

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Automatique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'Etat en Automatique

Thème

Conception d'une commande de vitesse sur un moteur à
courant continu appliquée sur un automate

(OMRON - CPM2C)

Proposé par : Mr A.MESBAH

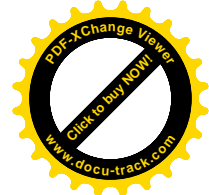
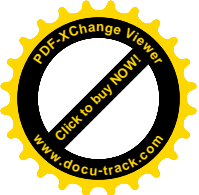
Présenté par :

Dirigé par : Mr M. HADDOUCHE

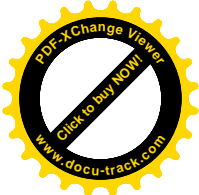
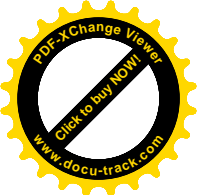
Melle : HADJERAS Fatma

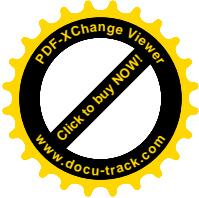
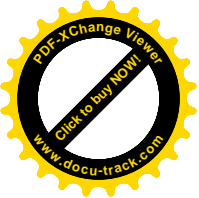
Soutenu le : 13/07 /2010

Promotion 2011



Dédicaces





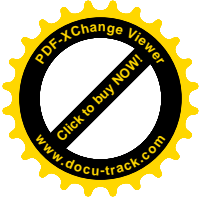
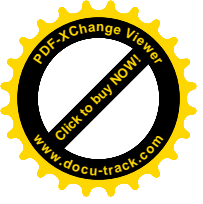
Dédicaces

A toute ma famille

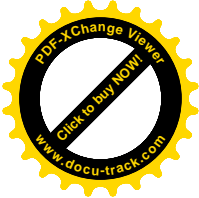
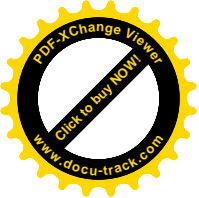
A toute ma belle-famille

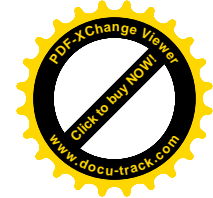
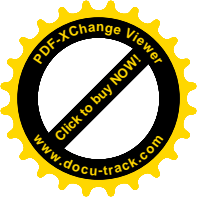
A tous mes amis (es)

H. Fatma



Remerciements





Remerciements

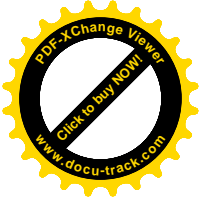
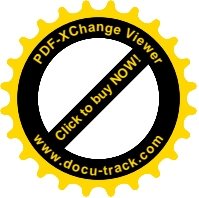
Tout d'abord je remercie Dieu le tout puissant qui m'a armée de courage, de volonté et surtout de patience, la sente et la fois, durant toutes ces années.

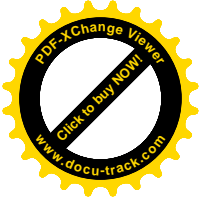
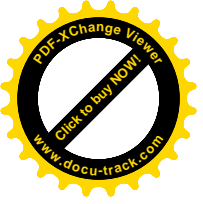
Au terme de ce travail,

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué

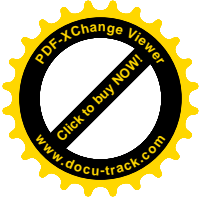
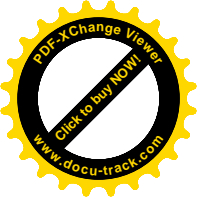
À l'élaboration de ce mémoire :

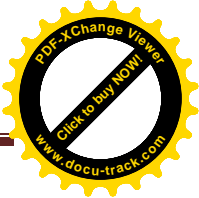
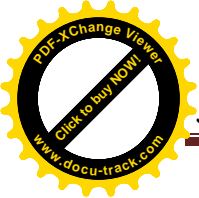
- ◆ Mon promoteur Mr M. HADDOUCHE pour son aide et ses encouragements apporter ses précieuses aides et orientations.
- ◆ Mon vif remerciement Mr A.MESBAH pour m'avoir encadrée, son aide ainsi que son suivi tout au long de ce travail et conseils prodigués.
- ◆ Je remercie chaleureusement Mr M.ARIFI pour tous les encouragements morales et physique et matériels, et conseils qui mon pousser à travailler, pour m'avoir soutenu toutes ces années.
- ◆ Je remercie tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, ainsi que les membres de jury qui ont accepté de juger mon travail.
- ◆ A toute l'équipe de DEO électronique pour leur gentillesse et leur accueil surtout M^r ALADDEN pour son aide et orientation.





Sommaire





Sommaire

Introduction générale..... 01

Chapitre 1 : Généralités

I.1.Introduction..... 03

I.2.Présentation de DEO-électronique..... 03

I.2.1.Historique de l’entreprise..... 03

I.2.2.Les activités de l’entreprise 04

I.3.La commande numérique (CN) 04

I.4. Généralités sur le moteur à courant continu (MCC) 05

I.4.1. Définition 05

I.4.2. Constitution 05

I.4.3. Principe de fonctionnement 07

I.4.4. Modélisation du moteur à courant continu 07

I.4.5. Différentes types d’excitation d’un moteur à courant continu..... 09

I.4.5. Pilotage de la vitesse angulaire 11

I.4.6.Caractéristique de basse d’un moteur à courant continu 12

I.4.7. L’intérêt de moteur a courant continu..... 14

I.5. Le capteur de vitesse 15

I.5.1. La génératrice tachymétrique..... 15

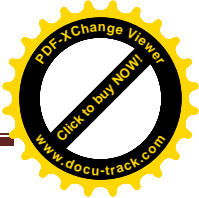
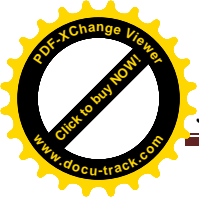
I.5.2. le codeur incrémental..... 15

I.6. Généralités sur le régulateur PID 17

I.6.1.Définition 17

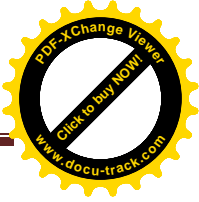
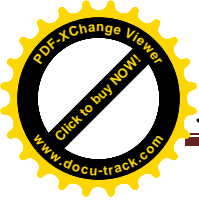
I.6.2. Principe de régulation 19

I.7.CONCLUSION..... 21



Chapitre 2 : développement d'une solution programmable et la régulation PID

II.1.Introduction	22
II.2. Définition d'un automate programmable industriel	22
II.2.1. Choix d'un automate programmable industriel	23
II.2.2. La structure d'un système automatisé	23
II.3. Architecture d'un automate	24
II.3.1. Architecture externe d'un automate	24
II.3.2. Architecture interne d'un automate	25
II.4. Présentation de l'automate OMRON CPM2C-MAD11	26
II.4.1.Module d'alimentation	26
II.4.2.CPU	26
II.4.3.les modules d'entrées	27
II.4.4.les modules de sortie.....	27
II.4.5.Autres modules	27
II.4.6. module d'E/S analogique.....	28
II.4.6.Mode de fonctionnement	29
II.4.7. Avantage	30
II.5. Langage de programmation OMRON de CPM2C-MAD11.....	30
II.6.Implantation du programme d'automatisation de système.....	31
II.7.Création de la table mnémonique	33
II.8. La Régulation PID	33
II.8.1. Notion de correcteur PID.....	33
II.8.2. Effets des actions PID.....	36
II.8.3. La classification selon le type de régulateur.....	36
II.9. Méthode de réglage de PID	37
II.9.1.La méthode de Ziegler et Nichols.....	37
II.9.2.La méthode par approche successive.....	37
II.10. La régulation PID avec les automates OMRON	38
II.10.1. L'instruction PID.....	38
II.10.2. Description.....	39
II.10.3. Paramètre du bloc du contrôle	39
II.11.Conclusion	41



Chapitre 3: Conception et réalisation de système

III.1.Introduction 42

III.2.conception matérielle 42

III.2.1.Structure et description de la boucle de commande 42

III.3. Description de schéma électrique..... 46

III.4.Réalisation pratique..... 52

III.4.1. Création du circuit électrique 52

III.4.2. Réalisation du circuit imprimé 53

III.5. schéma du câblage du circuit de la boucle de commande MCC 54

III.6.Conclusion..... 54

Chapitre 4 : Application de la régulation PID pour la commande en vitesse
Du moteur à courant continu

IV.1. Introduction 55

IV.2. la modalisation d'un moteur à courant continu..... 55

IV.2.1. Fonction de transfert du moteur 55

IV.2.2. Influence de la tension d'induit 58

IV.2.3.Simulation à l'aide du logiciel matlab/simulink..... 58

IV.3. La commande PID en régulation de vitesse 59

IV.3.1.Simulation à l'aide du logiciel matlab/simulink..... 61

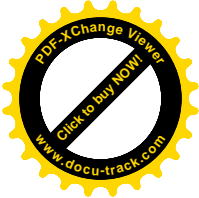
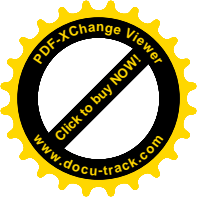
IV.4.Introduction des paramètres PID dans l'API 63

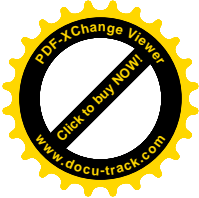
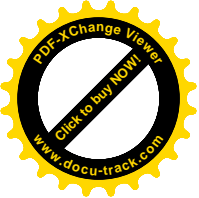
IV.5. Conclusion 65

Conclusion générale 67

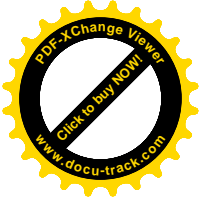
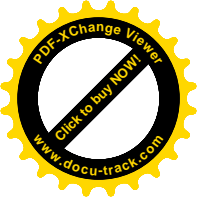
Glossaire

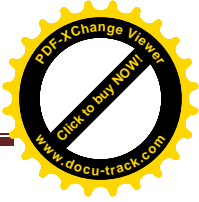
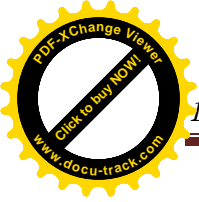
Bibliographie





Introduction générale





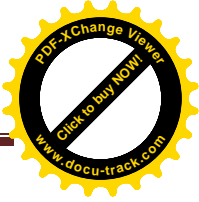
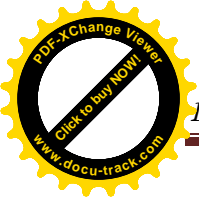
L'automate programmable industriel (API) est aujourd'hui le constituant le plus répandu des automatismes. Cette évolution s'explique par le gain de flexibilité et de performances liées à l'emploi d'un automate programmable, de même que la réduction des coûts et du temps de mise en place. Il répond aux besoins d'adaptation et de flexibilité de nombres d'activités économiques actuelles. Les solutions d'automatisation recourant à ces technologies mènent forcément à l'intégration de tous les composants importants (supervision, logique programmée, ...) [1].

La commande numérique est une technique utilisant des données numériques pour représenter des instructions géométriques et techniques à la conduite d'une machine ou d'un procédé. D'une autre manière, elle est conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans l'intervention directe de l'opérateur pendant son exécution.

La régulation est une question industrielle, parmi les régulateur qui répons à cette question on à le régulateur PID. Grâce à sa grande marge de gain pour sa stabilité, ainsi sa structure parallèle et sa simplicité, liée à son faible nombre de paramètre de son réglage, le régulateur PID apporte une solution fiable et robuste à de nombreux problèmes de régulation industrielle. Néanmoins ce type de régulateur ont un principal inconvénient car leur conception est basée sur le modèle linéaire du prosessus autour d'un point de fonctionnement, c'est-à-dire que la stabilité et la robustesse du système sont garanties autour de ce point d'équilibre et si on s'éloigne du point de fonctionnment, le modèle n'est plus satisfaisant. Cependant, ces techniques de commande linéaire sont applicables au moteur à courant continu à cause de sa linéarité. [2]

Les moteurs à cc sont très utilisés dans les chaînes d'automatisations et robotique, ils présentent des avantages important dans les systèmes de commande, en raison de la simplicité de leur fonctionnement, alimentation, ainsi leur très grande souplesse pour l'asservissement de vitesse, ils possèdent alors une plage très étendu de réglage de vitesse de rotation, concèrvant dans toutes cette plage un rendement élevé.

Dans le cadre de mon projet de fin d'études, un travail nous a été proposé par l'entreprise privé DEO-électronique. Il s'agit d'une régulation de vitesse d'un moteur à courant continu à base d'un automate progr ammable industriel (API) Omron de type CPM2C. Vu que les signaux générés par le module de sortie de l'API sont a courant faible et

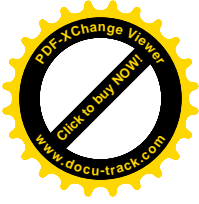
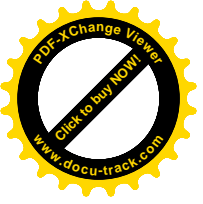


comme le moteur à cc nécessite un courant moyen alors nous sommes appelés à concevoir un étage d'amplification intermédiaire entre le moteur et l'API.

Pour ce faire nous avons organisé notre mémoire comme suit:

- Le premier chapitre comporte la description de DEO-électronique, avec des généralités sur les moteurs à cc, le codeur incrémental, ensuite des généralités sur le régulateur PID.
- Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de l'API OMRON-CPM2C, et le programme de pilotage du moteur, les méthodes de réglage du PID, ainsi que la régulation du PID sous OMRON.
- Le troisième chapitre va nous permettre de concevoir et réaliser la boucle de commande.
- Dans le quatrième chapitre, nous représenterons une simulation du MCC en boucle ouverte, puis une régulation de vitesse en boucle fermée en utilisant un régulateur PID. Ensuite l'introduction des paramètres dans l'API OMRON.

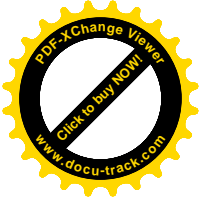
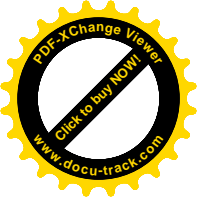
Nous terminons par une conclusion générale.

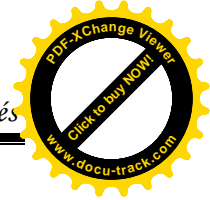
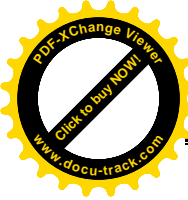


Chapitre

1

Généralités





I.1.INTRODUCTION

Les moteurs à courant continu (MCC) sont très simple à faire tourner car il suffit de leur appliquer une tension, en théorie leur vitesse de rotation varie linéairement avec la tension qu'on leur applique, l'intensité traversant le moteur étant quant à elle liée au couple qui doit imposer le moteur. Cependant, la vitesse que va prendre le moteur n'est pas fixe, et va dépendre de beaucoup de facteurs. Il faut donc, pour obtenir un positionnement précis, coupler ce moteur avec un système d'encodeur. La plupart des moteurs industriels sont livrés avec un encodeur optique monté directement sur l'arbre du moteur. Ces encodeurs permettent de déterminer la position du moteur avec une grande précision.

La commande analogique des machines électriques à subi d'importantes révolutions, la montée en puissance des composants électroniques de puissance, et quand on a pas contant des performances modeste, et la sensibilité aux perturbations, c'est-à-dire le manque de précision et dans l'intérêt du développement d'algorithmes performants, analyser en temps réel le comportement d'un système, ce qui fait appelle à la technologie numérique. [3]

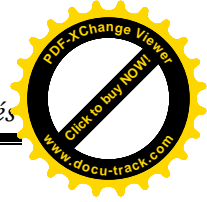
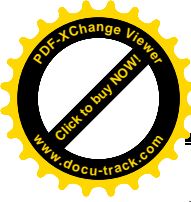
I.2.PRESENTATION DE DEO-ELECTRONIQUE

I.2.1.Historique de l'entreprise

Développement Electronique et Ordinateur (DEO) est une entreprise privé créer en mars 1996, par une équipe algérienne, c'est la seule entreprise algérienne à avoir l'honneur de franchir le domaine du développement de la gestion technique centralisée, elle a conçu son propre logiciel de supervision appelé « **sécurité centralisée 2004** », leurs souhait est de participer à la relance de la machine économique algérienne, et faire bénéficier le retard de l'Algérie de toutes les évolutions technologiques.

DEO électronique se divise en plusieurs services qui assurent son bon fonctionnement, à savoir :

- ✓ La direction générale
- ✓ Le secrétariat
- ✓ Le service finance / comptabilité
- ✓ Le service technique / programmation
- ✓ Le service commercial & marketing
- ✓ Le service maintenance après réalisation



I.2.2. Les activités de l'entreprise

Depuis sa création, DEO-électronique s'active dans le domaine du courant faible, elle propose un ensemble de solution, tel que :

- ✓ la Sécurité control d'accès, Vidéo surveillance & Vidéo intelligente...
- ✓ La Supervision des Alarmes, des états de tous les équipements techniques existants dans un site.
- ✓ L'automatisme (Parking, Autoroutes, Aéroports...).
- ✓ Réseau informatique et téléphonique : maintenance et installations complète.

I.3. LA COMMANDE NUMERIQUE (CN)

La CN impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage. Conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir d'instructions d'un programme sans l'intervention directe de l'opérateur pendant son exécution. La CN des machines à réaliser des progrès considérable vue la qualité des performances obtenus, car elle autorise l'implantation pratique d'algorithme et de fonctions beaucoup plus complexes de ce que tolèrent les technologies analogiques, avec un volume d'une remarquable capacité.

Dans un système à CN on distingue trois éléments :

- ✓ **L'observation** : c'est l'observation de la grandeur à maîtriser, elle est réalisée par l'utilisation de capteur.
- ✓ **La réflexion** : c'est la comparaison de la grandeur mesurée à celle désirée et déterminer l'action à entreprendre, elle est assurée par le correcteur. Le correcteur est un programme informatique exécuté sur un ordinateur ou tout autre système d'électronique numérique.
- ✓ **L'action** : agir sur une ou plusieurs grandeurs incidentes du procédé, elle est réalisée via des actionneurs (fonction de temps).

Puis le retour à l'observation. [5]

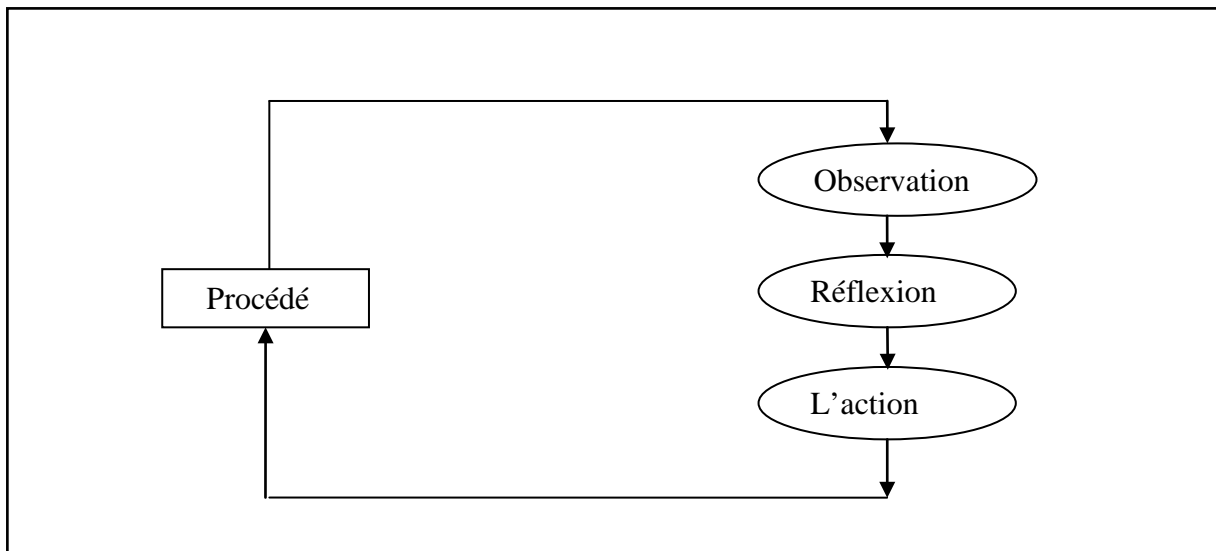


Figure I.1: la boucle de la commande numérique

I.4. GENERALITES SUR LE MOTEUR A COURANT CONTINU (MCC)

I.4.1. Définition

Le MCC est une machine tournante et convertisseur d'énergie, elle est totalement réversible, elle peut indifféremment fonctionner en moteur ou en génératrice. Elle a donc une constitution unique et toutes les propriétés mises en évidence dans un mode de fonctionnement se trouvent dans l'autre mode. Il s'agit alors de contrôler un mouvement, alors que le support du moteur est lui-même en mouvement. S'il y a un asservissement du moteur du chariot, il est généralement en vitesse. L'apparition de plusieurs dispositifs électroniques à tensions réglable provoque l'élimination de l'usage spécifique en génératrice. Toutefois, pour des raisons d'économie d'énergie ou de sécurité, le moteur à courant continue fonctionne parfois en génératrices. [6]

I.4.2. Constitution

La MCC est composée de trois parties essentielles : l'inducteur, l'induit et le système balais-collecteur, l'espace entre les deux premières parties est appelé l'entre fer.

✓ L'inducteur ou stator

Il est constitué d'un électro-aimant qui engendre la f.é.m. nécessaire à la production du flux, c'est une source de champ magnétique. Le stator peut être :

- Un aimant permanents : le flux magnétique est alors constant.
- Une Bobine alimenté en continu : le flux est alors réglable par l'intensité du courant.

✓ **L'induit ou rotor**

Est un circuit électrique, constitué d'un ensemble de fils isolés par un ruban imprégné de vernis, deux conducteurs forment une spire, les spires regroupées par sections et la section par des bobines. L'induit monté sur un arbre et tourne entre les pôles de l'inducteur dans un champ magnétique fixe.

✓ **Le collecteur-balais**

C'est un ensemble de lame de cuivre isolées entre elle par des feuilles de mica et monté sur l'arbre de la machine mais isolées de celui-ci. Les conducteurs sont reliés aux lames de cuivre. Les balais sont faits en carbone car ce matériau possède une bonne conductivité thermique et électrique, il est assez doux pour ne pas abimer le collecteur, la pression balais sur collecteur est réglée par des ressorts ajustables, le système balais-collecteur forme un redresseur mécanique ou commutateur c.-à-d. redressement du courant alternatif dans l'enrôlement de l'induit en CC. [6]

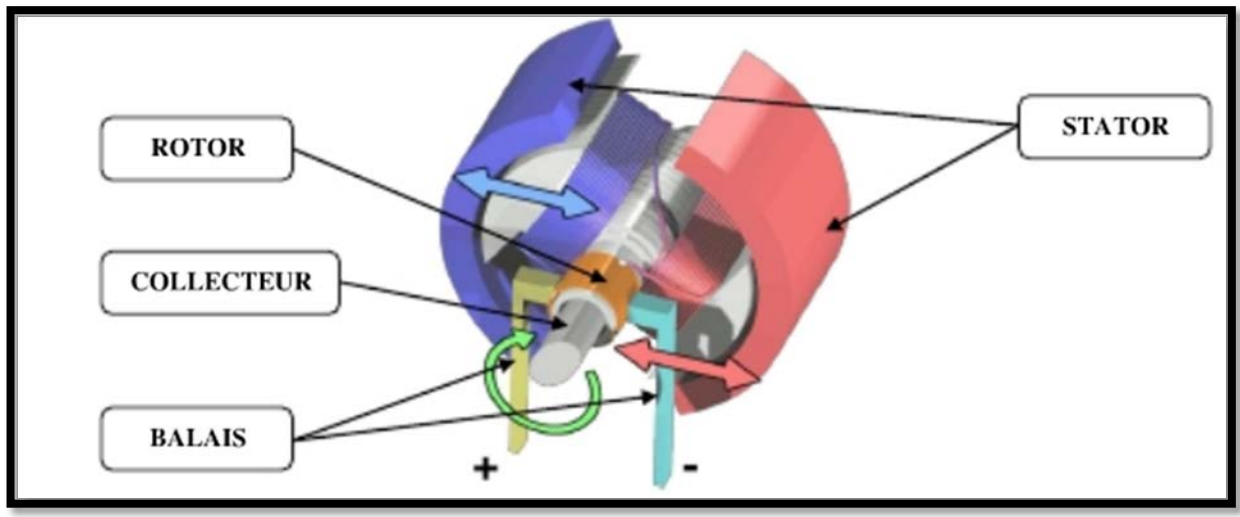
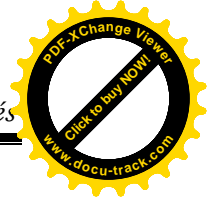
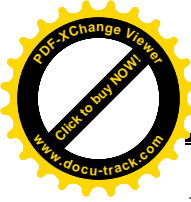


Figure I.2 : constitution générale d'un moteur à courant continu



I.4.3. Principe de fonctionnement

Lorsque l'inducteur est alimenté, il crée un champ magnétique fixe \vec{B} dans l'entrefer, dirigé suivant les rayons de l'induit. Ce champ magnétique pénètre dans l'induit du côté du pôle Nord de l'inducteur et sort de l'induit du côté du pôle Sud de l'inducteur.

Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle de l'inducteur (d'un même côté des balais) sont parcourus par des courants de même sens et sont donc, d'après la loi de Laplace : $d\vec{f} = I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$, soumis à une force. Les conducteurs situés sous l'autre pôle 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.

I.4.4. Modélisation du moteur à courant continu

La modélisation consiste à écrire à partir d'une analyse physique d'un système électromécanique, les équations mathématiques régissant son fonctionnement.

Lorsque l'inducteur est alimenté, chaque spire du rotor coupe le flux magnétique du stator et devient le siège d'une f.é.m.

Cette f.é.m. proportionnelle à Ω et Φ :

$$E = K \Omega \Phi \tag{I.1}$$

$$C = K I \Phi \tag{I.2}$$

Le schéma électrique équivalent d'un MCC est donc celui de la figure I.3):

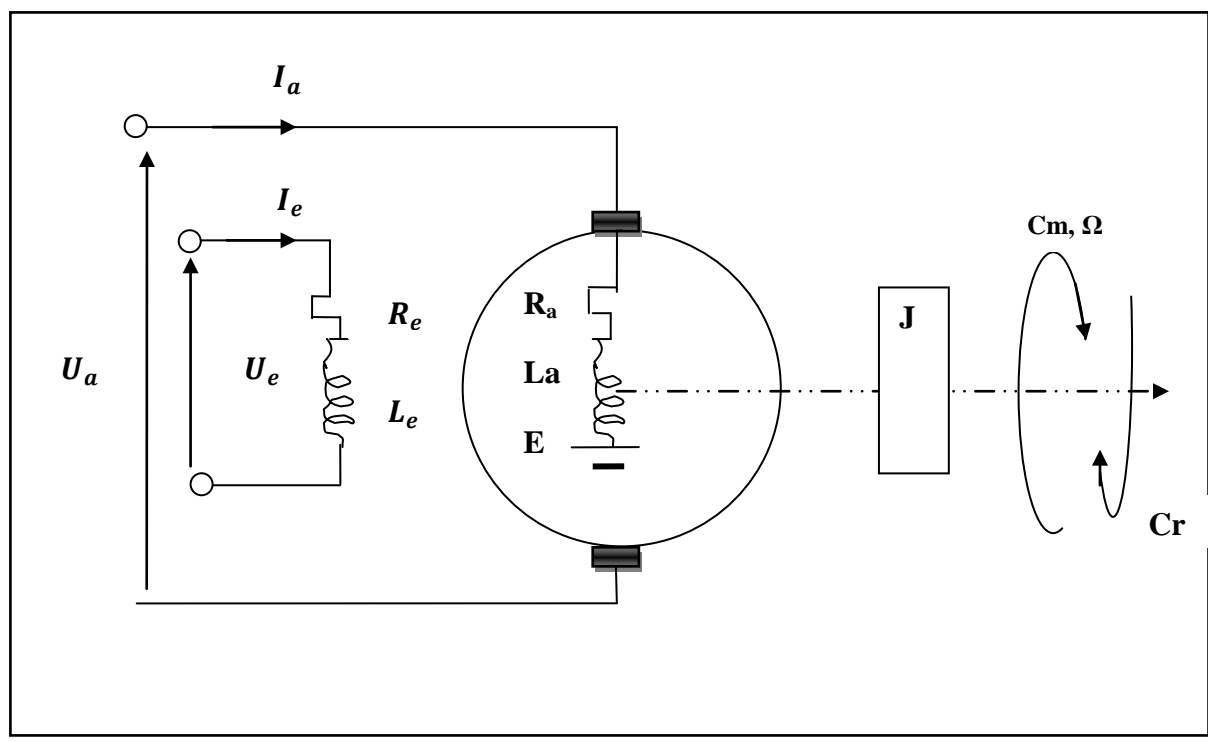


Figure I.3 : schéma électrique équivalent d'un MCC

Les équations régissant le fonctionnement du MCC sont :

✓ **Les équations électriques :**

- Equation de l'induit :

$$U_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E \tag{I.3}$$

- Equation de la f.c.é.m. :

$$E = K \Omega \Phi = (P/a) N(\Omega/2\pi) \Phi \tag{I.4}$$

- Equation d'inducteur :

$$U_e = R_e I_e + L_e \frac{dI_e}{dt} \tag{I.5}$$

✓ **Equation mécanique**

$$C = J \frac{d\Omega}{dt} + Cr + f_r \tag{I.6}$$

✓ Equation du couple

$$C = K \Phi I_a \quad \text{Et} \quad \Omega = d\theta/dt \quad (I.7)$$

I.4.5. Différentes types d'excitation d'un moteur à courant continu

Les moteurs à courant continu se différencient par la manière dont on fournit le courant d'excitation. Les différents cas possibles sont :[7]

I.4.5.1. Moteur à excitation séparée

Ce mode d'excitation nécessite deux sources d'alimentations. L'alimentation de l'enroulement inducteur est prise sur une source indépendante de la source principale. Le circuit électrique est représenté par la suivante :

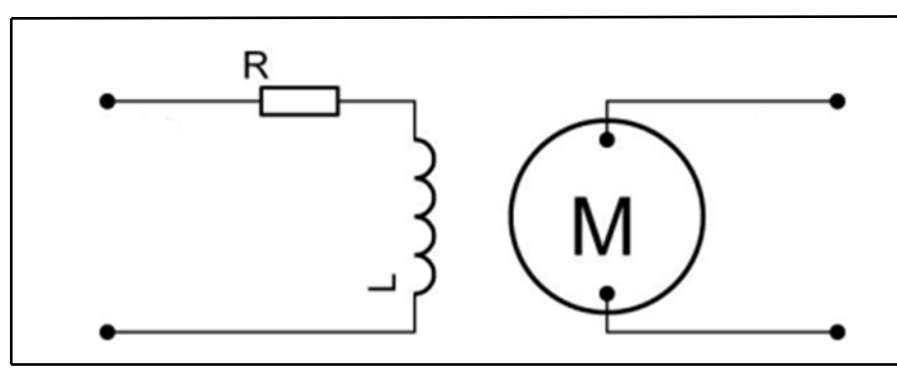


Figure I.4 : schéma électrique d'un Moteur à excitation séparée

I.4.5.2. Moteur à excitation série

Le circuit d'excitation est placé avec l'induit du moteur. Sa particularité est d'avoir un inducteur qui est traversé par le même courant, l'inducteur possède donc une résistance plus faible que celle des autres types de machines. L'inducteur est en série avec l'induit : une seule source d'alimentation suffit. On change le sens de rotation en permutant les connexions de l'induit et de l'inducteur. Le circuit électrique est représenté par la suivante :

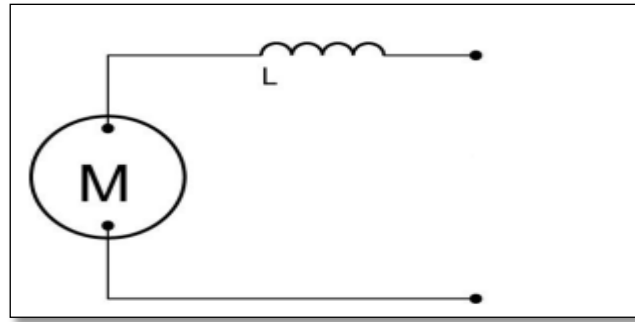


Figure I.5 : schéma électrique d'un Moteur à excitation série

I.4.5.3. Moteur à excitation shunt (Dérivée)

L'enroulement d'excitation est connecté en parallèle sur l'alimentation du moteur, il possède les mêmes propriétés que le moteur à excitation séparée du fait que, dans les deux cas, l'inducteur constitue un circuit extérieur à celui de l'induit. Le circuit électrique est représenté par la suivante :

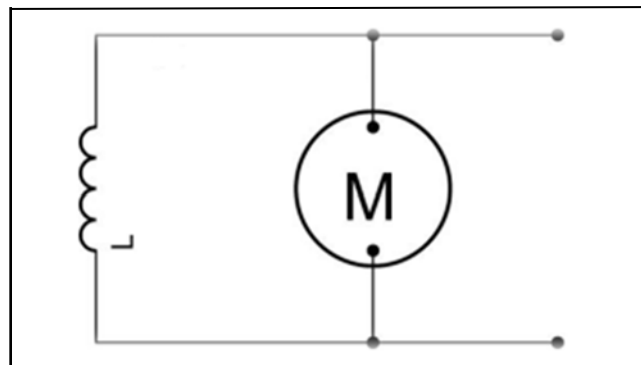


Figure I.6 : schéma électrique d'un Moteur à excitation shunt

I.4.5.4. Moteur à excitation composée

C'est une combinaison des excitations Shunt et Série.

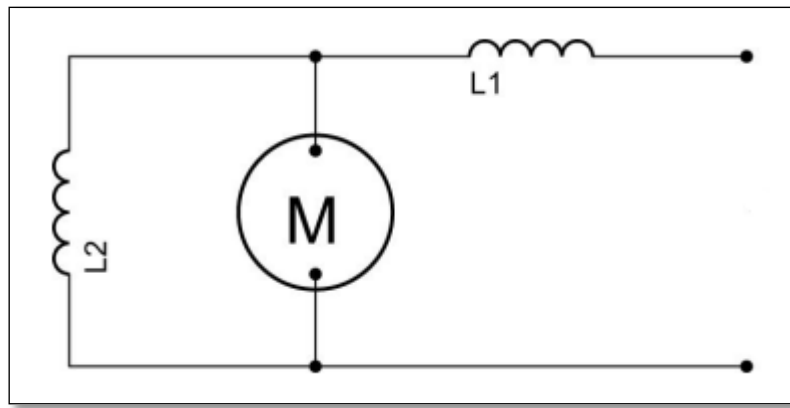


Figure I.7 : schéma électrique d'un Moteur à excitation compound

I.4.5. Pilotage de la vitesse angulaire

I.4.5.1. Relation Vitesse et force contre-électromotrice à flux constant

Lorsque l'induit est alimenté sous une tension continue ou redressée U , il se produit une force contre-électromotrice E .

On a :

$$E = U - R I \quad (I.8)$$

La force contre-électromotrice est liée à la vitesse et à l'excitation du moteur.

On a :

$$E = k \Omega \Phi$$

En analysant la relation ci-dessus, on voit, qu'à excitation constante Φ , la force contre-électromotrice E est proportionnelle à la vitesse de rotation.

I.4.5.2. Relation Couple et flux

Quant au couple moteur, il est lié au flux inducteur et au courant de l'induit par la relation suivante :

$$C = k \Phi I$$

En analysant la relation ci-dessus, on voit qu'en réduisant le flux, le couple diminue.

I.4.5.3. Variation de la vitesse

Au vu des relations existantes entre la vitesse, le flux (I.6) et la force contre-électromotrice (I.4), il est possible de faire varier la vitesse du moteur de deux manières différentes :

- ✓ Augmenter la force contre-électromotrice E en augmentant la tension aux bornes de l'induit tout en maintenant le flux de l'inducteur constant. On a un fonctionnement dit à "couple constant".
- ✓ Diminuer le flux de l'inducteur (flux d'excitation) par une réduction du courant d'excitation en maintenant la tension d'alimentation de l'induit constante. Ce type de fonctionnement impose une réduction du couple lorsque la vitesse augmente.

I.4.6. Caractéristique de basse d'un moteur à courant continu

I.4.6.1. Caractéristique à vide $E(V) = F(\Phi)$ à Ω constant :

La zone utile de fonctionnement de la machine se situe au voisinage du point A. Sous le point A la machine est sous utilisée. Après le point B la possibilité de la machine n'augmentent plus c'est-à-dire elle va avoir une vitesse constante.

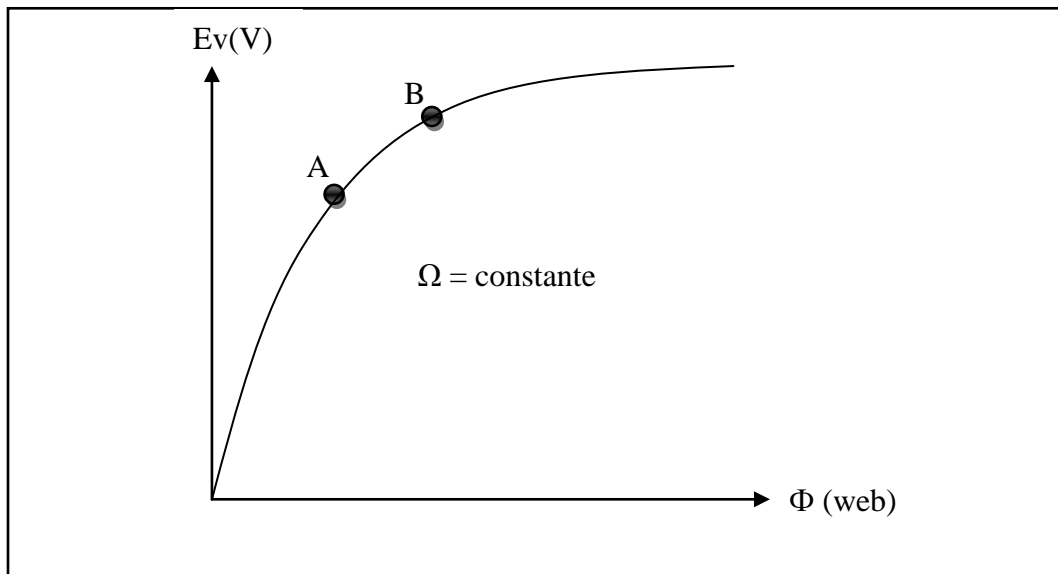


Figure I.8 : caractéristique à vide $E(V) = F(\Phi)$ à Ω constante

I.4.6.2. Caractéristique à vide $E(V) = F(\Omega)$ à Φ constant :

Le cas est linéaire tant que la saturation n'est pas atteinte, $E = K \Omega$

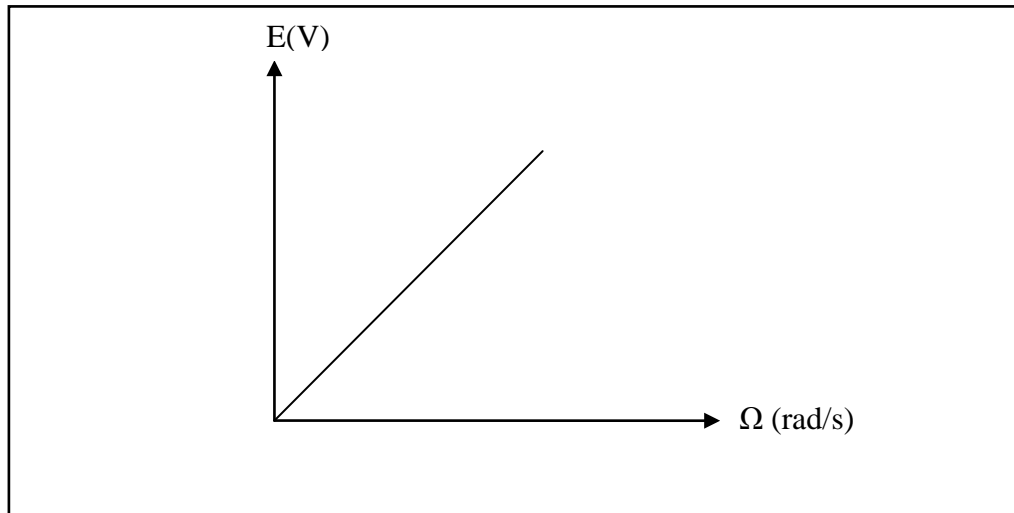


Figure I.9 : caractéristique à vide $E(V) = F(\Omega)$ à Φ constante

I.4.6.3. Caractéristique en charge $U = F(I)$

$U = E - RI - \Delta U$ pour génératrice

$E = U - RI - \Delta U$ pour moteur

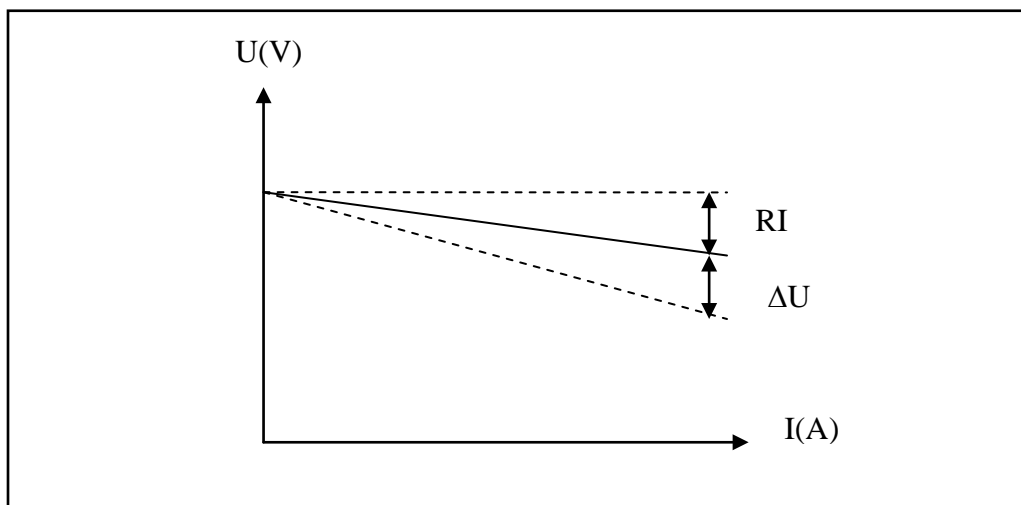
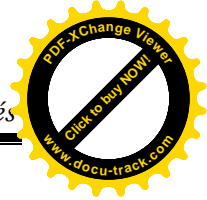
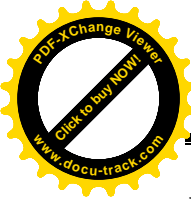


Figure I.10 : caractéristique à charge $E = F(I)$



I.4.7. L'intérêt du moteur à courant continu

I.4.7.1. Avantages

- ✓ Il est possible d'obtenir simplement sa modélisation.
- ✓ La possibilité de fonctionnement en tant que génératrice.
- ✓ Le MCC permet d'obtenir un réglage de la vitesse dans une très large gamme, avec un excellent rapport couple/moment d'inertie.
- ✓ Changement de sens simple
- ✓ Bon rendement à vitesse élevés, Possibilité de vitesse plus élevés à la vitesse nominale

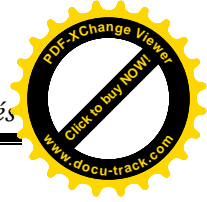
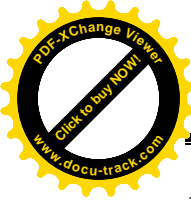
I.4.7.2. Inconvénients

- ✓ Le MCC son coûteux.
- ✓ Nécessite beaucoup de maintenance, notamment pour le remplacement des balais et des collecteurs.
- ✓ Une alimentation statorique et rotorique par un courant continu.

Remarque : Dans ce chapitre, l'analyse du comportement du MCC s'effectue à l'étude en régime stationnaire de vitesse(ou régime établi). Les caractéristiques étudiées sont obtenues une fois que la vitesse reste constante en fonction du temps.

I.4.7.3. Domaine d'utilisation

- ✓ Traction électrique (traction automobile, dans les chariots automatiques de transport, dans la plupart des véhicules de traction), on le rencontre dans le pompage.
- ✓ On emploie aussi les MCC dans les asservissements de vitesse très performants.
- ✓ Dans des robots tels que le support est fixe, mais les moteurs sont placés à chaque articulation, pour contrôler le mouvement des bras manipulateurs
- ✓ Dans des ascenseurs, dans des servomécanismes de grande performance.



I.5. LE CAPTEUR DE VITESSE

Certaines machines, telles que les machines à commande numérique, exigent une mesure précise, la mesure de la vitesse linéaire se ramène à celle de la mesure de la vitesse angulaire, pour cela, le capteur de vitesse est utilisé largement. Parmi les nombreuses technologies de capteurs de vitesse disponible sur le marché, on a :

I.5.1. La génératrice tachymétrique

Est une dynamo à aimant permanent qui délivre une tension proportionnelle à la vitesse de rotation.

I.5.2. le codeur incrémental

L'élément de base du codeur incrémental est un disque opaque portant certain nombre de fentes régulièrement espacées permettant à la lumière d'une source lumineuse d'agir ou non sur un dispositif photosensible.

Si $A(k)$ représente le nombre d'impulsions obtenues sur la voie A durant la séquence numéro k de comptage (généralement la seconde), et n le nombre d'impulsion délivré par seconde, la quantité :

$$N(k)=A(K)/n \quad (I.9)$$

Représente la vitesse en tours/seconde exprimée par un « mot numérique » de N bits qui est la sortie du compteur. Ce compteur est « rafraîchi » chaque seconde.

Les caractéristiques principales d'un codeur incrémental sont :

- ✓ Le nombre de points par tour (par exemple 500 points/tr)
- ✓ Le nombre de voies ou de pistes (par exemple A, B, Z et leur complément logique)
- ✓ La tension d'alimentation
- ✓ La vitesse maximale d'utilisation

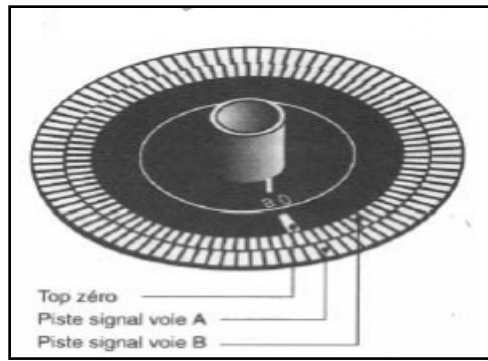


Figure .I.11 : Le disque comporte au maximum 3 piste

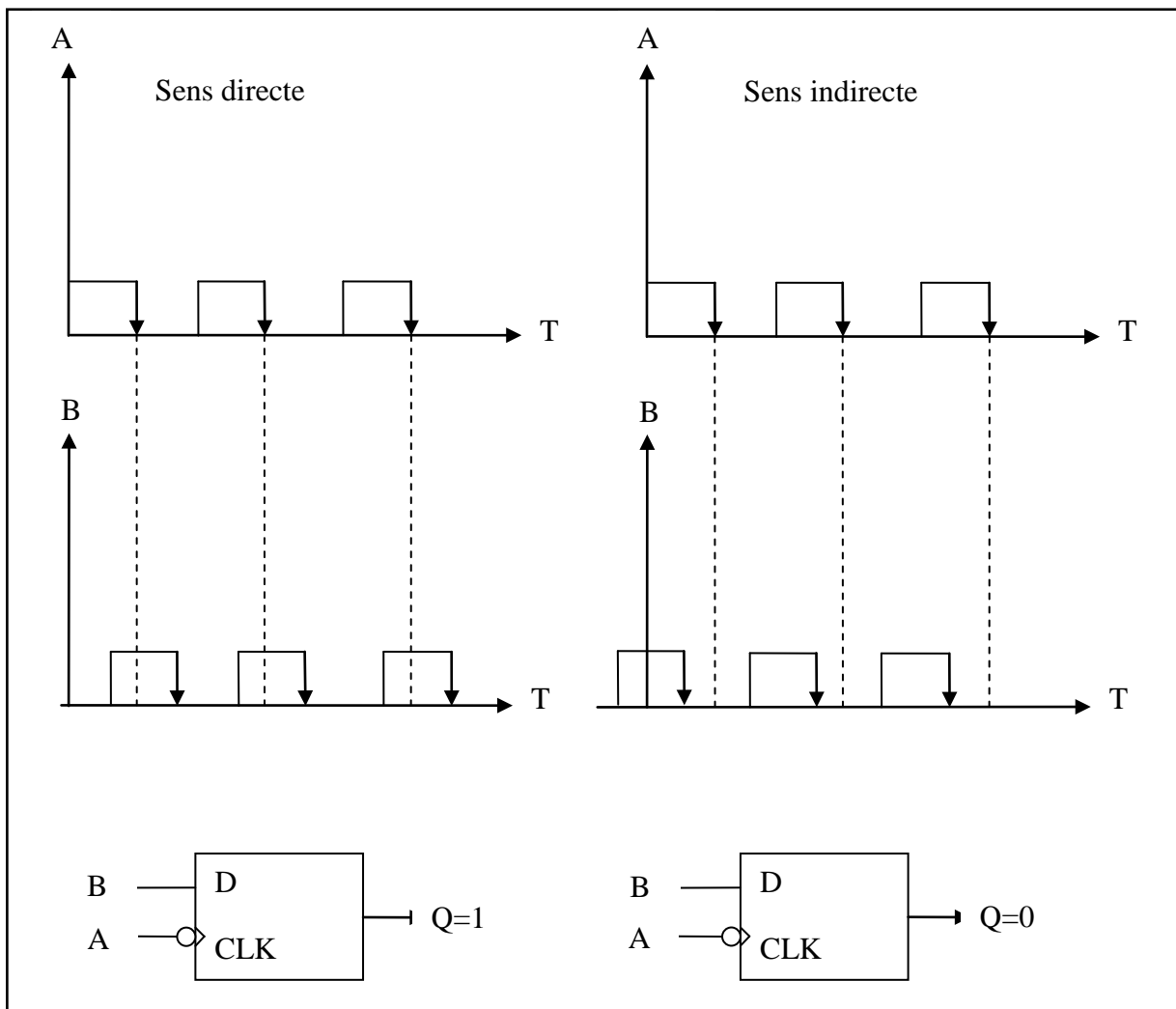
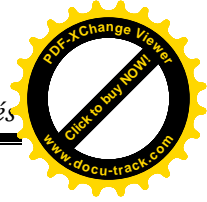
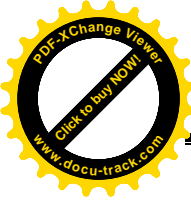


Figure I.12 : Signaux donnés par les différentes pistes

La simple utilisation d'une bascule D permet d'obtenir une information logique concernant le sens de rotation.



