REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie électrique

Spécialité : automatique et système

Thème

Etude comparative entre les commandes (PID) et (RLF) sur la régulation de la vitesse d'un moteur a courent continue (MCC)

Présentés par :

Blal Adel Mahfoud

Hadj amar ahmed cherif

Proposés et Dirigés par :

Dr. Sofi Naima

Dr. Abudura Salam **Co. Promoteur**

Promotion 2022

Remerciements

On remercie d'abord Allah le tout puissant de nous avoir donnés le courage, la volonté et la patience de monter à terme ce présent travail, on tient à exprimer tout notre reconnaissance à nos directrice et jurées de mémoire **Sophie et Abu Dera , Gacemi Abdel Kadder, Kara Reda, Hanini Noreddine** *on les remercie d'avoir nous encadré orienté, aidé et conseillé. Plus personnellement et de façon infiniment plus intime on remercie notre très chers parents et frères et sœurs. Enfin on remercie notre amies et collège.*

A tous ces intervenants, nous présentons notre remerciement, mon respect et ma gratitude.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, A mes chères sœurs Nassima , Fouzia et Khadîdja pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, A mes chers frères, Fethi ,Mohamed lamine, pour leur appui et leur encouragement, A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fuit de votre soutien infaillible, Merci d'être toujours là pour moi.

Sans oublier les oiseaux de paradis : Abdallah ,Yasser,Adem, Iyad, Mouad,Rahef, Ratel

Hadj amar ahmed cherif

Dédicace

A travers ces quelques lignes, Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et remerciement à : Mon très cher père Blal Mustapha, je te remercie pour tous ce que t'as fais pour moi, ta confiance, et sur tout d'avoir veillé pour que rien ne me manque. Ma très chère mère,Fatma Zohra Ould Arbi je te remercie pour toutes les sacrifices que t'as fais pour moi, pour mes frères et sœurs, pour toutes les prières que t'as prononcé pour nous, et pour tout ce que t'a fais, au passage je te souhaite la guérissant, que dieu te garde a moi. Mes frères Anis et Fares, et a toute mes sœurs, vous que je trouve toujours a mes coté, dans les moments les plus heureux et sur tout les plus durs. A mes amies, et a toutes personnes que j'ai rencontré durant le chemin de ma vie

Blal Adel Mahfoud

TABLE DES MATIERES

Remerciement

Dédicace

Tableaux des matières

1. Introduction Générale……..……..……..……...1

Chapitre I : Machine à Courant Continue

I.1. Introduction…….……..…….…..……..3

I.2.Description et définition d'une machine à courant continu…….……....……..……3

I.2.1. Définition…….……..……..……3

I.2.2. Représentation générale……..…..…….....3

I.2.2.1 Structure du MCC ……...……3

I.2.2.2 Représentation schématique…….……...…….…..……4

1.2.3. Vue d'ensemble…….…….…….…...…….4

1.2.3.1. L'inducteur…….....5

1.2.3.2. L'induit…….…….....5

1.2.3.3. Collecteur et balais…….……..…..…..……6

I.3. Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu…….……..…….6

I.3.1. Fonctionnement en moteur…….....….....7

I.3.2. Fonctionnement en génératrice…….…….……..7

I.4. Les différents types de moteur à courant continu…….…….……...……8

I.4.1. Les moteurs brushed (à balais)……...…….……...…8

I.4.1.1. moteurs à excitation série……..8

I.4.1.2. moteurs à Excitation shunt……....……9

I.4.1.3. Excitation compound (composé)……...…...10

I.4.1.4. Moteur à Excitation indépendante (séparé) …….……..10

I.4.2. les moteurs bushless (sans balais) …….……..…11

I.5. Bilan de puissance ……..……..…….…….11

I.5.1. Bilan de puissance du moteur ……..……...……11

I.5.2. Bilan de puissance d'une génératrice ……...……..……12

I.6. Modélisation d'un Moteur à Courant Continu ……...……..……...……12

1.6.1. Equation Mécanique ……...……..…….…..……12

1.6.2. Equation Electrique ……...……...…..……...…..…13

1.6.3. Modèle de Laplace ……..…….…….……...…13

I.6.4. La plaque signalétique …….…….……..……13

I.7. Choix du moteur à courant continu…….…….……..…..14

I.8. Exemple d'un appareil a gouverné d'un petit bateau en utilisant un moteur (MCC.……..……15

