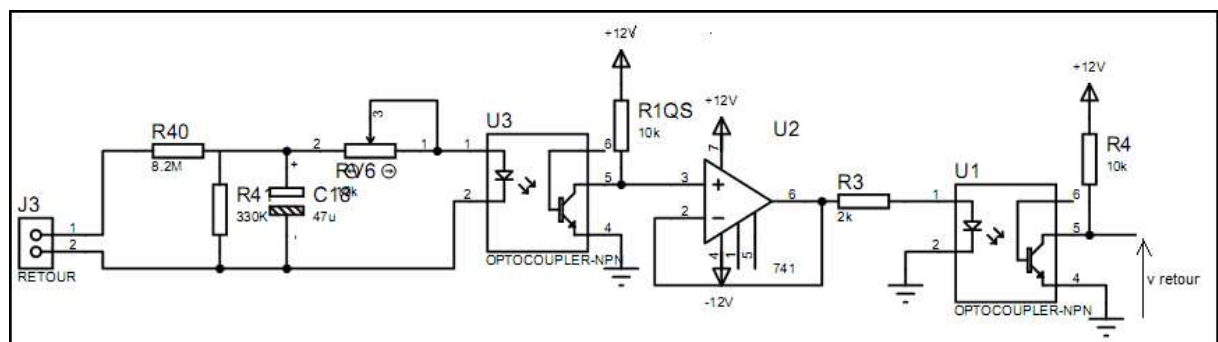


Fig .1.11 Le retour

Chapitre III

Réalisation pratique

Pour la réalisation pratique, nous avons procédé en deux étapes essentielles :

La première étant la réalisation des circuits imprimés et l'implantation des composants.

La deuxième, consiste en la programmation du PIC 16F876A.

III.1. Les circuits imprimés :

III.1.1. Le typon :

Pour aboutir au typon, nous avons directement chargé la liste des composants de Proteus7.4 (logiciel d'électronique sur lequel on a schématisé et simulé notre circuit) dans Ares7.4 où nous avons arrangé manuellement ces composants de manière à obtenir une carte à simple face. Puis, nous avons effectué le routage. Une fois terminé, nous avons imprimé le typon sur du papier calque.