La sortie Q prend l'état de l'entrée D à chaque front montant (ou descendant) sur l'entrée de l'horloge.

Les signaux ainsi fournis sont ensuite traités directement par un microcontrôleur ou convertis en une tension analogique.

I.6. GENERALITES SUR LE REGULATEUR PID

I.6.1. Définition

I.6.1.1. Le régulateur : reçoit les différents signaux d'information du système puis génère les signaux de commande pour piloter le processus, il est composé de deux parties :

- ✓ **Le comparateur** : il observe l'écart entre la mesure et la consigne.
- ✓ **Le correcteur** : a pour but d'améliorer le régime transitoire (amortissement, stabilité, temps de repense) du système compensé, de lui faire atteindre les sorties désirées (précision) et de réduire l'effet des perturbations, il se base sur l'erreur entre la mesure et la consigne du système bouclé pour générer l'action appropriée. Pour remplir son rôle, le régulateur doit donc traiter l'information d'écart pour élaborer un signal de commande appelé *grandeur réglante*. [8]

I.6.1.2. Asservissement ou régulation : un asservissement est un système de commande en boucle fermée dont le signal de commande dépend de l'écart entre la grandeur entrée (consigne) et la grandeur sortie à commander. L'objectif est de rendre cet écart le plus faible possible, c'est-à-dire la sortie doit suivre à chaque fois la consigne, avec les meilleures conditions dynamiques possibles.

Dans un asservissement, on distingue deux fonctions :

- ✓ **Fonction de régulation** : la mesure doit être maintenue à une valeur constante égale à la consigne quelles que soient les perturbations subies par le procédé.
- ✓ **Fonction de poursuite ou asservissement** : la mesure doit suivre toute évolution de la consigne. La rapidité d'obtention de la consigne et la valeur du dépassement de celle-ci qualifient sa performance.

En pratique, un asservissement doit assurer, ces deux fonctions simultanément. [12]

I.6.1.3. Caractéristique statique et dynamique d'un procédé

- ✓ **La stabilité** : un procédé est dit naturellement stable si à une variation finie de la grandeur réglante E correspond une variation finie de la grandeur réglée S. [10]

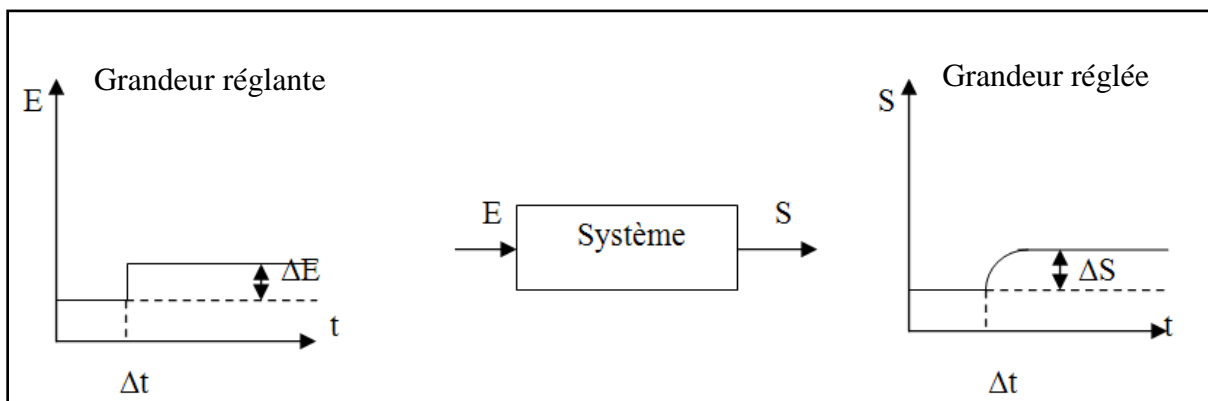


Figure I.13 : procédé stable

- ✓ **L'instabilité** : un procédé est dit naturellement instable si à une variation finie de la grandeur réglante E correspond une variation continue de la grandeur réglée S. [10]

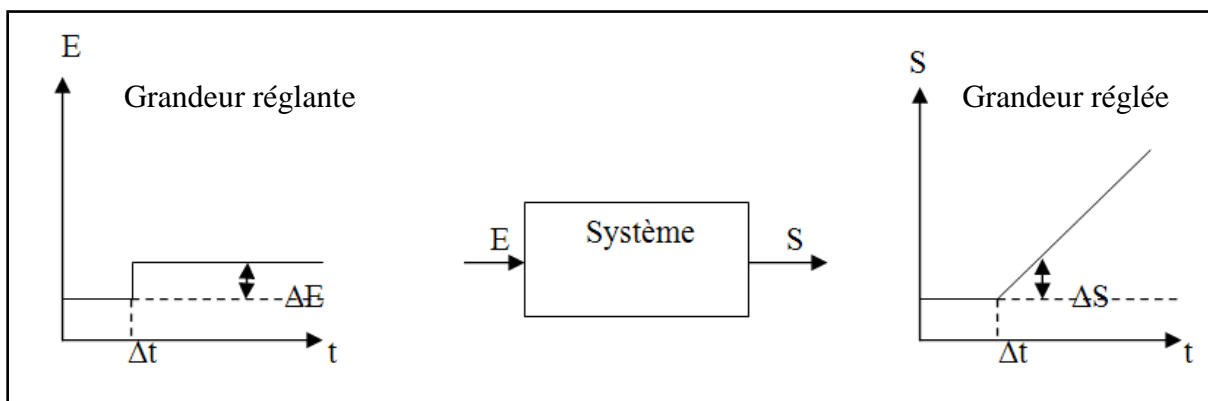


Figure I.14 : procédé instable

I.6.1.4. Caractéristique statique de procédé

- **Gain statique**

Si le système est naturellement stable, le gain statique G est le rapport entre la variation de la grandeur de sortie S et la variation de la grandeur d'entrée E.

$$G = \Delta S / \Delta E \tag{I.10}$$

- **Erreur statique**

Si le système est stable, l'erreur statique ε est la différence entre la consigne E et la mesure de la valeur réglée S .

$$\varepsilon = E - S \tag{I.11}$$

I.6.1.5. Caractéristique dynamique du procédé

- **Temps de repense (T_r)**

Désigne l'intervalle de temps entre la variation de la consigne et la variation de la mesure. Les longueurs de canalisations induisent des temps morts.

- **Le temps d'établissement (T_e)**

T_r (5%) correspond à l'intervalle de temps entre la variation de la consigne et l'instant où la mesure entre dans un intervalle de +/- 5% sans ne plus en ressortir. Les réglages du correcteur P, I et D permettent d'optimiser ce temps d'établissement.

- **Dépassement**

Le premier dépassement permet de déterminer la stabilité du système. Plus celui-ci sera important, plus le système sera proche de l'instabilité

I.6.2. Principe de régulation

I.6.2.1. La chaîne de traitement de l'information

Le contrôle du procédé met en œuvre une chaîne d'outils à plusieurs niveaux. Le but étant de maîtriser le procédé et, soit de le piloter, soit de l'empêcher d'évoluer en raison de perturbations.

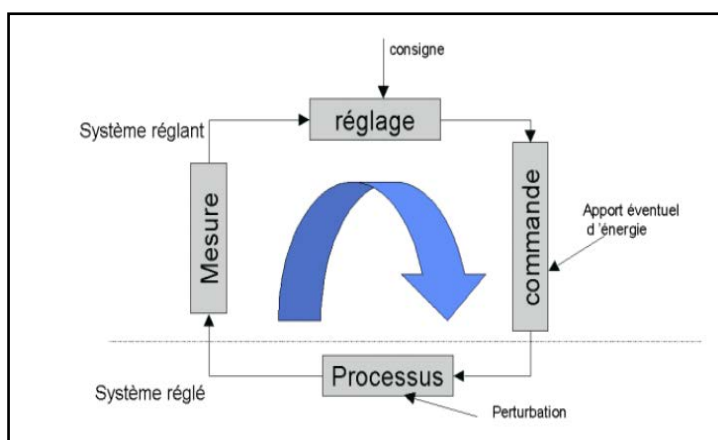
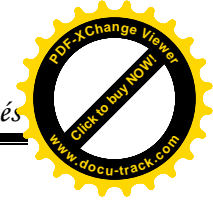
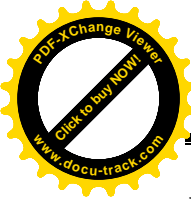


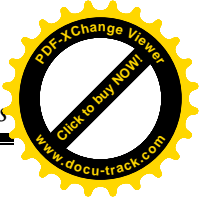
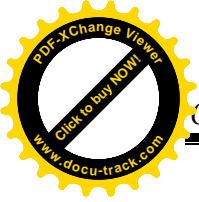
Figure I.15 : constitution de la boucle de traitement de l'information



I.6.2.2. Les éléments de la chaîne

Le système se décompose en trois zones : la commande, l'algorithme et la mesure.

- ✓ **La mesure** : englobe le capteur, l'acquisition par l'automate et le traitement de la mesure.
- ✓ **L'algorithme** : correspond à la partie calcul de la commande, en respectant les consignes.
- ✓ **La commande** : représente l'écriture sur la carte de sortie ainsi que l'actionneur. [12]
 - **Le capteur** : c'est l'élément d'interface avec le réel. L'automate programmable sait uniquement acquérir des informations électriques. Il est donc nécessaire de transformer l'information à traiter en valeurs de tension ou de courant représentatives. C'est le rôle du capteur qui est en réalité composé de deux parties : capteur et transmetteur.
 - **L'acquisition de la mesure** : le processeur de traitement gère exclusivement des éléments appartenant au numérique. Il est donc nécessaire de convertir la mesure en une valeur mémorisable dans un champ de bits. Les capteurs numériques réalisent directement cette conversion et envoient la valeur binaire correspondante. On verra que l'acquisition réalisée par une carte d'entrée
 - **L'actionneur** : la connexion avec le procédé. C'est l'interface d'action sur le procédé. Cela peut être une vanne, une pompe, etc.
 - **Le procédé** : le procédé fournit une nouvelle valeur au capteur à partir de la commande passée mais aussi à partir des perturbations qui vont le solliciter. La connaissance de son comportement est donc nécessaire. L'évolution interne (exemple : montée adiabatique dans un réacteur) sera plus souvent vue comme une perturbation, plutôt que comme un élément de pilotage. Le procédé pourra être stable ou instable.
 - **Le traitement de la mesure** : La valeur brute est rarement utilisable. En général, la valeur acquise n'est pas directement exploitable. En effet, des couplages CEM peuvent avoir généré des bruits parasites, la mesure peut avoir été réalisée avec une stratégie qui impose une opération mathématique pour la rendre utilisable. Cette partie, si elle n'est pas systématique, doit cependant être maîtrisée car elle fournit les bases des informations pour la suite.
 - **Le traitement de l'algorithme de régulation** : Le cerveau de la boucle. A partir des informations actuelles et de la stratégie de commande choisie, l'algorithme va définir les actions à effectuer. C'est en général la partie la mieux traitée par les développeurs.
 - **La commande** : L'écriture vers l'extérieur. La valeur calculée par l'algorithme de régulation n'est pas obligatoirement envoyée directement au procédé. Elle peut être

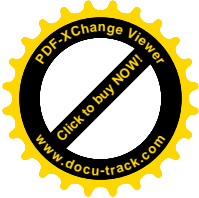
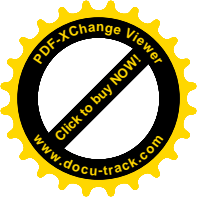


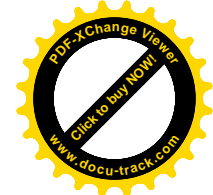
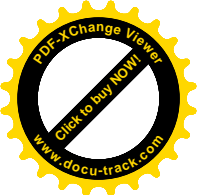
modifiée (cas des servomoteurs) ou contrainte. La valeur finale est ensuite envoyée sur une carte de sortie pour être convertie en valeur électrique (TOR ou analogique).

I.7.CONCLUSION

Un système commandé, possède des caractéristiques propres qui sont rarement satisfaites, on souhaite une bonne précision et rapidité, une bonne stabilité, et une insensibilité aux perturbations. Un dépassement trop important, au regard d'un cahier des charges, dans ce cas, la correction de tels systèmes est alors indispensable, cette notion est abordée dans notre prochain chapitre.

Le prochain chapitre sera consacré à la présentation de l'API OMRON CPM2C, définir les différentes actions du régulateur PID et l'influence de chaque action, après par la suite les différentes méthodes de réglage des paramètres et la régulation PID avec l'automate OMRON.

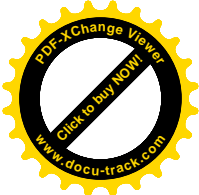
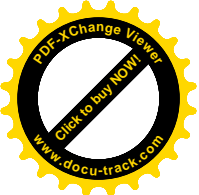


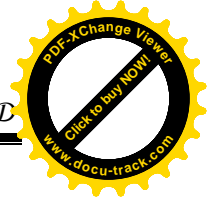
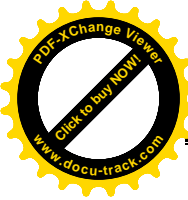


Chapitre

2

*Développement d'une
solution programmable et
la régulation PID*





II.1 Introduction

Dans la plupart des processus industriels, en particulier les moteurs électriques, il est indispensable de maîtriser certains paramètres physiques (vitesse, position, angle...etc.), il est donc très souvent nécessaire d'avoir recours à une commande. La commande PID (Proportionnelle-Intégrale-Dérivée) est une méthode qui a fait ses preuves et qui donne de bons résultats, grâce à l'action proportionnelle qui améliore la rapidité, l'intégrale pour la précision, et la dérivée pour la stabilité.

Historiquement, les régulateurs n'étaient pas intégrés dans l'unité centrale des Automates Programmables Industriels, mais se présentaient sous forme de modules autonomes gérant leur environnement propre (acquisition, calcul, commande...). De plus en plus, les automates intègrent les régulateurs au sein de l'unité centrale. C'est moins vrai aujourd'hui ou derrière chaque régulateur se cache un microprocesseur. Il est facile à comprendre, donc facile à régler et à maintenir. Les régulateurs permettent ainsi de lier plus simplement les parties séquentielle et continue du procédé. La régulation fait partie intégrante de la qualité de production : c'est donc un point non négligeable de la chaîne de valeurs d'une installation.

Autrefois le travail à l'entreprise était pénible car il nécessitait beaucoup d'effort et de main-d'œuvre et un temps très long. Pour résoudre ces problèmes, les responsables ont pensé à l'automatisation, qui à l'époque était en logique câblé (utilisation de relais électromagnétiques et de systèmes pneumatiques pour la réalisation des parties commandes), mais l'industrie n'était toujours pas satisfaite par cette technologie qui présentait beaucoup d'inconvénients (cher, pas de flexibilité, pas de communication possible...). Elle demandait plus de flexibilité et d'adaptabilité.

A la fin des années soixante les automates programmables industriels(API) à base de microprocesseurs permettant une modification aisée des systèmes automatisés (logique programmée) ont fait leur apparition. Et depuis ils ne cessent pas d'évoluer et de s'améliorer

II.2. Définition d'un automate programmable industriel

L'A.P.I. est un équipement spécialement conçu pour l'industrie et destiné à piloter des chaînes de montages, productions, manutentions, robots industriels, machines outils...

Ils ont été conçus dans le cadre de réaliser des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogique ou numérique, pou réduire la main-d'œuvre et augmenter la productivité.

II.2.1. Choix d'un automate programmable industriel

D'après le cahier des charges établi, l'automate choisi doit répondre à certains critères qui sont :

- ✓ Le nombre d'entrées/sorties.
- ✓ La nature des entrées/sorties (analogique, numérique, booléennes).
- ✓ La capacité de traitement du processeur (vitesse, données, opération, ...).
- ✓ La fiabilité et la robustesse.
- ✓ La communication avec d'autre système.
- ✓ La qualité du service après vente.

II.2.2. La structure d'un système automatisé

La structure d'un système automatisé est représentée figure II.1 :

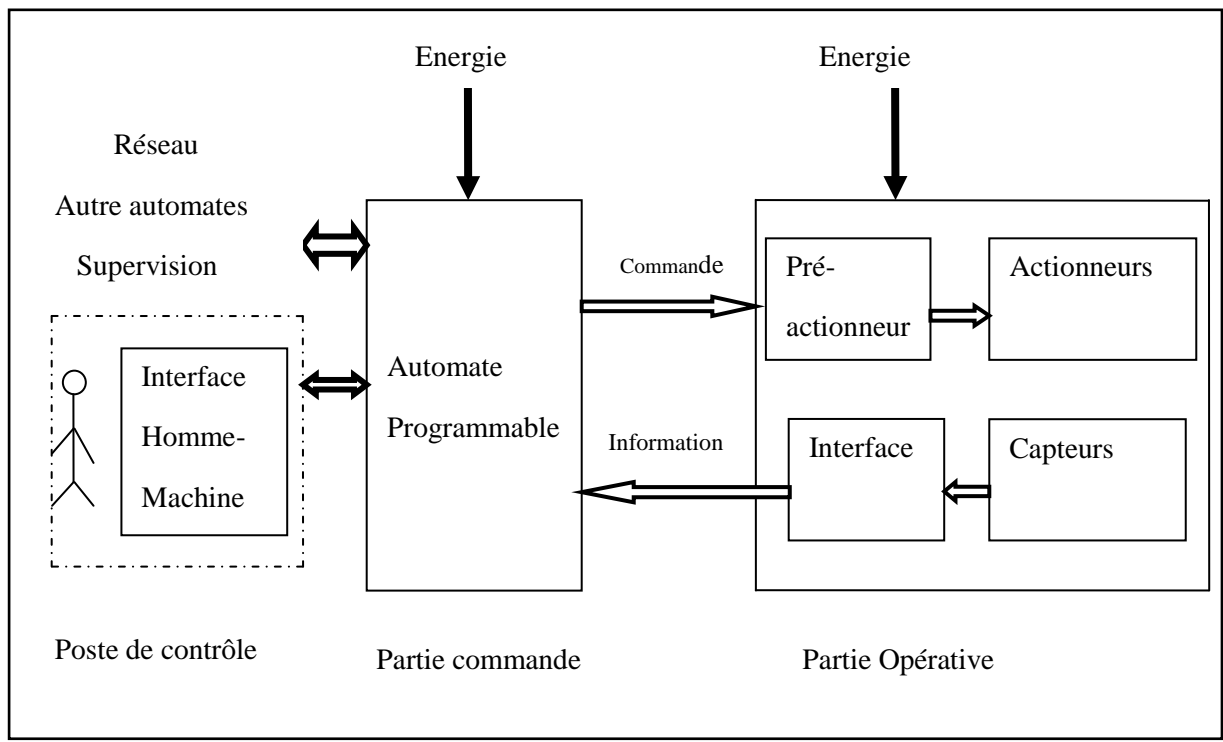
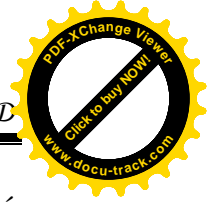
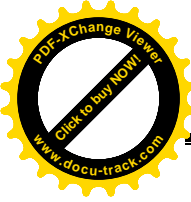


Figure II.1 : structure d'un système automatisé.



La partie opérative agit sur la matière d'œuvre afin de lui donner sa valeur ajoutée. Comporte les pré-actionneurs (contacteur, distributeur...) permettent de commander les actionneurs, ils assurent le transfert d'énergie entre la source de puissance (réseau électrique, pneumatique ...) et les actionneurs.

Les actionneurs (moteurs, vérins) transforme une énergie (électrique, pneumatique, hydraulique) en une énergie mécanique associée à un mouvement qui agit à son tour sur la matière d'œuvre.

Les capteurs envoient des informations à la partie commande permettent d'acquérir les divers états du système.

L'interface (traitement d'image, amplification...) car les signaux issus de capteurs sont parfois conditionnés par une interface électronique.

La partie commande donne l'ordre de fonctionnement à la partie opérative, peut être un PC industriel un système à base de microcontrôleur ou de microprocesseur ou automate programmable.

Très souvent la partie commande est reliée au reste de l'entreprise par un réseau local industriel.

Le poste de contrôle est composé de l'interface homme-machine et l'opérateur, il permet à l'opérateur de commander le système (marche, arrêt...) par l'intermédiaire d'une interface homme-machine, et de visualiser ses différents états à l'aide des voyants.

II.3. Architecture d'un automate

II.3.1. Architecture externe d'un automate

On rencontre deux types d'architectures externes : l'architecture modulaire et l'architecture compacte (non modulaire).

Dans les API compacte, tous ses composants (CPU, modules d'entrée et sortie...) sont intégrés dans un seul boîtier.

Dans les API modulaires, chaque élément est indépendant de l'autre (CPU, modules d'entrées et sorties, alimentation...). Ils sont montés sur un rack et reliés connecteur au bus voir figure (II.2).

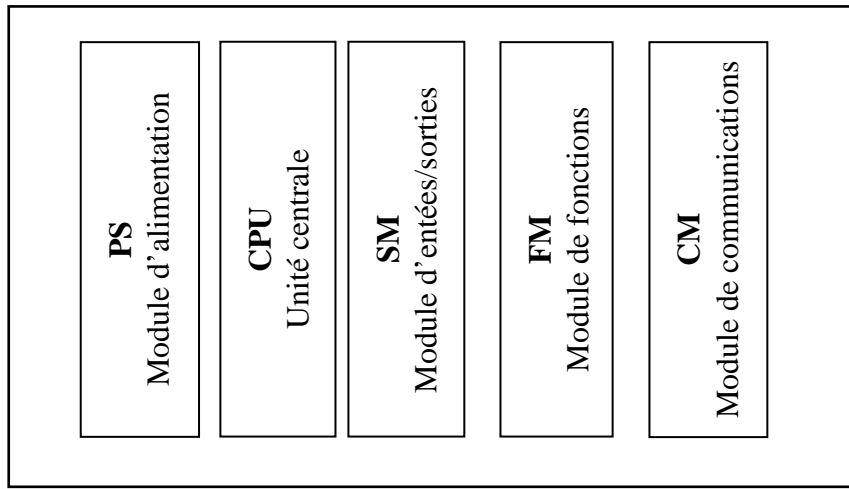


Figure II.2 : l'architecture d'un automate programmable

II.3.2. Architecture interne d'un automate

La structure interne d'un API est schématisée figure (II.3). Il se compose du module d'alimentation (PS), de la CPU (processeur), des modules d'entrées/sorties, des modules de communications et de bus interne.

