

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Électronique

Spécialité : système embarqué

THÈME

**Étude et réalisation de la commande et la régulation en
vitesse d'un moteur à courant Continu**

Préparé par : BELARBI. Abdelhamid

TALBI. Mohamed amine

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Qualité
<i>Mr ADDA BENATTIA Abderrahmane</i>	President
<i>Mr Kouadria Mohamed</i>	Examineur
<i>Mr MAAMAR Noureddine</i>	Examineur
<i>Mr Nasri djilali</i>	<i>Encadreur</i>
<i>Mr Sebaa Morsli</i>	<i>Co-Encadreur</i>

Remerciements

En introduction à ce travail, nous aimerions remercier « Allah », le Dieu Tout-Puissant, de nous avoir donné courage, volonté et patience tout au long de nos années d'études.

Je tiens également à exprimer mon sincère respect à mon encadrant, le « Professeur **Nasri Djilali** », pour son aide inestimable.

Nous avons pour lui un grand respect et une grande admiration, sans oublier l'humanité et le professionnalisme dont il a toujours fait preuve, ainsi que les conseils compétents et l'accompagnement attentif qui nous ont facilité ce travail.

J'espère exprimer mes sentiments. Il a été à la hauteur de la confiance que nous lui avons accordée et le travail a finalement été à la hauteur de ses attentes.

Nous tenons également à exprimer notre sincère gratitude à tous les juges qui se sont intéressés à notre sujet en considérant notre travail et en acceptant de l'enrichir de leurs suggestions.

Nous tenons à exprimer notre gratitude au corps professoral et au personnel administratif du Département de Génie électrique de l'UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET.

Je tiens à remercier tous les professeurs qui nous ont guidés et soutenus par leurs compétences dans la poursuite de nos études.

Sans parler de notre chère et aimante famille qui nous a soutenus au fil des années et a fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé directement ou indirectement à la réalisation de ce modeste travail.

Liste des symboles et abréviation :

U : Tension d'alimentation du circuit d'induit [V].

I : Courant d'induit [A].

R a : Résistance du circuit d'induit [Ω].

L a : Inductance du circuit d'induit [H].

Vf : Tension du circuit d'excitation [V].

R f : Résistance du circuit d'excitation [Ω].

E : Force contre électromotrice [V].

I_a : Courant d'induit [A].

K_m : Constante propre du moteur.

C_{em} : Couple électromagnétique de la machine [N.m].

a : le nombre de paires de voies d'enroulement

Φ : le flux maximum à travers les spires [Wb].

Ω : la vitesse de rotation [tr/min].

K : la constante de la fém

P : nombre de paires de pôles.

A : nombre de voies d'enroulement.

W : nombre de conducteurs par section

Cu : Couple utile

Kp : est le gain proportionnel,

Ki : est le gain intégral (on utilise souvent/représentant le temps d'intégration)

Kd : est le gain dérivé

$\mathcal{E}(t)$ La fonction d'erreur (consigne - mesure),

U (t) : la fonction de commande

T_{em} : moment du couple électromagnétique

Sommaire

Remerciements	1
Liste des symboles et abréviation :	1
Liste de figures	5
Introduction générale.....	7
Chapitre I :	1
I.1 Introduction :	1
I.2 Définition :	1
I.3 Description de la machine à courant continu :	2
1) L'inducteur :	2
2) L'induit :	3
3) Le collecteur et les balais :	3
a. Collecteur :	3
b. Balais :	4
I.4 Principe de fonctionnement du MCC :	4
I.5 Différents types de moteur à courant continu.....	5
Moteur excité en série :	6
Moteur à excitation parallèle (shunt) :	7
Moteur à excitation séparée (indépendante) :	7
I.6 Équation du moteur à courant continu :	8
Force électromotrice :	8
Puissance et couple électromagnétiques :	9
Couple utile, Puissance utile :	9
Le rendement :	10
Vitesse :	10
I.7 Méthodes utilisées pour varier la vitesse d'un moteur à courant continu :	10
I.8 Principe de la commande MLI :	11

Hacheur série.....	12
L'avantage d'un hacheur série	13
Hacheur en pont :	13
1. L298 : circuit intégré réalisant la fonction hacheur en pont.....	15
2. Brochage du Module de Contrôle de Moteur L298N :	15
3. Pilotage PWM (L298N) :	16
I.9 Conclusion :.....	17
Chapitre II.....	19
II. 1 Introduction	19
II. 2 Problématique :	19
II. 3 Objectifs de la régulation :	20
II. 5 Système en boucle ouverte :.....	21
II. 6 Système en boucle fermée :.....	21
II. 4 Le régulateur proportionnel intégral dérivé (PID)	22
Variable proportionnelle (P) :.....	24
Variable intégrale (I) :	25
Variable dérivée (D) :	26
e) La fonction de transfert du moteur :	30
La fonction de transfert du moteur	30
f) La fonction de transfert en boucle fermée avec un régulateur PI :.....	31
II. 7 L'encodeur optique incrémental.....	32
II. 8 Conclusion :.....	34
Chapitre III	34
III.1 Introduction :.....	34
III.2 Sélection du microcontrôleur PIC16F877A :	34
III.2.1 Pourquoi PIC16F877A :	34
III.2.2 Architecture externe du PIC 16F877A :.....	35

III.2.3 Architecture interne du PIC 16F877A :	37
III.3 Présentations des modules utilisés dans PIC 16F877A :	38
III.3.1 Les modules utilisé par PIC 16F877A	38
1. Le Timer0 :	38
2. Le Timer1 :	38
3. Le Timer2 :	39
Le registre de contrôle ADCON1	41
III.3.1.3 Configuration des E/S et de la tension de référence :	42
Mode de transfert d'un octet en mode 4 bits	45
III.4 Conclusion :	46
Chapitre IV	56
IV.1 Introduction :	56
IV.2.1 L'algorithme de commande de la vitesse	57
IV.2.2 Le schéma de simulation	58
IV.3 L'encodeur	59
Partie expérimentale :	62
Le circuit d'adaptation	63
Partie Régulation	65
.....	67
Conclusion générale	68
Référence bibliographique :	69
Résumé	72

Liste de figures

Chapitre I : Moteur à courant continu

Figure I. 1 Conversion d'énergie de la machine à courant continu[3]	2
Figure I. 2 Machines à courant continu [2].....	2
Figure I. 3 l'inducteur de la machine à courant continu [4]	3
Figure I. 4 Induit de la machine à courant continu [4].....	3
Figure I. 5 collecteur de la machine à courant continu [4].....	4
Figure I. 6 balais de la machine à courant continu [4].....	4
Figure I. 7 Principes de fonctionnement [5].....	5
Figure I. 8 Principes de fonctionnement [3].....	5
Figure I. 9 moteur à excitation série [4].....	6
Figure I. 10 Moteur à excitation shunt [4].....	7
Figure I. 11 Moteur à excitation séparée [4].....	8
Figure I. 12 Tableau de différentes réglage de vitesses	11
Figure I. 13 La structure de commande.....	11
Figure I. 14 Schémas simples d'un hacheur série pour la commande du sens 1 [30].....	12
Figure I. 15 Le signal de commande pour un hacheur série [42].....	12
Figure I. 16 La tension et le courant aux bornes de la charge [42].....	12
Figure I. 17 schéma simple d'un hacheur en pont [43]	14
Figure I. 18 Les deux configurations possibles de pont H [11].....	14
Figure I. 19 Module L298n [14].....	15
Figure I. 20 schéma interne du L298N [11].....	16

Chapitre II : La régulation de la vitesse du MCC

Figure II. 1 variation de la vitesse de rotation significativement le couple résistant.....	19
Figure II. 2 Problématique	20
Figure II. 3 Procédé en boucle ouverte[21]	21
Figure II. 4 systèmes en boucle fermée[21]	22
Figure II. 5 schéma fonctionnel du contrôleur PID dans une boucle [50]	23
Figure II. 6 schéma fonctionnel du contrôleur P [].....	25
Figure II. 7 schéma fonctionnel du contrôleur PI [50].....	26
Figure II. 8 schéma fonctionnel du contrôleur PID [50]	27
Figure II. 9 Schema équivalent de l'induit	27
Figure II. 10 Schéma fonctionnel de réglage de vitesse par un régulateur de type PI.....	30

Chapitre III : Etude du Microcontrôleur PIC 16f877a

<i>Figure III. 1 PIC16F877A</i>	36
<i>Figure III. 2 Architecture externe du PIC 16F877A</i>	37
<i>Figure III. 3 architecture interne de 16f877A [39]</i>	38
<i>Figure III. 4 TIMER2</i>	39
<i>Figure III. 5 CAN</i>	40
<i>Figure III. 6 Schéma du module de conversion analogique numérique [41]</i>	42
<i>Figure III. 7 Afficheur LCD 2*16</i>	44
<i>Figure III. 8 Communication avec l'afficheur LCD</i> <i>Figure III. 9 Afficheur LCD 2*16</i>	44

Chapitre IV : La simulation et réalisation

<i>Figure IV. 1 Schéma de principe de la commande en vitesse d'un MCC</i>	56
<i>Figure IV. 2 Algorithme de la commande En vitesse d'un MCC</i>	57
<i>Figure IV. 3 Simulation de l'asservissement sous Isis Proteus</i>	58
<i>Figure IV. 4 signaux de commandes pour différentes valeurs de α</i>	59
<i>Figure IV. 5 vitesse de rotation pour différentes valeurs de α et de C_r</i>	60
<i>Figure IV. 6 moteur à courant continu</i>	61
<i>Figure IV. 7 principe de mesure d'un encodeur</i>	61
<i>Figure IV. 8 validation de la mesure de la fréquence d'un signal</i>	62
<i>Figure IV. 9 Circuit pratique de régulation</i>	62
<i>Figure IV. 10 La visualisation des signaux de commande</i>	63
<i>Figure IV. 11 Le nouveau encodeur d'une imprimante placé avec le moteur</i>	63
<i>Figure IV. 12 Circuit de mise en forme et d'adaptation du signal du l'encodeur</i>	64
<i>Figure IV. 13 signaux de commande et de l'encodeur avec visualisation de la vitesse et rapport cyclique sur LCD</i>	64
<i>Figure IV. 14 Algorithme de la régulation En vitesse d'un MCC</i>	65
<i>Figure IV. 15 Vitesse mesurée et vitesse consigne pour différentes valeurs du couple résistif</i>	66
<i>Figure IV. 16 Simulation de sous Isis Proteus (ARES)</i>	67
<i>Figure IV. 17 Génération de typon de la carte avec Ares</i>	67

Introduction générale

Les moteurs à Courant continu (moteur à CC) de petite ou grande puissance, sont utilisés partout dans notre vie quotidienne, il fonctionne en utilisant l'énergie électrique pour produire un couple qui met en rotation une charge.

La vitesse de rotation de ce système dépend de la relation entre le couple généré par le moteur et la charge appliquée donc, quel que soit le type du moteur utilisé, il est essentiel d'avoir une régulation pour le commander.

La régulation est très intéressante. Elle élimine la nécessité d'une surveillance humaine continue pour les opérations routinières, en garantissant un contrôle avec une précision supérieure à celle qu'un opérateur humain pourrait atteindre.

Une régulation efficace permet non seulement d'améliorer les performances des systèmes mais aussi de prolonger la durée de vie des moteurs et de réduire la consommation énergétique.

Pour ce faire, nous allons présenter notre travail en 5 chapitres :

Chapitre I : Moteur à courant continu

Chapitre II : La régulation de la vitesse du MCC

Chapitre III : Etude du Microcontrôleur PIC 16f877a

Chapitre IV : La simulation et réalisation

Et nous terminons par une conclusion générale

Chapitre 1 :

Moteurs à courant continu

I.1 Introduction :

Les moteurs à courant continu se définissent par une variété de caractéristiques de fonctionnement qui les rendent adaptés à pratiquement toutes les utilisations.

Ils sont principalement utilisés lorsque l'énergie provient de piles ou d'accumulateurs (voitures, jouets, lecteurs de musique portables, etc. Il existe principalement deux types de machines : le moteur synchrone [alternateur] et le moteur asynchrone [à induction].

Les premiers sont utilisés dans les systèmes à vitesse constante et à faible couple de démarrage, tandis que les seconds sont utilisés dans la plage de puissance élevée

La machine à cc permet un réglage précis de son couple nominal et de sa vitesse de rotation. Les machines à courant continu sont largement utilisées dans les systèmes automatisés qui nécessitent des vitesses de rotation variables avec précision.

Dans ce chapitre, nous présenterons quelques points généraux sur les machines à courant continu puis les modéliserons.

I.2 Définition :

Les machines à courant continu sont des machines électriques.

Il s'agit d'un convertisseur électromécanique qui permet une conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique à courant continu et un équipement mécanique ; en fonction de la source d'énergie. [3]



Figure I. 1 Conversion d'énergie de la machine à courant continu [3]

I.3 Description de la machine à courant continu :

La machine à courant continu est composée de 3 parties principales : [2]

- 1) L'inducteur.
- 2) L'induit.
- 3) Le dispositif collecteur/balais.

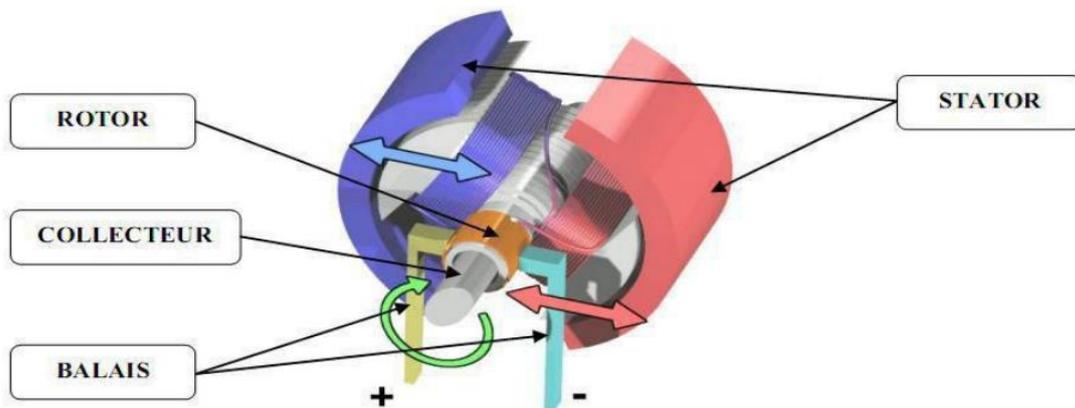


Figure I. 2 Machines à courant continu [2]

1) L'inducteur : Il s'agit d'une partie fixe.

Les inducteurs sont formés d'aimants permanents en ferrite ou de bobines placées autour du noyau polaire. Lorsque le courant continu circule dans les bobines, celui-ci crée un champ dans le circuit magnétique de la machine, notamment dans l'entrefer, un espace d'air qui sépare les parties fixes et mobiles. [4]



Figure I. 3 l'inducteur de la machine à courant continu [4]

2) **L'induit** : Il s'agit d'une pièce tournante,

L'induit est constitué d'un ensemble de bobines identiques réparties uniformément autour d'un noyau cylindrique. Il est monté sur un arbre et tourne entre les bornes de l'inducteur. L'induit forme un ensemble de conducteurs qui coupent les lignes de champ magnétique. Les bobines sont disposées de manière à ce que leurs deux faces coupent le flux magnétique venant respectivement des pôles nord et sud de l'inducteur. Le noyau est formé de l'assemblage de plaques de fer doux. Ces plaques sont isolées les unes des autres et comportent des fentes pour recevoir la bobine [2].



Figure I. 4 Induit de la machine à courant continu [4]

3) **Le collecteur et les balais :**

a. **Collecteur** : Il est fabriqué par assemblage de bandes isolantes et conductrices (cuivre), puis la bobine est agrafée, soudée (spot) ou brasée.

La surface du récepteur a généralement une structure cylindrique, le récepteur tourne très doucement, puis les cales entre les lames sont fraisées selon un angle pour augmenter leur capacité à résister à la tension.

Le collecteur fait office de commutateur rotatif et assure la répartition du courant, quelle que soit la vitesse de rotation de la machine (Figure) [4].



Figure I. 5 collecteur de la machine à courant continu [4]

b. Balais : Ils garantissent que le courant passe entre la source d'alimentation et l'enroulement d'induit sous forme de contact frictionnel [4].

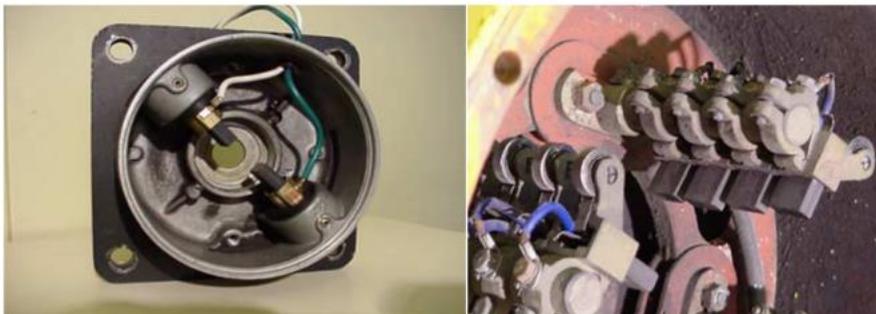


Figure I. 6 balais de la machine à courant continu [4]

I.4 Principe de fonctionnement du MCC :

Lorsque la bobine de l'inductance du moteur est alimentée en courant continu, selon le même principe qu'un moteur à aimant permanent (comme illustré), elle crée un champ magnétique (flux d'excitation) dans le sens nord — Sud.

Une bague tournante (induit) est capable de tourner sur un axe tournant placé dans un champ magnétique (force de Laplace) [5].

De plus, deux conducteurs forment une boucle, chacun connecté électriquement à une moitié du collecteur et alimenté en courant continu par deux brosses à friction.

Selon la loi de Laplace (tout conducteur porteur de courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force), les conducteurs d'induit placés de part et d'autre de l'axe du balai de charbon (ligne neutre) sont soumis à des forces F égales, mais de sens opposés créés. Couple moteur : l'induit commence à tourner [5].

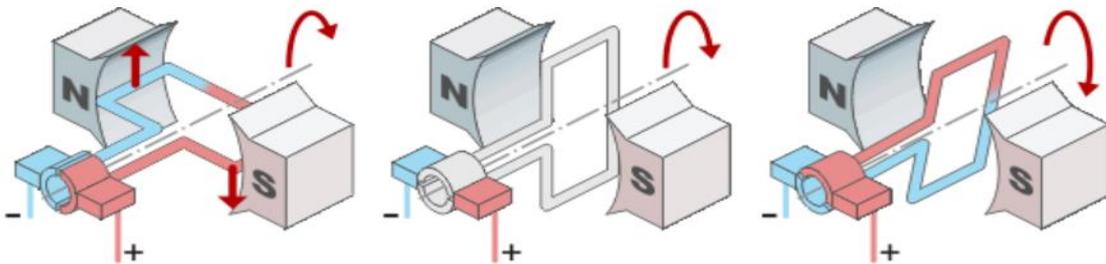


Figure I. 7 Principes de fonctionnement [5]

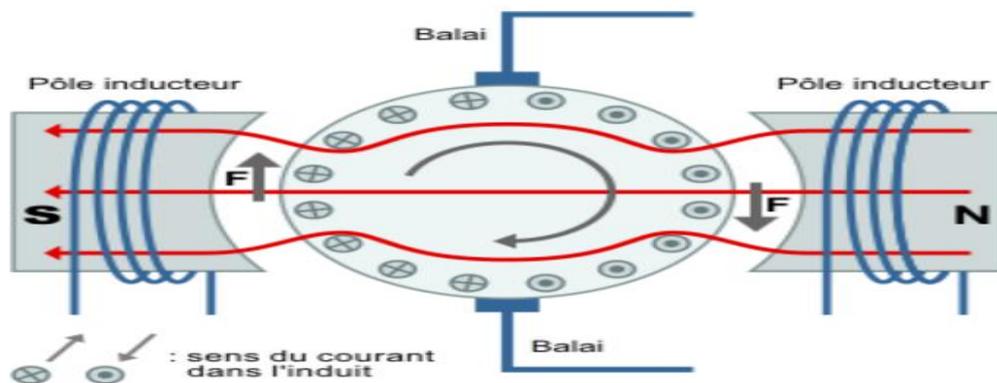


Figure I. 8 Principes de fonctionnement [3]

I.5 Différents types de moteur à courant continu

Selon l'application, la bobine d'induction et la bobine d'induit peuvent être connectées de différentes manières.