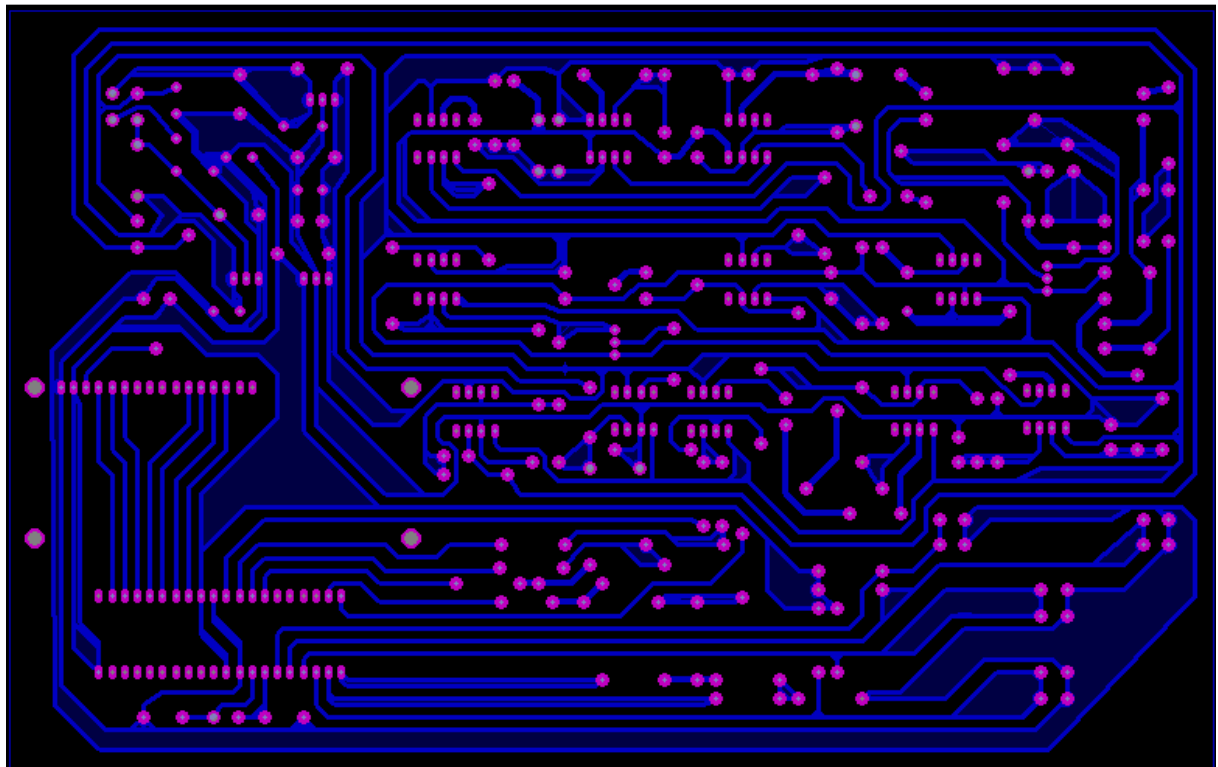


Fig.3.1 Image du circuit imprimé sur ARES

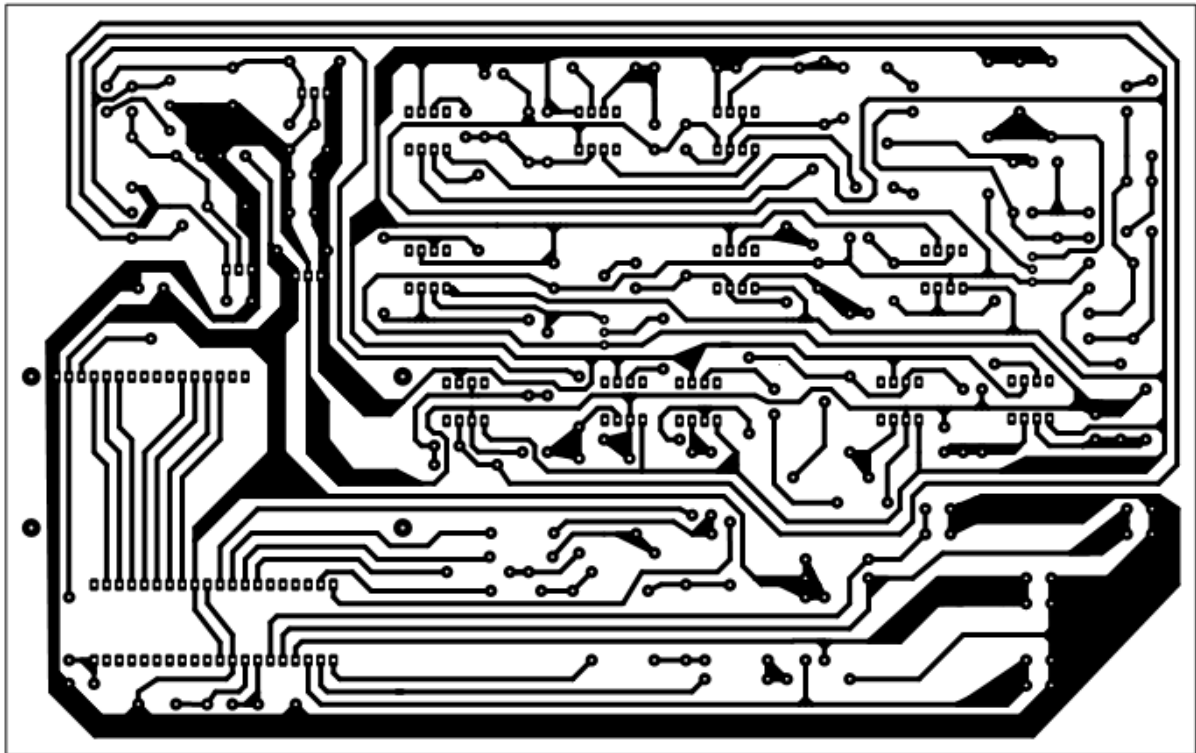


Fig.3.2. Circuit imprimé finale

III.1.2. L'insolation :

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

III.1.3. La gravure :

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

III.1.4. Le perçage :

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

III.1.5. L'implantation des composants :

Avant tout soudage, il faut d'abord vérifier qu'il n'y a pas de courts circuits.

La figure ci-dessous illustre l'implantation des composants utilisés sur le circuit imprimé.

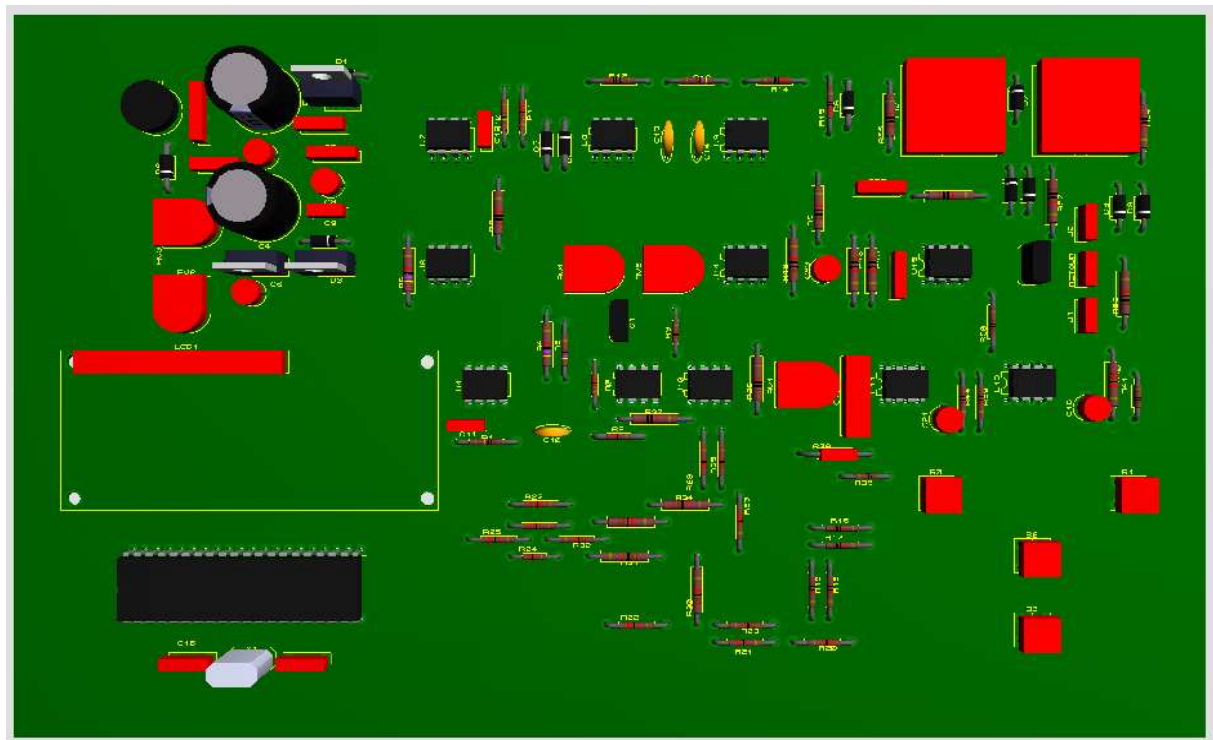


Fig.3.3 Implémentation des composants

III.2. La programmation du pic :

Le logiciel qu'on a utilisé pour la programmation de pic est le « MIKROBASIC ».

Pour créer un nouveau projet, on clique sur le menu « Project » puis sur « New Project »

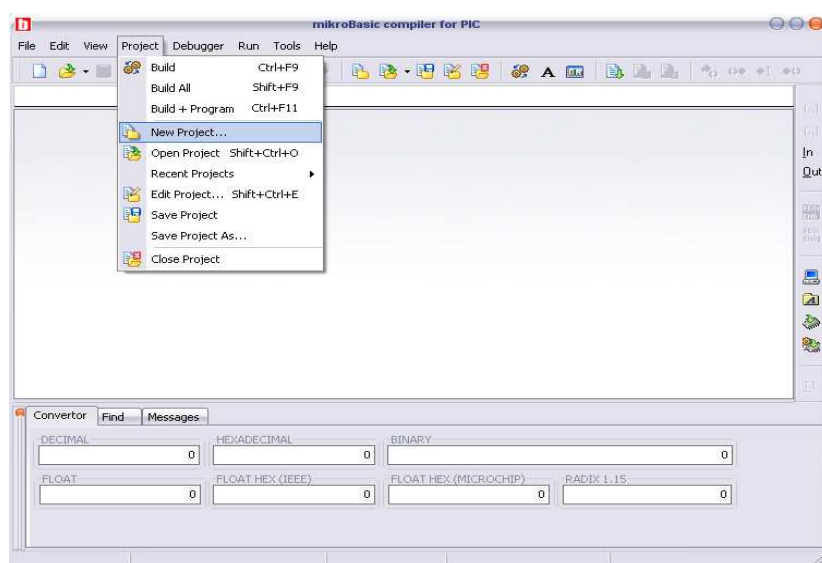


Fig. 3.4.

Une autre fenêtre s'affiche et permet de choisir le nom et l'emplacement du programme, la fréquence d'horloge, le PIC à utiliser et sa configuration.