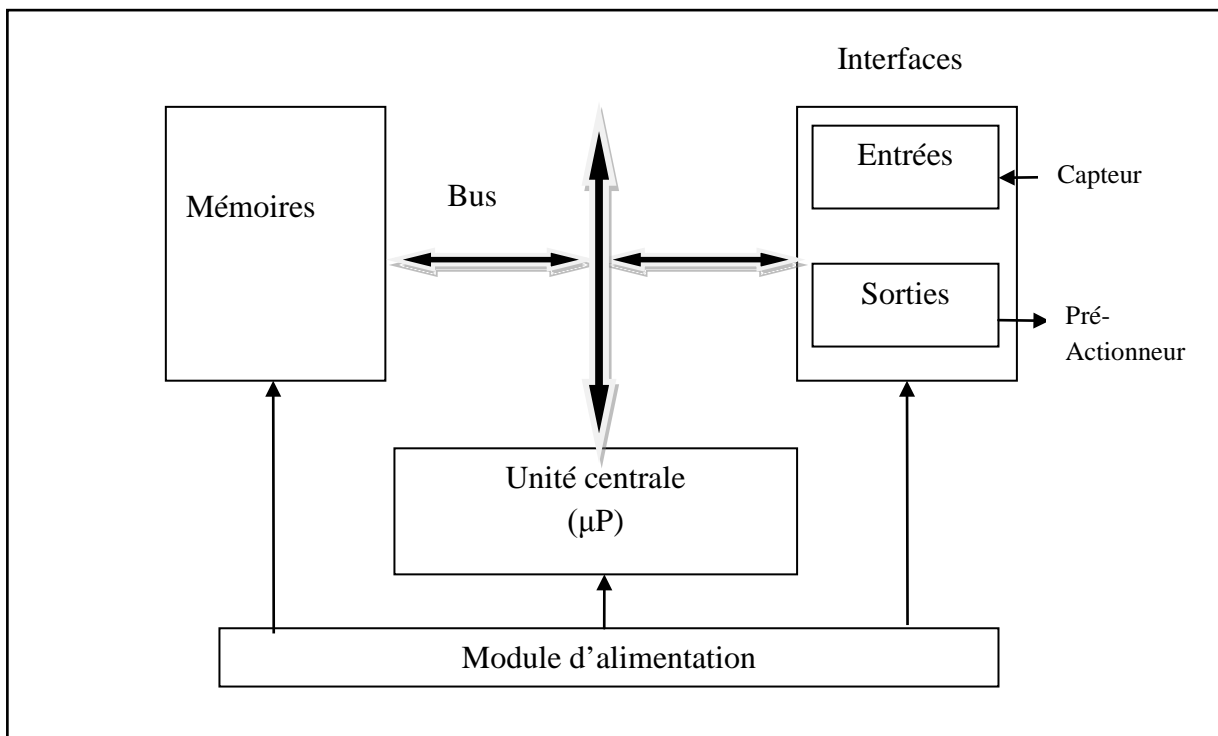


Figure II.3 : structure interne

II.4. Présentation de l'automate OMRON CPM2C-MAD11

C'est un système d'automatisation modulaire. Il est constitué d'une alimentation, d'un CPU, des modules d'entrées/sorties, module de communication et de modules spécifiques destinés à des fonctions particulières, comme montré par la figure (II.4)

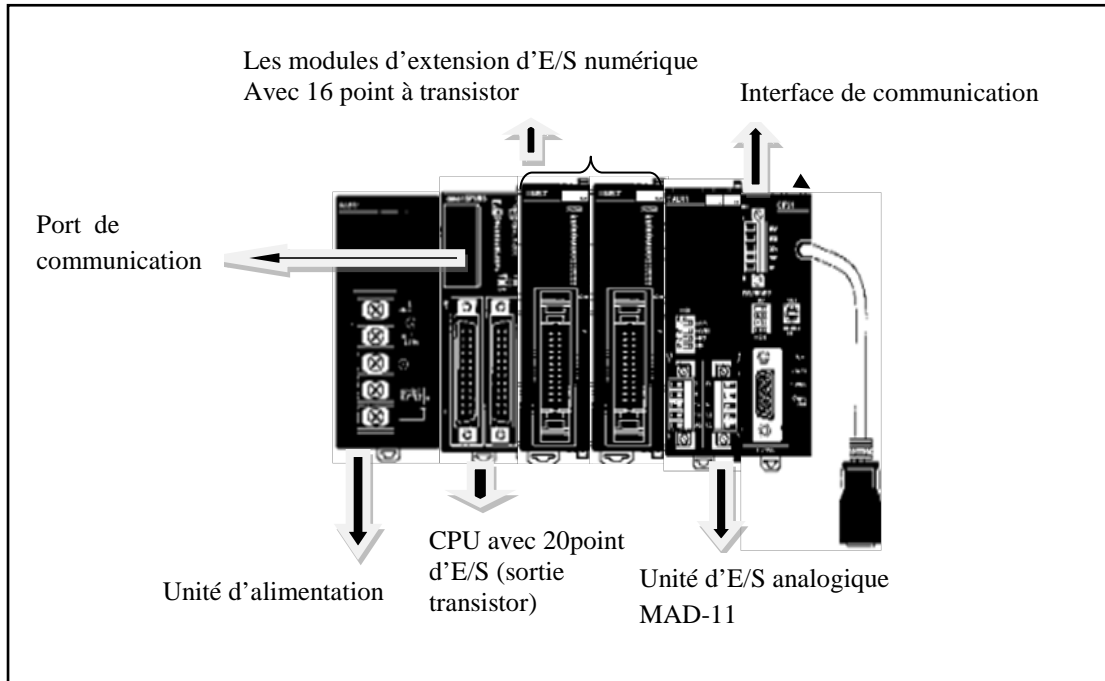


Figure II.4 : configuration du l'automate OMRON CPM2C

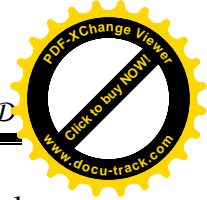
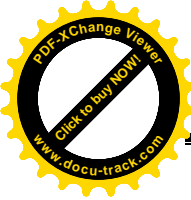
II.4.1. Module d'alimentation

Les automates actuels sont équipés d'une entrée 100 à 240V AC et avec une sortie de 24V CC, 600mA. Son modèle est le CPM2C-PA201.

II.4.2. CPU

C'est une unité compact, comprenant le contrôle des impulsions synchronisées, les entrées d'interruption, les sorties d'impulsion. L'unité centrale du CPM2C est une unité qui peut traiter une large gamme d'applications de contrôle par machine, elle mémorise le programme et traite les informations, une gamme étendue garantit un contrôle efficace des machines, sont disponibles avec sortie relais ou transistor, une borniere ou diverses versions de connecteurs, et une horloge temps réel.

- ✓ **Bus interne** : permet la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions.



- ✓ **Mémoires** : il existe plusieurs types de mémoire dans l'automate : la RAM, la ROM, la PROM, l'EEPROM, Pendant l'exécution, le programme lit et écrit des données dans cette zone de mémoire. Une partie de la mémoire d'entrée/sortie contient les bits qui reflètent l'état des entrées et sorties de l'API. Certaines parties de la mémoire d'entrée/sortie sont vidées à la mise sous tension et d'autres parties sont conservées.
- ✓ **Processeur** : son rôle consiste à organiser les différentes relations entre la zone mémoire et les interfaces d'entrées/sorties, ainsi que de gérer les instructions du programme. Le CPM2C exécute le programme de façon cyclique. Le programme peut être divisé en gros en deux parties : le «programme principal» qui est exécuté de façon cyclique et les «programmes d'interruptions» (Les interrupteurs de communications déterminent si le port de périphérique et le port RS-232C fonctionnent avec les réglages de communications normaux ou les réglages de communications «usine») qui sont exécutés seulement quand l'interruption correspondante est produite.

II.4.3.les modules d'entrées

Il existe deux types de module d'entrée :

- les module d'entrée TOR qui permettent de raccorder à l'automate les différents capteurs logiques tels que : boutons poussoirs, capteurs de proximité inductifs ou capacitifs, fin de course, capteurs photoélectrique.
- les modules d'entrée analogique pour la lesquels il est nécessaire de procéder à une conversion analogique-numérique du signale entrent.

II.4.4.les modules de sortie

Ils permettent de commander divers pré-actionneurs et éléments de signalisation du SAP (système automatisé de production).

- Les modules de sortie TOR permettent de raccorder à l'automate les différents pré-actionneurs (vannes, électrovannes, relais...)
- les module de sorties analogiques permettent de générer les grandeurs analogiques envoyées à la partie opérative.

II.4.5.Autres modules

- Unité sonde de température CPM2C- TS001
- Unité esclave CompoBus/s CPM2C- SRT21
- Interface Périphérique/RS-232C

- Interface RS-422/RS-232C

II.4.6. Modules d'E/S analogiques

✓ Définition

Un module d'E/S analogique permet l'utilisation de 2 entrées analogiques et d'une sortie analogique. La plage d'entrée analogique peut être définie à 0 - 10 V c.c, 1- 5 V c.c. ou 4 - 20 mA. La plage de sortie analogique peut être définie à 0 - 10 V c.c, 4 - 20 mA ou -10 -10 V c.c.

✓ Plage de signaux d'E/S analogiques

1. Plage de signaux d'entrée analogiques : entrées 0 à 10 V

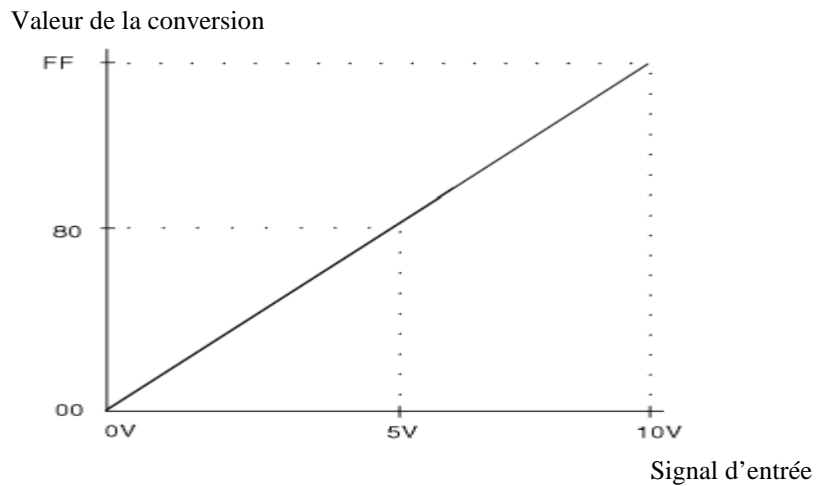


Figure II.5 : Plage de signaux d'entrée analogiques

2. Plage de signaux de sortie analogiques : sorties 0 à 10 V

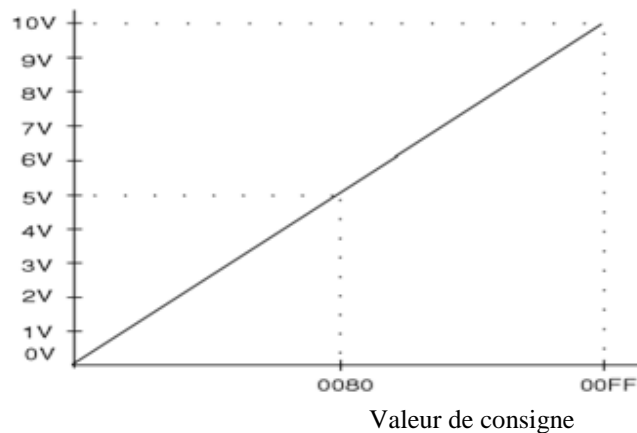
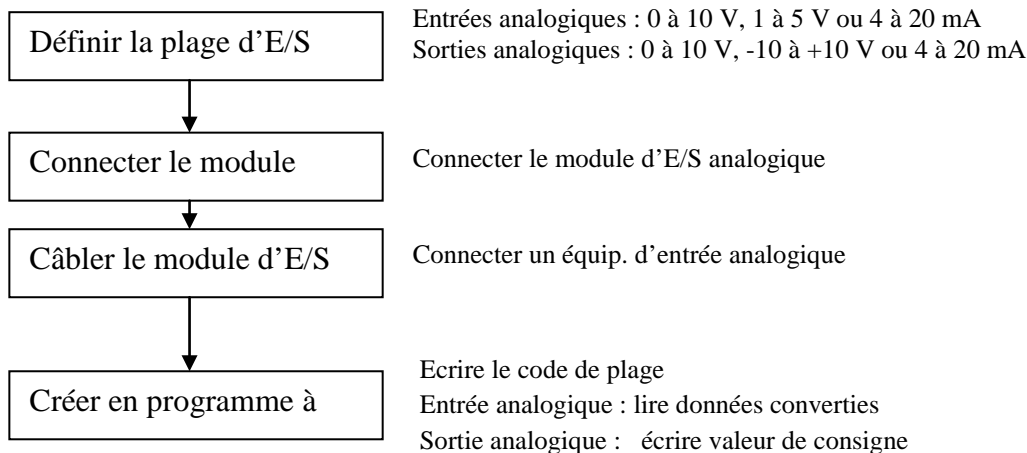


Figure II.6 : Plage de signaux de sortie analogiques

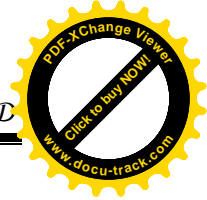
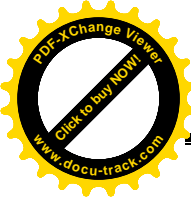
- ✓ **Utilisation des E/S analogiques** : voici les étapes qui faut suivre pour utiliser des E/S analogiques.



II.4.7.Mode de fonctionnement

Les unités centrales CPM2C ont 3 modes de fonctionnement : PROGRAM (programme), MONITOR (surveillance) et RUN (marche). [11]

- ✓ **Mode PROGRAM** : le programme ne peut pas être exécuté en mode PROGRAM. Ce mode est utilisé pour effectuer les opérations suivantes en préparation de l'exécution du programme :
 - changer les paramètres initiaux et de fonctionnement, tels que ceux dans l'installation de l'API
 - écrire, transférer ou vérifier le programme
 - vérifier le câblage en imposant le réglage ou le nouveau réglage des bits d'entrée/sortie
- ✓ **Mode MONITOR** : en général, le mode MONITOR est utilisé pour déboguer le programme, tester le fonctionnement et faire des ajustements. Le programme est exécuté en mode MONITOR et les opérations suivantes peuvent être effectuées à partir d'un appareil de programmation :
 - «éditer» en ligne
 - surveiller la mémoire d'entrée/sortie en fonctionnement
 - imposer le réglage ou le nouveau réglage des bits d'entrée/sortie, changer les valeurs réglées et changer les valeurs actuelles pendant le fonctionnement.
- ✓ **Mode RUN** : le programme est exécuté à vitesse normale en mode RUN. Les opérations comme l'«édition» en ligne, l'imposition du réglage ou du nouveau réglage



des bits d'entrée/sortie, et le changement des valeurs réglées et des valeurs actuelles, ne peuvent s'effectuer en mode RUN, mais l'état des bits d'entrée/sortie peut être surveillé.

II.4.8. Avantage

Le CPM2C est une merveille de compacité et de modularité et comporte 2 ports de communication libre de tout protocole ! Il propose des modules d'E/S avec borniers ou connecteurs, Haute Densité ainsi que des UC avec fonctions de réseau esclave DeviceNet et/ou réseau maître CompoBus/S assurant un véritable contrôle réparti des machines avec une modularité sans égale.

- Des cartes d'extension d'E/S avec 8 à 32 points permettent la configuration d'un système de contrôle disposant de 192 points d'E/S.
- Compteur 20 kHz et deux sorties d'impulsions 10 kHz intégrées.
- Mémoire de programme 4 K/mots
- Mémoire de données 2 K/mots
- Horloge en temps réel sur CPM2
- Un ou deux ports RS-232C intégrés
- Commandes PID, SYNC et PWM
- Cartes d'extension T.O.R., analogiques et bus de terrain.
- 10 - 32 points d'E/S par UC, sorties transistor ou relais.

II.5. Langage de programmation OMRON de CPM2C-MAD11

Il existe plusieurs familles d'automates dont chacune a son propre langage de programmation. Pour l'automate CPM2C on utilise CX-programmer. La programmation se fait à travers une console de programmation ou un PC et sous un environnement Windows, comme montré par la figure (II.7)

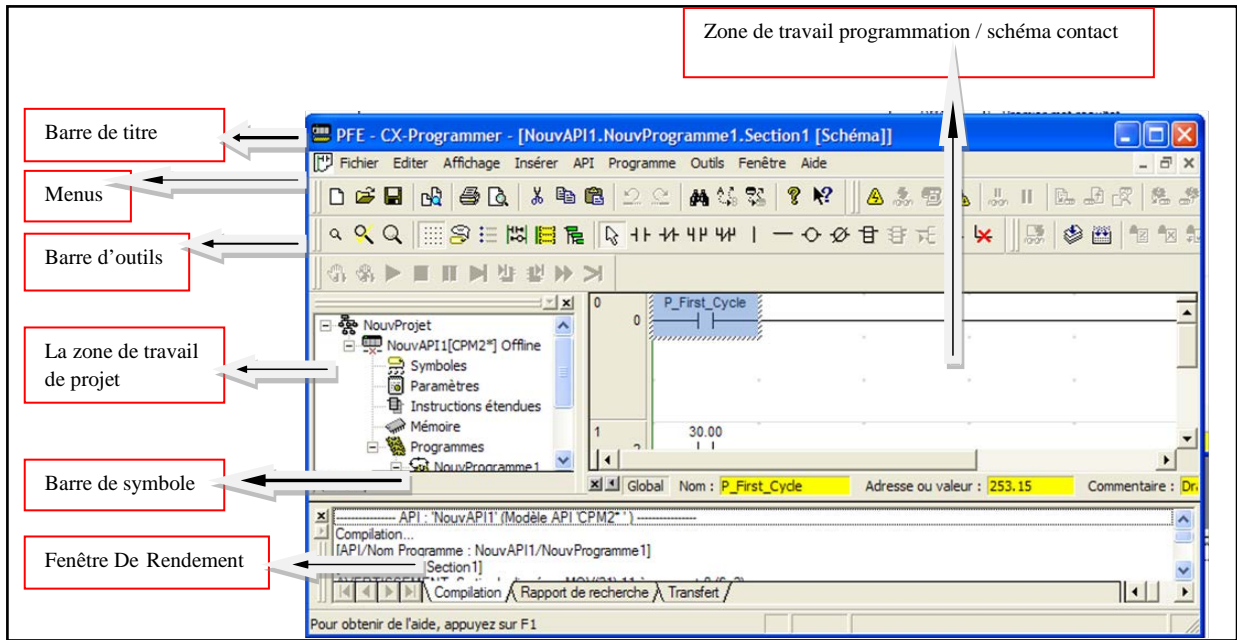


Figure II.7 : vue de la fenêtre principale de CX-programmer

II.6.Implantation du programme d'automatisation de système

Pour la programmation de notre système on a commencé par la configuration de notre automate alors juste à l'ouverture de nouveau projet sur CX-programmer une fenêtre apparaitre demande le changement de l' API et en va le maître sur CPM2*voir figure (II.8).

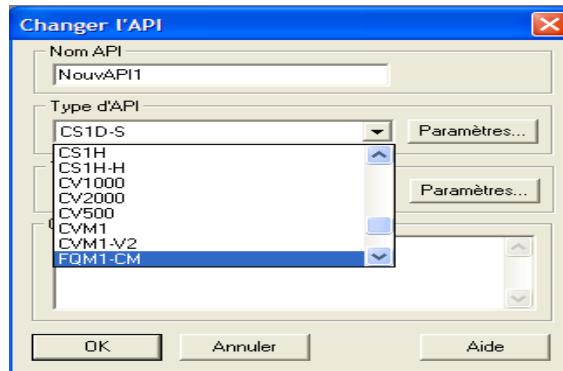


Figure II.8 : fenêtre de changement de l' API

Il y a plusieurs étape de base impliquées dans l'écriture d'un programme voici quelque étape :

- Dresser la liste de tous les périphériques d'E/S et des points d'E/S qui leur ont été attribués ; préparer un tableau des bits d'E/S attribués à chaque périphérique d'E/S.
- Dessiner le schéma à contacts.

- Entrer le programme dans l'UC. L'utilisation de la console de programmation implique la conversion du programme en forme mnémonique.
- Corriger les éventuelles erreurs de syntaxe du programme.
- Exécuter le programme pour corriger les éventuelles erreurs d'exécution.
- Après l'installation du système de contrôle complet et lorsque celui-ci est prêt à l'utilisation, exécuter le programme et effectuer les réglages qui s'imposent.

Pour notre système on a utilise le matérielle qui comporte :

- ✓ Module d'alimentation
- ✓ L'unité CPU
- ✓ Un module analogique MAD11
- ✓ Un câble RS-232

La programmation a été implantée en mode contacts (Ladder Diagram (LD))

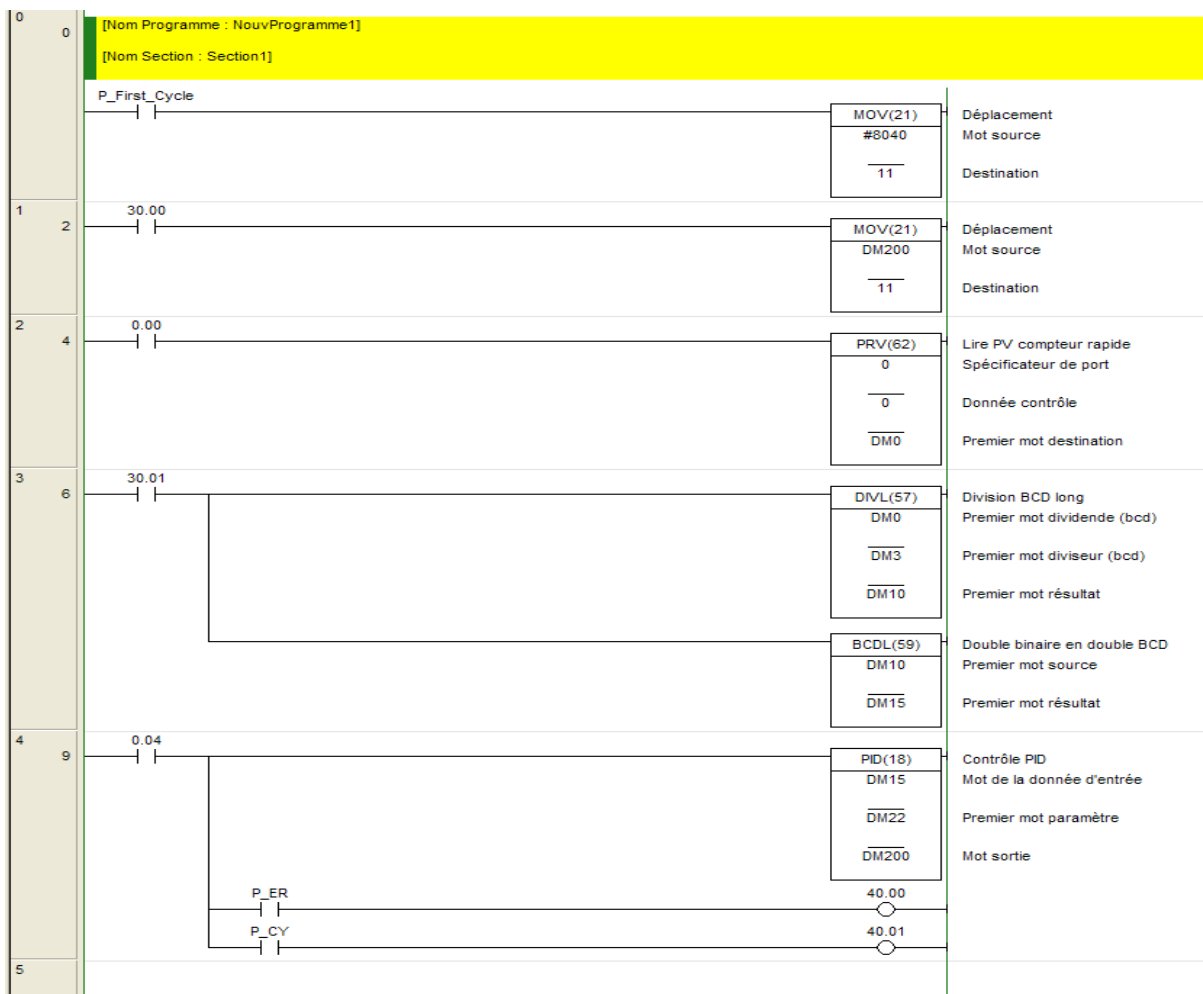


Figure II.9 : Le programme de pilotage de moteur à courant continu sous

OMRON-CPM2C

II.7. Création de la table mnémorique

Le schéma à contacts ne peut pas être introduit directement dans l'API au moyen d'une console de programmation. Pour l'introduire d'une console de programmation, il faut convertir le schéma à contacts en code mnémorique. Le code mnémorique fournit exactement la même information que le schéma à contacts, mais sous une forme qui peut être tapée directement dans l'API. En réalité, un programme direct en code mnémorique est possible, bien que ce ne soit pas recommandé pour les débutants ou pour les programmes complexes. Et quel que soit le périphérique de programmation utilisé, le programme est mis en mémoire sous forme mnémorique, ce qui fait qu'il est important de comprendre ce code.

La figure suivante illustre l'utilisation de la table des mnémoniques dans notre projet.

Segment	Pas	Instruction	Opérande	Valeur	Commentaire
0		LD	P_First_Cycle		Drapeau Premier cycle
1	1	MOV(2)	30.00		
1	2	LD	30.00		
1	3	MOV(2)	DM200		
2	4	LD	0.00		
2	5	PRV(62)	0		
3	6	LD	30.01		
3	7	DIVL(57)	DM0		
3	8	BCDL(59)	DM10		
4	9	LD	0.04		
4	10	OUT	TR0		
4	11	PD(18)	DM15		
4	12	AND	DM200		
4	13	OUT	P_ER	40.00	Drapeau Erreur exécution in...
4	14	LD	TR0		
4	15	AND	P_CY		Drapeau Retenue (CY)
4	16	OUT	40.01		

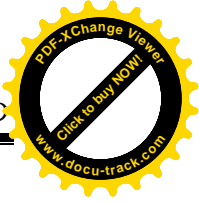
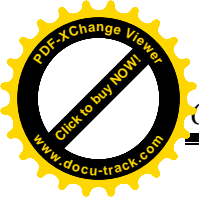
Figure II.10 : la table mnémorique

II.8. La Régulation PID

II.8.1. Notion de correcteur PID

P, I et D constituent des correcteurs dont l'association permet d'assurer une régulation optimale d'un procédé.

Le régulateur proportionnel-intégral-dérivé (PID) est inséré dans l'automate, sous forme d'un algorithme. Ce régulateur élabore à partir du signal d'erreur $\varepsilon(t)$ une commande $U_c(t)$ en fonction de trois actions proportionnelle, intégrale, dérivée. [9]



$$U_c(t) = K_p \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

$$U_c(t) = K_p \varepsilon(t) + K_i \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

$$\xrightarrow{\text{TL}} U_c(p) = K_p \varepsilon(p) + K_i \frac{d\varepsilon(p)}{p} + K_d \varepsilon(p)p \quad (\text{II.3})$$

K_p : gain d'action proportionnelle.