On retrouve souvent :

Moteur excité en série : Le moteur excité en est composé de deux enroulements, induit et inducteur en série (même courant).

Il est alimenté par une source de tension continue U et un courant I circulant dans l'armature, ayant une résistance R_a , une inductance à L_a et une force contre motrice à E et un inducteur avec une résistance R_f et une inductance L_f [4].

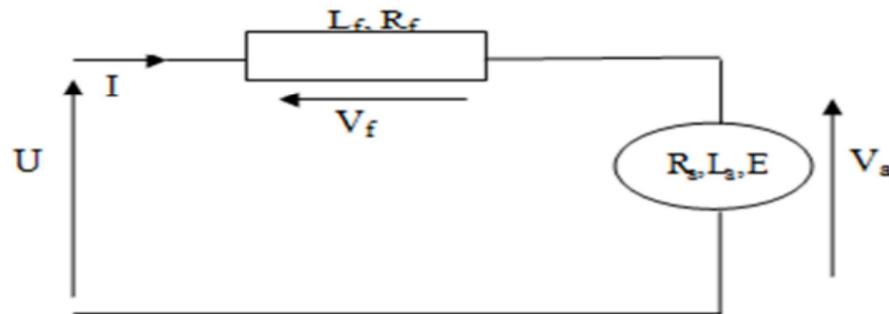


Figure I. 9 moteur à excitation série [4]

$$U = V_a + V_f \quad (\text{I. 1})$$

$$V_a = E + R_a I + R_f I = E + (R_a + R_f)I \quad (\text{I. 2})$$

$$C_m = K_m \cdot \varphi \cdot I_a \quad (\text{I. 3})$$

Avec :

U : Tension d'alimentation du circuit d'induit [V].

I : Courant d'induit [A].

R_a : Résistance du circuit d'induit [Ω].

L_a : Inductance du circuit d'induit [H].

V_f : Tension du circuit d'excitation [V].

R_f : Résistance du circuit d'excitation [Ω].

E : Force contre électromotrice [V].

Moteur à excitation parallèle (shunt) :

Le moteur à excitation parallèle se compose de deux bobines, d'un induit et d'un inducteur connectés en parallèle.

Il est alimenté par une source de tension continue U et de courant I.

Le circuit d'inductance est constitué d'une inductance Lf et d'une résistance Rf à travers lesquelles circule un courant f I, et le circuit d'induit comprend une résistance, une inductance et la force électromotrice opposée est Ra, à La, E respectivement, portés par le courant a à I.

Pour changer la vitesse, il faut changer le courant

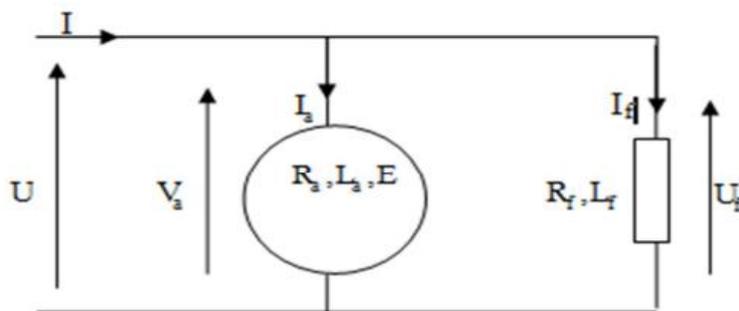


Figure I. 10 Moteur à excitation shunt [4]

$$V_a = E + R_a I_a \tag{I. 4}$$

$$U = R_a I_a + L \frac{dI_f}{dt} + E \tag{I. 5}$$

I_a : Courant d'induit [A].

K_m : Constante propre du moteur.

C_{em} : Couple électromagnétique de la machine [N.m].

Moteur à excitation séparée (indépendante) :

Le moteur à excitation indépendante est composé de deux enroulements d'induit et de champ alimentés séparément par deux sources distinctes.

L'inducteur est constitué d'une résistance Rf et d'une inductance Lf excitées par une source de tension continue Vf et un courant f I, et l'induit est constitué d'une

résistance, d'une inductance et d'une force contre motrice, a L et E, respectivement.

Source V_a et un courant a. [4]

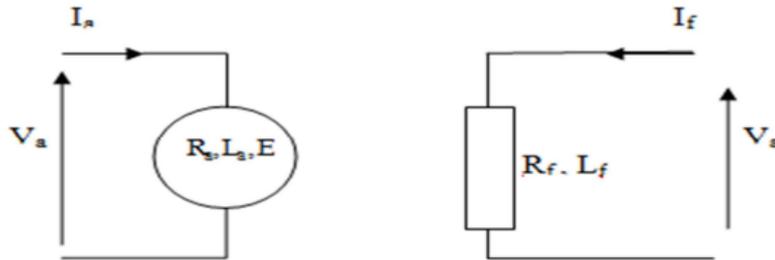


Figure I. 11 Moteur à excitation séparée [4]

L'avantage d'un moteur à excitation indépendante est que sa vitesse change très peu lorsque la charge change.

Cette fonctionnalité est utile lorsque vous souhaitez une certaine stabilité de vitesse.

En revanche, il présente l'inconvénient de ne pas pouvoir supporter des charges élevées lors du démarrage en raison de son faible couple [29].

I.6 Équation du moteur à courant continu :

Force électromotrice :

Nous savons qu'une bobine en mouvement dans un champ magnétique voit apparaître à ses bornes une force électromotrice (f.é.m.) donnée par la loi de Faraday :

$$DE = (d L \wedge v^{\rightarrow}) \tag{I. 6}$$

Sur ce principe, la machine à courant continu est le siège d'une f.é.m. donnée par

$$E = p 2\pi. N. \Phi. \Omega \text{ [V]} \tag{I. 7}$$

Avec : p : le nombre de paires de pôles.

a : le nombre de paires de voies d'enroulement

Φ : le flux maximum à travers les spires [Wb].

Ω : la vitesse de rotation [tr/min].

N : nombre de conducteurs actif finalement on peut écrire ;

$$E = K. \Phi. \Omega \quad (I. 8)$$

Avec :

$$K = p 2\pi. a. N \quad (I. 9)$$

K : la constante de la fém.

Puissance et couple électromagnétiques :

Si l'induit présente une f.é.m. E et s'il est parcouru par le courant I , il reçoit une puissance électromagnétique [25] :

$$P_{em} = E. I \quad (I. 10)$$

D'après le principe de conservation de l'énergie, cette puissance est égale à la puissance développée par le couple électromagnétique.

$$P_{em} = C_{em}. \Omega = E. I \quad (I. 11)$$

D'où l'expression du couple électromagnétique ;

$$C_{em} = K. \Phi. I \quad (I. 12)$$

Couple utile, Puissance utile :

Les pertes mécaniques (frottement dans les paliers, action de l'aire de ventilation) et les pertes de fer dans l'induit produisent un couple C_p appelé couple de pertes [25].

Le couple utile disponible sur l'arbre du moteur sera exprimé par :

$$C_u = C_{em} - C_p \quad (I. 13)$$

La puissance utile développée par le moteur est donnée par :

$$P_u = C_u \cdot \Omega \quad (\text{I. 14})$$

Le rendement :

Le rendement du moteur est donné par :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{I. 15})$$

Où P_a est la puissance absorbée par le moteur

$$U = E + R \cdot I \quad (\text{I. 16})$$

Vitesse :

D'après la loi d'Ohms :

$$U = E + R \cdot I \quad (\text{I. 17})$$

$$U = \frac{U - R_a}{K\phi} \quad (\text{I. 18})$$

K est une constante de construction du moteur est égal à

$$K = \frac{p}{a \cdot w} \quad (\text{I. 19})$$

P : nombre de paires de pôles.

A : nombre de voies d'enroulement.

W : nombre de conducteurs par section [25].

I.7 Méthodes utilisées pour varier la vitesse d'un moteur à courant continu :

En analysant l'équation (1) donnant la vitesse d'un moteur à courant continu à excitation séparé, trois possibilités de réglage de la vitesse peuvent être envisagées et qui sont regroupés dans le tableau suivant

Variation de Vitesse	Réglage Rhéostatique	Réglage par le flux	Réglage par la tension
Solution	Rhéostat (Rh) branché en série avec l'induit	Rhéostat de champ (Rch) branché en série avec le circuit d'excitation	On réduit la tension d'alimentation

Figure I. 12 Tableau de différentes réglages de vitesses

Le réglage par tension d'alimentation est très utilisé dans la pratique. Dans ce qui suit nous allons adopter cette technique qui est basée sur la technique de la modulation de largeur d'impulsion (PWM), largement utilisée dans le domaine de la régulation de la vitesse de rotation des moteurs à courant continu [25].

La modulation PWM est aujourd'hui une technologie essentielle et est utilisée dans presque toutes les applications de commande de moteurs à courant continu. Pour suivre la tendance à la numérisation dans le domaine électronique, une implémentation numérique du PWM est nécessaire [9].

I.8 Principe de la commande MLI :

Le hacheur, ou convertisseur continu - continu, est un dispositif d'électronique de puissance qui met en œuvre un ou plusieurs interrupteurs électroniques commandés, pour permettre de modifier la valeur de la tension (moyenne) d'une source de tension continue avec un rendement élevé.

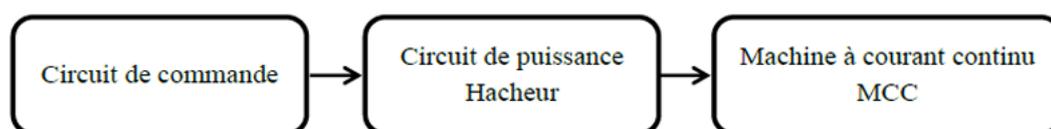


Figure I. 13 La structure de commande

Le circuit de commande délivre un signal MLI (modulation de la largeur d'impulsion) à fréquence fixe, (le moteur reçoit un signal haché ou découpé) afin d'obtenir une valeur moyenne réglable. Il existe plusieurs types de hacheurs, parmi lesquels préconiser dans l'alimentation des moteurs à courant continu, nous citons :

Hacheur série

Les hacheurs en série nous permettent de convertir une tension continue fixe en une tension d'alimentation inférieure et réglable par l'utilisateur. Par exemple, un hacheur vertical peut être utilisé comme contrôleur de vitesse pour un moteur à courant continu. Il se compose d'un transistor de commutation, d'une diode de roue libre, d'une inductance et d'un condensateur [30].

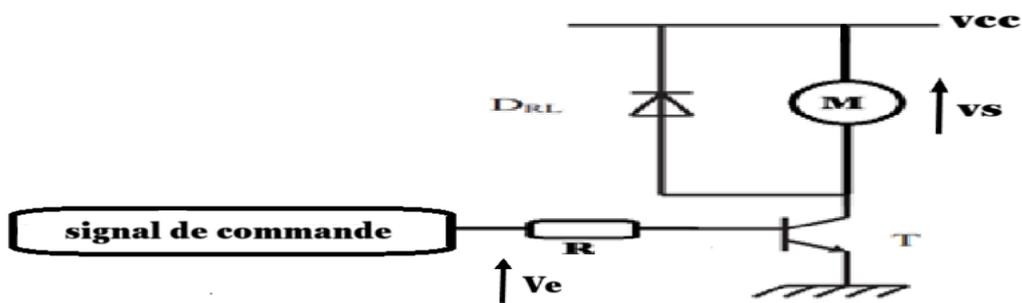


Figure I. 14 Schémas simples d'un hacheur série pour la commande du sens 1 [30]

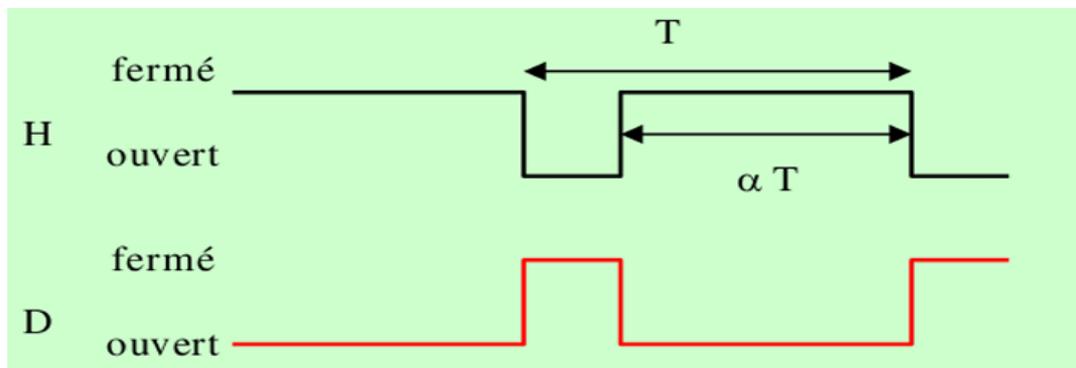


Figure I. 15 Le signal de commande pour un hacheur série [42]



Figure I. 16 La tension et le courant aux bornes de la charge [42]

L'avantage d'un hacheur série (transistor ou thyristor) est qu'il peut être activé et désactivé des milliers de fois par seconde, contrairement à un interrupteur qui ne peut être déplacé qu'au rythme de la main....

- La tension de sortie peut être V_s ou 0.
- Pendant la durée $\alpha \cdot T$ ($0 < \alpha < 1$), la tension $V_s = V_e$.
- Pendant la durée qui reste ($[1 - \alpha] T$) pour finir la période, la tension $V_s=0$.

α (alpha) représente le pourcentage de temps pendant lequel l'interrupteur est fermé (IE $V_s=V_e$). α est appelé rapport cyclique.

En faisant varier le rapport cyclique, vous pouvez déterminer la valeur de tension à la sortie réglable [42].

$$\begin{aligned}
 U_{C_{moy}} &= \frac{1}{T} \int_0^t V_s(t) * dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U * dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T 0 * d(t) & (I. 20) \\
 &= \frac{U}{T} (\alpha * T - 0)U = U_{C_{moy}} = \alpha * U
 \end{aligned}$$

Puisque Le rapport cyclique α varie entre 1 et 0, la valeur moyenne de la tension est toujours inférieure ou égale à la tension d'alimentation U (source), donc on parle de montage abaisseur de tension.

Diode de roue libre DRL. Protège le transistor lorsqu'il est bloqué. Lorsque le transistor est passant (off), il est activé pour dissiper l'énergie stockée dans la bobine [12]. De cette façon, l'Energie emmagasinée est dissipée dans la résistance de la bobine.

Hacheur en pont :

Le pont en H est une structure électronique servant à contrôler la polarité aux bornes d'un dipôle. Il est composé de quatre éléments de commutation généralement disposés schématiquement en une forme de H d'où le nom. Les commutateurs peuvent être des bipolaires ou des transistors MOSFET, le schéma de base est bien illustré sur la figure suivante :

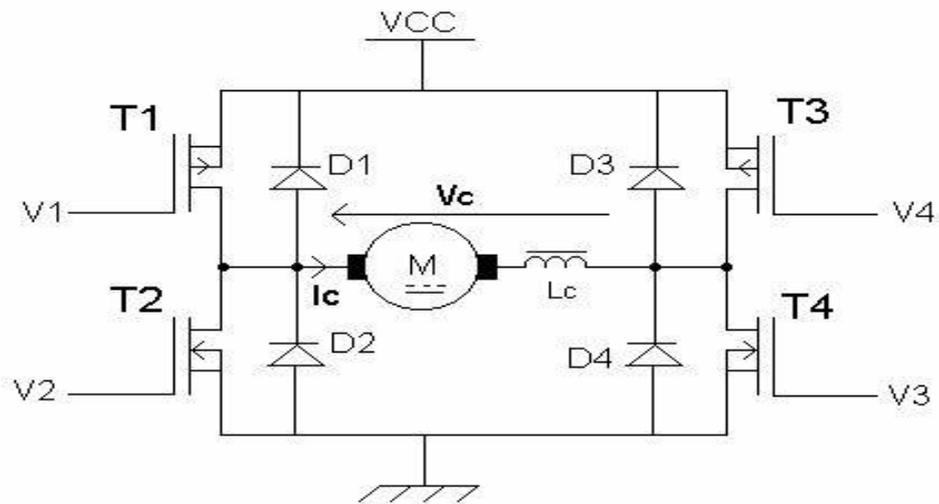


Figure I. 17 schéma simple d'un hacheur en pont [43]

Le schéma équivalent ci-dessous indique bien comment inverser la polarité du signal continu appliqué à la charge qui permet d'inverser le sens de rotation dans le cas d'un moteur à courant continu. Avec les solutions numériques, il suffit de générer des signaux de commande complémentaires.

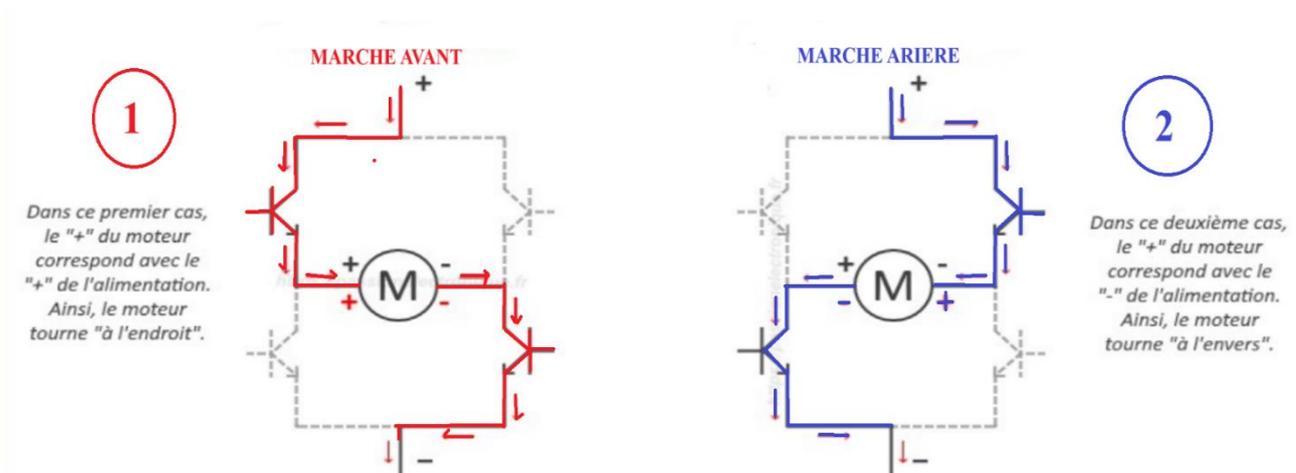


Figure I. 18 Les deux configurations possibles de pont H [11]

Dans le 1er cas : le « + » du moteur sur le « + » de l'alimentation, et le « — » du moteur sur le « — » de l'alimentation.

Dans le 2ème cas : le « + » du moteur sur le « — » de l'alimentation, et le « — » du moteur sur le « + » de l'alimentation (faisant ainsi tourner le moteur en sens inverse) [11].