I.8.1. Gyrocompas…….……15

I.9. Avantages et inconvénients des moteurs à courant continu ……..……19

I.10. Conclusion……..……...…….19

Chapitre II :Commande PID de Moteur à Courant Continu

II.1. Introduction ……..……...…….21

II.2. Principe général de la régulation ……..…….…...…..……21

II.2.1. Définition……...…….…….……...…21

II.2.2. Performances des systèmes réglés ……...…….…..……22

II.2.2.1. Rapidité……...…….…….……22

II.2.2.2. Précision……..…….…….22

II.2.2.3. Stabilité……...…….……..…….……..22

II.3. Le correcteur……...……...…….……22

II.4. But de la correction ……...……23

II.5. Contrôleur P „Proportionnelle……..……...……..…23

A. Schéma électronique du 'Correcteur Proportionnel'…….……...……..24

B. Effets du 'Correcteur Proportionnel'……...…….24

II.5.1. Action Proportionnel intégrale (PI) ……..……...…...……..…24

A. Schéma électronique du 'Correcteur Proportionnel'……..…..…....25

B. Effets du correcteur 'Proportionnelle-Intégral'……...……...……25

II.5.2. Cas d'une commande PID (Proportionnelle-Intégral-Dérivée) …….....…….……25

A. Schéma électronique du correcteur 'Proportionnel-Intégral-Dérivé'……..…….…….…25
B. Effets du correcteur 'Proportionnel-Intégral-Dérivé' ……....……..26

I.5.3. Résumé sur l'action des paramètres (coefficients) ……..……..…...……26

II.6. Application des régulateurs PID sur le moteur à courant continu…….…..……26

II.7. La commande PID en régulation de vitesse……..…….…..27

Conclusion ……...…….……..28

CHAPITRE III : Commande floue appliquée au MCC

III.1. Introduction ……..……30

III.2. Histoire ……..……30

III.3. Définition …….……...…….……31

III.3.1. La logique floue ……...……31

III.3.2. Ensemble flou ……...……...……..31

III.3.3. Fonction d'appartenance …….……33

III.4. SYSTEME D'INFERENCE FLOUE ……..……..…….……34

III.4.1. Règle d'inférence ……..……..……...……34

III.4.2. Les méthodes d'inférence ……...……..……..…….35

III.4.2.1. Méthode d'inférence MIN / MAX (Mamdani) ……..……...……35

III.4.2.2. Méthode d'inférence MAX / PRODUIT…….……...……...……36

III.4.2.3. Méthode d'inférence SOMME / PRODUIT ……....……...……37

III.5. Les domaines d'applications de la logique floue ……..……..……38

III.6. FUZZIFICATION ……..……..……39

III.7. INFERENCE ……..……...……...……39

III.8. DEFUZZIFICATION……..……..……39

III.9. Avantages et inconvénients de la commande par la logique floue…….……..……40

III.10. Conclusion ……..……..……..……40

CHAPITRE IV : Résultats de simulation et interprétation

IV.1. Introduction ……...……42

IV.2. Cahier des charges ……..……...……42

IV.3. Application de la commande floue sur le moteur ……...……43

a-Fonction d'appartenance……...……43

b- Base des règles d'inférences……...…..……44

C- Éditeur de règles et analyseur…….……..……46

IV.4. LES PARAMETRES DU REGULATEUR PID……..…...……47

IV.5. Résultats de simulation…….....……48

IV.6. Conclusion…….……...……49

Conclusion générale ……...…….50

Références

Résumer

Liste des Figures

Chapitre I : Machine à Courant Continue

Figure 1 : Structure d'un moteur a courant continue

Figure 2 : Structure d'un MCC à deux paires de pôles

Figure 3 : symbole d'un M.C.C

Figure 4 : symbole d'une génératrice à C.C

Figure 5 : Schéma d'une Machine à C.C fonctionnant en moteur

Figure 6 : Vue du Moteur à courant continue

Figure 7 : L'inducteur d'un MCC

Figure 8 : L'induit d'un MCC

Figure 9 : Collecteur et balais d'un MCC

Figure 10 : fonctionnement d’un moteur à courant continu

Figure 11 : fonctionnement en moteur

Figure 12 : Fonctionnement en génératrice

Figure 13 : Composants du moteur à balais

Figure 14 : un MCC à balais

Figure 15 : Schéma électrique du MCC a excitation série

Figure 16 : Schéma électrique du MCC a excitation shunt

Figure 17 : Schéma électrique du MCC a Excitation compound (compose)

Figure 18 : Schéma électrique du MCC a Excitation indépendante (séparé)

Figure 19 : Composants du moteur Brushless

Figure 20 : Moteur Brushless

Figure 21 : Bilan de puissance en moteur

Figure 22 : Bilan de puissance en génératrice

Figure 23 : schéma fonctionnel du mcc en boucle ouverte

Figure 24 : plaque signalétique d’un moteur à courant continu

Figure 25 : L'appareil à gouverner pour les petits bateaux à l’aide des servomoteurs électriques

Figure 26 : schéma fonctionnel du mcc en boucle ouverte

Figure 27 : Schéma explique le fonctionnement d’un gyrocompas avec le moteur et l’appareil à gouverner