$K_i = 1/T_i$: gain d'action intégrale.

$K_d = T_d$: gain d'action dérivée.

T_i : constante de temps, dite temps d'action intégrale.

T_d : constante de temps, dite temps d'action dérivée.

II.8.1.1. cas d'un correcteur proportionnelle ($K_i = K_d = 0$)

il s'agit d'appliquer une correction proportionnelle à l'erreur corrigeant de manière instantanée, c'est-à-dire, lorsque le signal de commande est proportionnel au signal d'erreur:

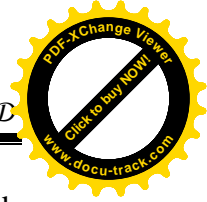
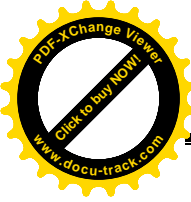
$$U_c(t) = K_p \varepsilon(t) \xrightarrow{\text{TL}} U_c(p) = K_p \varepsilon(p) \quad (\text{II.4})$$

L'action proportionnelle est réglée, au choix soit par :

1. le coefficient d'amplification, appelé « gain » et noté K_p ou G_p .
2. la bande proportionnelle noté BP ou XP exprimé en pourcentage :

$$BP(\%) = \frac{100}{K_p} \quad (\text{II.5})$$

Son rôle est d'amplifier l'erreur pour que le système réagisse plus rapidement, comme si l'erreur était plus grande qu'elle ne l'est en réalité. Il permet de vaincre les grandes inerties du système et diminue le temps de repense (T_r) en donnant de la puissance au moteur (plus l'erreur est grande, plus on donne de puissance au moteur). Lorsque l'on augmente le gain, le système réagit plus vite et l'erreur statique s'améliore,



mais en contrepartie le système perd la stabilité. Le dépassement se fait de plus en plus grand. [13]

II.8.1.2. Cas d'un correcteur Proportionnelle-Intégrale (K d =0)

Le correcteur de type PI est une régulation de type P auquel on a ajouté un terme intégral, il élabore alors une commande qui peut être donnée par la relation suivante :

$$U_c(t) = K_p \varepsilon(t) + K_i \int_0^t \varepsilon(t) \xrightarrow{TL} U_c(p) = K_p \varepsilon(p) + K_i \frac{d \varepsilon(p)}{p} \quad (II.6)$$

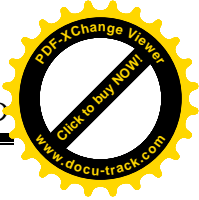
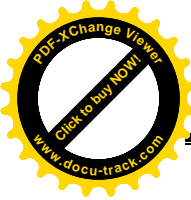
Le terme intégral complète l'action proportionnelle puisqu'il permet de compenser l'erreur statique et d'augmenter la précision en régime permanent. L'idée est d'intégrer l'erreur depuis le début et d'ajouter cette erreur à la consigne, lorsque l'on se rapproche de la valeur demandée, l'erreur devient de plus en plus faible. Le terme proportionnel n'agit plus mais le terme intégral subsiste et reste stable, ce qui maintient le moteur à la valeur demandée. L'intégrale agissant comme un filtre sur le signal intégré, elle permet de diminuer l'impact des perturbations (bruit, parasites), et il en résulte alors un système plus stable.

Malheureusement, un terme intégral trop important peut lui aussi entraîner un dépassement de la consigne, une stabilisation plus lente, voire même des oscillations. [13][14]

II.8.1.3. Cas d'une commande Proportionnelle-Intégrale-Dérivée

Les termes proportionnel et intégral peuvent amener un dépassement de la consigne et des oscillations dans des asservissements. Pour limiter ce phénomène indésirable, on ajoute un troisième élément, dérivé. Son action va dépendre du signe et de la vitesse de variation de l'erreur, et sera opposée à l'action proportionnelle. Elle devient prépondérante aux abords de la valeur demandée lorsque l'erreur devient faible, que l'action proportionnel sera faible et que l'intégrale varie peu, elle freine alors le système, limitant le dépassement et diminuant le temps d'établissement (Te). [14]

L'action dérivée est surtout utilisée dans le cas de variables non bruitées, car la dérivation est très sensible au bruit du signal, on diminuera donc son influence dans un asservissement de vitesse, pour lequel sa dérivée est une accélération. Donc dans un asservissement de vitesse seulement l'action P et I sont utilisées, en revanche le



terme D peut être utilisé dans un seul cas ou le gain K_d prend une valeur précise pour ne pas trop influencer sur le système. Ce problème est moins fréquent dans un asservissement de position, car la dérivée de la position est la vitesse. [13]

II.8.2. Effets des action PID

On représente le rôle de chaque action, proportionnelle, intégrale et dérivé dans le tableau (II.1) suivant :

Action	Effets de chaque action
P	Plus K_p grand ou BP petite plus l'écart est réduit. Plus l'action est forte les oscillations sont importantes, un excès d'action conduit à l'instabilité de la boucle.
I	Permet de supprimer l'écart statique. Plus T_i petit ou K_i trop grand plus l'action est forte sa il conduit à une instabilité de la boucle.
D	Plus T_d grand plus l'action dérivé est forte. L'action dérivé bien dosée permet de : Réduire les dépassements ou les oscillations qui du à l'action proportionnelle, accélérer la repense de la mesure, améliorer la stabilité de la boucle. L'action dérivée est limitée : -Par une amplification des bruits de la mesure dégrade la commande de l'actionneur, système ralentit. -Par un excès de l'action qui peut conduit à l'instabilité du système bouclé.

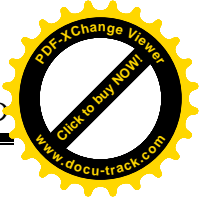
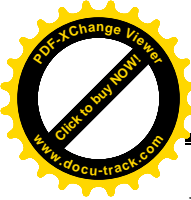
Tableau II.1 :l'effet de l'action PID

II.8.3. La classification selon le type de régulateur

II.8.3.1. Régulateur analogique : réaliser avec des composants analogiques, et son signale de sortie évolue d'une manière continue dans le temps, on obtient alors un système asservis continue.

II.8.3.2.Régulateur numérique : il est réalisé à l'aide d'un système programmable (microprocesseur) et son signale de sortie est le résultat d'un algorithme de calcul, on obtient alors un système asservis échantillonné.

II.8.3.3.Régulateur TOR : la grandeur réglante ne peut prendre que deux valeur 0 ou 1, le suivi de consigne et dans ces condition beaucoup moins fin qu'avec les deux système précédents, mais il peut être suffisent, si on désire pas une grande précision



II.9. Méthode de réglage de PID

Régler un régulateur PID consiste à agir sur les 3 paramètres des différentes actions (gain du proportionnel, gain de l'intégral, gain de la dérivée) sur des valeurs optimales pour obtenir la réponse adéquate en précision, rapidité, stabilité et robustesse en sortie du procédé. Pour cela, il existe plusieurs méthodes de réglage.

II.9.1. La méthode de Ziegler et Nichols

Le technicien cherche expérimentalement à mettre en oscillation entretenue le procédé en modifiant le gain du régulateur. Deux relevés sur la sinusoïde obtenue permettent de déterminer la valeur des paramètres PID du régulateur. La méthode dite du pompage n'est pas applicable si le procédé n'arrive pas à entrer en oscillation entretenue, et si cela n'arrive pas cela signifie qu'il n'y a pas de problème de stabilité. [8]

Avec $D=0$ et I au max (inopérant) et P à 100% au départ, en faisant varier P on applique une variation de consigne d'un échelon, vérifier que la mesure se stabilise près de la consigne, le gain du régulateur est augmenté ainsi par palier jusqu'à provoquer une oscillation entretenue (pompage). La période T de cette oscillation ainsi que le Gain permettent de calculer P , I et D suivant le tableau de Ziegler et Nichols voir le tableau (II.2). [10][8]

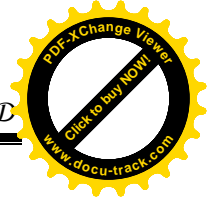
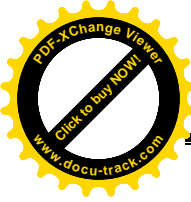
Type de régulation	P	I	D
P	$0.5 K_c$	-	-
PI	$0.45 K_c$	$1.2 / T_c$	-
PID	$0.6 K_c$	$2 / T_c$	$0.125 T_c$

Tableau II.2 : les règles de calcul pour paramétrés PID

II.9.2. La méthode par approche successive

On l'appelle aussi la méthode du réglage, applicable à tous les procédés, elle ne nécessite aucune connaissance du procédé, le technicien règle un à un les paramètres de chaque action PID du régulateur pour obtenir la réponse souhaitée à un échelon de consigne. [8]

Elle consiste à modifier progressivement les paramètres, on règle les actions PID dans l'ordre suivant : P , I , D et en observe les réponses du procédé et en les examinant à des échelons de consigne ΔE d'une manière à s'approcher de la réponse optimale. Pour chaque



essai en part d'une mesure S égale à la consigne E. Cette méthode est simple et adaptée aux procédés rapides ou le temps mort est négligeable. [10][8]

• Réglage de P

P faible <1 (environ 0.2), D = 0, I = 9999 (au maxi pour être inopérant), en appliquant un échelon de 5 à 10% sur la consigne, la réaction doit se rapprocher de la forme du milieu. Si l'action proportionnelle est trop faible, augmenter le gain (ou diminuer BP%) et inversement si l'action proportionnelle est trop forte.

• Réglage de D

D n'est utile que si le procédé induit un temps mort, en commence par la valeur à environ $D = Tr/3$ environ (Tr : temps mort) après le réglage de l'action proportionnelle L'action de D doit permettre de se rapprocher au mieux de la figure du milieu. Affiner la valeur de T_d , il faut choisir un réglage de l'action dérivée qui minimise (ou élimine) le premier dépassement. Elle peut être annulée car elle est néfaste en cas d'un signal très bruité.

• Réglage de I

L'intégrale n'est utile que s'il existe un écart résiduel entre Mesure/Consigne. Il faut choisir un réglage de l'action Intégral qui donne une réponse de la Mesure avec un premier dépassement, par rapport à la consigne, d'environ 10 à 15 % de la variation de la Mesure, puis régler l'action intégrale à partir de $T_i = 10T_d$. [8][10]

II.10. La régulation PID avec les automates OMRON

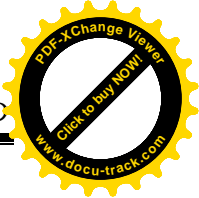
II.10.1. L'instruction PID

L'instruction PID consiste à spécifier 3 adresses :

PID	
S	L'adresse entrée de mesure (source)
C	L'adresse du bloc de contrôle (33 mots)
D	L'adresse sortie de commande (Destination)

Le drapeau ER (erreur) signale toutes erreurs lors de l'exécution de l'instruction PID.

L'exécution de l'instruction PID permet d'ouvrir un champ pour introduire ces adresses.



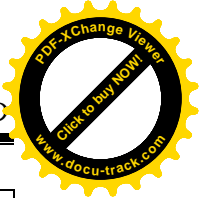
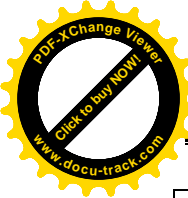
II.10.2. Description

L'instruction PID exécute la commande PID selon les paramètres spécifiés de P1 à P1+6. Lorsque la condition d'exécution est OFF, l'instruction PID ne s'exécute pas. Lorsque la condition d'exécution est ON, l'instruction PID exécute la commande PID selon les paramètres spécifiés. Elle extrait la plage de données binaires spécifiée en entrée du contenu L'adresse entrée de mesure (source), et exécute une action PID sur ces données selon les paramètres définis. Le résultat est ensuite enregistré en tant que variable manipulée dans L'adresse sortie de commande (Destination).

II.10.3. Paramètre du bloc du contrôle

33 mots continus au total doivent être définis à partir de P1 pour que PID s'exécute correctement. Le tableau suivant indique la fonction des mots de paramètres. [11]

Mot	Bit	Nom du paramètre	Fonction/Plage définie
P1	00 à 15	Valeur de consigne (SV).	Valeur cible de la commande PID. Elle peut être définie comme tout nombre binaire, avec le nombre de bits spécifié par le paramètre de plage d'entrée.
P1+1	00 à 15	Largeur de bande proportionnelle	Ce paramètre spécifie la largeur de bande proportionnelle ou le rapport de plage d'entrée entre 0,1% et 999,9%. Ce doit être une valeur BCD comprise entre 0001 et 9999.
P1+2	00 à 15	Temps d'intégration (Tik)/période d'échantillonnage(τ)	Définit le champ de l'action par intégration. Une augmentation de cette valeur augmente le champ de l'action par intégration. Ce doit être une valeur BCD comprise entre 0001 et 8191, ou 9999. La valeur 9999 désactive la commande d'intégration. Définir le temps d'intégration divisé par le temps d'échantillonnage
P1+3	00 à 15	Temps de dérivation (Tdk)/période d'échantillonnage(τ)	Définit le champ de l'action de dérivation. Une augmentation de cette valeur augmente le champ de l'action de dérivation. Ce doit être une valeur BCD comprise entre 0001 et 8191, ou 0000 (la valeur 0000 désactive la commande de dérivation). Définir le temps de dérivation divisé par le temps d'échantillonnage.



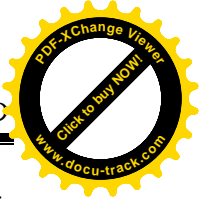
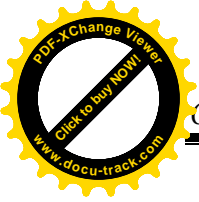
P1+4	00 à 15	Période d'échantillonnage(τ)	Définit l'intervalle entre deux échantillonnages de données en entrée. Ce doit être une valeur BCD comprise entre 0001 et 1023. La période correspondante est comprise entre 0,1 et 102,3 s.
P1+5	00 à 03	Spécificateur d'opération	Définit une opération normale ou inversée. Choisir 0 pour spécifier une opération inversée et 1 pour spécifier une opération normale.
	04 à 15	Coefficient de filtre d'entrée (α)	Détermine le champ du filtre d'entrée. Plus ce coefficient est faible, plus le filtre est faible. Ce doit être une valeur BCD comprise entre 100 et 199, ou 000. La valeur 000 définit la valeur par défaut (0,65) et une valeur entre 100 et 199 règle le coefficient entre 0,00 et 0,99.
P1+6	00 à 03	Plage de sortie	Détermine le nombre de bits de données de sortie. Ce doit être une valeur BCD comprise entre 0 et 8, ce qui donne une plage de sortie entre 8 et 16 bits.
	08 à 15	Plage d'entrée	Détermine le nombre de bits de données d'entrée. Ce doit être une valeur BCD comprise entre 00 et 08, ce qui donne une plage d'entrée entre 8 et 16 bits.
P1+7 à P1+32	00 à 15	Zone de travail	Ne pas utiliser. (Utilisée par le système)

Tableau II.3: le paramètre du bloc du contrôle pour CPM2C

Pour introduire les paramètres du PID, il faut aller dans la zone mémoire des DM dans la zone de travail de projet de CX-programme et suivant l'ordre de paramètre du bloc du contrôle indiqué au tableau (II.3)

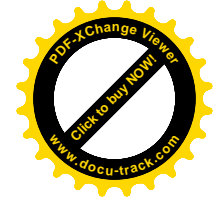
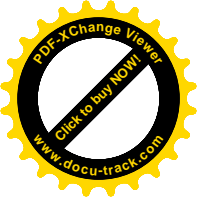
II.11.Conclusion

Ce chapitre nous a permis de nous familiariser avec l'automate programmable OMRON du point de vue programmation. Nous avons constaté que le travail sur l'automate OMRON Cx-programmer offre beaucoup d'avantage te de souplesse dans sa facilité de programmation



Les correcteurs ont pour but d'améliorer le régime transitoire (amortissement, stabilité, temps de réponse) du système compensé, de lui faire atteindre les sorties désirées précision, et l'avantage de régulateur numérique que analogique est le pouvoir s'appuyer sur l'outil informatique.

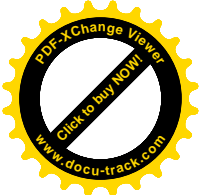
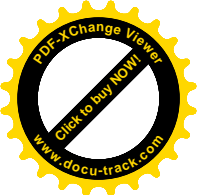
Dans notre projet qui s'intitule « conception d'une commande de vitesse d'un MCC, appliquée sur un automate OMRON-CPM2C » nous allons étudier et réaliser un tel système, celui-ci fera l'objet du 3^{ème} chapitre.



Chapitre

3

*Conception et réalisation
du système*



III.1.Introduction

La conception matérielle est une étape déterminante d'un point de vue rendement et stabilité dans le développement d'un projet. Le choix des composants et leurs positionnements dépendent de l'application qu'on veut réaliser.

Dans toute conception qui a pour but la commande d'un moteur qui nécessite une valeur de courant considérable, on a besoin d'un étage de puissance de type amplificateur. Cependant, le principe reste toujours le même : c'est de ramener des signaux de faible puissance, c'est-à-dire de valeur de courant ou de tension assez faible à des valeurs plus élevées, les composants de l'amplificateur varient selon la puissance du moteur car ce dernier peut être un moteur de faible consommation en courant à un moteur de très grande consommation en courant.

Ce chapitre porte sur la conception que nous avons proposé en tenant compte des contraintes imposées par le cahier des charges, nous allons présenter la structure générale de la boucle de commande de notre moteur. Nous ferons les essais sur LAB d'essai et puis nous réaliserons un circuit imprimé.

III.2.conception matérielle

III.2.1.Structure et description de la boucle de commande

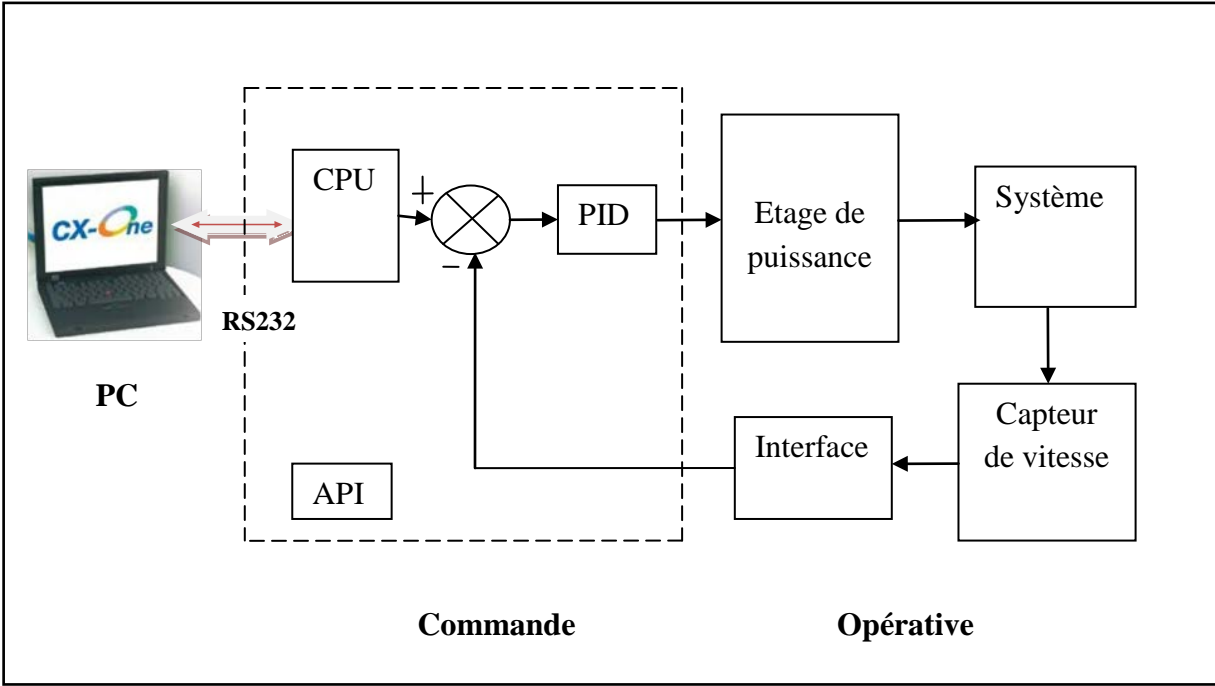
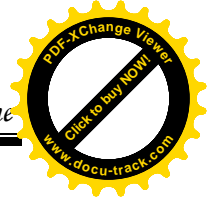
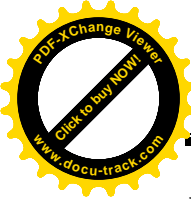


Figure III.1 : structure de la boucle de commande



III.2.1.1. Partie commande

C'est un automate **OMRON CPM2C** plus un module d'extension analogique **MAD-11**, qui fournit une tension physique comprise entre 0 et 10V, et délivre un courant $I=5\text{mA}$, et reçoit des impulsions de 0 et 24V c'est-à-dire 0 et 1, et le régulateur PID est implémenté dans l'API et pour l'utiliser il suffit d'utiliser l'instruction PID dans le programme et régler ces paramètres.

III.2.1.2. Partie opérative

✓ l'amplificateur

En général, à la sortie du correcteur, le signal à un niveau insuffisant pour agir sur le système à commander par l'intermédiaire de l'actionneur. Le rôle de cet amplificateur est d'amplifier le courant généré par l'API pour le rendre suffisant pour faire fonctionner le moteur.

✓ Actionneur

L'actionneur est un organe qui convertit l'énergie d'une forme en une autre pour agir sur le système à commander. Cet actionneur est de type électrique, c'est un moteur à courant continu à aimant permanent, on va étudier la régulation de vitesse à vide, c'est-à-dire sans charge, le courant qu'il faut pour faire tourner le moteur.

✓ Capteur

Dans un système de commande, les organes de mesure réalisent la conversion d'une grandeur physique qu'il mesure (vitesse, angle, courant...) en une grandeur électrique continue. Le capteur est un organe de mesure facile à utiliser, son rôle est de renseigner le correcteur sur le comportement dynamique de la grandeur à commander. Et dans notre système c'est un encodeur incrémental qui est inclut dans la structure du moteur.

✓ Interface

Les signaux issus du capteur placé sur le dispositif sont parfois conditionnés par une électronique d'interface (amplification...).

III.2.1.3. la communication

La fonction de communication entre l'ordinateur et l'API est assurée par une liaison RS232C qui est une ligne de transmission où les bits d'information (1 ou 0) arrivent successivement (série), soit à un intervalle régulier (transmission synchrone), soit à des intervalles aléatoire en groupes (transmission asynchrone). L'octet à transmettre est envoyé bit par bit (poids faible en premier), la liaison RS232 est une liaison série asynchrone.

III.2.1.3.1.Principe de communication série

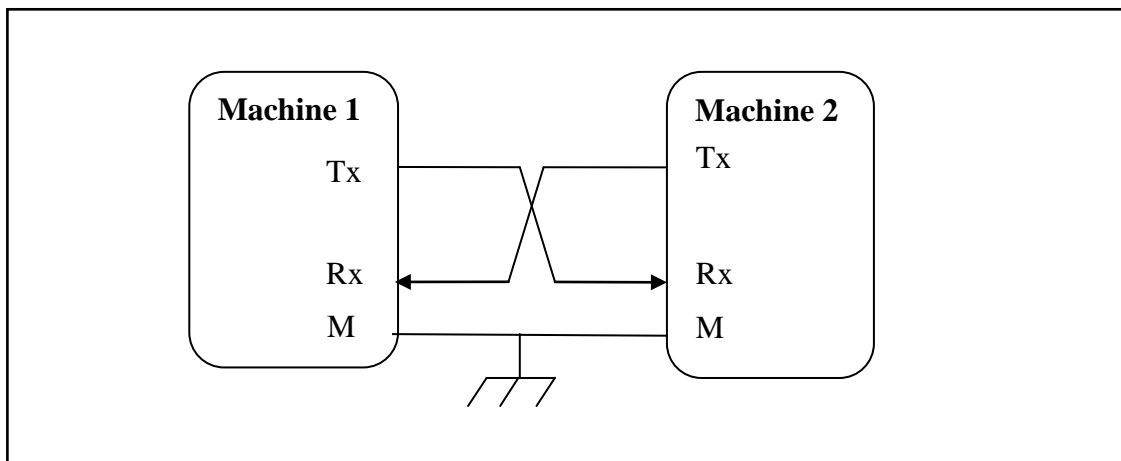


Figure III.2 : communication série entre deux

L'octet à transmettre est envoyé par l'émetteur sur la ligne Tx, vers le récepteur (ligne Rx) qui le reconstitue.

La vitesse de transmission de l'émetteur doit être identique à la vitesse d'acquisition du récepteur. Ces vitesses sont exprimées en BAUDS (1 baud correspond à 1bit/seconde). Il existe différentes vitesses normalisées : 9600, 4800, 2400, 1200... bauds.

La communication peut se faire dans les deux sens, soit émission d'abord, puis réception ensuite, soit émission et réception simultanées. La transmission étant du type asynchrone, des bits supplémentaires sont indispensables au fonctionnement : bit de début de mot (START), bit(s) de fin de mot (stop), des bits de donnée selon un format variable (5, 6, 7,8 bits), d'autre part l'utilisation éventuelle d'un bit de parité, permet la détection d'erreurs dans la transmission.