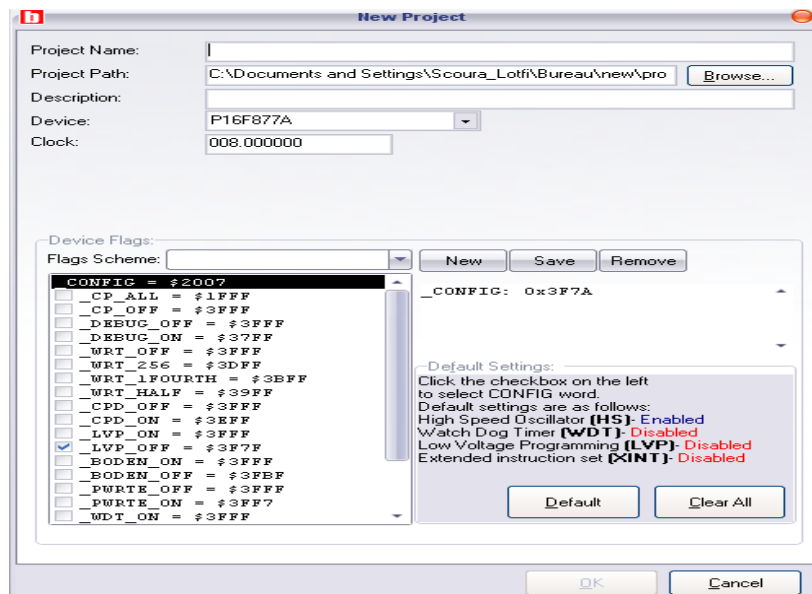


Fig. 3.5. Création d'un nouveau projet

Maintenant on peut écrire notre programme et le compiler.

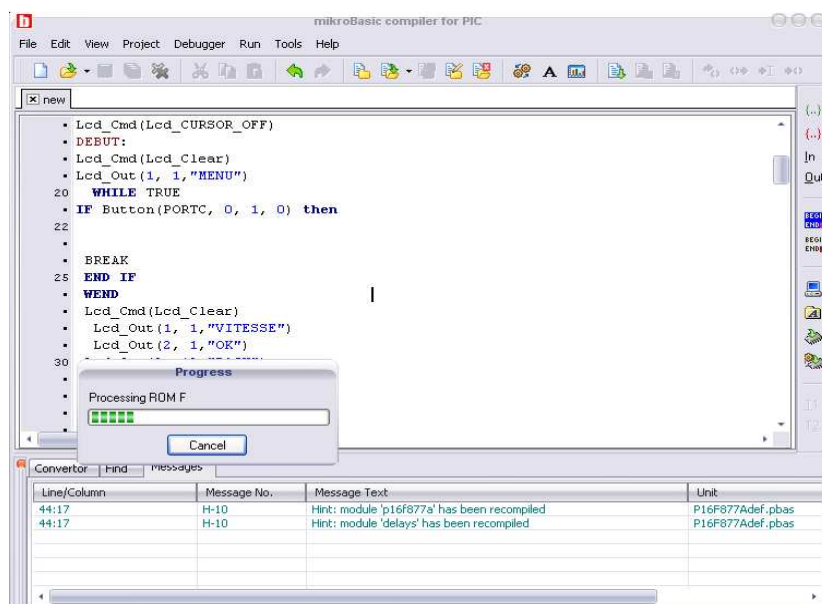


Fig. 3.6. Compilation du programme

Après compilation, un fichier « .hex » est créé dans l'emplacement choisi lors de la création du nouveau projet. C'est ce fichier qui sera injecté dans le PIC à l'aide du logiciel « ICPROG » et d'un programmeur de pic. Pour cela :

1. On place le PIC16F876A sur le support de programmeur.

2. On branche le programmeur à l'unité centrale de micro-ordinateur et le mettre sous tension.
3. On lance le logiciel IC Prog.
4. On choisit le PIC (dans notre cas c'est le 16F877A).
5. On configure les paramètres de PIC sur le logiciel.

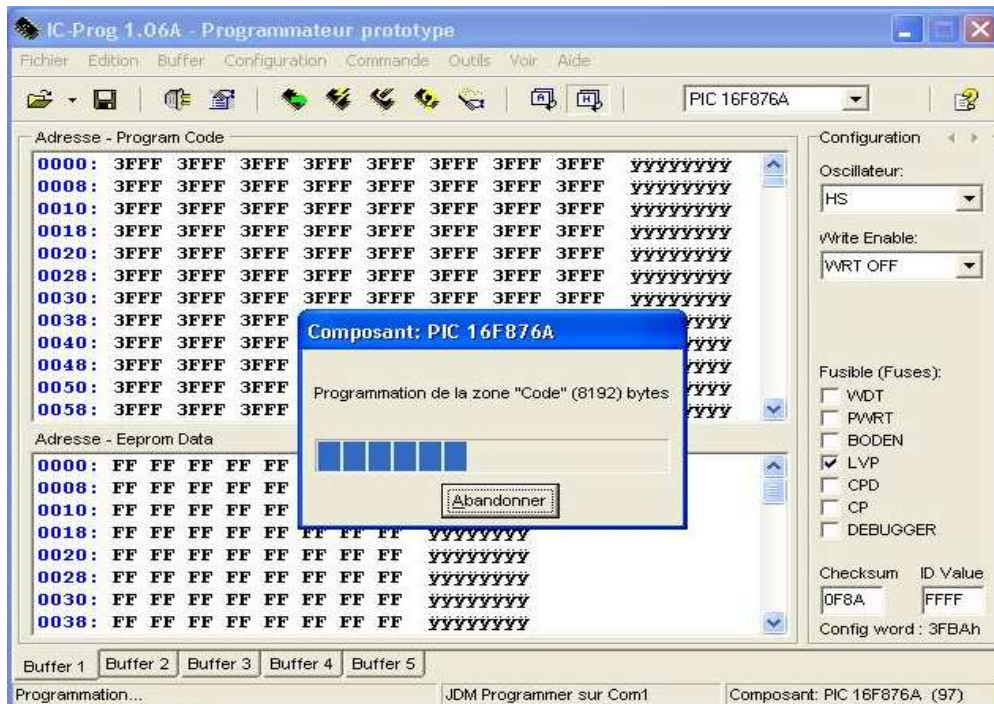


Fig 3.7. Programmation du PIC sous IC Prog-

Conclusion générale

Conclusion générale

Tout au long de notre étude, nous avons présenté le variateur de vitesse des moteurs à courant continu et l'avons conçu. Nous avons également résolu les problèmes de démarrage brusque de ces moteurs.

Dans le premier chapitre Nous avons étudié la constitution physique élémentaire et le fonctionnement du moteur à courant continu, puis nous avons modélisé son fonctionnement avec divers modes d'excitation. On a constaté que le couple moteur est indépendant de la vitesse de rotation ; il n'est lié qu'au courant et au champ d'entrefer résultant, aussi, la variation linéaire de la tension d'induit n'engendre une variation linéaire de la vitesse que pour les moteurs à flux d'inducteur constant.