- **La valeur moyenne de la tension [42]**

$$U_{c_{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^t V_S(t) * dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U * dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T 0 * d(t) \quad (I. 21)$$

$$= \frac{U}{T} (\alpha * T - 0)U = U_{c_{moy}} = \alpha * U$$

1. **L298** : circuit intégré réalisant la fonction hacheur en pont.

Le circuit L298N est un double hacheur en pont qui peut changer la direction et l'intensité de la tension entre deux charges électriques.

. Les caractéristiques du module L298N sont :

- Valeur nominale du contrôleur de moteur 5-35 V
- Courant maximum (crête) 2 A
- Tension 5 V acceptés sur les broches d'entrée [14]



Figure I. 19 Module L298n [14]

2. **Brochage du Module de Contrôle de Moteur L298N :**

ENA et ENB : Activez ou désactivez les ponts A et B (deux ponts en H du L298N, chacun constitué de quatre transistors bipolaires).

IN1 et IN2 : Définissent le sens du courant à la « sortie » du pont A (c'est-à-dire pour le premier moteur)

IN3 et IN4 : Définissent le sens du courant à la « sortie » du pont B (c'est-à-dire pour le deuxième moteur)

3. Pilotage PWM (L298N) :

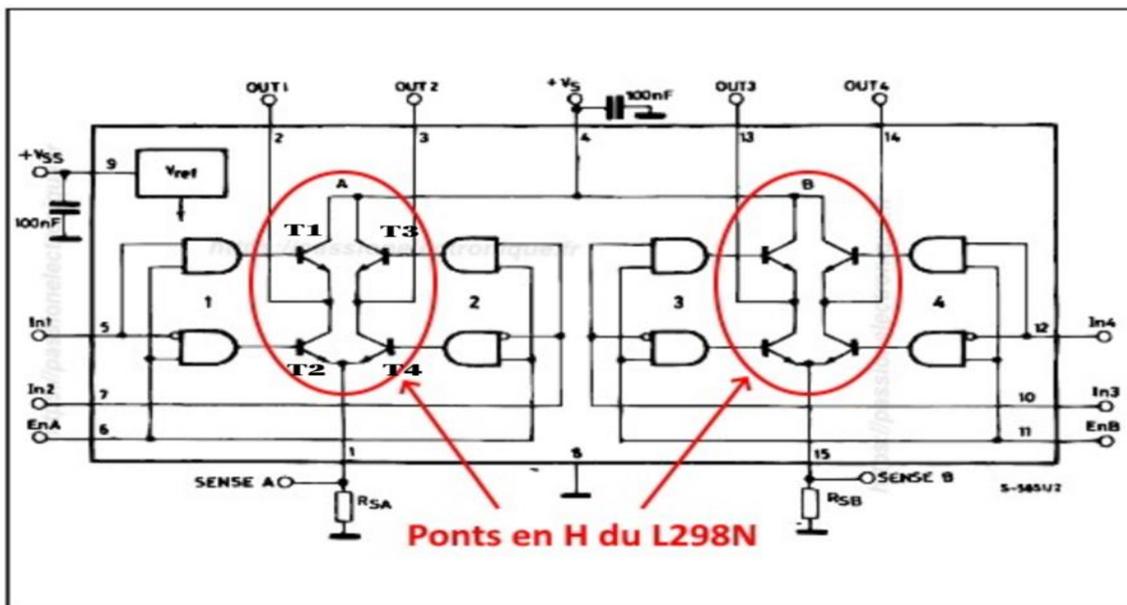


Figure I. 20 schéma interne du L298N [11]

Pour comprendre le fonctionnement du L298N, il faut d'abord considérer deux aspects.

- Le fait que le moteur puisse tourner dans un sens ou dans le sens opposé (comme le permet). « H-bridge »)
- Il y a aussi le fait que grâce au signal PWM envoyé à la broche de commande

On peut contrôler la vitesse du moteur. Ces deux aspects permettent au L298N de contrôler le sens de rotation du moteur et de modifier sa vitesse. C'est pourquoi nous allons maintenant y regarder de plus près. [11]

- Le schéma d'alimentation du moteur pour $in1=1$ et $in2=0$ et $EnA=1$
 $V_s \rightarrow T1 \rightarrow (out1, out2) \text{ moteur} \rightarrow T2 \rightarrow R_{sa} \rightarrow \text{masse} \rightarrow \text{alimentation du moteur}$
- Le schéma d'alimentation du moteur pour $in1=0$ et $in2=1$ et $EnA=1$
 $V_s \rightarrow T1 \rightarrow (out1, out2) \text{ moteur} \rightarrow T2 \rightarrow R_{sa} \rightarrow \text{masse} \rightarrow \text{alimentation du moteur}$
- $Out1 \rightarrow \text{moteur} \rightarrow T3 \rightarrow T2 \rightarrow out2$ (le moteur est court-circuité) phase DRL

- Le montage ne nécessite pas de diodes de roue libre DRL → phase de court-circuit (cas précédent)

I.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini le moteur à courant continu, puis nous avons pris les bases nécessaires pour comprendre la PWM et L298N pour contrôler les moteurs à courant continu. La combinaison de ces technologies permet un contrôle précis et efficace de la vitesse et de la direction des moteurs à courant continu.

Chapitre 2 : La régulation de la vitesse du MCC

II. 1 Introduction

La régulation est une partie intelligente d'un système contrôlé.

Il intègre des fonctions de correction dont la mission est d'améliorer le fonctionnement du procédé, en assurant d'une part une bonne stabilité et d'autre part une réactivité.

Il existe trois méthodes de correction de base : proportionnelle, différentielle et intégrale, qui peuvent être utilisées individuellement pour corriger des Performances spécifiques. [4]

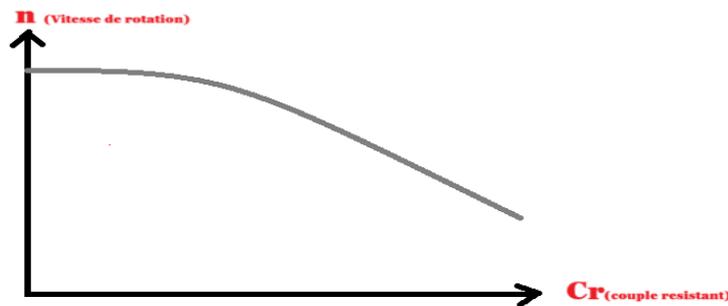


Figure II. 1 variation de la vitesse de rotation significativement le couple résistant

Les caractéristiques du moteur sont les suivantes.

1. Vitesse
2. Tension d'alimentation
3. Courant maximum circulant vers le moteur
4. Couple

II. 2 Problématique :

Comme tous les moteurs électriques, les moteurs à courant continu doivent être considérés comme des générateurs de couple.

Ce couple est transféré à la charge et commence à tourner.

La vitesse d'un ensemble moteur et charge n'est pas spécifiée par le moteur, mais par les caractéristiques de couple et de vitesse de l'ensemble moteur et charge.

Pour modifier la vitesse d'un assemblage, il faut ajuster le couple transféré à la charge par le moteur.

Si vous souhaitez augmenter la vitesse de l'unité de charge du moteur, vous devez augmenter le couple fourni par le moteur, et ce couple sera supérieur au couple de charges.

Un moment d'accélération est créé et la vitesse de la charge augmente.

Par conséquent, quel que soit le type de moteur utilisé, l'ensemble du contrôle de vitesse variable peut être divisé en deux boucles de contrôle : le circuit de courant et le circuit de vitesse [47].

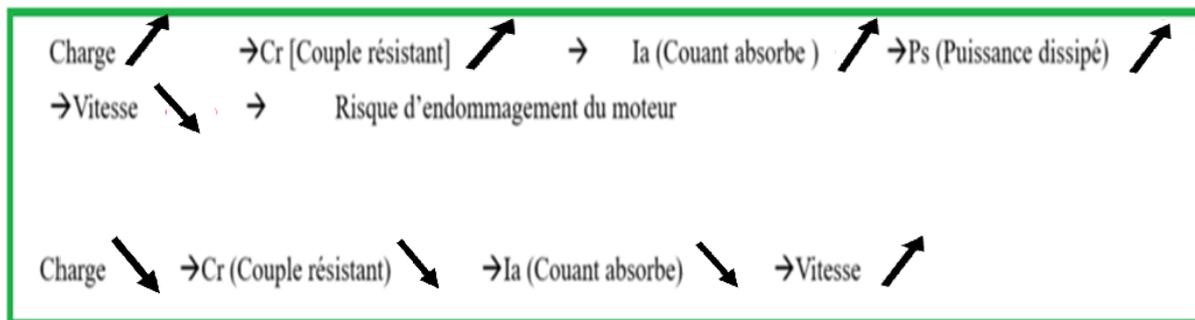


Figure II. 2 Problématique de la régulation de la vitesse du mcc

II. 3 Objectifs de la régulation :

La mise en œuvre d'un système de contrôle de la vitesse d'un moteur à courant continu via un microcontrôleur PIC16F877 avec un codeur de vitesse et un capteur de courant intégré lui permet de maintenir une vitesse constante, quelles que soient les variations du couple résistif et de la consommation de courant.

À l'aide d'un contrôleur PID, le système ajuste dynamiquement la tension appliquée au moteur, garantissant un contrôle précis et stable.

Vitesse constante \forall Charge, Cr, I (absorbe) \leq I (nominal).

II. 5 Système en boucle ouverte :

La boucle ouverte n'utilise pas la valeur de sortie pour corriger les erreurs.

Les boucles ouvertes (en théorie) ne fonctionnent que si le modèle de processus est parfait et qu'aucune interruption ne se produit.

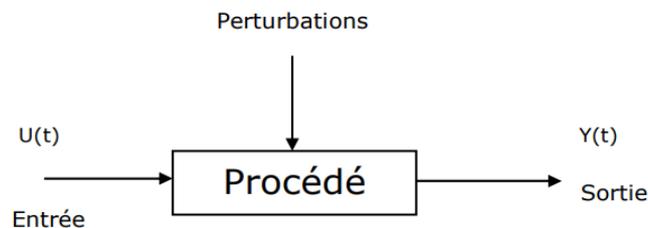


Figure II. 3 Procédé en boucle ouverte [21]

En pratique, l'utilisation de la boucle ouverte n'est pas recommandée en raison de la superposition de nombreux phénomènes tels que les erreurs de mesure, le bruit de fond et les interférences [21].

Le contrôle en boucle ouverte est le plus souvent utilisé lorsque le retour du système n'est pas requis ou difficile à mesurer.

Autrement dit, lorsque recevoir des commentaires sur les résultats obtenus n'a aucun sens ou est trop complexe [3].

II. 6 Système en boucle fermée :

Le processus de la figure représente une sortie Y , une perturbation d et une commande U .

La forme de la perturbation est généralement imprévisible et l'objectif est d'obtenir la sortie Y aussi proche que possible de la consigne Y_c souhaitée, quel que soit le maintien de la perturbation.

S L'une des possibilités de contrôle réside dans le fonctionnement par retour

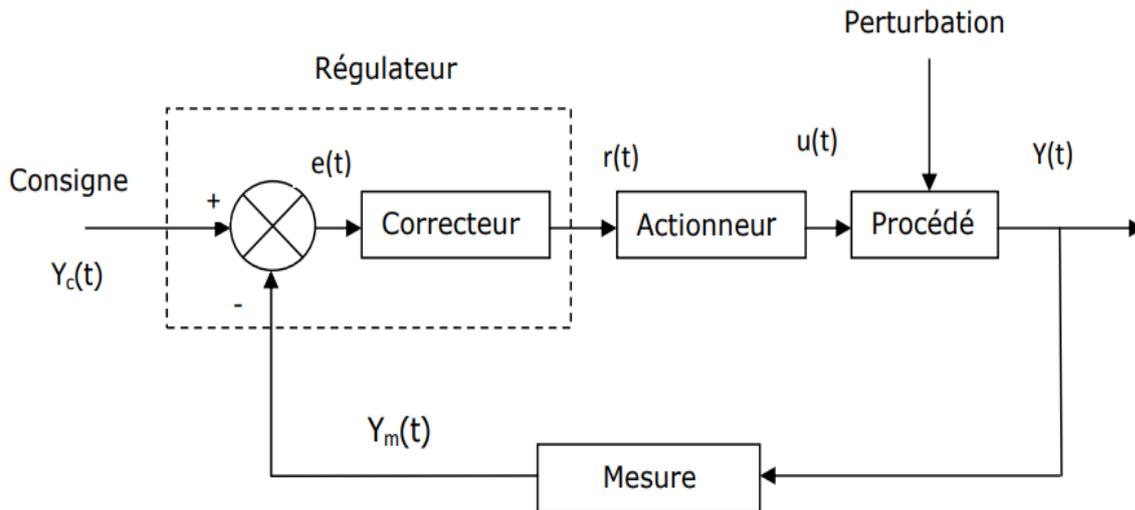


Figure II. 4 systèmes en boucle fermée [21]

d'information, qui est effectué par une boucle de contrôle fermée. [21]

$$G(p) = \text{FTBF} = \frac{\text{direct chain}}{1 + \text{direct chain} * \text{return chain}} \quad (II.1)$$

$$G(p) = \frac{N(P)}{C(P)} = \frac{\frac{\alpha 1}{1+p} k}{1 + (\frac{\alpha 1}{1+p} k * 1)} \quad (II.2)$$

$$G(p) = \frac{\alpha 1 * k}{1 + \tau 1 * p + \alpha 1 * k} \quad (II.3)$$

II. 4 Le régulateur proportionnel intégral dérivé (PID)

Un contrôleur PID (proportionnel, intégral, dérivé) est un système de contrôle qui vous permet d'améliorer les performances d'**asservissement**

C'est une combinaison de trois fonctions de base P, I et D.

Le terme I nous permet d'éliminer les erreurs statiques, et l'action D permet de meilleures performances en vitesse que le contrôleur PI.

Aux basses fréquences, le PID se comporte comme un PI et aux hautes fréquences, il se comporte comme un PD.

Ce contrôleur est le plus utilisé dans l'industrie et ses caractéristiques de correction peuvent être appliquées à plusieurs grandeurs physiques [44] [21]

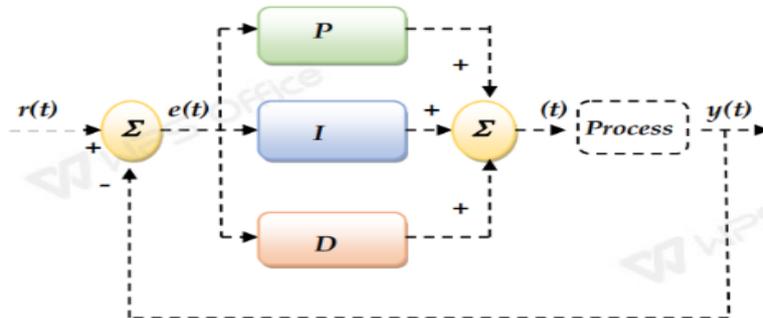


Figure II. 5 schéma fonctionnel du contrôleur PID dans une boucle [50]

Loi de commande du régulateur PID [44] :

$$G(p) = \text{FTBF} = \frac{\text{direct chain}}{1 + \text{direct chain} * \text{return chain}} \quad (\text{II. 4})$$

$$u(t) = k_p \epsilon(t) + k_i \int_0^t \epsilon d\tau + k_d \frac{d\epsilon(t)}{dt} \quad (\text{II. 5})$$

K_p : est le gain proportionnel

K_i : est le gain intégral (on utilise souvent/représentant le temps d'intégration)

K_d : est le gain dérivé,

$\epsilon(t)$ La fonction d'erreur (consigne - mesure),

$U(t)$: la fonction de commande.

Avec l'écart défini comme suit :

$$E(t) = w(t) - y(t) \quad (\text{II. 6})$$

Fonction de transfert du régulateur PID : [22]

$$GG_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \frac{1 + s.T_i + s^2.T_i.T_d}{s.T_i} \quad (\text{II. 7})$$

Variable proportionnelle (P) :

L'action proportionnelle est la plus intuitive des trois actions.

Un coefficient K_p est appliqué à l'erreur $Kpe(t)$.

La variable proportionnelle P est utilisée pour mesurer l'erreur actuelle et générer des actions correctives en fonction de celle-ci.

Le gain peut être ajusté en fonction des besoins du système et détermine la vitesse et la force de la réponse du système.

Chaque composant du PID joue un rôle dans l'équilibrage du comportement de l'ensemble du système.

[23] [46] À mesure que la constante de proportionnalité K_p augmente, la vitesse de réaction augmente.

Le compensateur proportionnel est exprimé par l'équation suivante [50] :

$$U(t) = K_p * e(t) + u_0 \quad (II. 8)$$

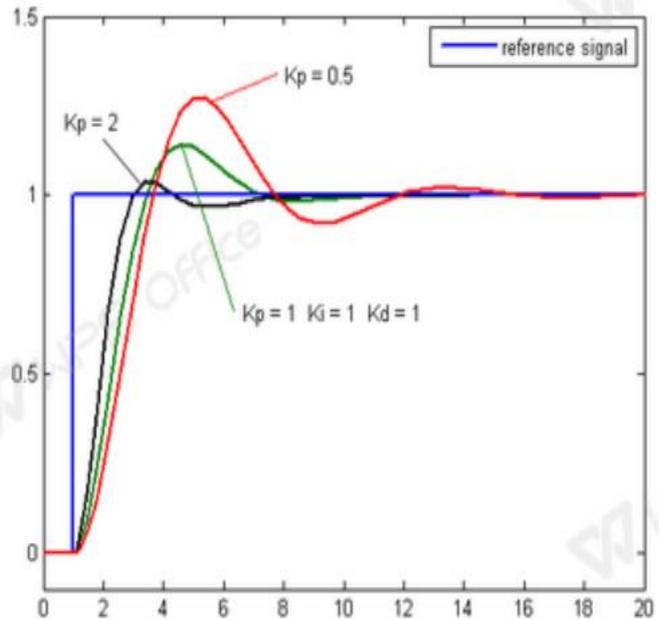
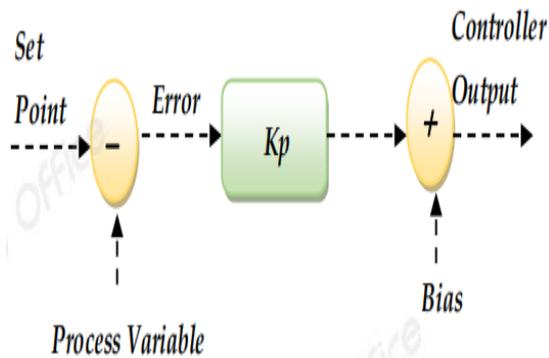


Figure II. 6 schéma fonctionnel du contrôleur P []

Variable intégrale (I) :

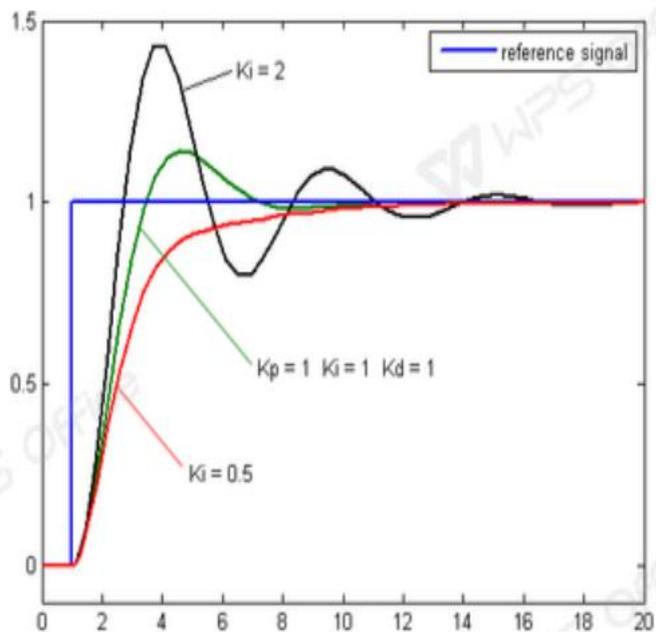
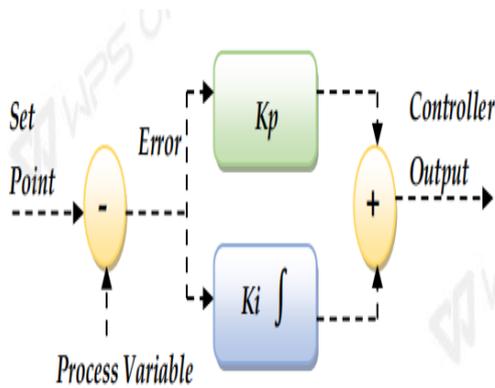
D'un autre côté, les effets intégraux augmentent l'instabilité et réduisent la vitesse. Les variables intégrales sont des composants importants qui permettent au système de compenser les erreurs accumulées dans le passé et de corriger les petites erreurs qui ne peuvent pas être faites correctement avec une seule variable proportionnelle.