III.2.1.3.2.Signaux électriques du port série (RS232)

La liaison série RS232 exploite, pour la transmission, des signaux en +/- 12V :

- ✓ +12V : niveau logique '0'
- ✓ -12V : niveau logique '1'

III.2.1.3.3. Les données transmises par le port série

La transmission des données peut se faire suivant plusieurs formats avec ou sans contrôle de parité. La parité pouvant être gérée comme paire ou impaire, une trame commence par un bit START et se termine par un ou deux bits STOP, la figure suivante présente l'allure du format RS232 8,n,1,1: 8bits de données, pas de parité, 1bit START et 1 bit STOP :

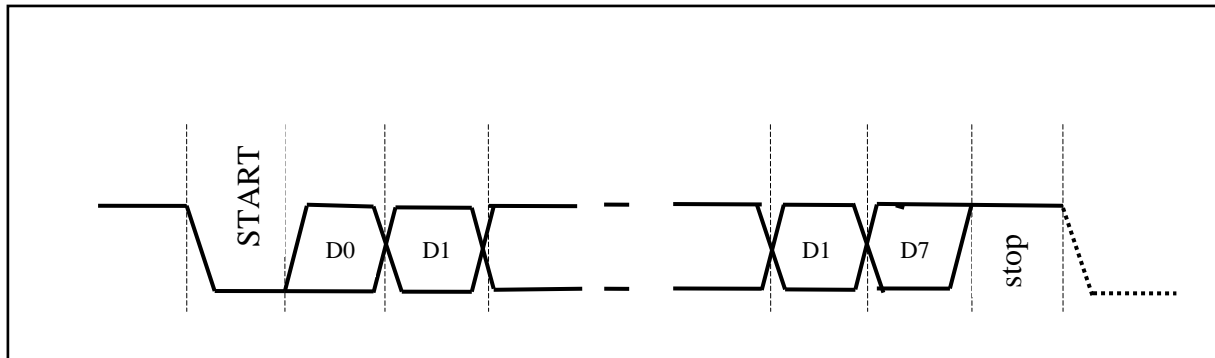
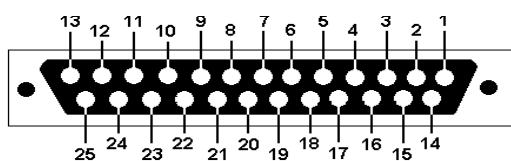


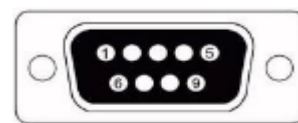
Figure III.3 : l'allure du format du RS232

III.2.1.3.4. Broches du connecteur RS232

Pour le PC, nous utiliserons le port série existant sous deux types de connecteurs mâles : DB 25 (25 broches) (a) et DB 9 (9 broches) (b). Dans notre cas, nous utiliserons un connecteur BD9 :



(a)



(b)

Le tableau ci-dessous présente les fonctions des broches d'un connecteur DB9 :

	Connecteur DB9	
TXD	3	Transmission de données
RXD	2	Réception de données
RQS ou RTS	7	Demande d'émission

CTS	8	Prêt à émettre
DSR	6	Données prêtes
SG	5	Masse logique
DTR	4	Terminal prêt
CD	1	Détection de porteuse
RI	9	-

Tableau III.1 : broches du connecteur DB9

En général, dans les applications de communication entre PC et automate, que le pin (3) de transmission de données et le pin (2) de réception de données et le pin (5) de la masse sont utilisés.

III.3. Description de schéma électrique

Voir la figure suivante

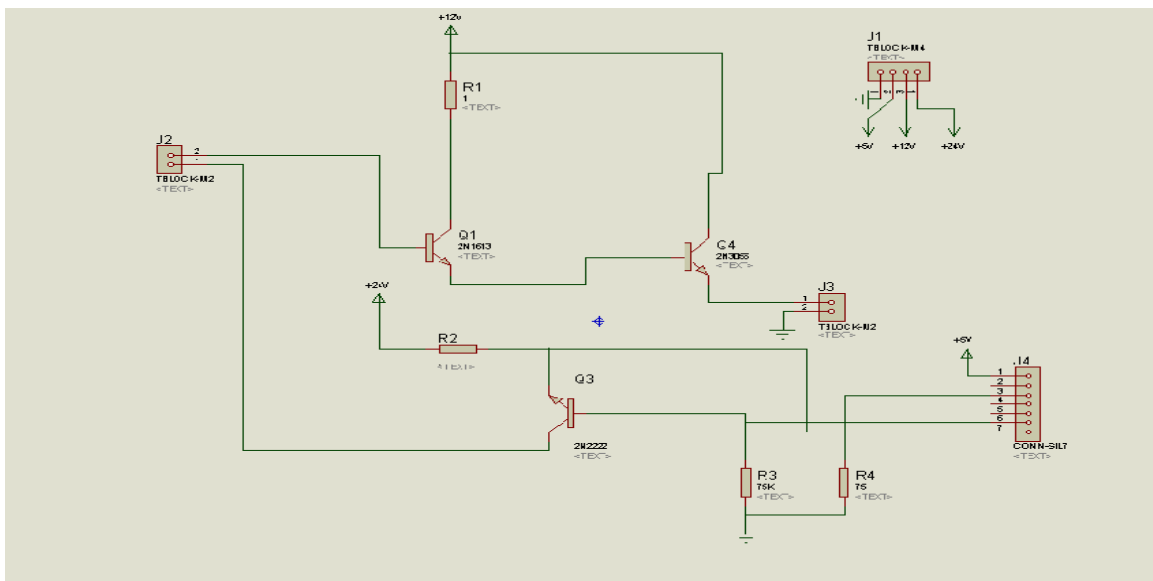


Figure III.4 : circuit électrique

L'amplificateur

- **Principe** : le montage est constitué par l'association de deux transistors Q1 et Q4 de même type NPN. T 2 est un transistor de puissance donc de gain en courant petit et dont l'impédance d'entrée h_{11} pour le courant nominal est faible ; Q1 est un

transistor d'usage général de gain normal. La base du transistor T 2 est reliée à l'émetteur de Q1 et les deux collecteurs sont reliés. L'ensemble est un dispositif à trois électrodes équivalent à un transistor unique

- **Description**

Ce bloc se compose de deux transistors : Q1 : 2N1613 et Q4 : 2N3055. L'émetteur du premier transistor Q1 est branché à la base du second transistor bipolaire Q4. On a remarquer que le courant est toujours faible ; pour cela, on a alimenter le collecteur de Q4 avec une alimentation de 12V pour fournir le courant nécessaire pour faire tourner le moteur. La résistance R₁=1KΩ au collecteur du transistor Q1 sert à limiter le courant de l'alimentation de I_c pour ne pas claquer le transistor Q1, car il doit être de l'ordre du mA.

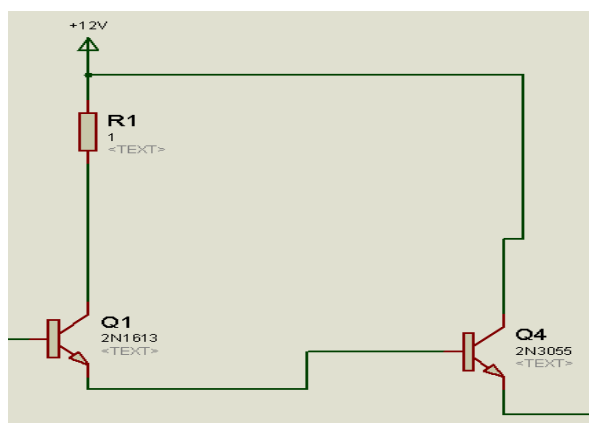


Figure III.5 : bloc de l'amplification

L'exemple suivant nous montre comment les transistors influent sur l'amplitude du signal d'entrée, on fait la simulation du bloc sur matlab/simulink voir figure (III.6)

On le gain $G = I_c/I_d$, et le gain de courant de transistor Q1 est de $G_1=100$, et Q4 et de $G_2 =4.33$ avec le gain de l'étage il doit de $G =2.2/0.005=440$.

On a Le gain du transistor équivalent est égal au produit des gains des deux transistors. [15]

$$G_t = G_1 * G_2$$

Alors $G_t = 433 \implies G_t \approx G$

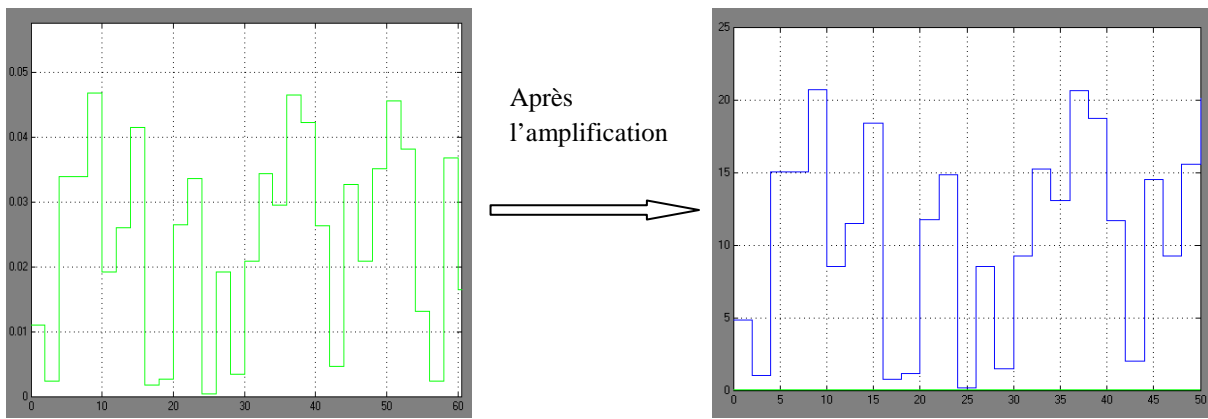


Figure III.6 : la réponse de la sortie de l'étage de l'amplification

Le système :

- **Description**

Un petit moteur à courant continu de faible puissance, dont l'inducteur est constitué par un aimant permanent (M1), accouplé à une génératrice tachymétrique (GT). La vitesse de rotation de l'arbre d'accouplement est acquise grâce à la GT qui en délivre une tension proportionnelle, et a un codeur incrémental à une seule piste solidaire à l'arbre du MCC. L'information délivrée par le codeur sert à calculer la vitesse du moteur, la méthode consiste à faire un simple comptage des fronts montants et descendants du signal délivré par le codeur incrémental sur un temps bien déterminé (figure III.7).

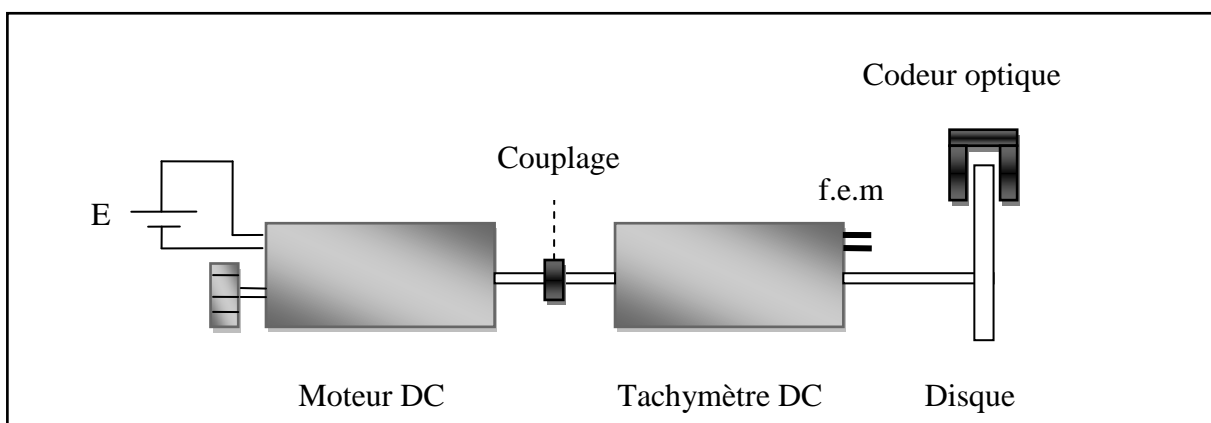
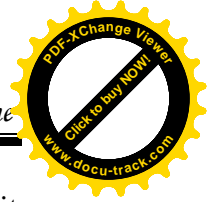
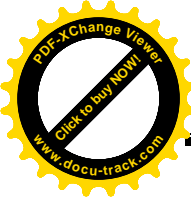


Figure III.7 : description du moteur à courant continu

- **Principe de fonctionnement**



Le MCC est commandé en tension par une boucle de régulation, le correcteur qui fait parti de cette boucle est intégré dans l'API. Un disque à fente permettant la génération d'impulsion via un système optique (figure III.7). Lorsqu'une tension E est appliqué au MCC, il s'anime d'un mouvement de rotation et entraîne la génératrice qui délivre une f.e.m induite proportionnelle à la vitesse de rotation (ω).

Interface de l'encodeur

- **Définition**

L'encodeur est constitué d'un disque supportant une unique piste marquée de fentes alternativement opaques et réfléchissantes (ou transparentes), éclairées par un faisceau lumineux émis par une LED, et un phototransistor analyse le signal délivré. Un comptage pendant une période donnée fournit la mesure de la vitesse sous forme numérique Le signal se dégrade en amplitude aux grandes vitesses par ce que le temps de commutation est faible, le codeur tourne très vite et le phototransistor n'obtient pas assez de lumière pour commuter.

- **Principe de fonctionnement de l'encodeur**

La lumière émise par la source, disposés devant la piste se trouve donc occultés à une fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation et au nombre de fentes. Derrière se trouve un récepteur, un phototransistor, est soumis à ses variations de lumière. Son action sur la base d'un transistor permet de délivrer des signaux quasi rectangulaires d'amplitude constante. L'appareil délivre ainsi une série d'impulsions par tour. Le nombre de piste est égal au nombre de traits définissant le codeur

Ce dispositif a une construction compacte où les sources l'émission de la lumière et les détecteurs sont tête à tête localisé sur le même axe optique, la lumière émise par une diode électroluminescente est réfléchi Par les graduations d'un disque -solidaire du rotor- vers un phototransistor qui permet de restituer électriquement par des impulsions, le défilement des graduations, alors la LED sature ou bloque le transistors ,ces impulsions servant acheminées vers l'API

Si l'on souhaite avoir la valeur de la vitesse en numérique, il suffit de disposer d'un compteur accumulant le nombre de front montants et descendants, issus du codeur, pendant la période fixe d'échantillonnage T_e .

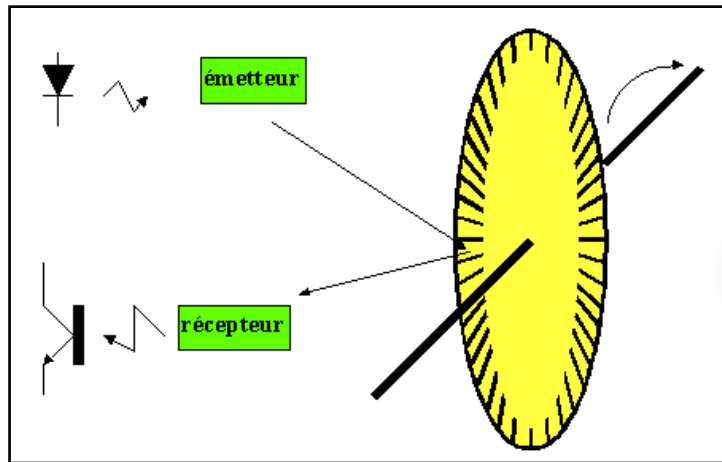


Figure III.8 : principe de l'encodeur incrémental

L'avantage d'utilisation de ce type codeur est que la position du disque est traduite en impulsion binaire sans avoir à un convertisseur analogique numérique.

Le nombre de fentes du disque incrémental utilisé se calcul par l'observation du nombre d'impulsions $N=72$ impulsion/Tours

Le codeur incrémental est muni de 4 fils en sortie : marron (M), vert(V), rouge(R), blanc(B).

La sortie (M) représente l'anode de la LED ce point doit être relié directement à +5V

Le point (R), cathode de la LED émettrice, doit être relié à la masse par l'intermédiaire d'une résistance $R_2=75 \Omega$.

Le point (B), collecteur du phototransistor, doit être relié directement a +24

Le point (V), émetteur du phototransistor, doit être relié à la masse par l'intermédiaire d'une résistance $R_3=75K\Omega$.

La diode émis des lumières vers le transistor c.-à-d. quand la lumière passe dans la roue c'est passant, quand la lumières ne passe pas le transistor est bloqué.

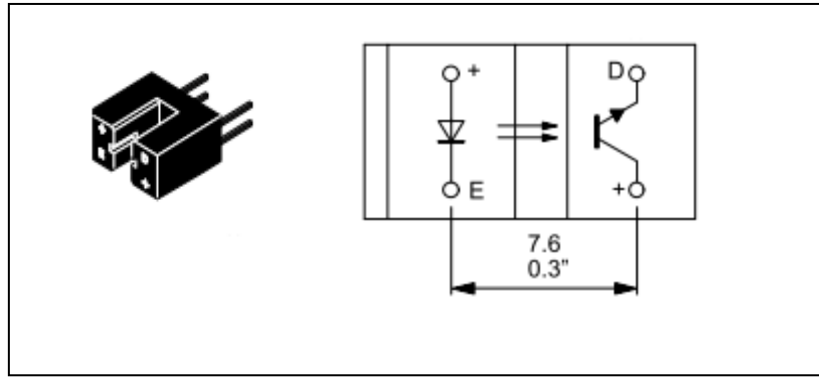


Figure III.9: système optique

L'interface

Le courant qui sort du phototransistor est très faible, pour cela on rajoute un transistor Q3 2N2222 pour avoir le courant nécessaire, le rôle de ce transistor dans cette application est l'amplification du signal provenant du phototransistor, cette application est imposé car le CPM2C ne fournit que 5mA en tension 24V.

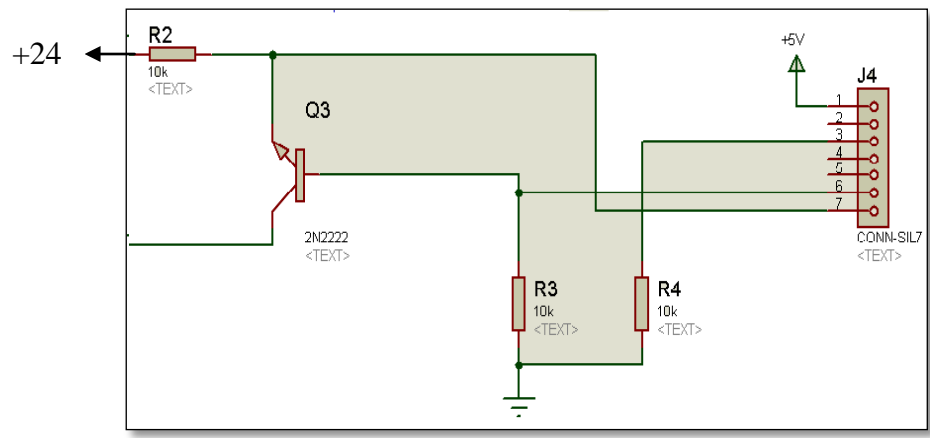


Figure III.10 : le bloc de l'interface du système

Les alimentations

- Une alimentation stationnaire de 24V pour alimenter l'API
- Une alimentation de 12V, I=2000mA max pour délivrer le courant nécessaire vers l'émetteur de transistors bipolaire 2N3055.
- Une alimentation régulée de +5V pour alimenter la diode émettrice (LED), +24V pour alimenter le phototransistor du codeur
- Des résistances servant à limiter le courant dans le codeur et le transistor et éviter les courts circuits.

III.4.Réalisation pratique

Après l'étude théorique qui avait pour l'objectif d'illustrer le fonctionnement de chaque partie du montage, et de spécifier les différents composants à utiliser, on va aborder la partie réalisation pratique.

III.4.1. Création du circuit électrique

III.4.1.1. La liste des composants

$$R_1 = 1K\Omega$$

$$R_2 = 1K\Omega$$

$$R_3 = 75K\Omega$$

$$R_4 = 75\Omega$$

$Q_1 = 2N1613$ (transistor bipolaire).

$Q_4 = 2N3055$ (transistor métallique de puissance).

$Q_3 = 2N2222$ (transistor bipolaire).

4 Borniers à visse.

Une barrette à six câbles mal/femelle.

III.4.1.2. les étapes à suivre pour le circuit électrique

Pour le dessin de circuit électrique et le développement du circuit imprimé on a utilisé le logiciel ISIS (Intelligent Schematic Input System), Pour cela on a suivis les étapes suivantes :



1. Démarrer le logiciel : Proteus – ISIS
2. Création de la liste des composants.
3. Placement des composants sur le schéma
4. Placement des alimentations et des générateurs
5. Réalisations des connexions
6. l'étape qui suit consiste à nommer les composants utilisés et les valeurs de chacun

Et on a obtenu la figure (III.4).

III.4.2. Réalisation du circuit imprimé

La dernière étape est la transformation de ce schéma électrique en circuit imprimé à laide de logiciel ARES Professional, puis l'imprimer sur un papier calque, pour le concrétiser sur une plaquette de dimension 6.75cm x 7.25cm, on respectant la distance entre les pistes et les pastilles qui sont en fonction des dimensions des composants utilisés dans la réalisation.

Le circuit est donné par la figure (III.11) et celui des pistes (III.12)

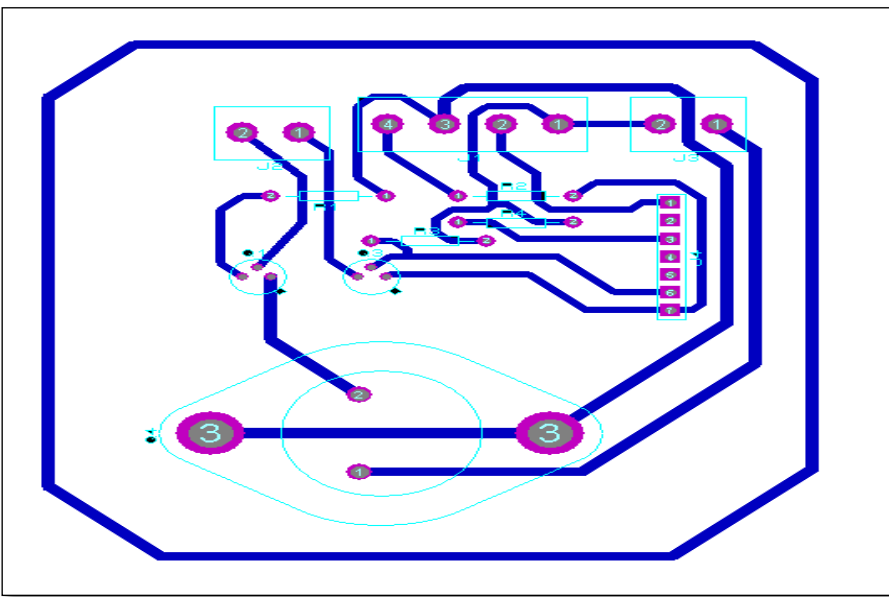


Figure III.11: circuit imprimé

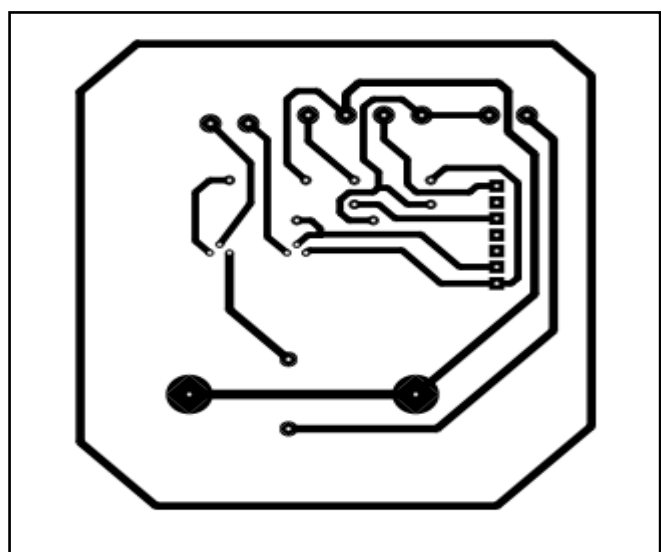


Figure III.12 : circuit de piste

III.5. schéma du câblage du circuit de la boucle de commande MCC

Ci-dessous, le schéma de câblage du système

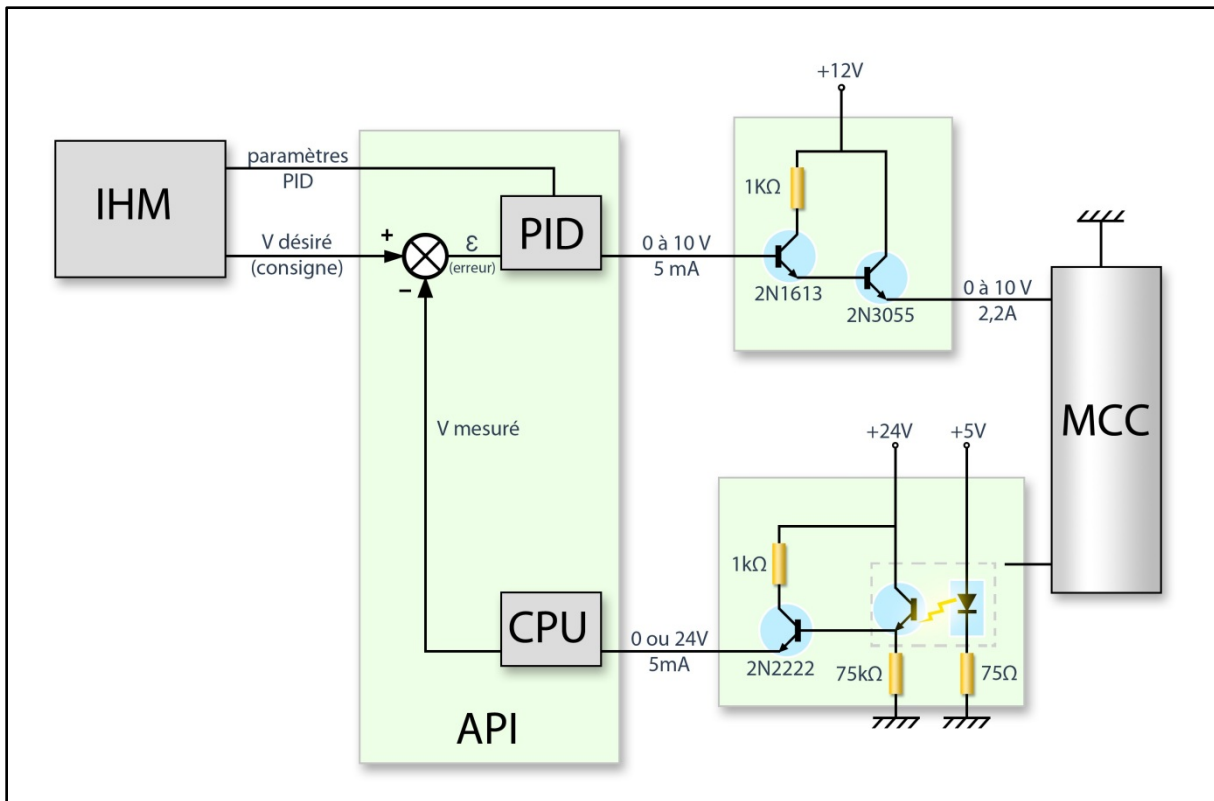
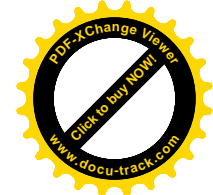
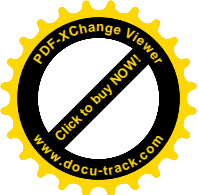


Figure III.13 : schéma du câblage de la boucle de commande

III.6. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter les différents blocs constituant la boucle de commande du système qu'on a conçu et réalisé, et ce système ne peut pas fonctionner sans un programme approprié, celui-ci a été fait au 2^{ème} chapitre.