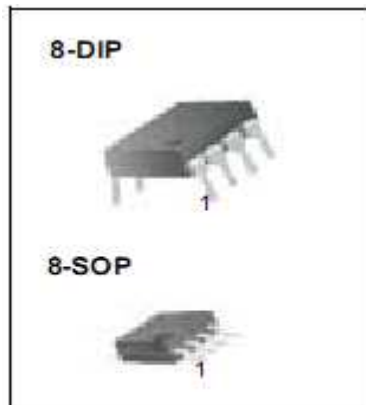
Dans le deuxième chapitre, nous avons mis en œuvre une commande cosinusoidale permettant d'agir sur le pont mixte afin de varier la valeur moyenne de la tension à la sortie de ce pont, linéairement avec la consigne, un circuit de démarrage et enfin une boucle de retour pour stabiliser la vitesse en cas de chute de tension.

Pour la partie logicielle, nous avons fait appel au compilateur MIKROBASIC, pour compiler le programme écrit en BASIC puis à ICPROG pour l'injecter dans le PIC. Nous avons également utilisé le logiciel PROTEUS 7.4 pour schématiser et simuler notre circuit et enfin, ARES 7.4 pour réaliser le circuit imprimé. Ainsi, la réalisation de notre projet nous a permis d'enrichir notre bagage informatique.

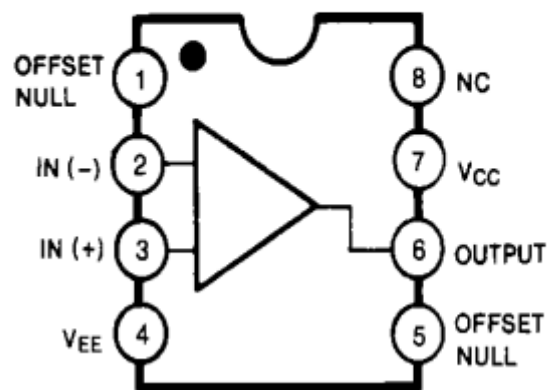
En fin, nous espérons que ce travail constituera une idée pour les prochaines études concernant les variateurs de vitesse des moteurs à courant continu.

Annexe

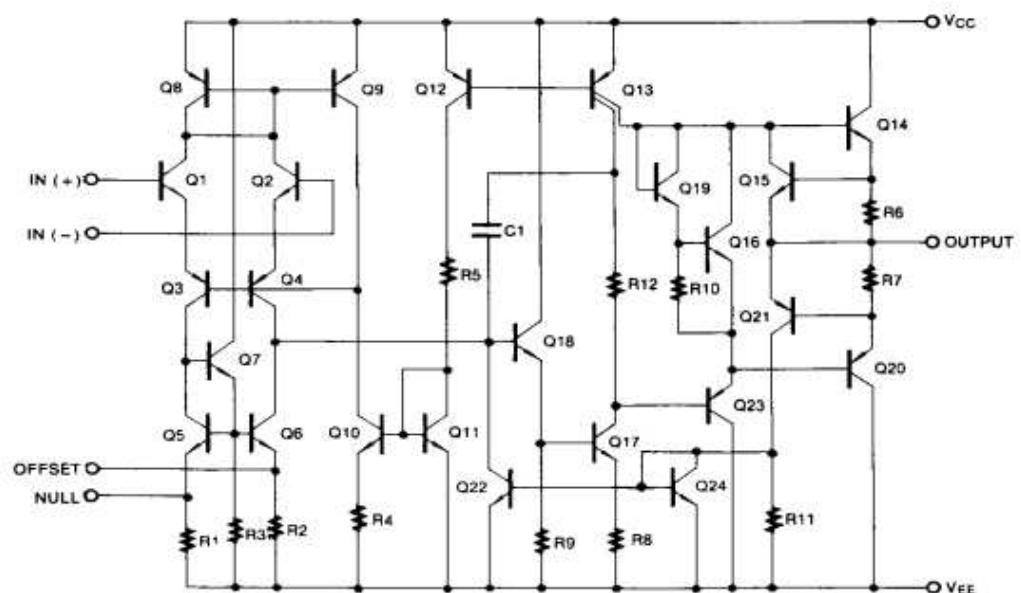
LM741 :



Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Electrical Characteristics

($0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ $V_{CC} = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM741C; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	mV
		$R_S \leq 10K\Omega$	-	-	7.5	
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	300	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\text{nA}/^{\circ}\text{C}$
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-	0.8	μA
Input Resistance (Note1)	R_i	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	$M\Omega$
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10K\Omega$	-	-	V
			$R_S \geq 2K\Omega$	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10K\Omega$	± 12	± 14	
			$R_S \geq 2K\Omega$	± 10	± 13	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	10	-	40	mA
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10K\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	70	90	-	dB
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	dB
			$R_S \leq 10K\Omega$	77	96	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_S \geq 2K\Omega$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 15\text{V}$	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 10\text{V}$	15	-	
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 2\text{V}$	-	-	

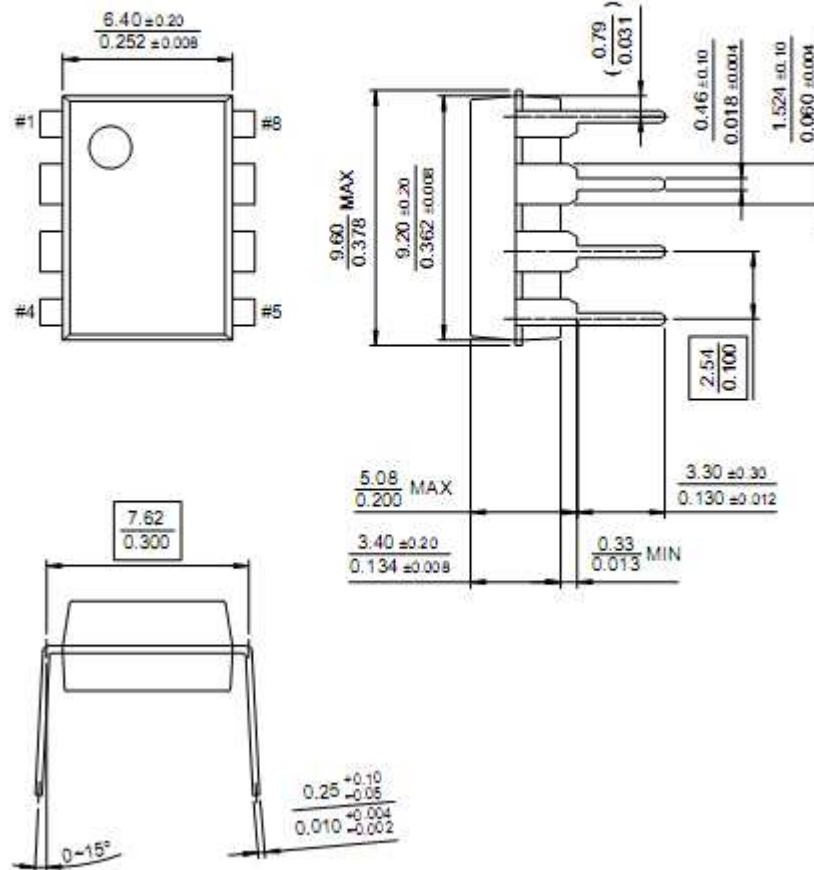
Note :