D'un autre côté, cela augmente l'instabilité et réduit la vitesse. [23]

Un correcteur PI est obtenu en additionnant deux actions proportionnelle et intégrale.

L'équation est [50] :

$$U(t) = K_C * e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + u_0 \tag{II. 9}$$



Variable dérivée (D) :

Figure II. 7 schéma fonctionnel du contrôleur PI [50]

Les effets différentiels sont utilisés pour prédire une défaillance imminente, minimiser les fluctuations et amortir les réactions au changement.

Les gains associés à cette composante doivent être bien définis pour améliorer la vitesse et le temps de réponse requis par le système pour atteindre l'objectif global [23].

L'ajout de cette action au correcteur PI donne le PID bien connu exprimé par l'équation suivante :

$$u(t) = K_C * e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + K_d * \frac{d e(t)}{Dt} + u_0 \quad (II. 10)$$

Dans la figure ci-dessus, la réactivité de D est supérieure à celle du contrôleur PI et le temps de stabilisation de la sortie est également plus court.

La compensation du déphasage provoqué par le contrôleur I améliore la stabilité du système.

L'augmentation du gain différentiel augmentera la vitesse de réponse.

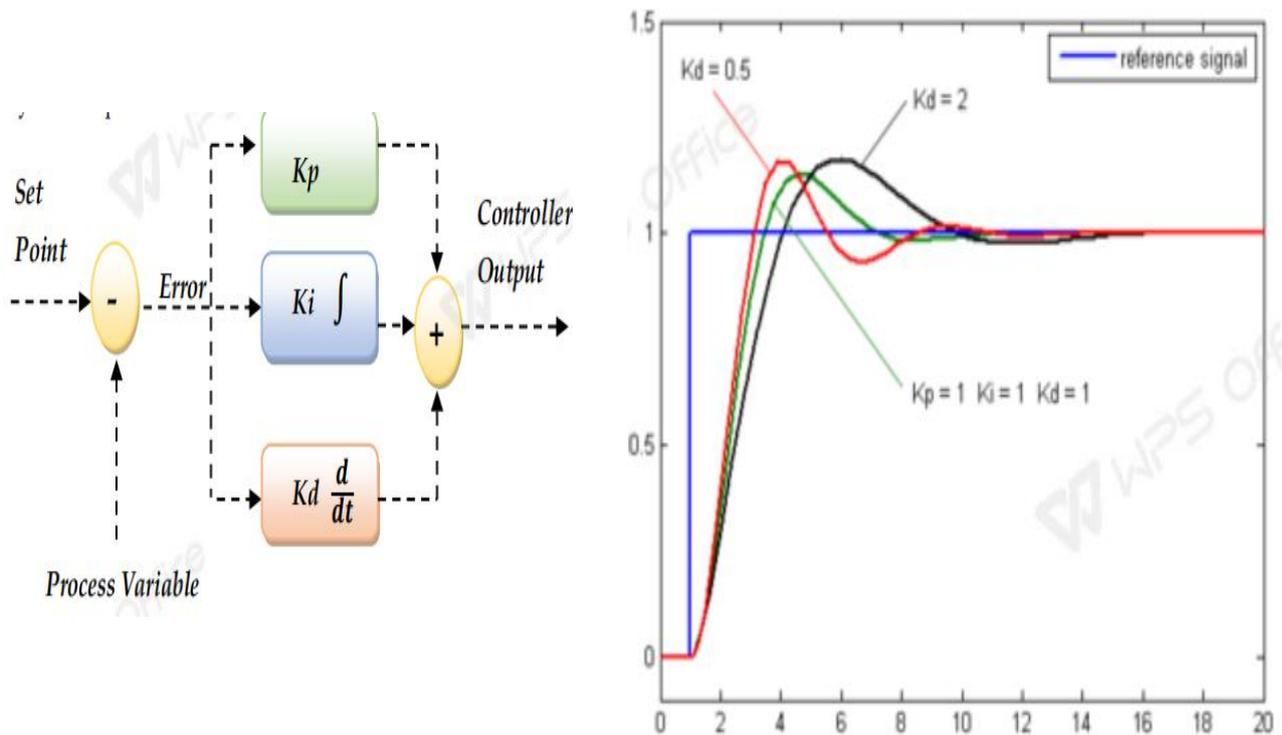


Figure II. 8 schéma fonctionnel du contrôleur PID [50]

Pour trouver le gain statique K_f et la constante de temps τ_f , on divise par $(1 + \alpha_1 K)$ et on trouve ce qui suit :

$$G(p) = \frac{\frac{\alpha_1}{1+\alpha_1 k} * k}{\frac{\tau_1}{1+\alpha_1 k} * p + 1} = \frac{K_f}{1 + \tau_f p} \quad \text{where } K_f = \frac{\alpha_1}{1+\alpha_1 k} * k \text{ and } \tau_f = \frac{\tau_1}{1+\alpha_1 k} \quad (\text{II. 11})$$

II.7 Fonction de transfert d'un mcc a excitation séparée :

On cherche à établir un modèle dynamique (fonction de transfert) de la machine à courant continu à excitation indépendante

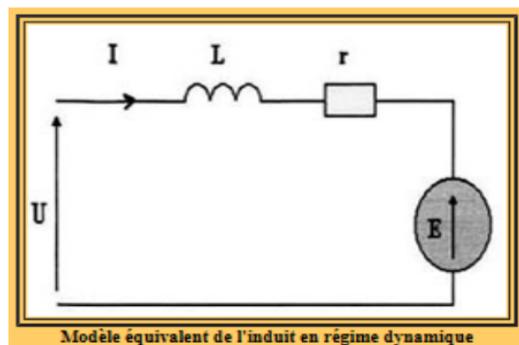


Figure II. 9 Schéma équivalent de l'induit

a) Equations Electromécanique du moteur à courant continu en régime dynamique

On a donc deux relations de proportionnalité entre la f.é.m. E et la vitesse du rotor

$$\Rightarrow E = K \times \Omega \quad (\text{II. 12})$$

Et un moment du couple électromagnétique directement proportionnel au courant d'induit

$$\Rightarrow T_{em} = K \times I \quad (\text{II. 13})$$

b) Équations électriques :

La tension d'induit (en convention récepteur)

$$U(t) = R \cdot i(t) + L \frac{di}{dt}(t) + e(t) \quad (\text{II. 14})$$

c) Équation mécanique :

Le principe fondamental de la dynamique (PFD) nous permet d'écrire

$$J \frac{d\Omega}{dt} = T_u - T_r \quad \text{avec } T_u = T_{em} - T_p \quad (\text{II. 15})$$

On suppose que le moment du couple de perte est de la forme : $T_p = f \cdot \Omega$ (5)

F : coefficient de frottement visqueux

$$\boxed{J \frac{d\Omega}{dt} = T_{em} - f\Omega - T_r} \quad (\text{II. 16})$$

d) Équations électromécaniques dans le domaine de Laplace

La transformée de Laplace de l'équation

$$U(p) = R \cdot i(p) + L p \frac{di}{dt}(p) + e(p) \quad (\text{II. 17})$$

Est :

$$U(p) = R I(p) + L I p(p) + K \Omega \quad (\text{II. 18})$$

- La transformée de Laplace de l'équation $E = K \times \Omega$ est : $E = K \times \Omega(p)$ (II. 19)

- La transformée de Laplace de l'équation $J \frac{d\Omega}{dt} = Tem - f\Omega - Tr$ est : $J\Omega p(p) = KI - f\Omega(p) - Tr$ (II. 20)

Soit :

$$\boxed{\Omega(p) = \frac{KI - Tr}{Jp + f}} \quad J\Omega p(p) = KI - f\Omega(p) - Tr \quad (II. 21)$$

Fonction de transfert du moteur

On suppose que le moment du couple de pertes (qui est vu comme une perturbation) est négligeable devant le moment du couple électromagnétique ce qui donne:

$$\Omega(p) = \frac{KI}{Jp + f} \quad (II. 22)$$

Le courant I est donc :

$$I = \frac{(Jp + f)\Omega(p)}{K} \quad (II. 23)$$

$$\Omega(p) = \frac{KI}{JP + F} \quad (II. 24)$$

Et en remplaçant cette nouvelle expression de I(p) dans l'équation

$$U(p) = R. I(p) + LIp(p) + K\Omega \quad (II. 25)$$

On obtient :

$$U(p) = R \cdot \frac{(Jp + f)\Omega(p)}{K} + L \frac{(Jp + f)\Omega(p)}{K} p(p) + K\Omega$$

$$U = \frac{RJ\Omega p + Rf\Omega + LJ\Omega p^2 + Lf\Omega p + K^2\Omega}{K} \quad (II. 26)$$

$$\frac{U}{\Omega} = \frac{LJp^2 + (RJ + LJ)p + KJ + K^2}{K}$$

On peut maintenant exprimer la fonction de transfert en boucle fermée la vitesse de sortie par rapport à la tension d'entrée :

$$T = \frac{\hat{\Omega}}{U} = \frac{K}{LJp^2 + (RJ + f)p + f + K^2} \quad (II. 27)$$

Le schéma fonctionnel de réglage de vitesse par un régulateur de type PI est donné par la Figure II. 9 On suppose que le convertisseur présente une dynamique très rapide avec un gain unitaire

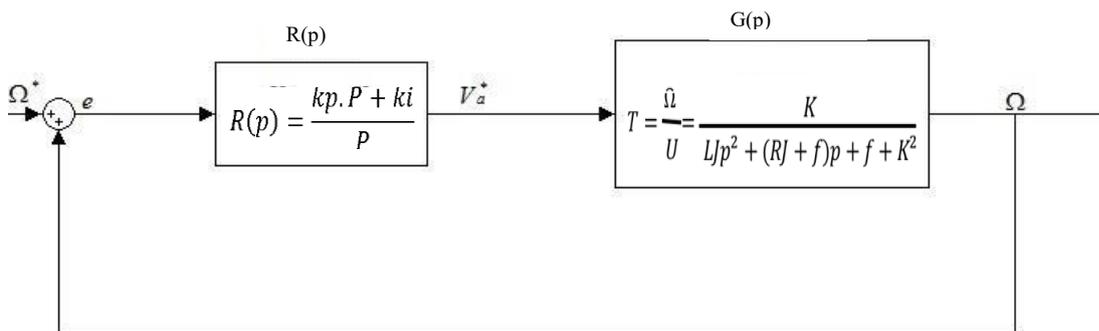


Figure II. 10 Schéma fonctionnel de réglage de vitesse par un régulateur de type PI

e) La fonction de transfert du moteur :

La fonction de transfert du moteur est donnée par [54] :

$$G(p) = \frac{Ke}{LJP^2 + (Rj + F)p + F + K^2} \quad (II. 28)$$

Pour des petits moteurs $\rightarrow L = 0$ et $F = 0$

(On néglige l'inductance L et coefficient de frottement f)

$$G(p) = \frac{Ke}{RjP + Ke^2} = \frac{\frac{1}{Ke}}{\frac{Rj.P}{Ke^2} + 1} \quad (II. 29)$$

On pose

$$K_0 = \frac{1}{K_e} \text{ Et } T = \frac{R_j}{K_e^2} \rightarrow G(p) = \frac{K_0}{1+Tp} \quad (\text{II. 30})$$

La fonction de transfert du Regulateurs PI est donnée par :

$$R(p) = Kp + \frac{K_i}{p} \rightarrow R(p) = \frac{Kp.P+K_i}{p} \quad (\text{II. 31})$$

f) La fonction de transfert en boucle fermée avec un régulateur PI :

$$H(p) = \frac{R(p).G(p)}{1+R(p).G(p)} \quad (\text{II. 32})$$

$$H(p) = \frac{\frac{Kp.P+K_i}{p} \cdot \frac{K_0}{1+Tp}}{1 + \frac{Kp.P+K_i}{p} \cdot \frac{K_0}{1+Tp}} \quad (\text{II. 33})$$

$$H(p) = \frac{K_0[Kp+K_i]}{P(1+Tp)+K_0(Kp+K_i)} \quad (\text{II. 34})$$

On utilise la méthode des compensations des pôles : dans cette méthode on pose :

$$\frac{K_p}{K_i} \cdot P + 1 = 1 + Tp \quad (\text{II. 35})$$

$$H(p) = \frac{K_0 \cdot K_i \left(\frac{K_p}{K_i} \cdot P + 1 \right)}{(1 + Tp) \left(P + \frac{K_0 \cdot K_i}{(1 + Tp)} \left[\frac{K_p}{K_i} p + 1 \right] \right)} \quad (\text{II. 36})$$

En utilisant H(p) s'écrit sous la forme suivante

$$H(p) = \frac{K_0 \cdot K_i}{P + K_0 \cdot K_i} = \frac{1}{1 + \frac{P}{K_0 \cdot K_i}} \quad (\text{II. 37})$$

Finalement, On obtient un système du 1^{er} ordre

$$H(p) = \frac{1}{1 + T_b p} \quad (\text{II. 38})$$

la constante du temps du système est noté T_{BF}

Le temps de monté du système en boucle fermé est Tr

$$Tr = 3T_{BF} \quad (\text{II. 39})$$

Tr Peut être mesuré en traçant la réponse du système en boucle fermée

$$T_{BF} = \frac{Tr}{3} \quad (\text{II. 40})$$

De l'équation (), on obtient

$$\frac{K_p}{K_i} = T \quad (\text{II. 41})$$

$$\frac{1}{K_0 \cdot K_i} = T_{BF} \quad (\text{II. 42})$$

$$K_p = TK_i \quad (\text{II. 43})$$

$$K_i = \frac{1}{K_0 \cdot T_{BF}} \quad (\text{II. 44})$$

$$\frac{K_p}{K_i} = \frac{Rj}{Ke^2} = T \rightarrow K_p = TK_i \quad (\text{II. 45})$$

$$\frac{1}{k_0 K_i} = T_{BF} \rightarrow K_i = \frac{1}{K_0 \cdot T_{BF}} = \frac{ke}{T_{BF}} \quad (\text{II. 46})$$

$$K_p = \frac{Ke}{T_{BF}} \cdot \frac{Rj}{Ke^2} = \frac{Rj}{T_{BF} \cdot Ke} \quad (\text{II. 47})$$

Application numérique :

$$Ke=1,26 \quad j=0.0607 \quad Ra=452 \quad La=0.0072H$$

$$K_i = \frac{1.26}{20 \times 10^{-3}} \rightarrow P_i = \frac{4 \times 0.067}{20 \times 10^{-3} \times 1,26} \quad (\text{II. 48})$$

II. 7 L'encodeur optique incrémental

Les encodeurs incrémentaux fournissent un nombre spécifique d'impulsions par tour (PPR), ou par pouce ou millimètre de mouvement linéaire.

Un encodeur incrémental se compose de trois composants de base : un disque à fentes, une source de lumière et deux photodétecteurs, comme le montre la figure

Une source de lumière éclaire un disque avec un motif radial d'éléments transmissifs et réfléchissants également espacés appelés incréments de codeur.

Le photodétecteur de quadrature mesure la quantité de lumière traversant le disque à fentes et produit deux signaux d'impulsion de sortie quadratures désignées par A et B.

Les changements vers le haut et vers le bas du signal d'impulsion sont comptés comme une mesure de la position de l'encodeur [51].

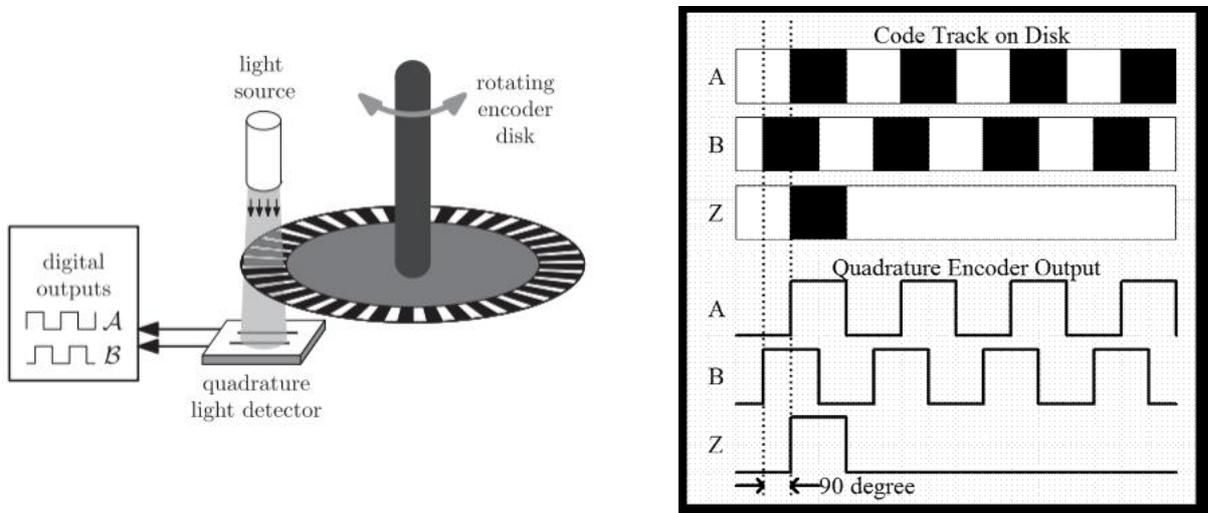


Figure II. 9 Encodeur

Les signaux incrémentaux en quadrature sont généralement décodés pour obtenir jusqu'à 4x impulsions de base par tour (PPR).

Le décodage en quadrature compte à la fois les fronts montants et descendants sur les canaux A et B.

Les différents schémas de décodage orthogonal sont présentés dans la figure suivante [51] :

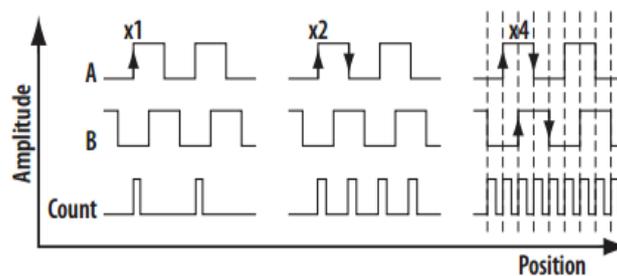


Figure II. 10 decodation

Les impulsions du codeur pendant un intervalle d'échantillonnage peuvent être converties en vitesse du moteur à l'aide de l'équation :

$$C_m = \pi D_n / n C_e \quad (\text{II. 49})$$

Où :

C_m = facteur de conversion qui traduit les impulsions du codeur en déplacement linéaire de la roue

D_n = diamètre nominal de la roue (en mm)

C_e = résolution du codeur (en impulsions par tour)

N = rapport de démultiplication du réducteur entre le moteur
(où le codeur est fixé) et la roue motrice

II. 8 Conclusion :

Ce chapitre explique en détail le fonctionnement des contrôleurs PID et l'encodeur optique incrémental en définissant le rôle de chaque paramètre pour contrôler de bonnes performances (temps de réponse court, temps de réponse court, bonne réduction du bruit, etc. et une bonne précision en régime permanent).