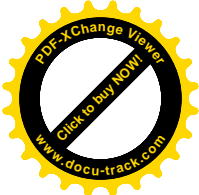
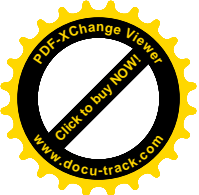
Dans le IV^{ème} chapitre, nous allons déterminer et régler les paramètres du correcteur PID afin de les introduire dans l'automate. Parfois, il est nécessaire de modifier les valeurs des paramètres du régulateur. L'utilisation d'un logiciel tel que Matlab/Simulink est indispensable.



Chapitre

4

*Application de la
régulation PID pour la
commande en vitesse du
moteur à courant continu*



IV.1. Introduction

Dans la plupart des signaux utilisés pour la commande ou pour le contrôle des systèmes électrotechniques, par rapport à l'état actuel de la technique, l'utilisation de la commande numérique par automate ou par processeur répond à ces critères.

Un des intérêts du régulateur PID, qui explique sa popularité dans le milieu industriel, est sa possibilité de le régler sans connaissance approfondie du système. En effet, on dispose de la méthode de Ziegler-Nichols utilisée dans la section (II.9.1), permettant dans la majorité des cas d'aboutir à des performances acceptables.

Ce chapitre a pour but, d'implémenter la commande PID classique pour un moteur à courant continu à aimant permanent (à flux constant), après avoir la modélisation du moteur à courant continu par fonction de transfert. Ensuite, la simulation de notre système sur matlab/simulink, et d'annuler l'erreur statique, diminuer le dépassement, diminuer le temps de réponse et le temps de montée afin d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation et d'avoir un système précis, rapide, stable et robuste. Le réglage des coefficients (paramètres) de la commande PID est basé sur la méthode de « Ziegler & Nichols ».

IV.2. la modélisation d'un moteur à courant continu

IV.2.1. Fonction de transfert du moteur

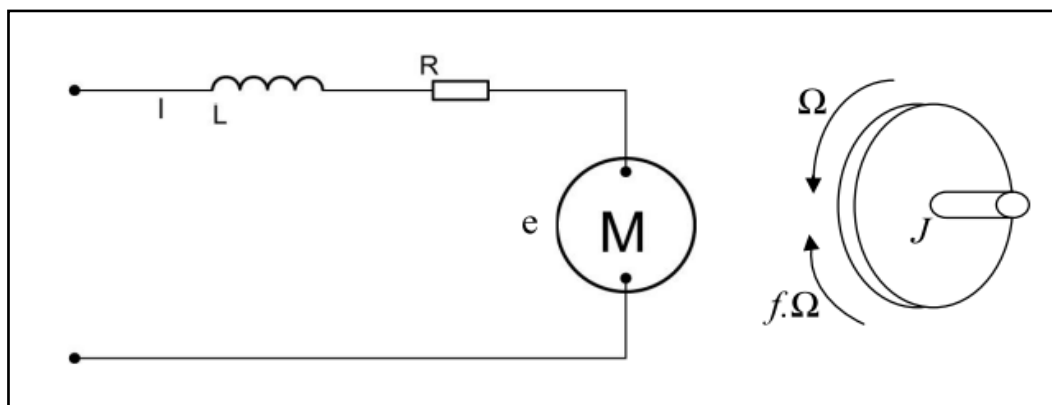
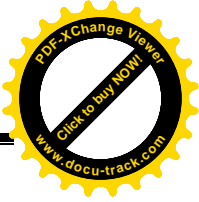
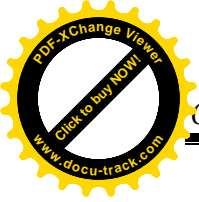


Figure IV.1 : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu

Le fonctionnement linéaire d'un moteur à courant continu est caractérisé par les équations électrique et mécanique selon le schéma de la (figure IV.1) :



✓ L'équation électrique du moteur

$$V(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (IV.1)$$

avec :

$v(t)$: la tension de commande du moteur

$e(t)$: la f.e.m induite

R : la résistance d'induit

$i(t)$: le courant d'induit

L : l'inductance de l'induit

✓ L'équation mécanique du moteur

$$C_m(t) - C_r(t) = j \frac{d\Omega(t)}{dt} + f \quad (IV.2)$$

Avec :

$C_m(t)$: le couple moteur

$C_r(t)$: le couple résistant

J : le moment d'inertie du moteur.

F : le coefficient de frottement visqueux

La transformation de Laplace des équations (IV.1) et (IV.2) donne :

$$I(S) = \frac{V(s) - E(s)}{R + Ls} \quad , \quad \Omega(S) = \frac{C_m(s) - C_r(s)}{js + f} \quad (IV.3)$$

La constante de vitesse (flux) K_e , et de couple qui sera notée K_c relie les paramètres électriques aux paramètres mécaniques par les relations suivantes :

$$e(t) = K_e \Omega(t) \quad , \quad C_m(t) = K_c i(t) \quad (IV.4)$$

La fonction de transfert cherchée $H(s)$ est entre la tension entrant dans le moteur $V(s)$ et la vitesse de sortie $\Omega(s)$:

$$H(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K_c}{(Ls + R) + (js + f) + K_e K_c} \tag{IV.5}$$

Les valeurs numériques du MCC sont données par le constructeur (Tableau IV.1) :

Tension nominale	$U_{nom} = 24 \text{ V}$
Tension maximale	$U_{max} = 32 \text{ V}$
Courant permanent maximal	$I_{max} = 2.2 \text{ A}$
Résistance aux bornes	$R = 2 \Omega$
Constante de couple	$K_c = 60.3 \text{ m N m./A}$
Constance de vitesse	$K_c = 60.3 \text{ m N m./A}$
Inductance	$L = 0.63 \text{ m H}$
Moment d'inertie rapporté au rotor	$J = 10^{-4} \text{ kgm}^2$
le coefficient de frottement visqueux	$f = 2.5 \times 10^{-6}$

Tableau IV.1 : Valeurs numériques d'un moteur à courant continu

On peut établir le modèle mathématique de la réponse en vitesse du moteur électrique qui est donné par la figure suivante figure (IV.2):

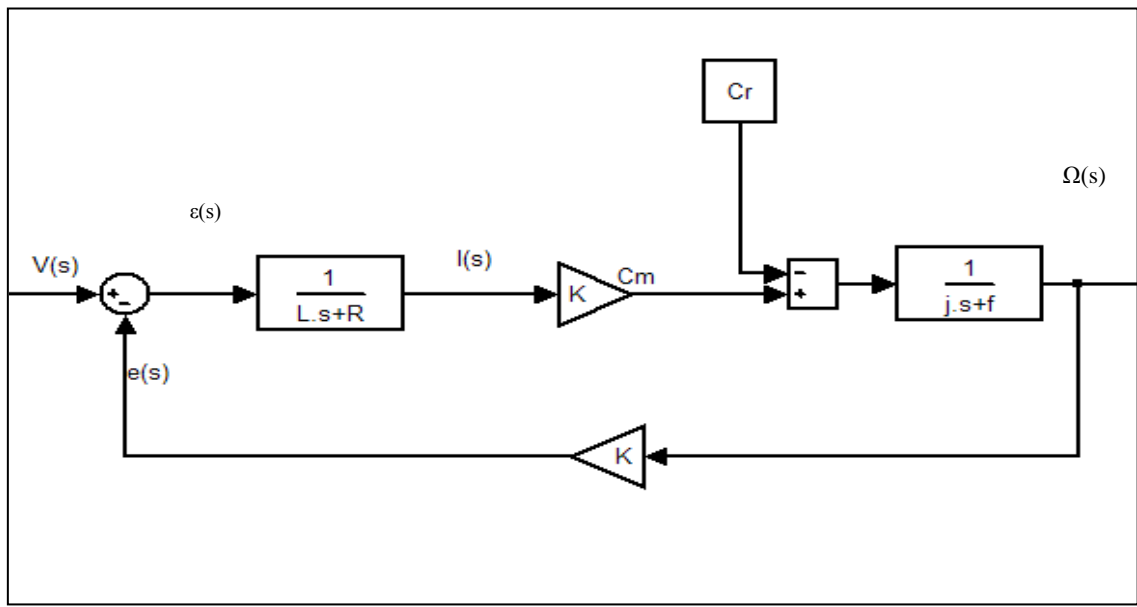


Figure IV.2: schéma bloc du MCC à flux constant en vitesse

Le diagramme fonctionnel est soumis à deux entrées :

- Entrée principale (tension d'induit).
- Entrée secondaire : Couple résistant (perturbation).

IV.2.2. Influence de la tension d'induit

En absence du couple résistant $C_r(t) = 0$, le système (moteur à courant continu sans charge) tournant à la vitesse $\Omega(t)$ et excité par la tension $V(t)$ peut être représenté par le schéma bloc de la Figure (IV.3) :

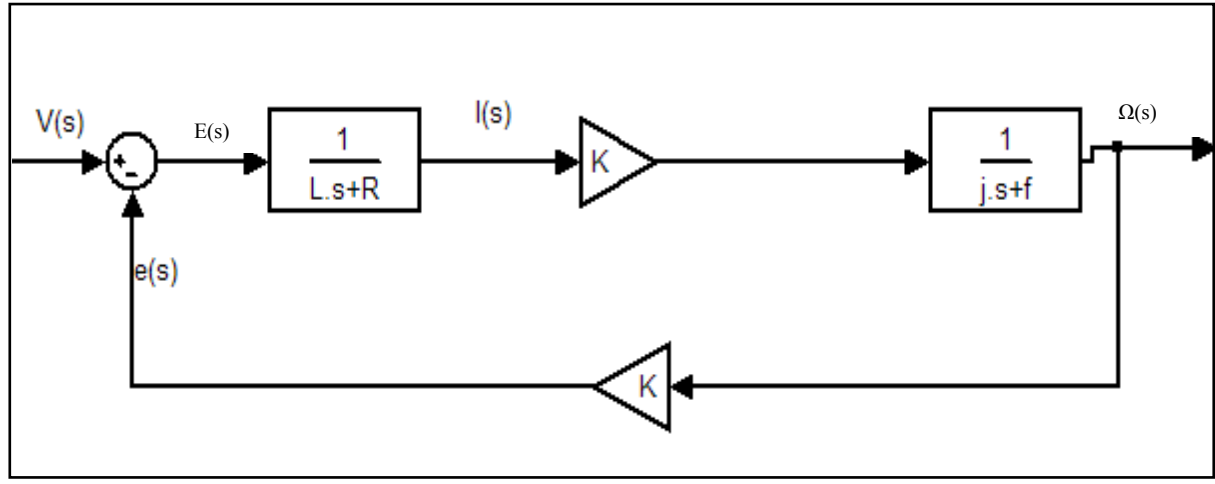


Figure IV.3 : Schéma bloc du moteur à courant continu sans couple résistant en vitesse

IV.2.3. Simulation à l'aide du logiciel matlab/simulink

IV.2.3.1. Simulation du fonctionnement du moteur en boucle ouverte

Simuler le fonctionnement du moteur à courant continu et étudier son asservissement de vitesse à l'aide du logiciel. Il s'agit de créer le schéma équivalent du moteur défini par les équations (IV.3), ayant les caractéristiques défini dans le tableau (V.1) et le schéma à simuler est celui de la figure (V.3).

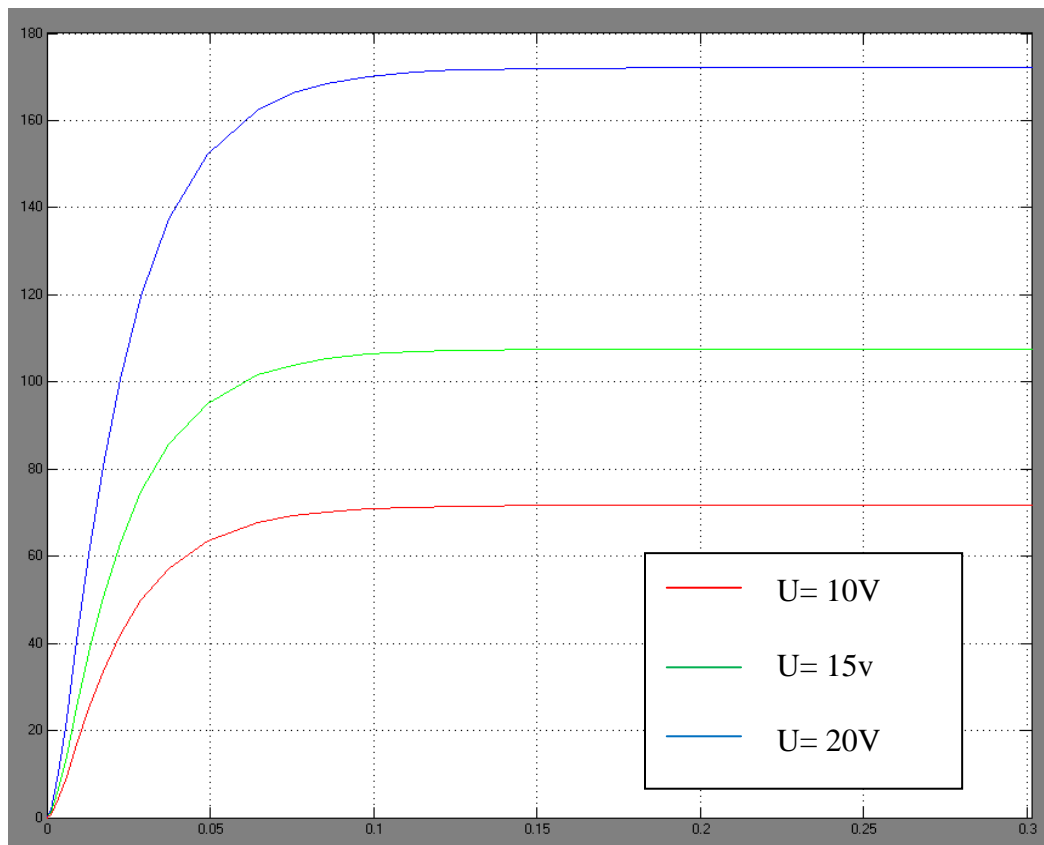
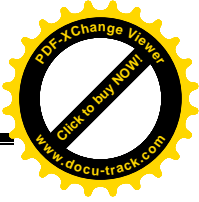
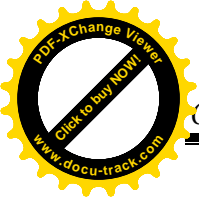


Figure IV.4: Modélisation sous Matlab de la réponse de vitesse du système non corrigé

D'après l'équation (IV.5), le système modélisé soit du second ordre, lorsque l'inductance interne est négligeable devant la résistance interne (ce qui est généralement le cas) il s'apparente à un système du premier ordre. On observe bien sur la (figure IV.4) ci-dessus que le moteur change de vitesse de rotation pour chaque valeur de la tension d'entrée, d'où la vitesse de rotation est proportionnelle à la tension d'entrée.

IV.3. La commande PID en régulation de vitesse

La commande proportionnel-intégral-dérivé (PID) est insérée dans la chaîne directe de l'asservissement, en série avec le processus, comme indiqué dans la Figure (IV.5) :

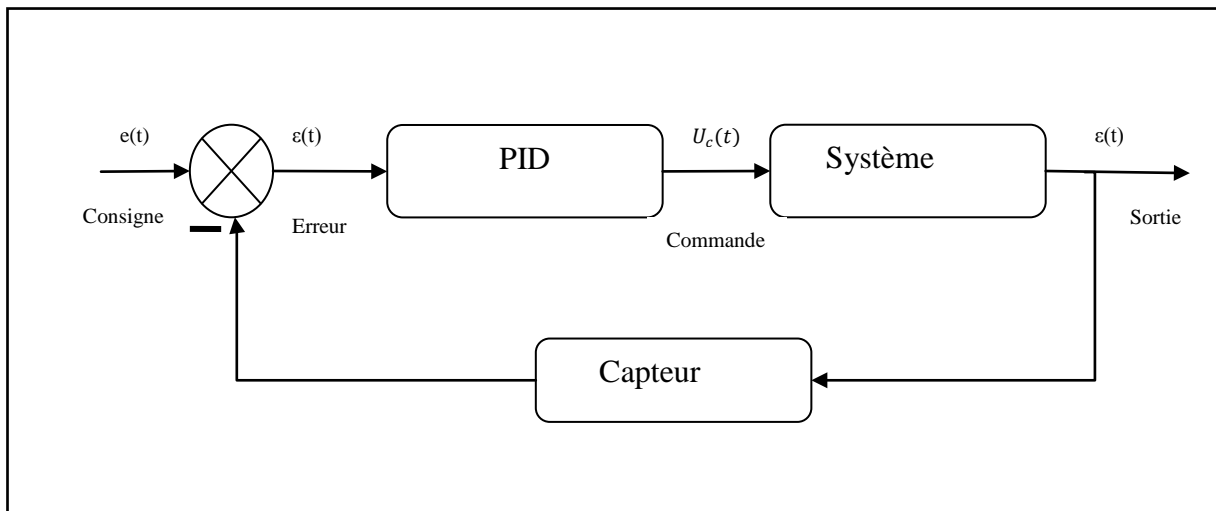
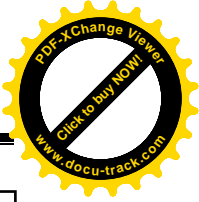
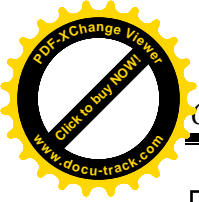


Figure IV.5 : Schéma bloc d'un système avec correcteur (Boucle fermée)

Ce régulateur élabore à partir du signal d'erreur $\varepsilon(t)$ une commande $U_c(t)$ en fonction de trois actions proportionnelle, intégrale, dérivée utilisée dans la section (II.8.1) :

$$U_c(p) = K_p \varepsilon(p) + K_i \frac{d \varepsilon(p)}{p} + K_d \varepsilon(p)p \quad (IV.6)$$

K_p : gain d'action proportionnelle.

$K_i = 1/T_i$: gain d'action intégrale.

$K_d = T_d$: gain d'action dérivée.

T_i : constante de temps, dite temps d'action intégrale.

T_d : constante de temps, dite temps d'action dérivée

Le régulateur PID est donc conçu dans le domaine temporel comme la somme des trois actions. On obtient alors un asservissement composée d'un terme proportionnel, un terme intégral et un terme dérivé, mises en parallèle, on parle d'asservissement PID :

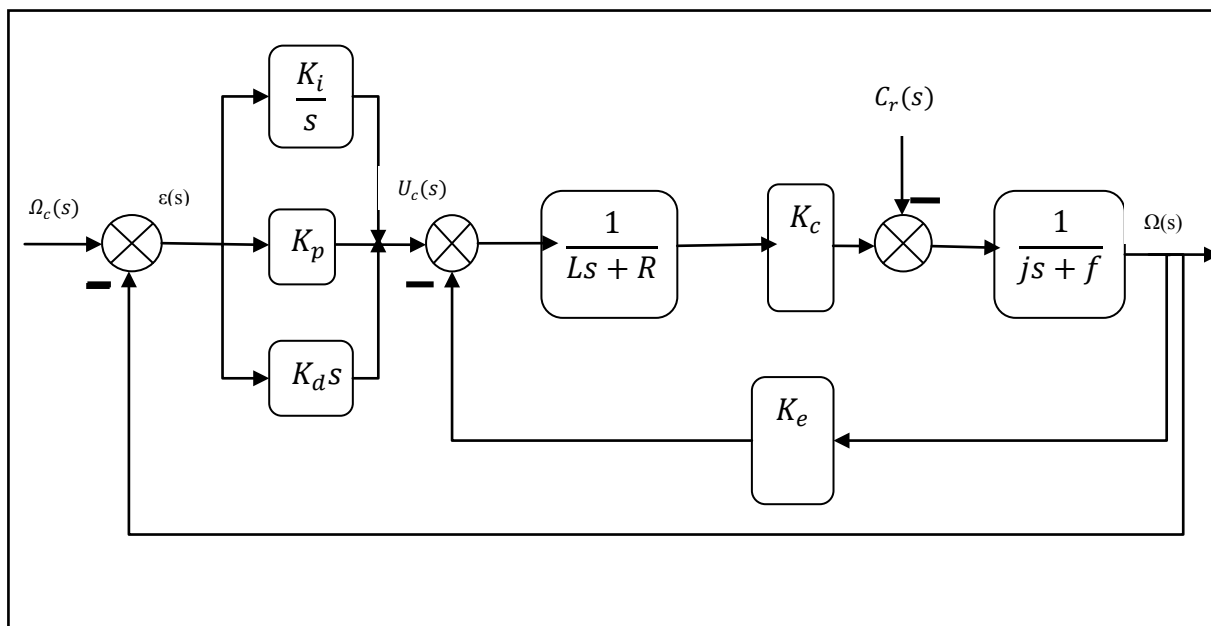


Figure IV.6 : Schéma bloc du correcteur PID en régulation de vitesse

IV.3.1. Simulation à l'aide du logiciel matlab/simulink

IV.3.1.1. Simulation du fonctionnement du moteur en boucle fermé

Dans les modélisations qui suivent, posons comme références : $\Omega_c = 200$ rad/s la vitesse de rotation ,en prend $C_r = 0$

IV.3.1.2. Application de la méthode

✓ Régulation PID de vitesse

On travaille en boucle fermé des que le possesseur est instable en boucle ouvert on réalise un effet de pompage. Elle commence par le réglage des gains I et D à zéro et accroissement du gain P jusqu'à ce que la sortie du procédé commence à osciller. Noter alors le gain (K_c) et la période d'oscillation de la sortie (T_c). Ajuster alors les termes P, I et D de la boucle comme sur la table de la session(II.9.1). Ces paramètres peuvent être déterminés de la façon suivante :

On connecte le régulateur au moteur électrique, fixer $K_i = 0$ et $K_d = 0$, on augmente doucement le gain du correcteur proportionnel pur K_p jusqu'à obtenir des oscillations . Apres avoir essayé les différentes valeurs de K_c , on a relevé le gain d'oscillation $K_c = 34.70$, et la période d'oscillation $T_c = 3.6 \times 10^{-4}$, en appliquant les valeurs données dans le (tableau .II.9.1) de Ziegler-Nichols, on déduit les valeurs des paramètres : $K_p = 20.82$, $K_i = 6 \times 10^3$, $K_d = 4.5 \times 10^{-5}$.