1. Guaranteed by design.

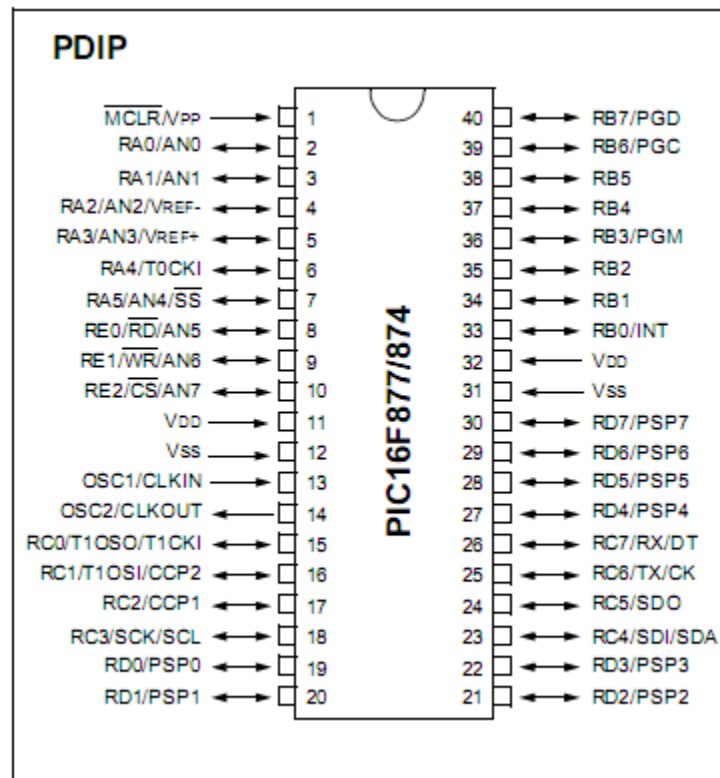
Mechanical Dimensions

Package

8-DIP

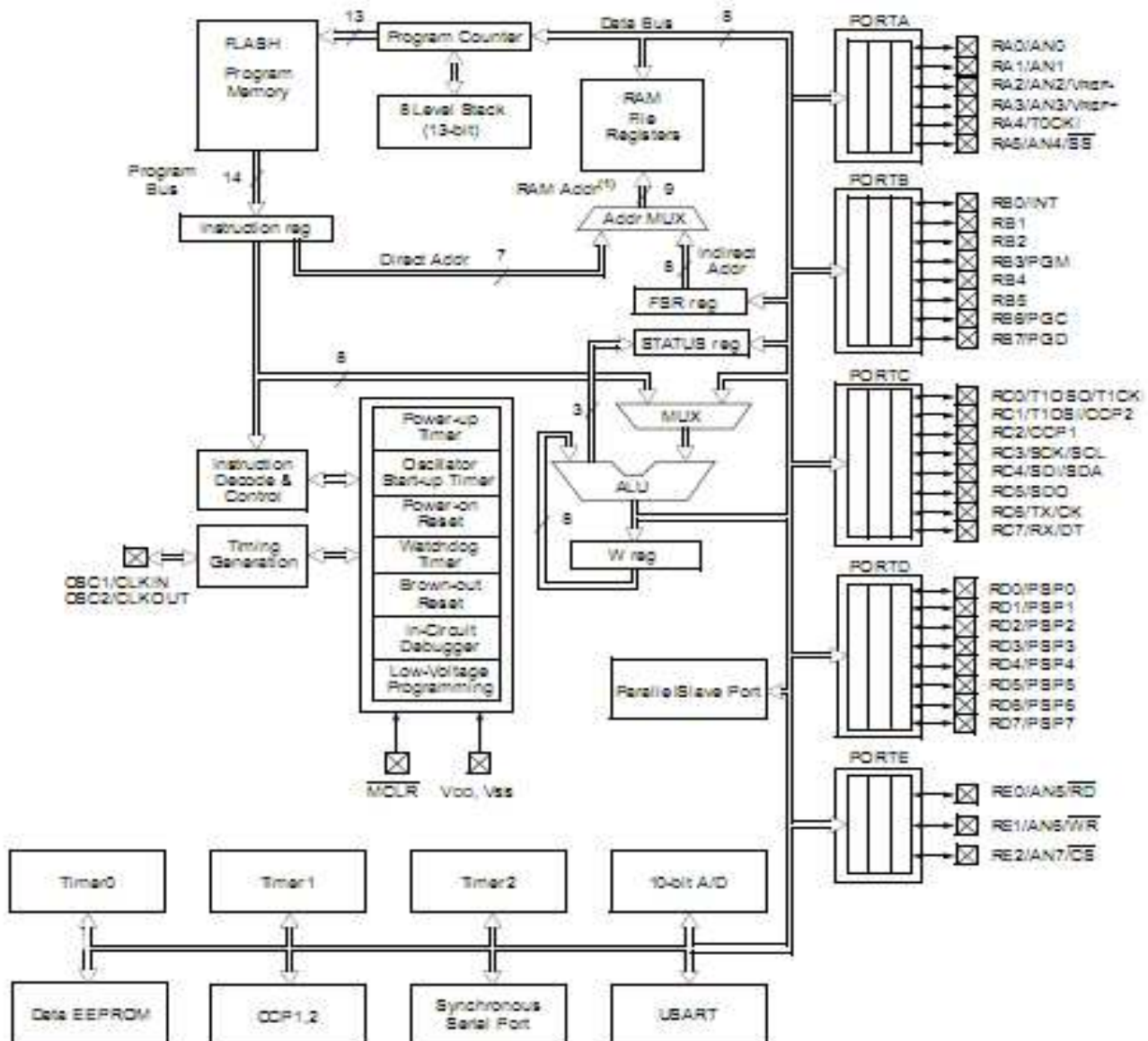


PIC 16F877 :



Brochage du pic 16F877.