Chapitre 3 : Étude du microcontrôleur PIC16f877A

III.1 Introduction :

PIC est un microcontrôleur d'interface périphérique développé par General Instruments Microcontrôleurs en 1993.

Le PIC c'est une unité de traitement d'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des périphériques internes permettant de faciliter l'interfaçage avec le monde extérieur sans nécessiter l'ajout de composants externes.

Il est contrôlé par logiciel et programmé pour effectuer diverses tâches.

Les microcontrôleurs PIC sont utilisés dans diverses nouvelles applications, notamment les smartphones, les accessoires audios et les applications grand public ou professionnelles.

Classification des Pics de micro chip :

Actuellement, les modèles micro chip sont classés en 3 grandes familles, comportant chacune plusieurs références. Ces familles sont :

Baseline : les instructions sont codées sur 12 bits.

Mid-line : les instructions sont codées sur 14 bits.

High-End : les instructions sont codées sur 16 bits [35].

III.2 Sélection du microcontrôleur PIC16F877A :

III.2.1 Pourquoi PIC16F877A :

La sélection du microcontrôleur PIC16F877A est importante ? Il est utilisé dans ce projet en raison de sa portée, de sa taille, de sa facilité d'utilisation et de son coût d'assemblage. Le PIC16F877A dispose de 5 ports d'E/S, d'une capacité de mémoire de programme flash de 8 Ko pour amener vos applications informatiques au point de mouvement, et de 368 octets de mémoire RAM distribuée pour permettre plus de variables dans vos programmes. 10 L'USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmetteur) Le PIC 16F877A est un convertisseur analogique numérique, cadencé jusqu'à 20 Hz, tension de fonctionnement de 2 V à 5,1 V, courant de broche d'entrée/sortie jusqu'à 25 mA

et un module de communication qui permet également la transmission et la réception. Possède des instructions très puissantes qui réduisent le besoin de développement de programmes, en particulier lors de l'utilisation d'un logiciel de Programmation telle que CCS PICC, un langage de programmation de haut niveau. Il est simple, léger et optimisé par rapport à l'assembleur et possède de nombreuses procédures et fonctions prédéfinies spécifiques au PIC 16F877A. La tâche principale de CCS PICC est de vérifier la cohérence du code au niveau des problèmes complexes. H. Offre la possibilité de vérifier les erreurs afin de les corriger lors de la programmation. En fait, la principale raison du choix d'un microcontrôleur PIC est la possibilité de s'adapter au protocole de connexion RS232, ainsi que l'option d'un convertisseur A/N qui répond aux exigences du côté acquisition.

III.2.2 Architecture externe du PIC 16F877A :

Chaque port du microcontrôleur est associé à deux registres. Par exemple, le port C ; ses registres sont PORTC et TRISC.

Le registre TRISC détermine si le port est une sortie ou une entrée. En outre, vous pouvez attribuer des valeurs à chaque broche indépendamment.

– La configuration du PORT A fonctionné comme un port d'entrée analogique, une E/S numériques ou une sortie PWM. Le port A a six broches qui sont de la broche 2 à 7 ; étiqueté comme RA0 à RA5.

– La configuration du PORT B fonctionne comme une entrée numérique, une entrée analogique, une capture d'entrée de temporisateur, une comparaison de sortie de temporisateur, une entrée PWM. Le port B a 8 broches, c'est-à-dire, de la broche 33 à 40 ; étiqueté comme RBO à RB7 [38].

– La configuration du PORT C'est un module compteur/timer (entrée ou sortie), UART, et SPI. Le port C possède également 8 broches. Les 4 premières sont de la broche 15 à 18, et les 4 autres sont de la broche 23 - 26. Ces broches sont RCO à RC7

- Les configurations du PORT D sont des broches d'entrée numérique, d'entrée analogique et de sortie de minuterie.
- Le port D comporte également 8 broches. Les 4 premières sont de la broche 19 — 22, et les autres sont de la broche 27 — 30. Ces broches sont RD0 à RD7
- Le PORT E est réservé à l'usage de l'usine. Il a trois broches 8 — 10, qui sont RE0 à RE2.
- VDD et VSS sont des broches d'alimentation, tandis que MCLR est la broche d'effacement du maître.
- Le PIC16F877A possède jusqu'à 18 broches GPIO qui permettent de configurer le contrôleur en entrée ou en sortie à l'aide des registres associés.
- En plus des broches GPIO, il y a d'autres broches dédiées au PIC16F877A sur sa surface supérieure.
- VDD est la broche de tension d'alimentation positive, tandis que VSS est la référence de masse.
- Le PIC16F877A dispose de 23 broches d'E/S, divisées en deux banques : la banque A et la banque B.
- Chaque broche E/S possède un bit unique qui peut fonctionner comme entrée ou sortie lorsqu'il est assigné.

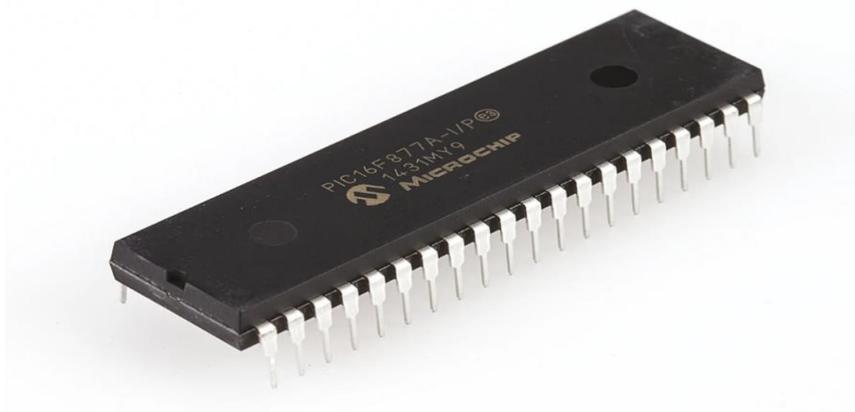


Figure III. 1 PIC16F877A

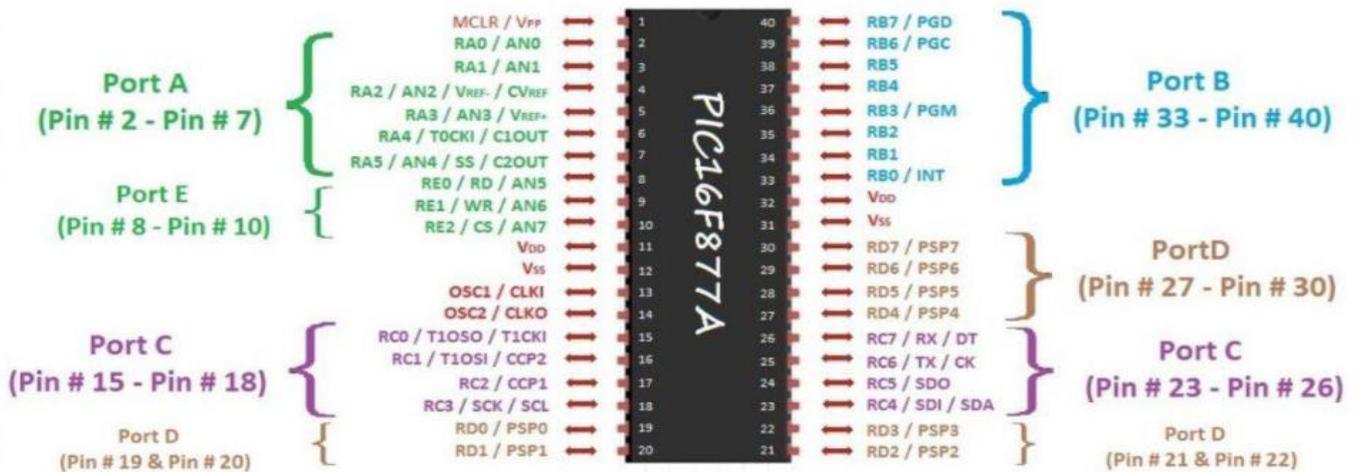


Figure III. 2 Architecture externe du PIC 16F877A

III.2.3 Architecture interne du PIC 16F877A :

- La structure interne d'un microcontrôleur comporte typiquement :
- Une unité de calcul et de commande (CPU).
- De la mémoire de donnée (RAM, EEPROM).
- De la mémoire programme (ROM, PROM, EPROM, EEPROM).
- Un compteur/temporisateur (timer) pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle.
- Des interfaces parallèles pour la connexion des entrées/sorties.
- Des interfaces série (synchrones et asynchrones) pour le dialogue avec d'autres unités.
- Un chien de garde (Watch dog) qui assure la surveillance du programme.
- Une sortie PWM (Pulse Width Modulation) pour la modulation d'impulsion.
- Un convertisseur analogique numérique et numérique analogique (CAN/CNA) pour le traitement des signaux analogiques [39].

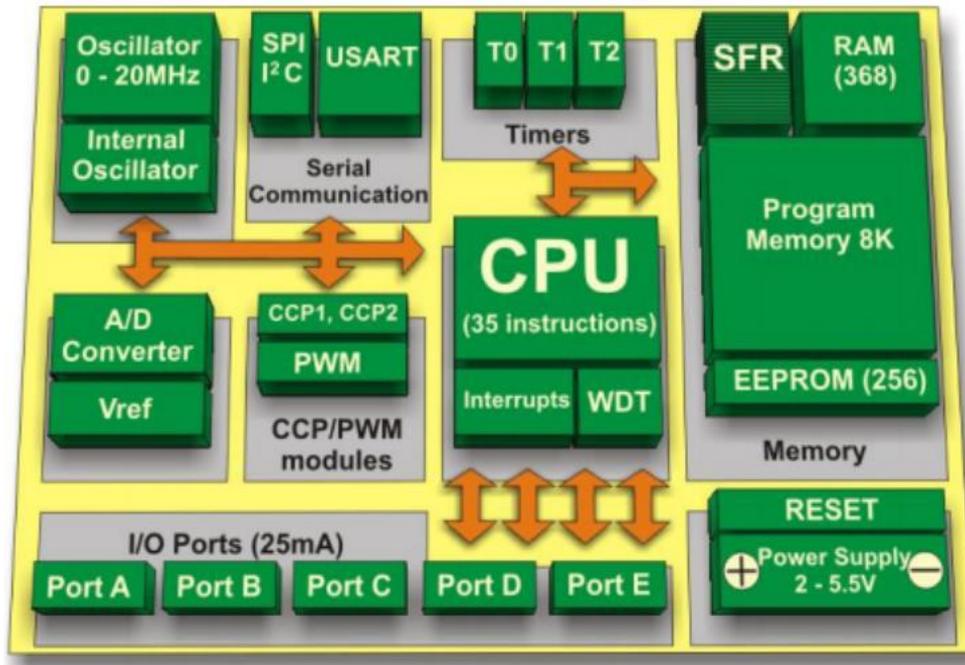


Figure III. 3 architecture interne de 16f877A [39]

III.3 Présentations des modules utilisés dans PIC 16F877A :

III.3.1 Les modules utilisé par PIC 16F877A

III.3.1.1 dispose de 3 timers :

1. Le Timer0 :

C'est un compteur 8 bits (0 à 255), il peut être incrémenté par des impulsions extérieures via la broche « RA4/T0CKI » du port A (mode compteur) ou par l'horloge interne « Focs/4 » (mode timer) [40].

2. Le Timer1 :

Le Timer1 fonctionne sur le même principe que le Timer0, mais avec un registre de comptage plus gros : 16 bits au lieu de 8, ce qui étend notablement ces capacités de comptage. De plus, il possède un mode de fonctionnement particulier : on peut l'utiliser en association avec un des modules CCP (modules de capture et de comparaison) [40].

3. Le Timer2 :

Le Timer2 a un fonctionnement différent des Timer0 et Timer1. C'est un compteur 8 bits avec pré diviseur et post-diviseur. On s'en sert pour générer des signaux carrés, ou, en association avec le module CCP, des signaux PWM.

Le Timer2 est un compteur 8 bits avec pré diviseur et post diviseur. C'est un registre en lecture et écriture. L'entrée du compteur est l'horloge cycle interne : Focs/4 qui passe à travers un pré diviseur programmable par 1, 4, 16. La sortie du compteur passe dans un post diviseur programmable sur 4 bits entre 1, 16 [40]. La fréquence est calculée comme suit :

$$T_{max} = T_{\text{Quartz}} \times \text{Valeur du prédiviseur fixe} \times \text{Valeur du précompteur réglage max} \times (\text{Valeur définie} + 1) \rightarrow F = 1/T_{max} \quad (\text{III. 1})$$

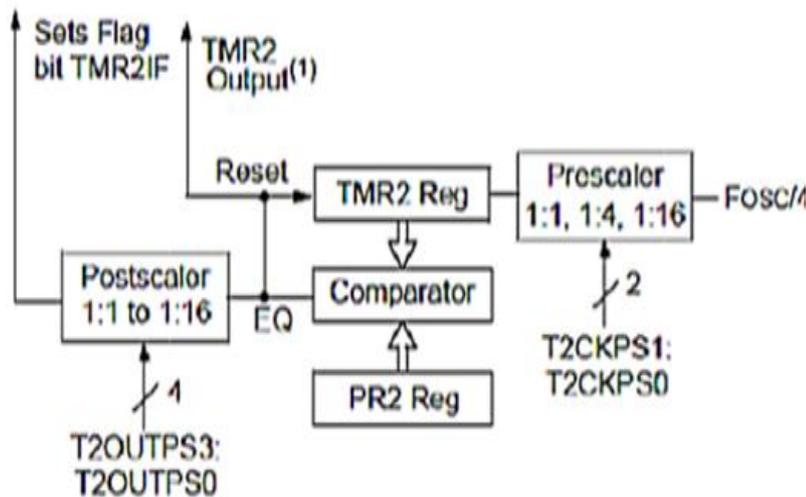


Figure III. 4 TIMER2

III.3.1.2 Le Convertisseur analogique numérique :

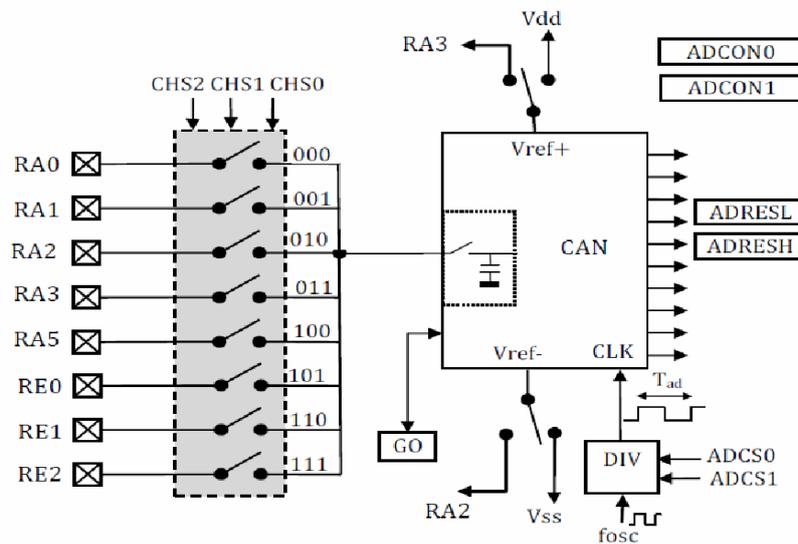


Figure III. 5 CAN

Le microcontrôleur PIC16F877 dispose d'un convertisseur analogique numérique à 8 ou 8 canaux avec une résolution de 10 ou 8 bits.

Un diagramme schématique est présenté ci-dessous.

L'entrée analogique peut être connectée à l'une des huit entrées analogiques externes.

Les entrées analogiques (RA0, RA1, RA2, RA3, RA4 et RA5 du port A) et (RE0, RE1 et RE2 du port E) doivent être configurées comme entrées à l'aide des registres TRISA et/ou TRISE disponibles.

Un échantillonneur de maintien est intégré et se compose d'un commutateur d'échantillonnage et d'une capacité de maintien de 120 pF [52].

La tension de référence qui permet d'ajuster la dynamique du convertisseur peut être sélectionnée parmi Vdd, Vss, Vr+ ou Vr-.

Le module est contrôlé par deux registres ADCON0 et ADCON1.

Le registre ADCON0 contrôle le fonctionnement de la fonction de conversion analogique numérique.

Cela vous permet de :

<p>Sélectionner la fréquence d'horloge du convertisseur</p> <p>ADCS1 : ADCS0</p> <p>00 : Fosc/2</p> <p>01 : Fosc/8</p> <p>10 : Fosc/32</p> <p>11 : Oscillator RC interne.</p>	<p>Choix de l'entrée analogique</p> <p>CHS2 : CHS1 : CHS0</p> <p>000 → channel 0, (RA0)</p> <p>001 → channel 1, (RA1) /VREF -</p> <p>010 → Channel 2, (RA2) VREF+</p> <p>011 → Channel 3, (RA3)</p> <p>100 → channel 4, (RA5)</p> <p>101 → channel 5, (RE0)</p> <p>110 → channel 6, (RE1)</p> <p>111 h 17 (RE2)</p>
--	--

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

- Go_nDone is the A/D conversion status bit.
1 = Démarre la conversion A/D. Ce bit est remis à "0" par hard.
 0 = La conversion A/D est terminée.
- ADON, Ce bit permet de mettre le module AN en service
1= Convertisseur A/D en service.
 0 = Convertisseur A/D à l'arrêt

Le registre de contrôle ADCON1

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

III.3.1.3 Configuration des E/S et de la tension de référence :

La broche 5 du port A et la broche 3 du port E peuvent être configurées comme entrées/sorties numériques ou entrées analogiques, et RA2 et RA3 peuvent également être configurés comme entrées de référence.

Compatible avec PCFG3, PCFG3, PCFG2, PCFG0 bits

PCFG3: PCFG0	RE2	RE1	RE0	RA5	RA3	RA2	RA1	RA0	V _{REF+}	V _{REF-}	A/R/N
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	8/0/0
0001	A	A	A	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	7/1/0
0010	N	N	N	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	5/0/3
0011	N	N	N	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	4/1/3
0100	N	N	N	N	A	N	A	A	V _{DD}	V _{SS}	3/0/5
0101	N	N	N	N	V _{REF+}	N	A	A	RA3	V _{SS}	2/1/5
011x	N	N	N	N	N	N	N	N	V _{DD}	V _{SS}	0/0/8
1000	A	A	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	RA3	RA2	6/2/0
1001	N	N	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	6/0/2
1010	N	N	A	A	V _{REF+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	5/1/2
1011	N	N	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	RA3	RA2	4/2/2
1100	N	N	N	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	RA3	RA2	3/2/3
1101	N	N	N	N	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A	RA3	RA2	2/2/4
1110	N	N	N	N	N	N	N	A	V _{DD}	V _{SS}	1/0/7
1111	N	N	N	N	V _{REF+}	V _{REF-}	N	A	RA3	RA2	1/2/5

Bit 7 : ADFM, bit de format de résultat A/D.

- Si ce bit est activé, le bit de résultat sera aligné à droite, sinon il sera aligné à gauche.

-H'1E' ADRESH de la page 0 : MSB de 10 bits de résultat.

- h'9E' ADRESL pour la page 1 : LSB de 10 bits de résultat [52].