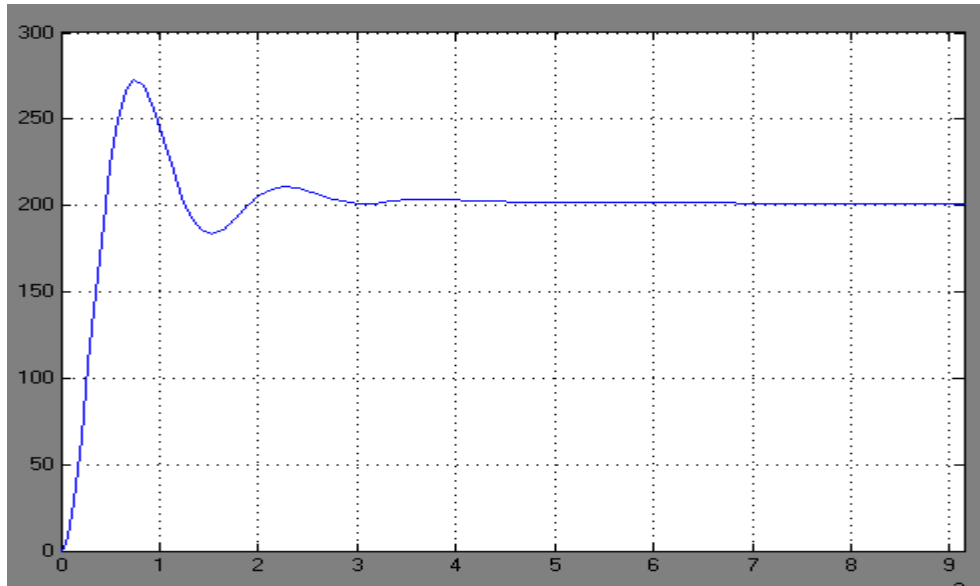


Figure IV.7 : Signal de la tension de système en régulation de vitesse

On voit bien, que la méthode de Ziegler-Nichols donne de bons résultats, mais d'un autre côté, on peut faire une petite modification des paramètres trouvés précédemment pour l'améliorer et avoir un bon compromis entre précision, rapidité et stabilité.

On pose les paramètres modifiés: $K_p = 20.82$, $K_i = 6 \times 10^3$, $K_d = 10^{-3}$.

On obtient le graphe suivant :

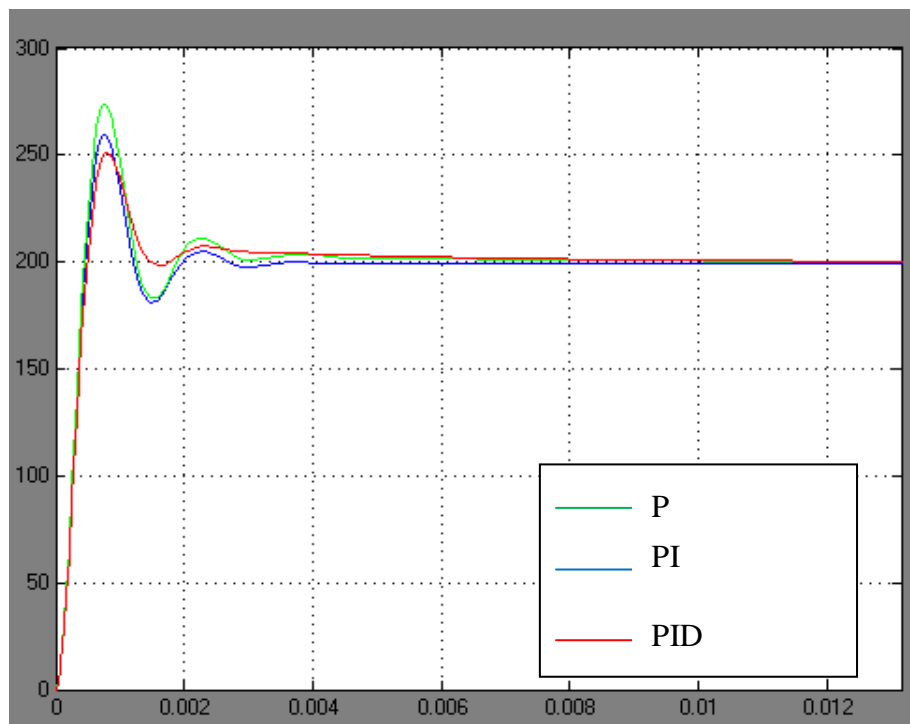


Figure IV.8 : Signal de la tension de système en régulation de vitesse

IV.4.Introduction des paramètres PID dans l'API

Pour introduire les paramètre de PID sur l'automate on fait les étape suivante :

1-On fait apparaitre le programme sur CX-programmer et on sélectionne le bloc de l'instruction PID voir figure (IV.9)

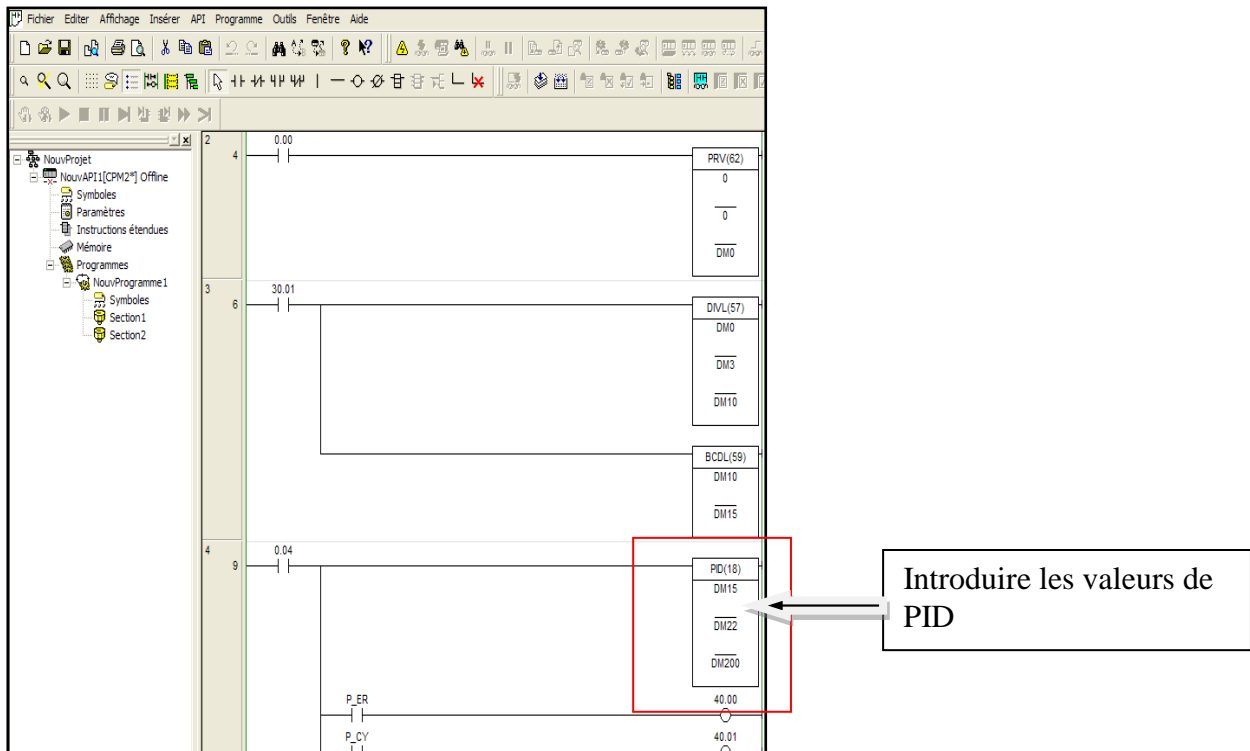


Figure IV.9 : le programme du système sur CX-programmer

2- Dans la zone de travail de projet de CX-programmer on sélection mémoire voir figure (IV.10) puis on sélectionne les DM c'est les données de zone DM sont seulement accessibles par les unités de mots. Les valeurs de mots sont conservées lorsque l'alimentation est désactivée, ou lorsque le fonctionnement commence ou s'arrête voir la figure (IV.11).

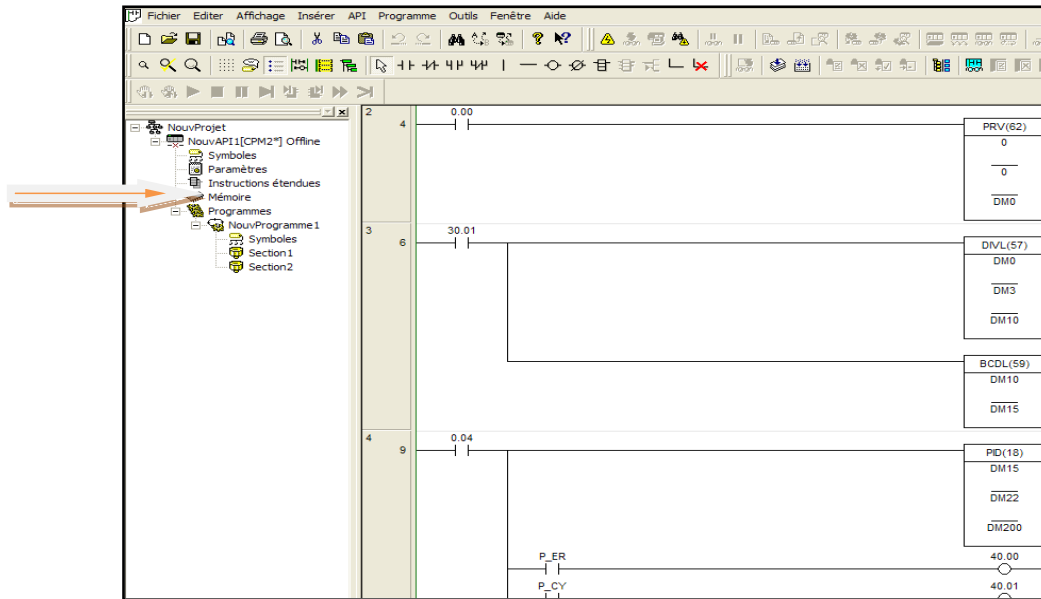


Figure IV.10 : la zone de travail de projet de CX-programmer

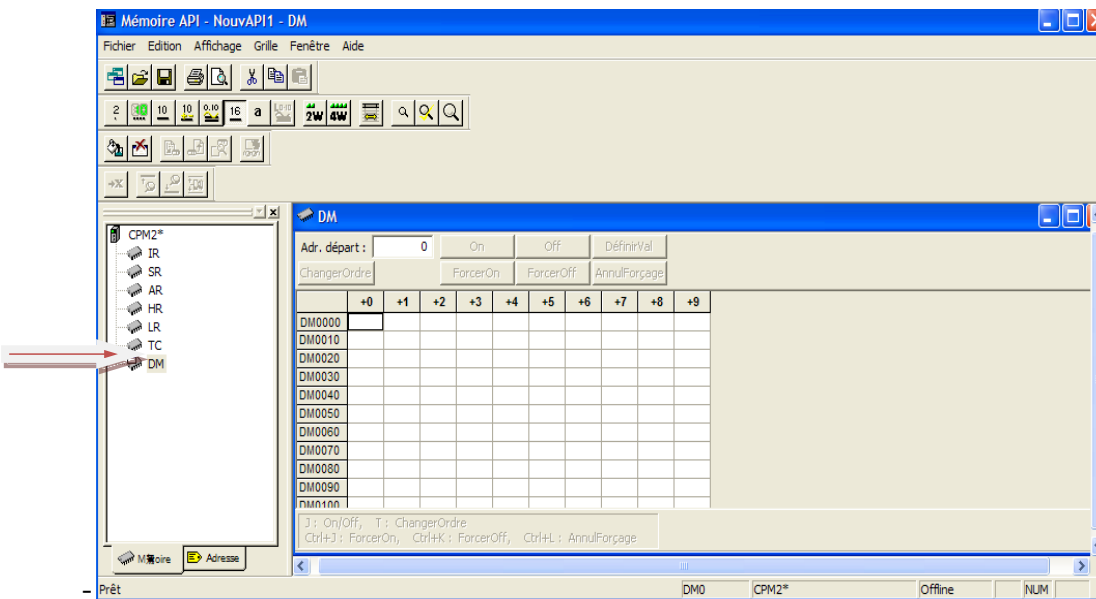
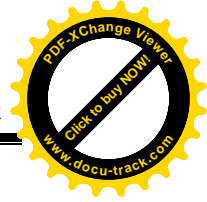
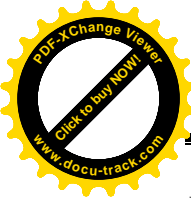


Figure IV.11: la zone des DM

Dans la zone des DM en va introduire les paramètres de tableau de la section (II.9.1), et on doit respecter les adresses qu'on a dans le programme sur CX-programmer (l'adresse de source, l'adresse du bloc de contrôle, l'adresse de destination) pour l'instruction PID, et à propos des valeurs de Régulateur PID : K_p , K_i , K_d qu'on va déduire avec la méthode de Ziegler-Nichols, on les fait entrer dans l'adresse du bloc de contrôle :

P1+1 : largeur de bande proportionnelle

P1+2 : temps d'intégration



P1+3 : temps de dérivation

IV.5. Conclusion

Un système asservi doit être suffisamment robuste pour garantir trois niveaux de performance :

- Stabilité ;
- Une bonne précision statique ;
- Une rapidité suffisante

Le gros problème est que ces trois critères sont contradictoires : la précision comme la rapidité sont liées au gain, mais trop de gain peut avoir un effet déstabilisant.

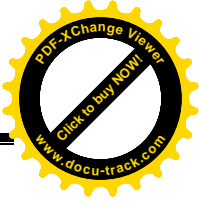
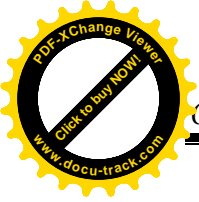
Corriger un système asservi, c'est assurer une compatibilité entre ces trois critères contradictoires et le correcteur sera l'élément intelligent qu'on ajoutera au système initial pour assurer cette compatibilité.

Les formes qui on a vu et qui s'ajouteront à l'action proportionnelle, c à d le gain en boucle ouverte, sont :

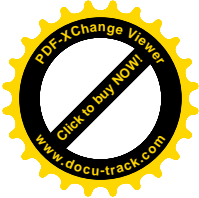
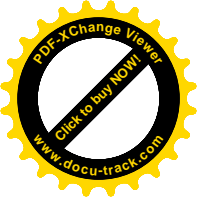
- L'action intégrale qui assure une bonne précision statique, cette action est progressive il agit (positivement ou négativement) tant que l'écart statique excite ;
- L'action dérivée qui assura un temps de réponse correct, elle est énergique lorsque l'écart varie fortement et elle n'a aucun effet dans le cas contraire.

Ces action s'effectuent en règle générale sur le signal d'erreur ε (l'écart), seul moyen d'observer réellement la proximité ou l'éloignement du but recherché.

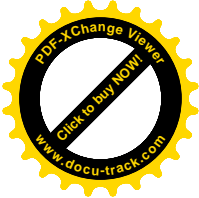
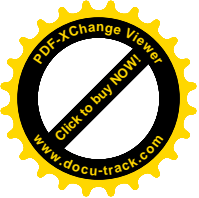
Les trois actions du régulateur PID permettent de commander le moteur électrique à courant continu, tout en garantissant une annulation de l'erreur permanente de la sortie régulée, vis-à-vis d'échelons en entrée de consigne. Cette propriété de précision est due à la présence d'une action intégrale. L'ajout d'une action dérivée permet d'augmenter la stabilité du moteur électrique, et donc de diminuer le dépassement de la réponse indicielle. L'ajout de cette dérivée n'est pas systématique et dépend des propriétés du moteur électrique, du cahier de charge imposé (en terme de dépassement), dans certains cas il suffit l'utilisation d'un régulateur PI uniquement, comme l'asservissement en vitesse du moteur électrique. La réalisation de l'action dérivée est préférentiellement réalisée sur la mesure, afin d'éviter la saturation de la commande.

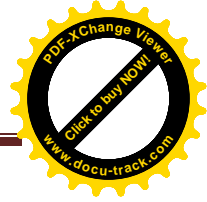
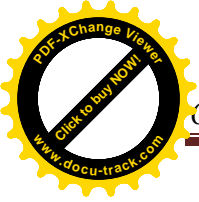


Après le réglage et la modification par la méthode de Ziegler-Nichols, on voit toujours un dépassement malgré qu'il a été diminué, mais cela ne cause pas de problème dans la plupart des moteurs des systèmes industriels, mais dans certains cas (Robotique de précision).



Conclusion générale





Vu notre manque d'expérience dans la programmation et la réalisation, et dans le cadre de ce projet, utiliser un MCC commandé par l'automate OMRON CPM2C dans le but de la régulation de vitesse, l'étude que nous avons menée nous a permis de voir l'importance des API.

L'industrie moderne a atteint un tel progrès qu'il n'est plus question pour l'opérateur de chercher les paramètres de régulation d'un procédé industriel, pour arriver à une telle technologie, les chercheurs ont dû concrétiser la théorie mathématique électroniquement, pour cela il fallait établir une complémentarité entre l'électronique et l'informatique, cette union à trouver sa voie dans plusieurs domaines industrielles, tel que la robotique, l'aviation ainsi que dans la régulation des processus industriels.

Le problème de synthèse d'un correcteur n'est plus alors le problème de réglage des actions P, I, D. Comme ces méthodes doivent être utilisées en milieu industrielle, elles doivent être simples et rapide à mettre en œuvre, tout en étant précis et efficaces.

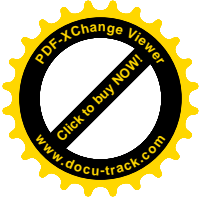
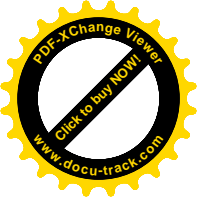
L'utilisation d'un MCC figure dans un grand nombre d'application vu la simplicité de son fonctionnement son alimentations et sa commande. De plus, il possède une plage très étendu de réglage de vitesse de rotation conservant dans toute cette plage un rendement élevé.

La commande numérique des machines électriques à réaliser des progrès considérables vu la qualité des performances obtenues, car elle autorise l'implantation pratique d'algorithme et des fonctions beaucoup plus complexes de ce que tolèrent les technologies analogique avec un volume d'une remarquable capacité.

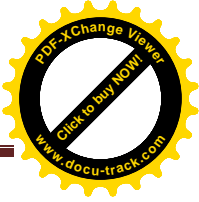
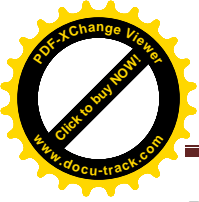
Tout au long de notre étude, nous avons présenté la commande de vitesse d'un MCC par un automate OMRON.

Ce travail nous a permis d'apprendre un nouveau langage de programmation, de commander un MCC et l'étude de ces éléments.

Dans ce sens, nous souhaitons une continuité de ce travail et envisageons une étude plus développée.



Glossaire



DEO : développement électronique et ordinateur.

CN : commande numérique.

MCC : moteur à courant continu

CC : courant continu.

E : f.e.m en V en génératrice et f.c.e.m en moteur

Ω : vitesse angulaire de l'induit

rad/s : radiant/seconde

Φ : flux de l'inducteur

Wb : weber

I : courant d'induit

C: le couple sur l'arbre

f.c.é.m : force contre électromotrice.

f.e.m : force électromotrice.

Ua : la tension d'alimentation de l'induit

Ue : la tension d'alimentation de l'inducteur

Cr : le couple résistant

Cm : le couple moteur

Ω : la vitesse angulaire de rotation

I=Ia : le courant dans l'induit

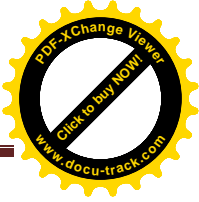
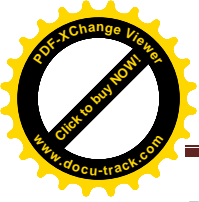
Ie : le courant inducteur

R=Ra : résistance de l'induit

Re : résistance de l'inducteur

La : l'inductance de l'induit

Le : l'inductance de l'inducteur



P : nombre de paires de pôle du moteur

2a : nombre de voies de l'enroulement de l'induit

N : nombre de conducteurs actifs

Φ : flux utile par pôle

E : f.c.é.m

K : constante propre au moteur (dépendant du nombre de conducteurs de l'induit)

J: Inertie totale (moteur + charge)

θ : l'écart angulaire du rotor par rapport à une direction fixe.

R = la résistance de l'induit

I = le courant de l'induit

\vec{B} : champ d'induction

P : correcteur proportionnel

PI : Correcteur proportionnel intégral

PD : Correcteur proportionnel dérivé

PID : Correcteur proportionnel intégral dérivé

P : opérateur de Laplace.

TL : transformé de la place

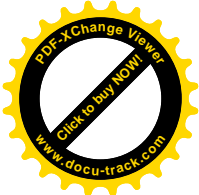
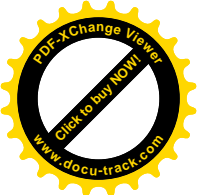
R, C : résistance, condensateur

UC : unité centrale

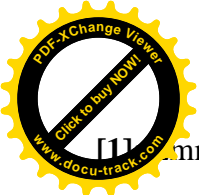
S: sortie

Gr : gain régulateur

C : consigne



Bibliographie



[1]: Emmanuel Godoy & Coll. «Régulation industrielle». Dunod, Paris, 2007.

[2]: Techniques d'ingénieurs.

[3]: Michel Pinard. « Commande électronique des moteurs électriques ».DUNOD, paris, 2004.

[4]: T. Izumi & H. Yasutsune & Y.J.Kin, & M. Nakaoka «*New inverter-fed power ultrasonic motor for speed tracking servo application and its feasible evaluations* ».in Proc Int .Conf. Power Electron. Drive system. IEEE trans. Power Electron. Drive systems, 1995.

[5]: Patrick. Prouvost. «Automatique contrôle et régulation».DUNOD, Paris, 2004.

[6]: J. Niard & R. Moreau.' Electronique et machines électriques''.Fernand Nathan.1984.

[7] L. Couffignal. «Le moteur à courant continu», cours, 2006.

[8]: P.prouvost. «Instrumentation et régulation en 30 fiches». DUNOD, Paris, 2010.

[9]: J.Marie Valance & M.Feuillent et J.Guinet. «Le carnet du régleur». DUNOD, Paris, 2007.

[10] : Manuel.Cat.N⁰Sta37-V3(La régulation PID avec les API Omron). Octobre2007.

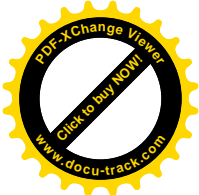
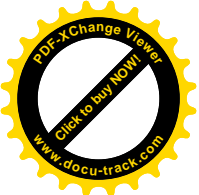
[11] : Manuel de programmation. Cat. No. W353-E1-1[AUTOMATES PROGRAMMABLES CPM1/CPM1A/CPM2A/CPM2C/SRM1(-V2)]. Mai 1999.

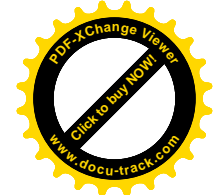
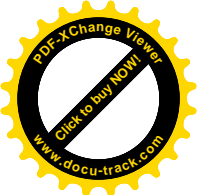
[12] : www/intersection.schneider-électric.fr

[13]: K. J. Astrom & T. Hagglund «Advanced PID Control», ISA, New York, 2006.

[14]: J. Marie flaus «la régulation industrielle», Paris, 1994.

[15]: ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/cours_elec/simple.pdf





Résumé

Dans le cadre de mon projet de fin d'études, un travail nous a été proposé par l'entreprise privé DEO-électronique. Il s'agit d'une régulation de vitesse d'un moteur à courant continu à base d'un automate programmable industriel (API) Omron de type CPM2C. Vu que les signaux générés par le module de sortie de l'API sont a courant faible et comme le moteur a cc nécessite un courant moyen alors nous somme appelé à concevoir un étage d'amplification intermédiaire entre le moteur et l'API.

Pour ce faire nous avons organisée notre mémoire comme suit:

- Le premier chapitre comporte la description de DEO-électronique, avec des généralités sur les moteurs à cc, le codeur incrémental, ensuite des généralités sur le régulateur PID.
- Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de l'API OMRON-CPM2C, et le programme de pilotage du moteur, les méthodes de réglage du PID, ainsi la régulation du PID sous OMRON.
- Le troisième chapitre va nous permettre de concevoir et réaliser la boucle de commande, nous allons étudier et réaliser un carte pour l'amplification du courant de l'API pour faire tourner le moteur, ensuite on a le phototransistor qui analyse le signal délivré par le moteur , se signale se dégrade en période car le codeur tourne très vite et le phototransistor n'obtient pas assez de lumière pour commuter, pour cela on a rajouter un transistor qui envois des impulsions servant acheminées vers l'API.
- Dans le quatrième chapitre, nous représenterons une simulation du MCC on boucle ouverte, puis une régulation de vitesse en boucle fermé en utilisant un régulateur PID et l'application de la méthode de Ziegler-nicols pour défini le paramètre de régulateur PID. Ensuite l'introduction des paramètres dans l'API OMRON.