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	384 Bytes	256 Bytes

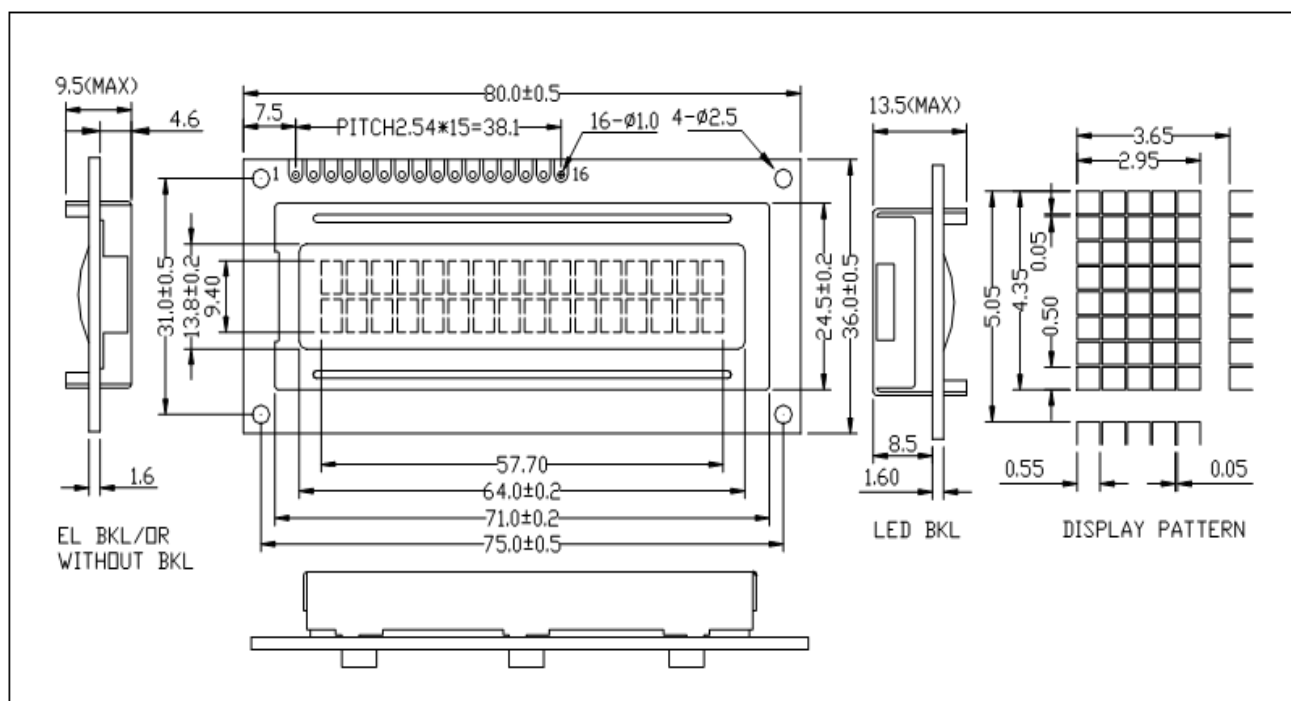


Note: 1: Higher order bits are from the STATUS register.

Structure interne du Pic 16F877.

Afficheur LCD :

Outline dimension



Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	$V_{DD}-V_{SS}$	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	V_{SS}	-	V_{DD}	
Operating temperature range	T_{op}	0	-	+50	°C
Storage temperature range	T_{st}	-10	-	+60	

*Wide temperature range is available

(operating/storage temperature as -20~+70/-30~+80℃)

Interface pin description

Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V _{SS}	Power supply	Signal ground for LCM (GND)
2	V _{DD}		Power supply for logic for LCM
3	V ₀		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL (GND)

Les caractères standards de l'afficheur :

Lower 4 Bits	Upper 4 Bits	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	
xxxx0000	CG RAM (1)			0	a	P	`	P					-	9	3	α	p	
xxxx0001	(2)		!	1	A	Q	a	q					。	ア	チ	△	ä	q
xxxx0010	(3)		"	2	B	R	b	r					「	イ	ツ	×	ß	θ
xxxx0011	(4)		#	3	C	S	c	s					」	ウ	テ	モ	ε	∞
xxxx0100	(5)		\$	4	D	T	d	t					、	エ	ト	ホ	μ	Ω
xxxx0101	(6)		%	5	E	U	e	u					・	オ	ナ	ユ	℃	û
xxxx0110	(7)		&	6	F	V	f	v					ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	Σ
xxxx0111	(8)		'	7	G	W	g	w					フ	キ	ヌ	ラ	g	π
xxxx1000	(1)		<	8	H	X	h	x					イ	ク	ネ	リ	、	æ
xxxx1001	(2)		>	9	I	Y	i	y					ウ	ケ	ル	ル	、	y
xxxx1010	(3)		*	:	J	Z	j	z					エ	コ	ハ	レ	j	¥
xxxx1011	(4)		+	;	K	[k	{					オ	サ	ヒ	ロ	×	π
xxxx1100	(5)		,	<	L	¥	l	l					ハ	シ	フ	ワ	¢	π
xxxx1101	(6)		-	=	M]	m	}					ユ	ス	ヘ	ン	¢	÷
xxxx1110	(7)		.	>	N	^	n	→					ヨ	セ	ホ	°	°	
xxxx1111	(8)		/	?	O	_	o	←					ッ	ソ	マ	°	°	■

NE555 :