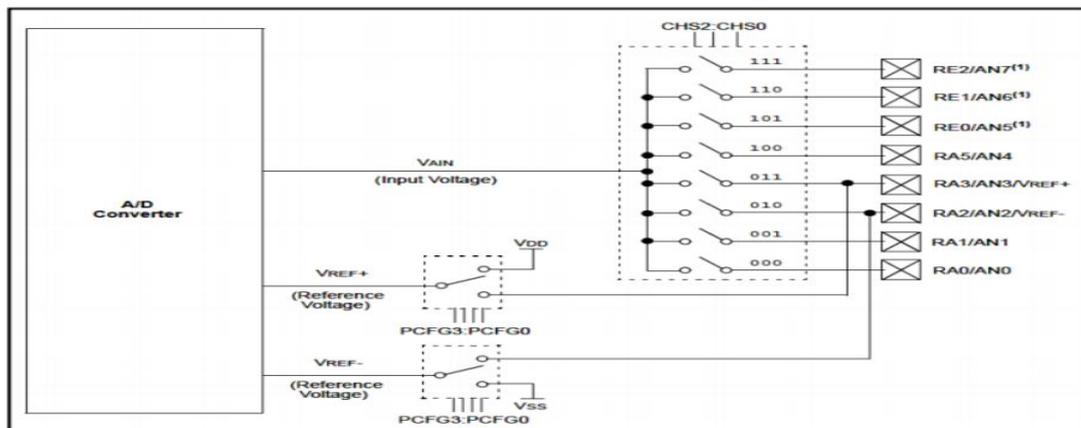


Figure III. 6 Schéma du module de conversion analogique numérique [41]

III.2 Les modules CCP1 et CCP2 :

Le PIC 16F877A dispose de deux modules CCP qui fonctionnent de manière identique.

Chaque module contient des registres de 16 bits pouvant fonctionner dans l'un des trois modes suivants :

- **Mode CAPTURE** : Des mesures de temps peuvent également être effectuées dans ce mode.
- **Mode de comparaison COMPARER** : Ce mode permet également la génération d'événements périodiques.
- **Le mode PWM** signifie « modulation de largeur d'impulsion » et peut également être appelé modulation de largeur d'impulsion.

Il s'agit d'un signal binaire à fréquence fixe dont le rapport cyclique peut être modulé à l'aide d'un logiciel.

Le rapport cyclique d'un signal binaire à fréquence fixe peut être défini comme le rapport entre le temps pendant lequel le signal est dans l'état « 1 » et le temps total du cycle.

Ces modules sont affectés aux broches RC2/CCP1 et RC1/T1OSI/CCP2 selon le mode sélectionné (timer 1 ou 2 utilisé).

Timer1 est utilisé en modes d'acquisition et de comparaison, et Timer2 est utilisé en mode PWM [40].

III.3 LCD :

LCD est un module très couramment utilisé dans les projets LCD16×2 signifie que 2 lignes de 16 caractères peuvent être affichées.

L'interface entre le microcontrôleur et l'écran LCD peut fonctionner en mode 4 bits ou 8 bits.

La différence entre les deux modes réside dans la manière dont les données sont envoyées à l'écran LCD.

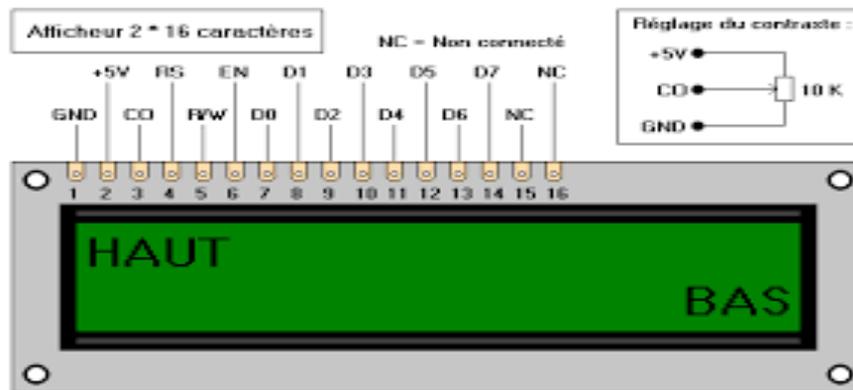


Figure III. 7 Afficheur LCD 2*16

Pour écrire un caractère 8 bits sur le module LCD en mode 8 bits, les données ASCII sont envoyées sur les lignes de données DB0-DB7 et vérifiées sur la ligne E, cependant, en mode 4 bits, seules 4 lignes de données sont utilisées.

Dans ce mode, les données ASCII 8 bits sont divisés en deux parties et envoyées séquentiellement sur les lignes de données DB4-DB7 (ou DB0-DB3), la ligne E contenant son propre échantillon de données.

L'avantage de la communication 4 bits est qu'elle réduit le nombre de broches connectées à l'écran LCD.

La communication 4 bits prend légèrement plus de temps qu'une communication 8 bits.

Le langage C CCS fournit « LCD.c » dans le fichier bibliothèque pour l'interface LCD HD44780 avec un contrôleur compatible avec la communication en mode 4 bits.

Insérez simplement ce fichier dans votre programme pour profiter de la bibliothèque CCS LCD.

Connexions LCD pour que la bibliothèque LCD fonctionne correctement, vous devez définir les connexions utilisées pour l'interface LCD dans votre programme.

Enable — E or EN
Register Select — RS
Read / Write – RW
Data 4 — DB4 or D4
Data 5 — DB5 or D5
Data 6 — DB6 or D6
Data 7 — DB7 or D7

Mode de transfert d'un octet en mode 4 bits

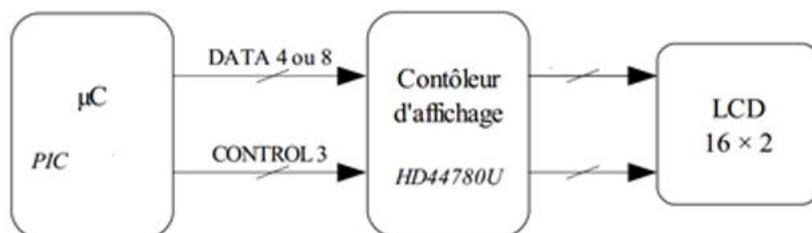


Figure III. 8 Communication avec l'afficheur LCD

L'écriture de commandes ou de données en mode 4 bits suit la séquence illustrée à la figure (III.9).

Les octets transférés sont b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1 b0, b7bit étant le plus significatif.

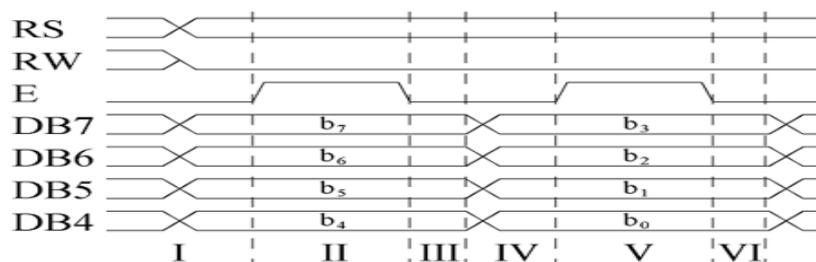


Figure III. 9 Transfert d'un octet en mode 4 bits

Phase I : RW=0 et E=0.

RS et DB7-DB4 sont placés dans le quartet de poids fort (MSB) (b7-b4) de la valeur souhaitée :

Phase II : E=1.

Phase III : $E=0$, le quartet transmis (poids le plus élevé) est pris en compte par la commande du front descendant.

Phase IV : DB7 à DB4 sont placés aux valeurs souhaitées : Low Ordre Nibble (LSB) (b3 à b0).

Phase V : $E=1$.

Phase VI : $E=0$, les quartets transmis (faible poids) sont pris en compte par le contrôle du front descendant [53].

III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons pris une étape de commande par le PIC 16F877A. Nous avons mis en évidence la nécessité des différentes options du PIC tels que : interruption ; conversion analogique numérique, pourquoi on a choisi le 16F877A, les modules ccp1 et ccp2 et LCD.

Chapitre 04 : Simulation et Réalisation

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va faire la réalisation du circuit pratique d'un circuit de commande de vitesse d'un moteur à courant continu via un pic 16F877 avec la génération des signaux de commande (pwm) via (CCP1 et CCP2) pour les sens de rotation 1 (horaire) et 2 (anti-horaire) respectivement. Le schéma de principe est bien illustré sur la figure.

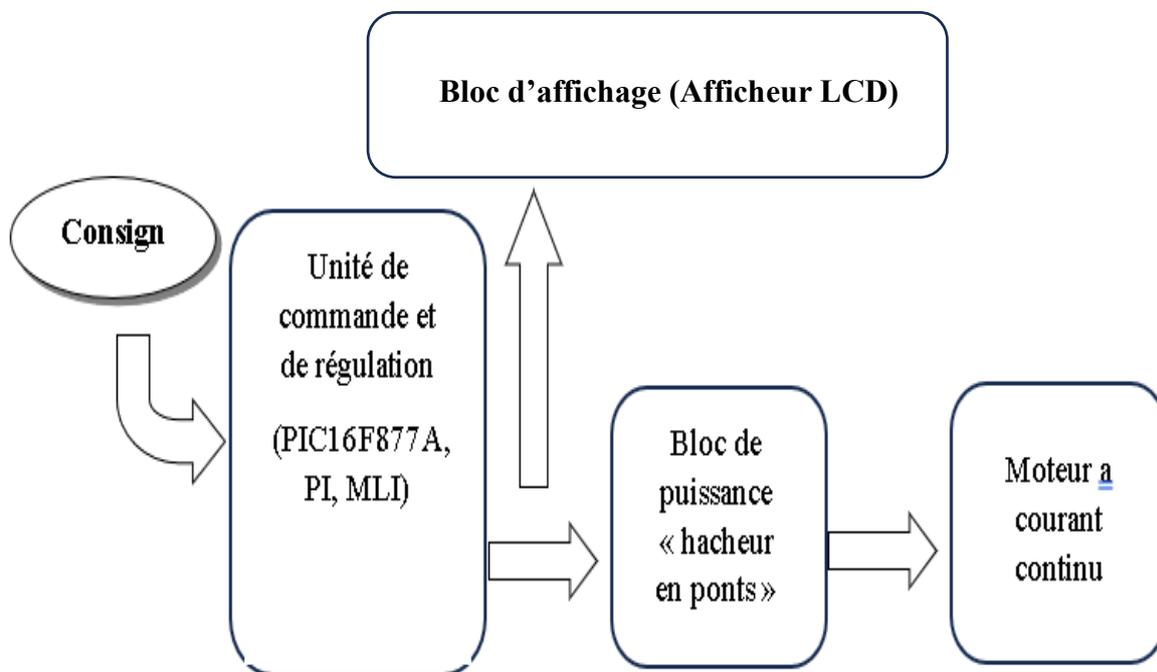


Figure IV. 1 Schéma de principe de la commande en vitesse d'un MCC

La consigne est une tension variable (potentiomètre), lue par le microcontrôleur qui délivre deux signaux PWM à fréquence fixe et rapport cyclique variable proportionnel à la tension de consigne, ces signaux sont les signaux de commande du hacheur en pont qui alimente notre moteur MCC.

IV.2.1 L'algorithme de commande de la vitesse

L'algorithme de commande de la vitesse est représenté sur la figure ci-dessous :

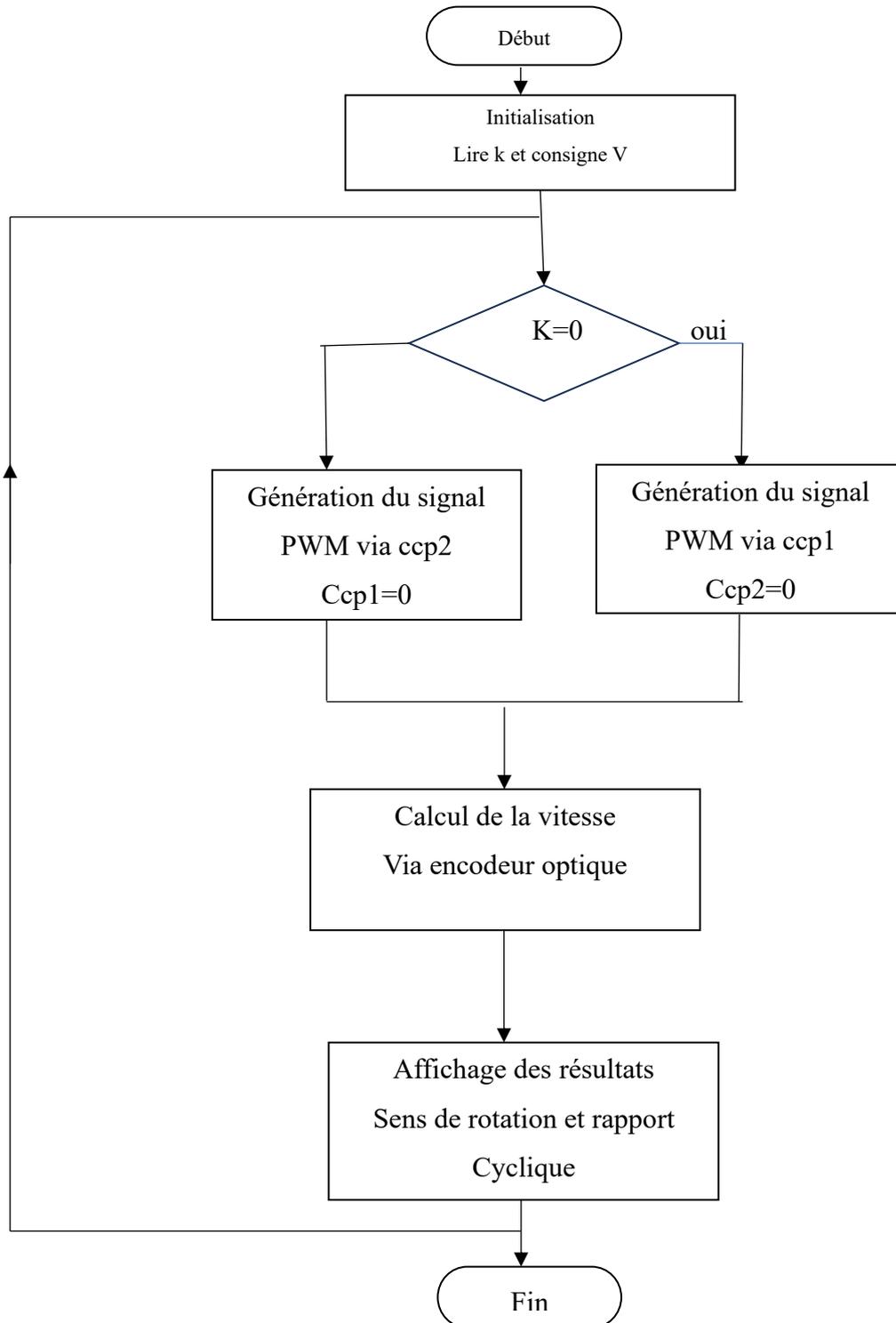


Figure IV. 2 Algorithme de la commande En vitesse d'un MCC

IV.2.2 Le schéma de simulation

Le schéma de simulation (sous Proteus) de la commande du moteur MCC à base de microcontrôleur est représenté sur la figure ci-dessous :

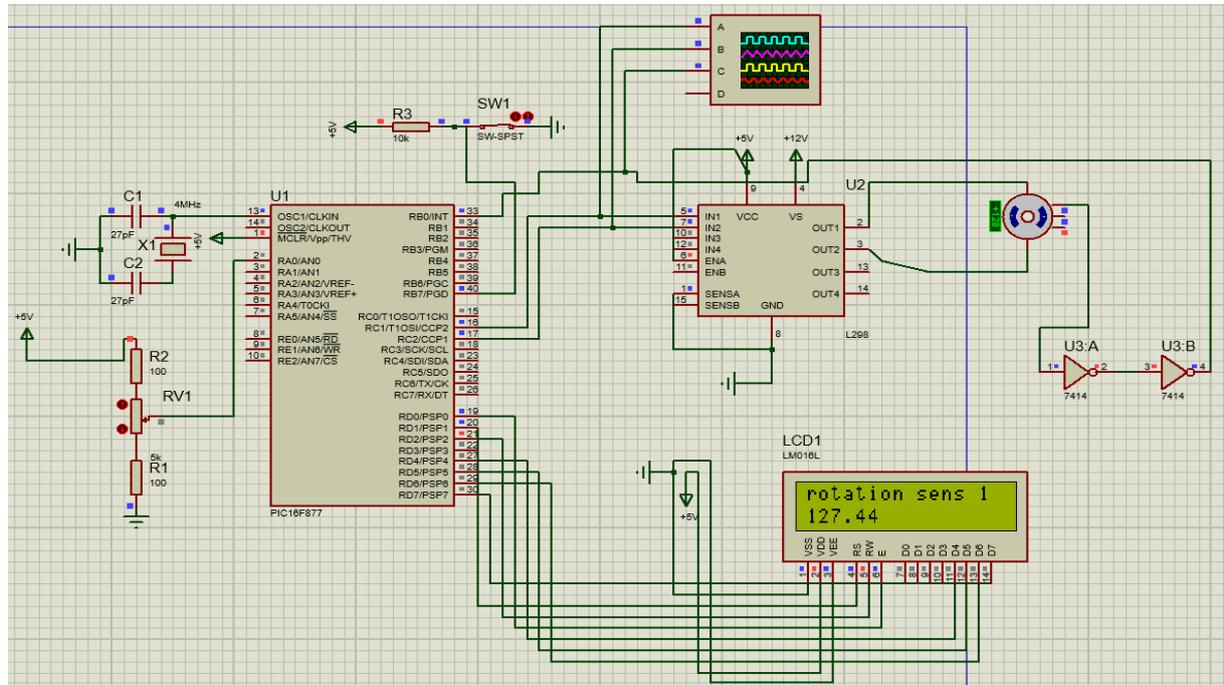


Figure IV. 3 Simulation de l'asservissement sous Isis Proteus

Le réglage du rapport cyclique A se fait par une résistance variable RV

Le contrôle de sens de rotation du moteur se fait par un sélecteur K

K => ouvert => moteur tourne à droite

K => Fermer => moteur tourne à gauche

IV.3 L'encodeur

L'encodeur délivre un signal carré dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de rotation, (24 impulsions par tour), la mesure de la fréquence de ce signal nous permet de mesurer la vitesse de rotation du moteur (tours/mn).

Comme premier résultat de simulation sous Proteus, les signaux de commande complémentaires pour les sens de rotation droite et gauche du moteur pour trois valeurs du rapport cyclique sont représentés sur la figure ci-dessous

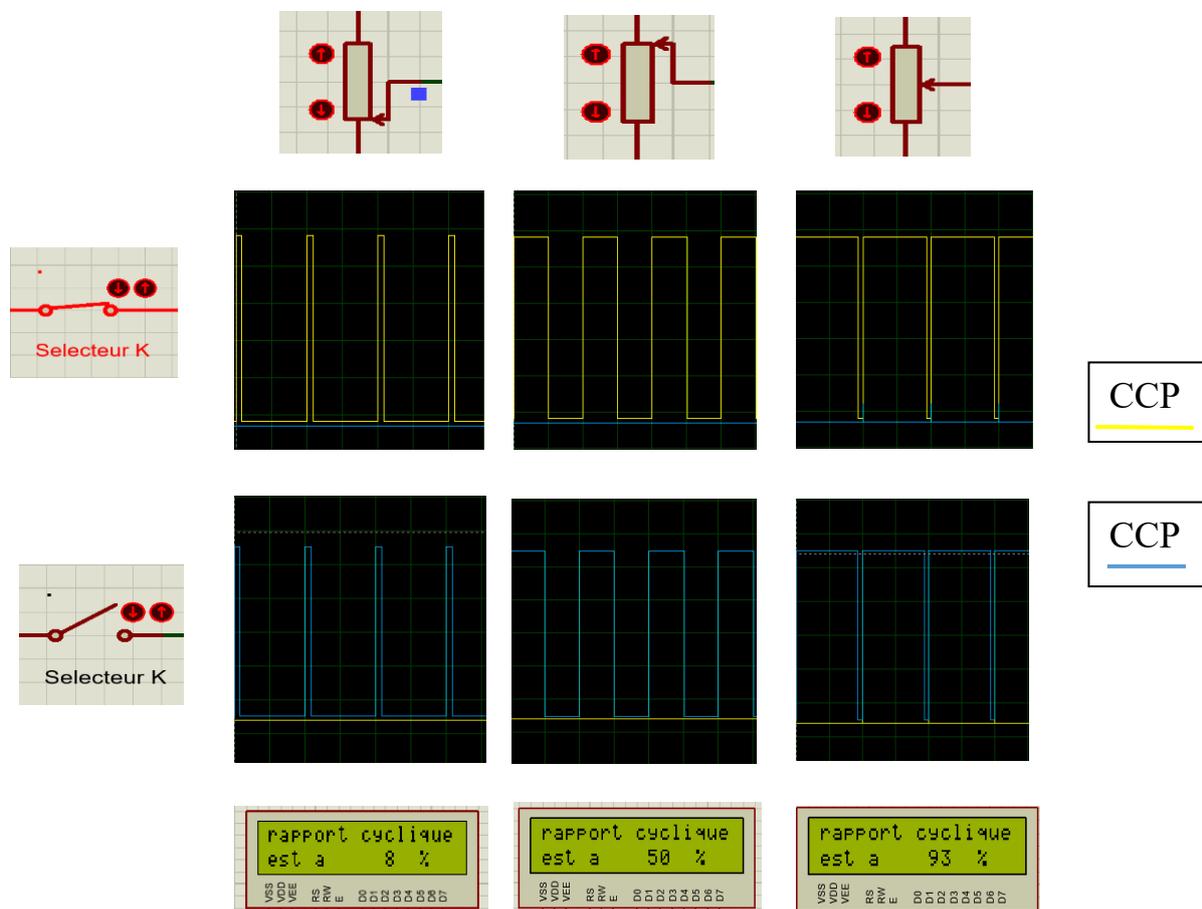


Figure IV. 4 signaux de commandes pour différentes valeurs du α

Les résultats de simulation pour deux valeurs de α ($\alpha=0.58$ et $\alpha=0.78$) pour deux différentes valeurs du couple de charge sont représentés dans la figure ci-dessous, il en découle que lors que le couple de charge augmente la vitesse diminue, résultat en concordance avec la théorie (voir chapitre II).

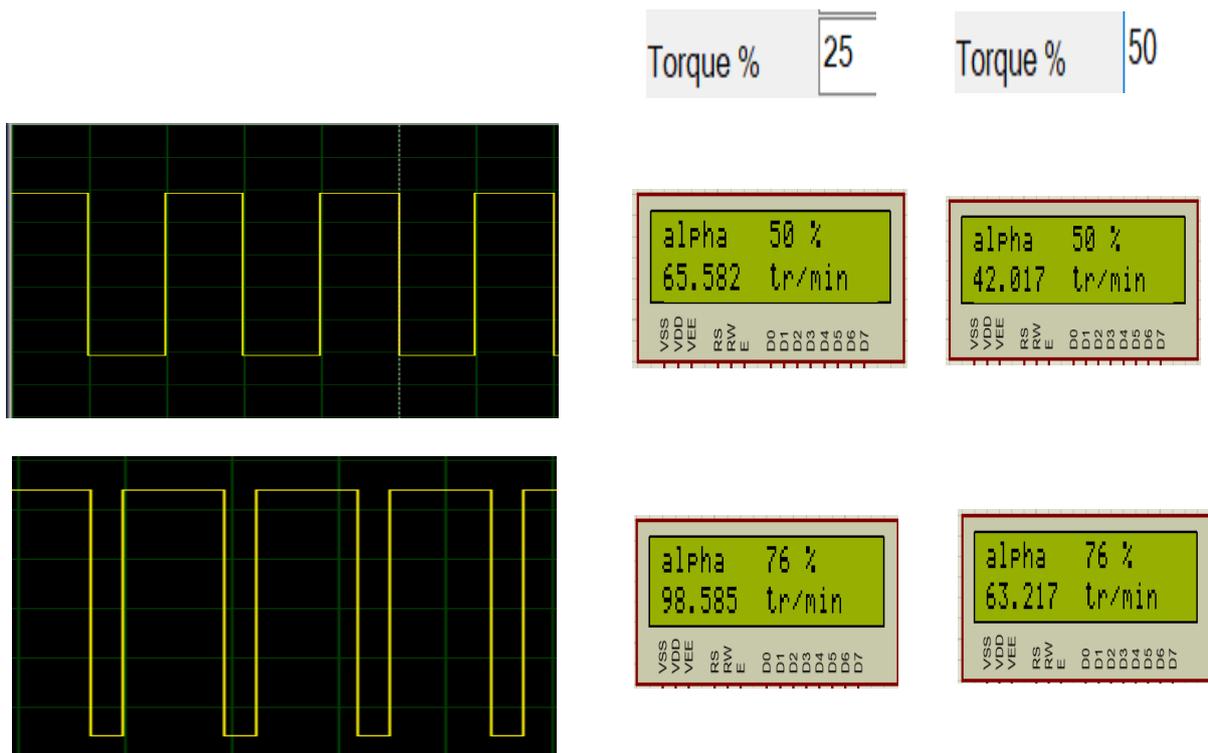


Figure IV. 5 vitesse de rotation pour différentes valeurs de α et de Cr

Le tableau suivant représente l'évolution de la vitesse de rotation en fonction du couple résistant (% du couple nominal) pour deux valeurs du rapport cyclique α ($\alpha=0.58$ et $\alpha=0.78$), il est tout à fait clair que la vitesse est plus influencée par le couple résistant pour des rapport α élevé.

Cr \ PWM	1%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
50	180,068	161,241	141,009	121,40	102,40	84,21	66,197	48,902	32,11
76	270,978	242,67	212,18	182,69	154,09	126,40	99,577	73,55	48,30

En utilisant petit moteur à courant continu, muni d'un encodeur optique rotatif et un tachymètre



Figure IV. 6 moteur à courant continu

L'encodeur optique nous donne un signal carré, en mesurant sa fréquence, la vitesse de rotation du moteur peut être mesurée en utilisant la formule suivante

$$V=f*60/nf$$

Avec nf : nombre de fente de l'encodeur.

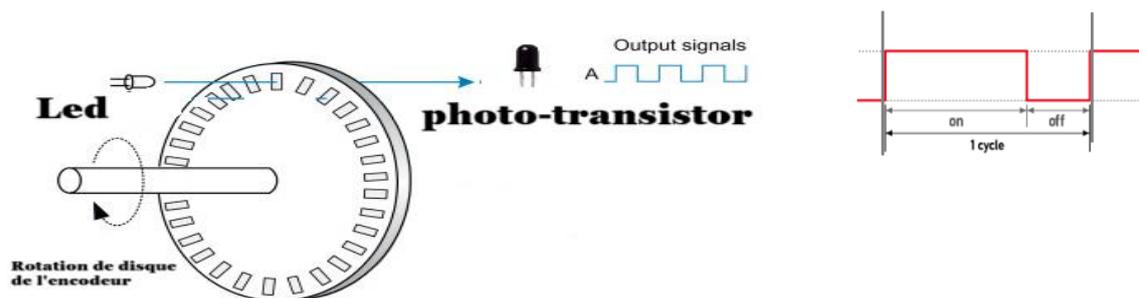
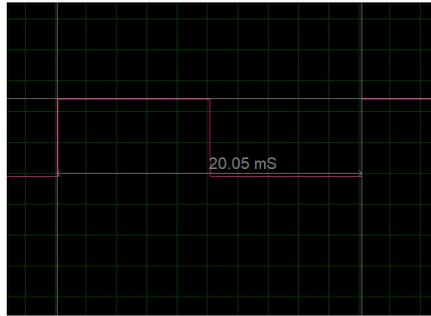


Figure IV. 7 principe de mesure d'un encodeur

Pour valider le programme, on a mesuré la fréquence de certains signaux comme le montre la figure ci-dessous, ou les fréquences mesurées avec oscilloscope et microcontrôleur sont en parfaite concordance



Frequency (Hz): 50



Frequency (Hz): 100



Figure IV. 8 validation de la mesure de la fréquence d'un signal

Partie expérimentale :

Le circuit pratique de la commande :

Le circuit de pratique est bien représenté sur la figure ci-dessous

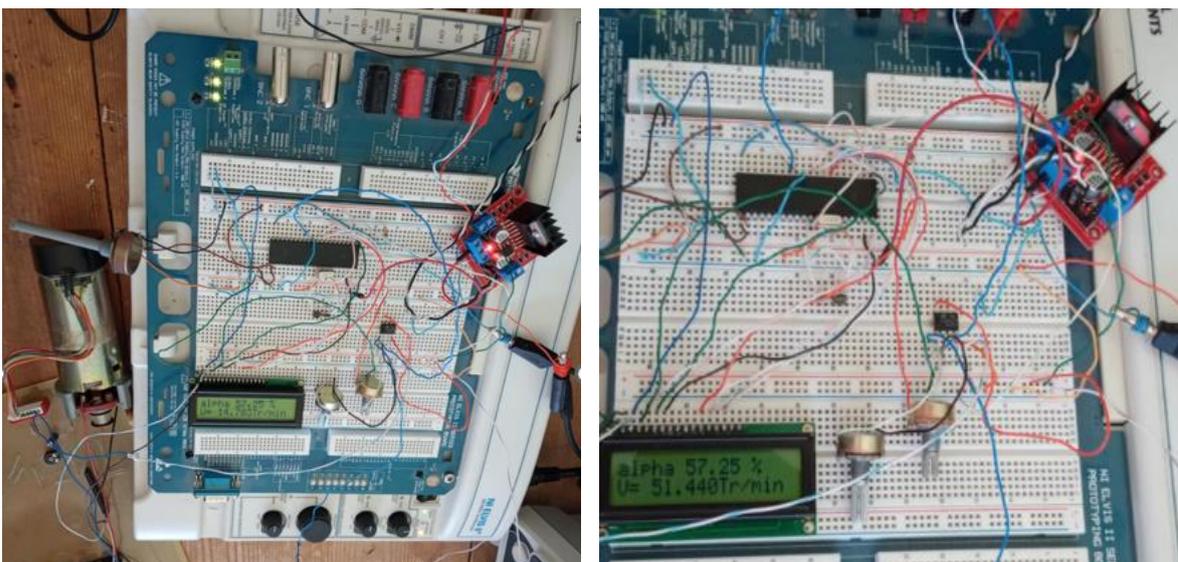


Figure IV. 9 Circuit pratique de régulation

Pour un premier essai, nous avons visualisé les signaux de commande sur oscilloscope avec visualisation du rapport cyclique sur LCD,

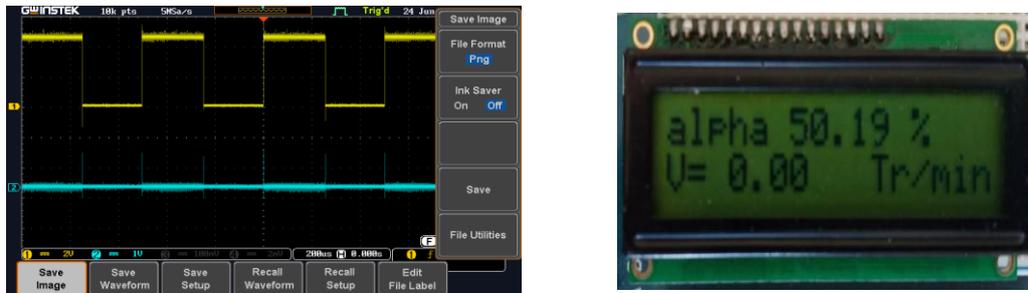


Figure IV. 10 La visualisation des signaux de commande

Dans la figure (IV.14) on n'a pas tenu compte la présence le signal de l'encodeur

L'encodeur pratique :

L'encodeur optique du moteur n'as pas correctement fonctionnée ce qui nous a conduit à le remplacer un autre encodeur d'une imprimante et le coller avec le moteur avec un nouveau circuit d'adaptation du signal.

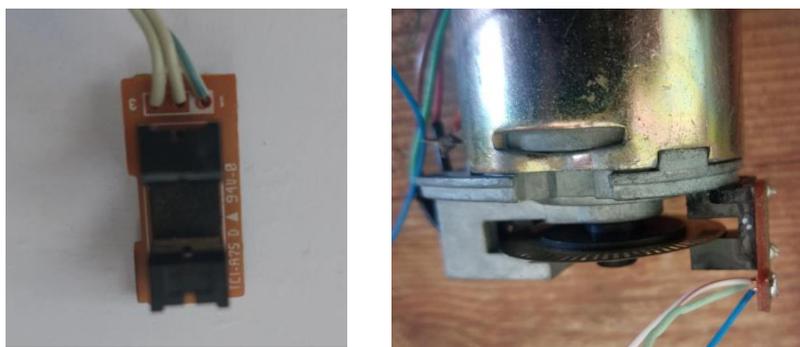


Figure IV. 11 Le nouveau encodeur d'une imprimante placé avec le moteur

Le circuit d'adaptation : le signal qui sort de nouveau encodeur un signal faible déformé (presque sinusoïdal) on a ajouté un comparateur a seuil à base d'AOP LM358 pour adapter sa forme (carré dans le but qu'il soit adéquat avec l'entrée digital du pic (RB0) interruption.

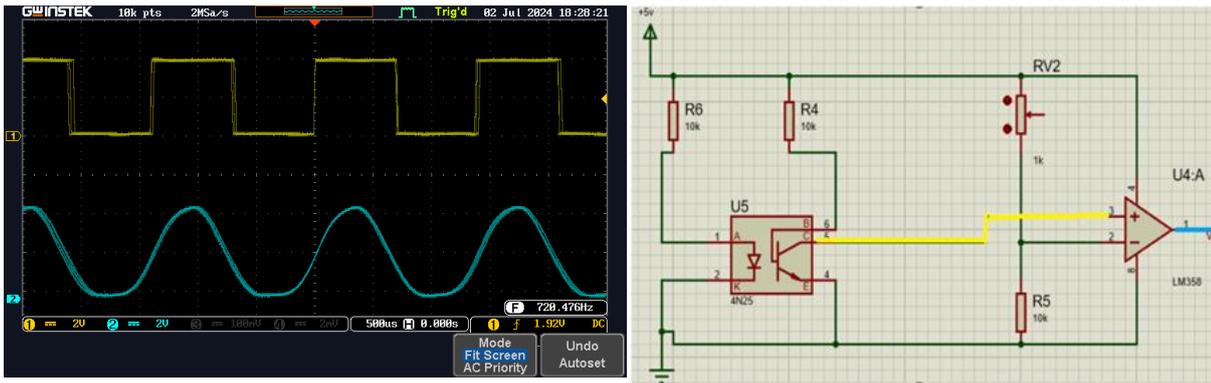


Figure IV. 12 Circuit de mise en forme et d'adaptation du signal de l'encodeur

Les résultats relatifs à signaux de commande et signal de l'encodeur et la mesure de la vitesse du moteur sont affichés sur le schéma s-ci-dessous.

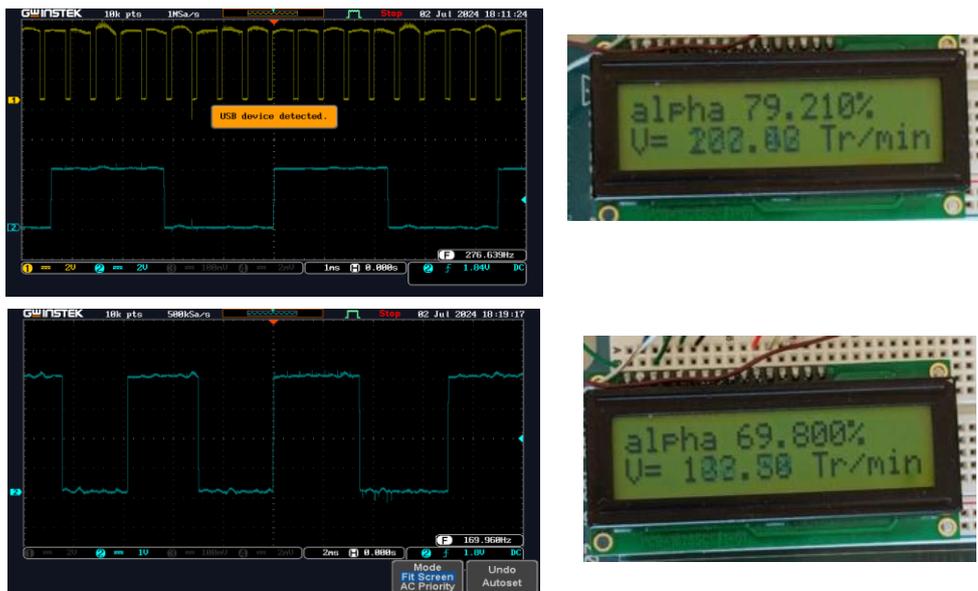


Figure IV. 13 signaux de commande et de l'encodeur avec visualisation de la vitesse et rapport cyclique sur LCD

Partie Régulation

L'algorithme de régulation PI de la vitesse du moteur, pour un seul sens de rotation est représenté sur la figure suivante, les mesures vitesses consigne et réelles se fait chaque 20 ms qui le temps de réponse (stabilisation) de notre système, pour actualiser les commandes.

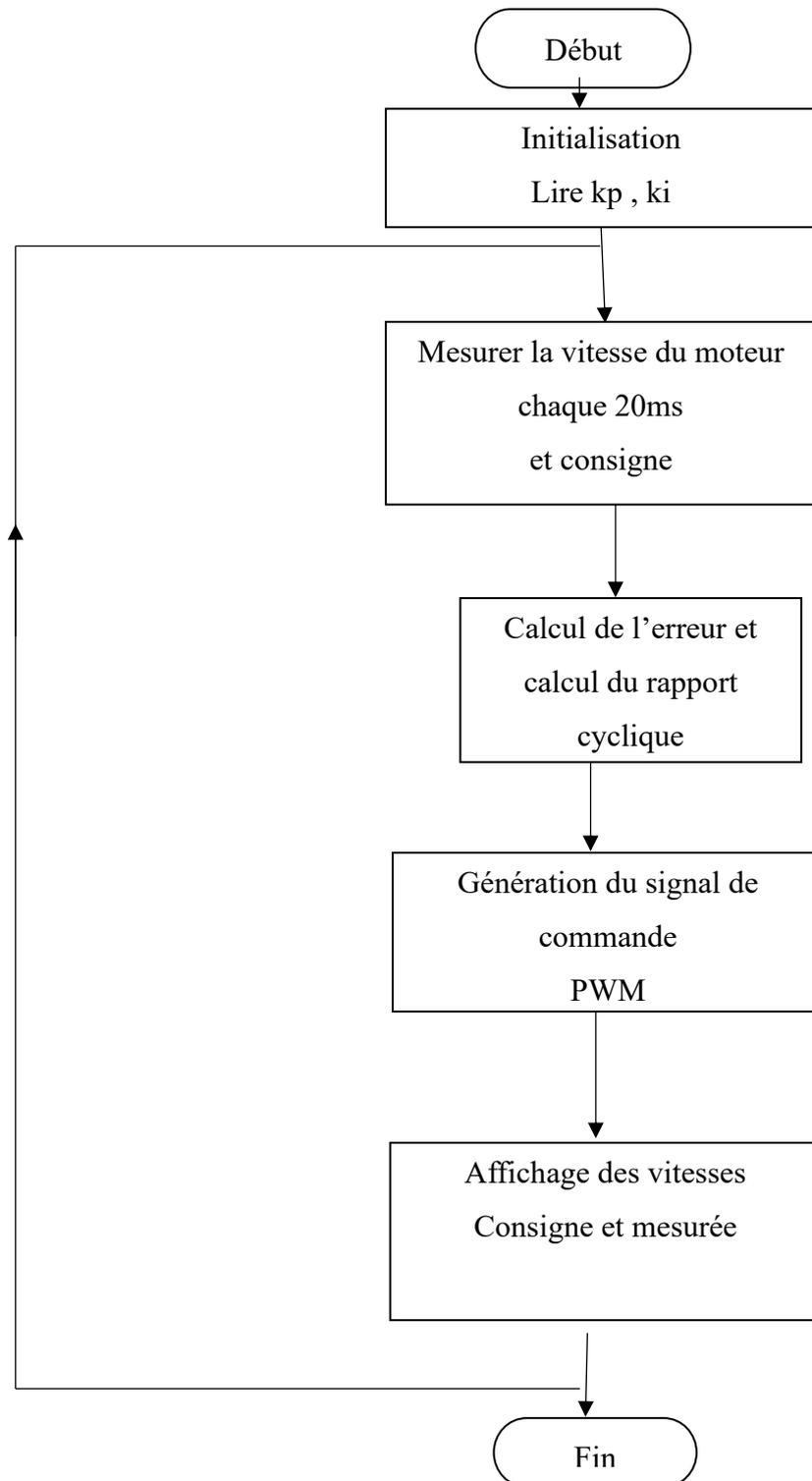


Figure IV. 14 Algorithme de la régulation En vitesse d'un MCC

La figure représente les vitesses mesurées du moteur pour différentes valeurs du couple résistant, ou il est netement visible que la vitesse est bien régulée en présence de variation du couple résistif, contrairement au cas précédent de la commande en boucle ouverte, où la variation du couple résistif fait abaisser considérablement la vitesse du moteur (voir tableau précédent).