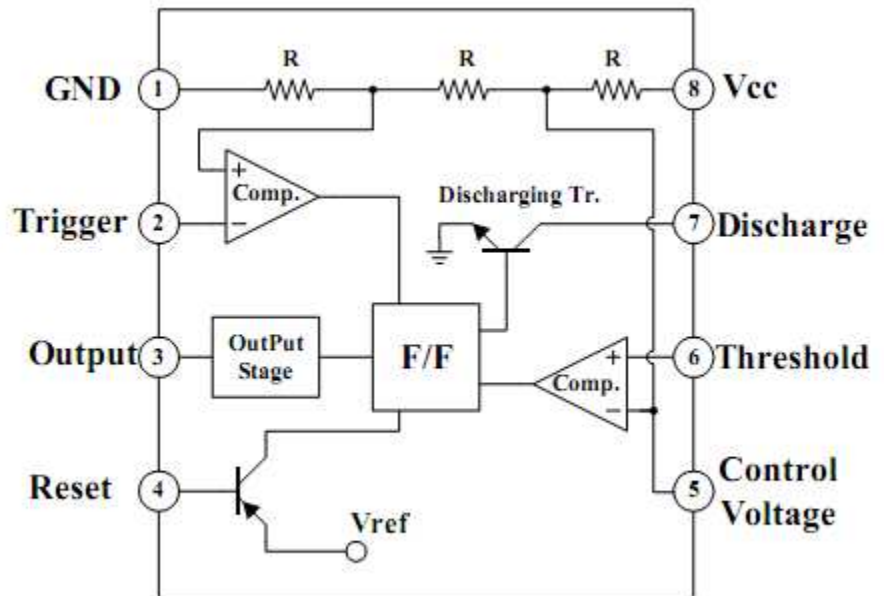
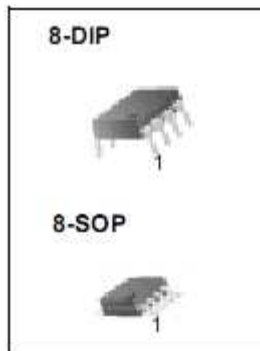
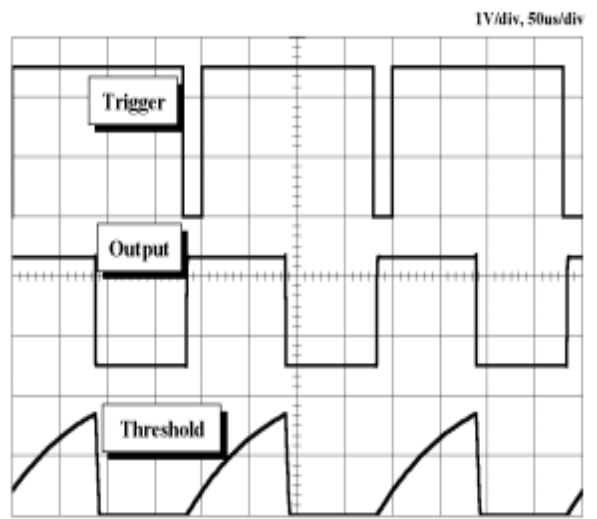
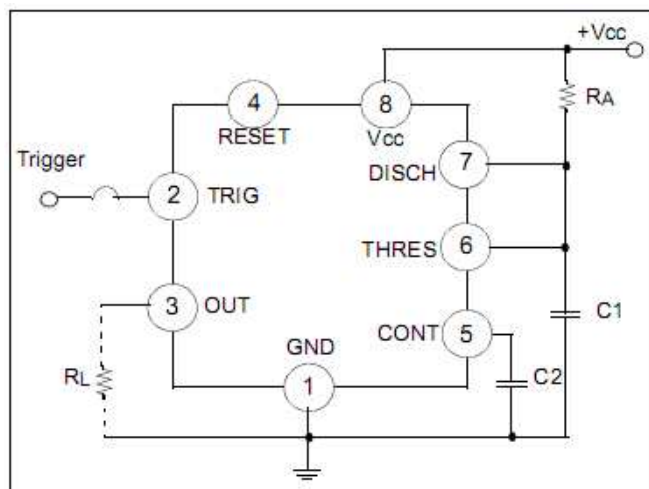


Schéma interne.

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5 - 15\text{V}$, unless otherwise specified)

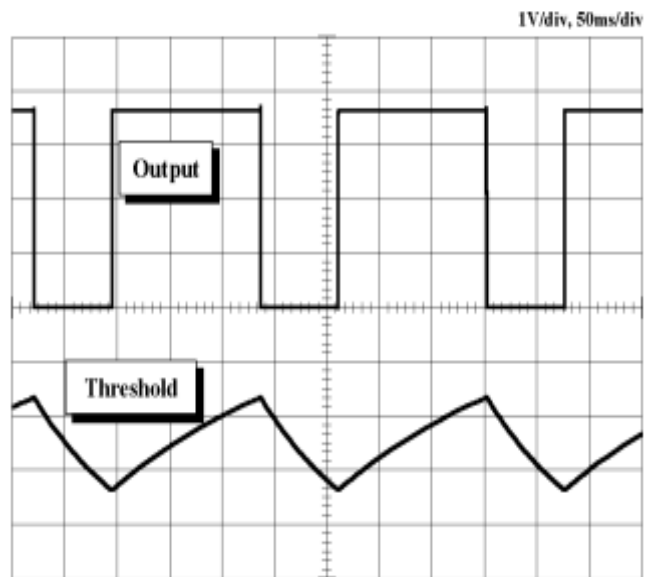
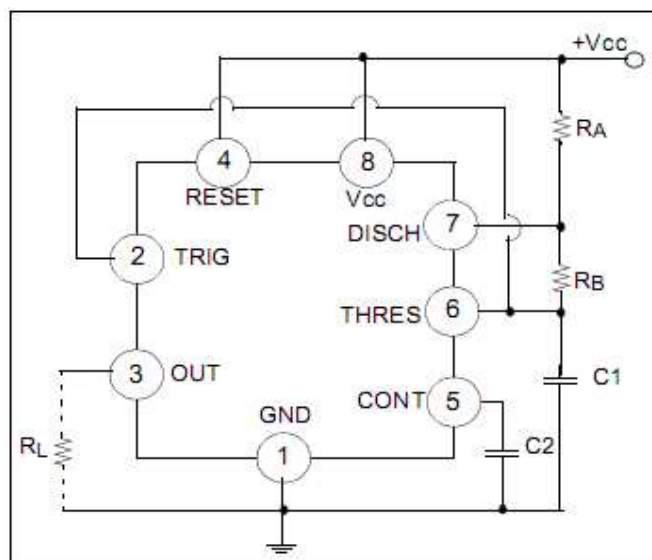
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	-	4.5	-	16	V
Supply Current *1(Low Stable)	I_{CC}	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$	-	3	6	mA
		$V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$	-	7.5	15	mA
Timing Error *2 (Monostable)	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	1.0	3.0	%
Initial Accuracy				50		ppm/ $^\circ\text{C}$
Drift with Temperature				0.1	0.5	%/V
Drift with Supply Voltage	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	2.25	-	%
Initial Accuracy				150		ppm/ $^\circ\text{C}$
Drift with Temperature				0.3		%/V
Control Voltage	V_C	$V_{CC} = 15\text{V}$	9.0	10.0	11.0	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	V_{TH}	$V_{CC} = 15\text{V}$	-	10.0	-	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	-	3.33	-	V
Threshold Current *3	I_{TH}	-	-	0.1	0.25	μA
Trigger Voltage	V_{TR}	$V_{CC} = 5\text{V}$	1.1	1.67	2.2	V
		$V_{CC} = 15\text{V}$	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	I_{TR}	$V_{TR} = 0\text{V}$	-	0.01	2.0	μA
Reset Voltage	V_{RST}	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	I_{RST}	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	V_{OL}	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SINK} = 10\text{mA}$	-	0.06	0.25	V
		$I_{SINK} = 50\text{mA}$	-	0.3	0.75	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SINK} = 5\text{mA}$	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	V_{OH}	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SOURCE} = 200\text{mA}$	12.75	12.5	-	V
		$I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	13.3			V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output	t_R	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output	t_F	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	I_{LKG}	-	-	20	100	nA

Les caractéristiques électriques.