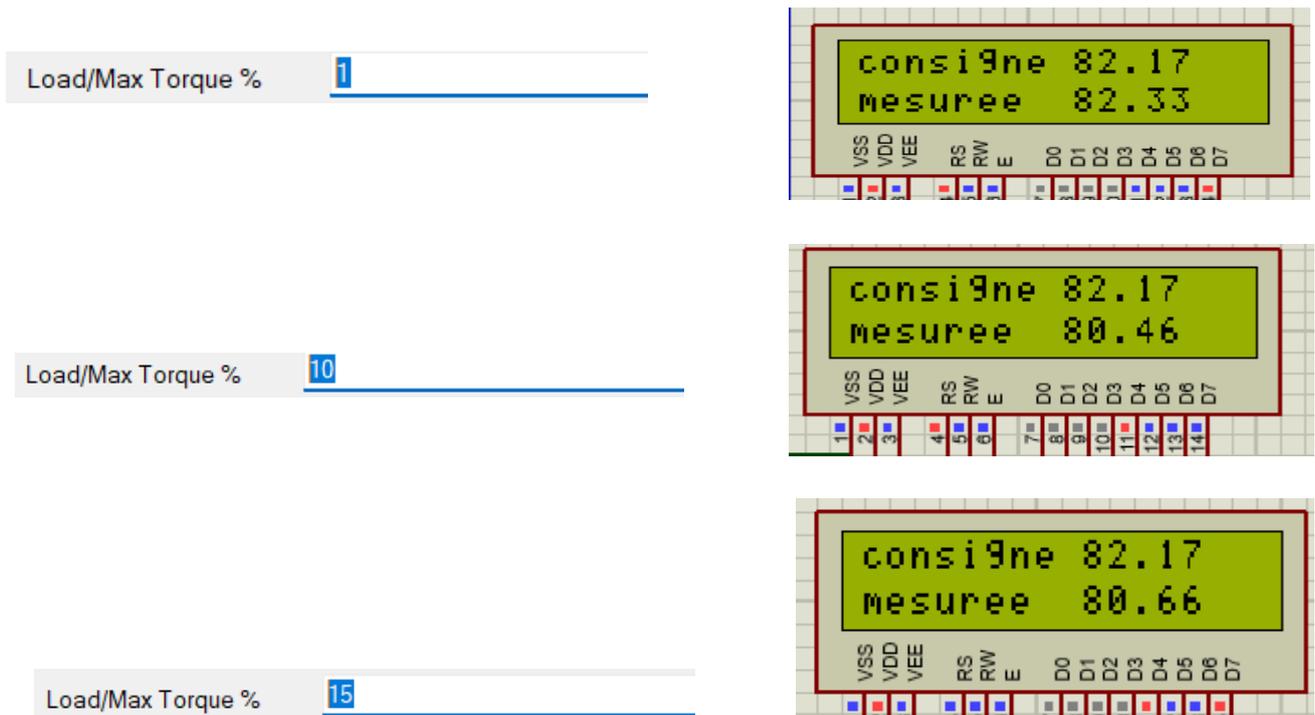


Figure IV. 15 Vitesse mesurée et vitesse consigne pour différentes valeurs du couple résistif

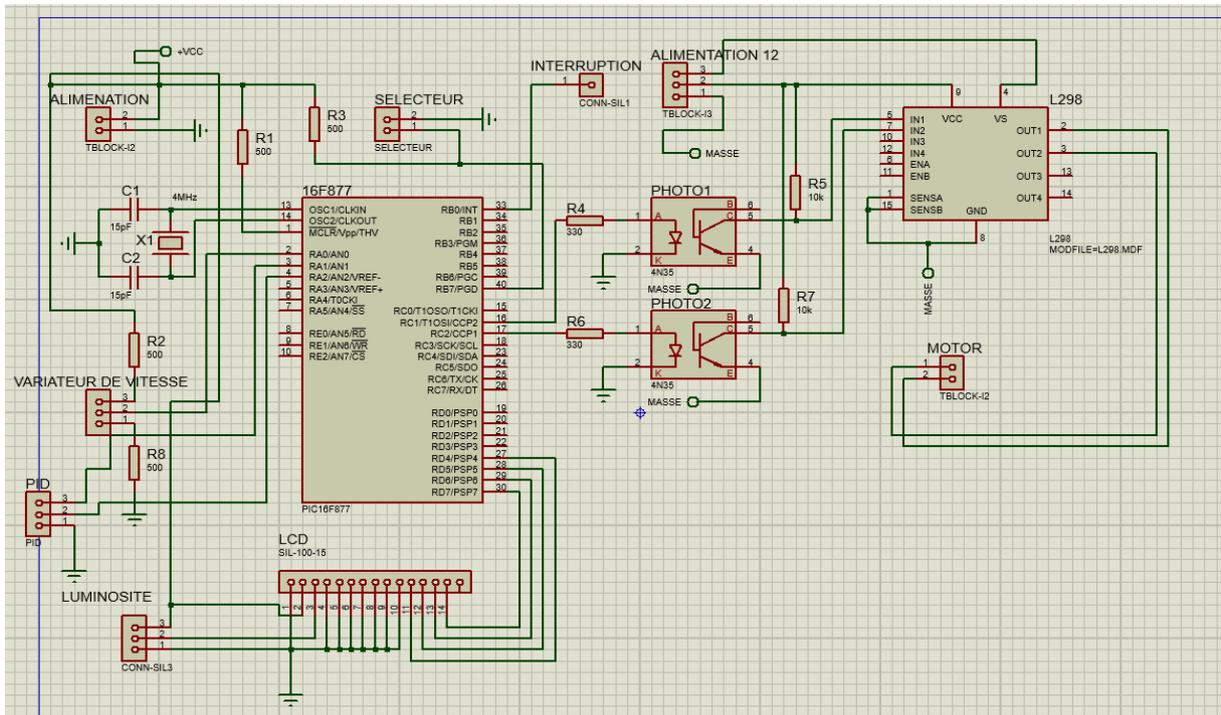


Figure IV. 16 Simulation de sous Isis Proteus (ARES)

Génération de typon de la carte avec Ares :

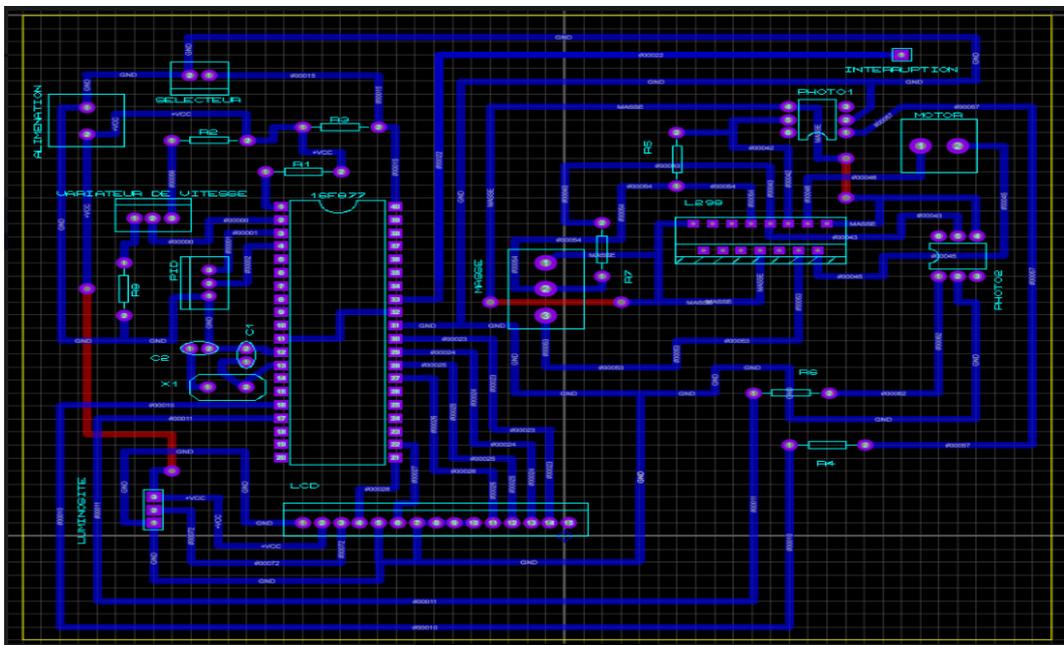


Figure IV. 17 Génération de typon de la carte avec Ares

Conclusion générale

Le but de ce projet est l'étude, la simulation avec Proteus et la réalisation pratique de la commande et la régulation de la vitesse d'une MCC à base d'un circuit de commande à microcontrôleur PIC 16F8 77A, ou on a adopté un régulateur de type PI. Toute fois les résultats obtenus, montre que la partie commande en vitesse est bien achevée en simulation et en pratique, concernant la partie régulation, les résultats obtenus de simulation et pratique sont en parfaite concordance avec la théorie.

L'encodeur du moteur présente certains problèmes qu'on a pu résolu en remplaçant l'encodeur du moteur par un encodeur d'une imprimante, ou on a ajouté un circuit d'adaptation de forme pour adapter le signal de l'encodeur aux entrées digitales du microcontrôleur.

Ce travail peut être améliorer en améliorant la régulation, et en ajoutant d'autres algorithmes de commande avancés tel que les réseaux de neurones.

Référence bibliographique :

- [1] https://www.epfl.ch/schools/sb/sph/wp-content/uploads/G4_Moteurs_electriques_continu.pdf
- [2] BENCHIHA AMIRA SAADIA. « Commande prédictive du moteur à courant continu ». Mémoire de Master, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_%C3%A0_courant_continu
- [4] BEN AMRANE Hassiba, « Modélisation et simulation d'une régulation de la machine à courant continu ». Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.
- [5] <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-a-courant-continu/>
- [6] BOUKHALOUA Hanane, « Étude et réalisation d'un hacheur à quatre quadrants commande par Arduino ». Mémoire de master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- [7] AMIN ayad. « Étude et réalisation d'une commande MLI pilotant un hacheur série ». Mémoire de Master. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.
- [8] Portes cap, LIVRE BLANC, COMPRENDRE L'EFFET D'UNE ÉLECTRONIQUE DE COMMANDE PWM SUR UN MOTEUR CC SANS BALAIS, 2021.
- [9] : Bourourou Mohammed, Conception d'un modulateur PWM configurable sur FPGA, Mémoire de License, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi — Bordj Bou Arreridj
- [10] : Contrôler des moteurs CC avec un Raspberry Pi — Raspberry Lab. (raspberrypi-lab.fr)
.1/7/2024.07 :02AM
- [11] : Tutoriel L298N : fonctionnement, branchement, code Arduino (passionelectronique.fr).
- [12] : Classroom. Cour +TP, Mini projet, chapitre I commande MLI analogique d'un moteur CC
- [13] : Mesrouk Mehdi, Étude et réalisation d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone à cage d'écureuil à partir d'un MICROMASTER, Mémoire de Master, UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU
- [14] : Utilisation d'un module L298N avec Arduino • AranaCorp1/7/2024.07 :02AM
- [15] : LOCODUINO — Commande de moteur à courant continu.1/7/2024.07 :01AM
- [16] : Commander un moteur par Arduino et le module L298N (robotique.tech)
- [17] : KRAMA Abdelbasset, Étude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde, Mémoire de Master, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA
- [18] : Slaim Kelthoum, Kebrit Nadjia, Étude et réalisation d'un robot suiveur de cible contrôle par une Carte Arduino, Mémoire de Master, UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
- [19] : Arduino Atelier (PDF de 37 pages) — Centre Art sensitif... — Livre Feuille table
Pages 1-37 | FlipHTML5

- [20] : Comment contrôler les Moteurs DC avec le Module L298N et Arduino — Moussasoft
- [21] : OUKALI. SEGGAR. S, Étude et réalisation d'un variateur de vitesse pour moteur à courant continu, Mémoire de Master, UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
- [22] : AID Sofiane, TAMALOUS Sofiane, Conception d'une loi de commande basée sur régulateur PID (Appliquée au modèle non linéaire d'un drone), Mémoire de master. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou
- [23] : Régulateurs Pid : la solution pour améliorer vos procédés industriels | Fuji Electric
- [24] : Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation Par Astalaseven Eskimon et olyte. Licence Creative Commons BY-NC-SA 2.0 Dernière mise à jour le 4/08/2012
- [25] : Bouzouina Hadjria, Variation de la vitesse d'un moteur CC 12V par la carte Arduino. Mémoire de Master. Université — Ain-Temouchent — Belhadj Bouchaib
- [26] : <https://www.conrad.fr/p/carte-arduino-uno-65139-atmega328-191789>. consulte le 31\3\2024
- [28] : HOCINI Lotfi. Conception et réalisation d'un variateur de vitesse pour moteur à courant continu. Mémoire de Master. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUEZOU
- [29] : BOUAZZA Mohamed amine, Étude et simulation de la commande en vitesse d'un Moteur à courant contenu sous Proteus, Mémoire de master, UNIVERSITÉ de IBN-KHALDOUN DE TIARET
- [30] : L'hacheur série : principe de fonctionnement — Astuces Pratiques (astuces-pratiques.fr). Consulte le 12\5\2024
- [31] : HARIZ BELGACEM Mohammed, Automatisation d'une station de moulage De sable, Mémoire de master, UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
- [32] : <https://www.technologuepro.com/microcontroleur/les-microcontroleurs-pic.htm>
- [33] : BIGONOFF, la programmation des PICS, La gamme MID-RANGE par l'étude des 16F87X (16F876-16F877)
- [34] : BOUROUIS Hadj, Automatisation du processus de Recyclage des batteries de voitures via PIC 16F877A, mémoire de master, Université -Ain-Temouchent — Belhadj Bouchaib
- [35] : <https://www.technologuepro.com/microcontroleur/les-microcontroleurs-pic.htm>
- [36] : Les Microcontrôleurs PIC : Description et mise en œuvre, Christian TAVERNIER, nouvelle présentation de la 2ème édition, DUNOD, 2002.]
- [37] : HARIZ BELGACEM Mohammed, Automatisation d'une station de moulage De sable, Mémoire de master, UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
- [38] : <https://pcbassemblyfrance.com/16F877.html>. consulte le 29\4\2024

- [39] : https://magoie.fr/chapitre_2.php?idChapitre=479 consulte le 29\4\2024
- [40] : HARIZ BELGACEM Mohammed, Automatisation d'une station de moulage De sable, Mémoire de master, UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
- [41] : BIGONOFF, la programmation des PICS, la gamme MID-RANGE par l'étude des 16F87X (16F876-16F877)
- [42] : MOKHTARA Salim. ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN VARIATEUR DE VITESSE COMMANDE D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU. MÉMOIRE DE MASTER. Université Mohamed Khider de Biskra
- [43] : <https://www.ile-reunion.org/louispayen/cours/hacheur4-quadrants.htm>
- [44] : Régulateur PID — Wikipédia (wikipedia.org)
- [45] : Ghania Boukerche, Étude et Synthèse d'un Contrôleur PI et Application, Mémoire du Master, UNIVERSITÉ Badji Mokhtar-ANNABA
- [46] : Khengaoui Farès, Variation de La Vitesse du Moteur à Courant continu par PID Flou, Mémoire du Master, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA
- [47] : BEN AMRANE Hassiba, Modélisation et simulation d'une régulation de la machine à courant continu, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [48] : Kharchoufa Youness, Commande d'un moteur pas-à-pas par un microcontrôleur, Mémoire de master, UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
- [49] : L298N motor driver IC pinout, features, applications and Example (microcontrollerslab.com)
- [50] : Speed Control of a DC Motor with Proportional Integral Derivative (PID) correction. Technical Report · May 2022
- [51]: Modeling, Simulation and Implementation of Brushed DC Motor Speed Control Using Optical Incremental Encoder Feedback. Proceedings of IOE Graduate Conference, 2014
- [52] : chapitre II : Commande de la vitesse d'un moteur CC par microcontrôleur. Classroom. Module avant-projet
- [53] : Document LCD. Nasri djilali
- [54] : PID-based Practical Digital Control With Raspberry Pi and Arduino Uno.Ibrahim dogan

Résumé

La problématique abordée dans ce projet concerne la régulation de la vitesse des moteurs à courant continu (MCC). Le contrôle de la vitesse de rotation dépend de la relation entre le couple généré et la charge appliquée. Le principal défi est de maintenir une vitesse constante du moteur malgré les variations du couple résistif et de la consommation de courant. Pour résoudre ce problème, le projet vise à implémenter un système de contrôle utilisant un microcontrôleur PIC16F877A, un encodeur de vitesse et un capteur de courant, couplé à un contrôleur PID pour ajuster dynamiquement la tension appliquée au moteur.

Abstract

The problem addressed in this project concerns the speed control of direct current (DC) motors. Speed control depends on the relationship between generated torque and applied load. The main challenge is to maintain a constant motor speed despite variations in resistive torque and current consumption. To solve this problem, the project aims to implement a control system using a PIC16F877A microcontroller, a speed encoder and a current sensor, coupled with a PID controller to dynamically adjust the voltage applied to the motor.

ملخص

تتعلق المشكلة التي يتناولها هذا المشروع بتنظيم سرعة محركات التيار المباشر (MCC). يعتمد التحكم في سرعة الدوران على العلاقة بين عزم الدوران المتولد والحمل المطبق. التحدي الرئيسي هو الحفاظ على سرعة ثابتة للمحرك على الرغم من الاختلافات في عزم الدوران المقاوم والاستهلاك الحالي. لحل هذه المشكلة، يهدف المشروع إلى تنفيذ نظام تحكم باستخدام متحكم دقيق PIC16F877A، ومشفر سرعة ومستشعر تيار، إلى جانب وحدة تحكم PID لضبط الجهد المطبق على المحرك ديناميكيًا.