$R_A = 9.1k\Omega$, $R_L = 1k\Omega$, $C_1 = 0.01\mu F$, $V_{cc} = 5V$

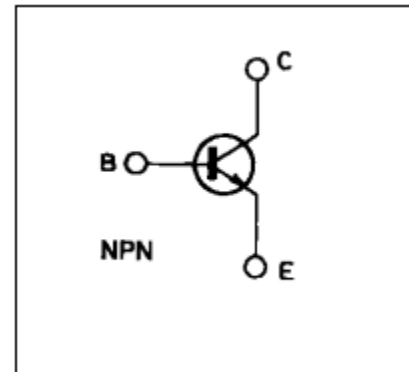
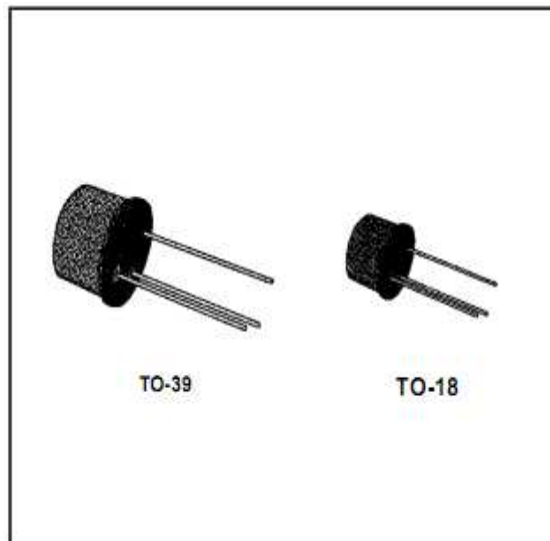
Le circuit monostable.



$R_A = 1k\Omega$, $R_B = 1k\Omega$, $R_L = 1kW$, $C_1 = 1\mu F$, $V_{cc} = 5V$

Circuit astable.

2N222 :

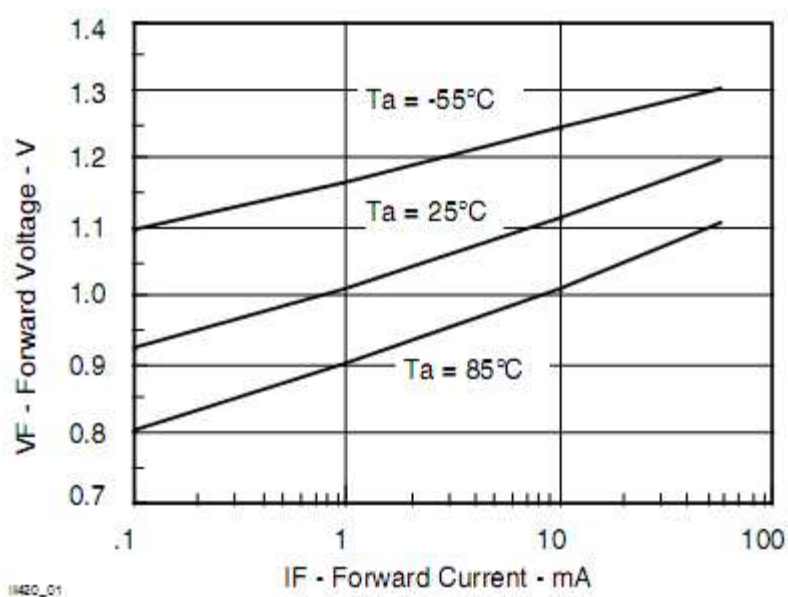
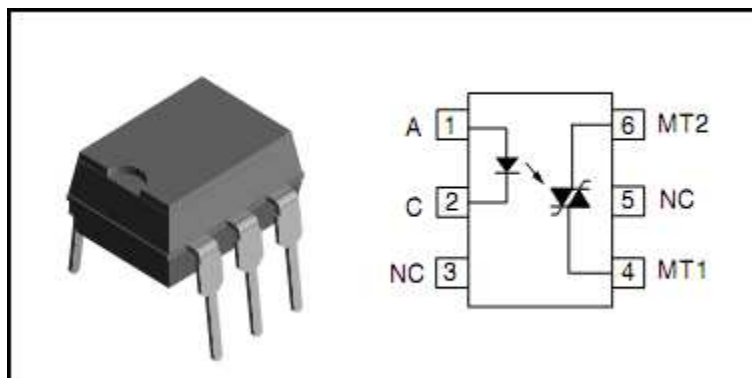


ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cutoff Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 50\text{ V}$ $V_{CB} = 50\text{ V}$ $T_{amb} = 150^{\circ}\text{C}$			10 10	nA μA
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 3\text{ V}$			10	nA
$V_{(BR)CB0}$	Collector-base Breakdown Voltage ($I_E = 0$)	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}$	60			V
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-emitter Breakdown Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 10\text{ mA}$	30			V
$V_{(BR)EB0}$	Emitter-base Breakdown Voltage ($I_C = 0$)	$I_E = 10\text{ }\mu\text{A}$	5			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$			0.4 1.6	V V
$V_{BE(sat)}^*$	Base-emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$			1.3 2.6	V V
h_{FE}^*	DC Current Gain	for 2N2218 and 2N2221 $I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 20 $I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 25 $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 35 $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 40 $I_C = 500\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 20 $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ 20 for 2N2219 and 2N2222 $I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 35 $I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 50 $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 75 $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 100 $I_C = 500\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ 30 $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ 50			120 300	
f_T	Transition Frequency	$I_C = 20\text{ mA}$ $V_{CE} = 20\text{ V}$ $f = 100\text{ MHz}$	250			MHz
C_{CB0}	Collector-base Capacitance	$I_E = 0$ $V_{CB} = 10\text{ V}$ $f = 100\text{ kHz}$			8	pF
$R_{s(hie)}$	Real Part of Input Impedance	$I_C = 20\text{ mA}$ $V_{CE} = 20\text{ V}$ $f = 300\text{ MHz}$			60	Ω

* Pulsed : pulse duration = 300 μs , duty cycle = 1 %.

Optocoupler :



Caractéristiques tension directe courant direct

Bibliographie

[B1] : « Génie Electrique »Cours complet illustrés, Electronique de puissance,
Electrotechnique et automatique, Electronique de signal.

Auteur : CRISTOPHE FRANCOIS.

[B2] : « Electrotechnique à l'usage des ingénieurs » Machines continues, électronique de
Puissance.

Auteur : A.FOUILLE

[B3] : « Commande électronique des moteurs électriques »

Auteur : MICHEL PINARD

[B4] : « Electrotechnique, Automatique et Informatique industrielle »

Auteurs : RENE BOURGOIES

PATRICK DALLE

ERIC ESVAN

BERNARD MAIZIERS

ERIC SEUILLOT.

[B5] : « Cours d'Electrotechnique » Traitement de l'énergie électrique.

Auteur : JEAN-LOUIS DALMASSO

[B6] : « Machines électriques, Electronique de puissance » Théorie. Application. Laboratoire.

Auteurs : ALAIN HEBERT

CLAUDE NAUDET

MICHEL PINARD.

[B7] : Mémoire d'ingénieur de l'institut de l'électronique de l'U.M.M.T.O

« Etude et réalisation d'une commande PID numérique d'un moteur à courant continu à
base d'un microcontrôleur 17C44 » promotion 2008.

[B8] : Document technique de l'ingénieur, traité Génie Electrique.

[B9] : « Electrotechnique 4^{ème} edition »

Auteurs : WILDI

SYBILLE