Figure 28 : Schéma d’un système gouvernail

Chapitre II : Commande PID de Moteur à Courant Continu

Figure 1 : Performances d’un système de commande

Figure 2 : Schéma électronique du correcteur proportionnel

Figure 3 : Schéma électronique du correcteur proportionnel Intégral

Figure 4 : Schéma électronique du correcteur Proportionnel Intégral Dérivé

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

CHAPITRE III : Commande floue appliquée au MCC

Figure 1 : Comparaison entre un ensemble classique et un ensemble flou

Figure 2 : Fonction caractéristique

Figure 3 : Fonction d'appartenance

Figure 4 : Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique

Figure 5 : Différentes forme des fonctions d'appartenances

Figure 6 : SYSTEME D'INFERENCE FLOUE

Figure 7 : Traitement flou

CHAPITRE IV : Résultats de simulation et interprétation

Figure 1 : schéma blocs du système avec un PID et avec un RLF

Figure 2 : le modèle Simulink de la machine MCC

Figure 3 : Définition de la structure globale (entrée, sortie, type d'opérateurs)

Figure 4 : définition des fonctions d'appartenance pour l'entrée

Figure 5 : définition des fonctions d'appartenance pour la sortie

Figure 6 : Règles floues

Figure 7 : PARAMETRES DU PID

Figure 8 : Résultats de simulation

Liste des Tableaux

Tableau (I-1) : Bilan d'un moteur à courant continu

Tableau (II-1) : Réglage du contrôleur par la méthode d'oscillation de Ziegler-Nichols

Tableau (II-2) : Résumé sur l'action des paramètres (coefficients)

Tableau (III-1) : Les règles floues sont énoncées en langage naturel

Tableau (III-2) : les règles d'inférences sous forme de tableau

Tableau (IV.1) : Règles d'inférences.

Symboles et notations

A : Gain statique

Cu : Couple moteur généré (utile)

Ce : Couple électromagnétique

Cm : Couple mécanique

Cp : Couple de pertes

Cr : Couple résistant

D : Dépassement

E : Force contre électromotrice du moteur

e(t) : Force électromotrice

FMM : Force magnétomotrice

Fcem : Force contre électromotrice

F : Coefficient de frottement visqueux

G, F : Fonction de transfert du système 2ème ordre

I : Courant d'induit

Ie : Courant d'excitation

IN : Courant nominal

I(t) : Intensité traversant le moteur

J : Moment d'inertie de l'axe du rotor

Ke : Constante de vitess

Kc : Constante de couple

Kp : Gain proportionnel

Ki : Gain intégral

Kd : Gain dérivé

L : Inductance de l'induit du MC

MCC : Moteur à courant continu

PID : Proportionnel-Intégral-Dérivée

Pa : Puissance absorbée (électrique)

Pu : Puissance utile (mécanique)

R : Résistance de l'induit

r : Résistance de l'inducteur

Rt : Somme des deux résistances d'induit R et d'inducteur r

TL : Transformé de Laplace

Ti : Constante de temps, dite temps d'action intégral

Td : Constante de temps, dite temps d'action dérivée

t, τ, θ : Temps

tr : Temps de réponse

tm : Temps de monte

U(t) : La sortie du contrôleur

U(t) : Tension appliquée au moteur

U : Tension d'induit

Ue :Tension d'excitation

U1, U2 : Univers de discours

w0 : La pulsation propre du système 2ème ordre

Φ : Flux utile par pôle

E : Le coefficient d'amortissement du système 2ème ordre

μA(x) : Degré d'appartenance de l'élément x au sous-ensemble flou A

μA : La fonction d'appartenance

A, B : Sous-ensemble flous

Ω (t) : Vitesse de rotation du rotor

I.1. Introduction Générale :

L'industrie au sens le plus large du terme, et les transports ont de plus en plus besoin de système à vitesse variable douée de souplesse et de précision. Pour cette raison Les machines électriques sont utilisées dans un très grand nombre de procédés industriels notamment la fabrication, la traction électrique (trains, tramways, véhicules électriques) et la génération d'énergie. En fonction de ces applications, les moteurs à courant continu (MCC) sont de divers types et les exigences sont déverses. Par conséquent, ces moteurs doivent répondre de manière efficace à des variations de consignes (vitesse, position, couple) et cela, dans une large gamme de variations du point de fonctionnement. Le réglage de la vitesse de ces moteurs demeure cependant difficile quand on dispose d'une tension fixe.

Dans le domaine de théorie de commande, plusieurs techniques de commande performantes ont trouvé leurs applications dans une vaste gamme de domaines. En particulier, les cinq dernières années ont témoigné des grands développements de la commande utilisant l'intelligence artificielle dans les applications techniques et non techniques.

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 nécessaire d'avoir recours à une commande. La commande PID (Proportionnelle Intégrale-Dérivée) est une méthode qui donne de bons résultats, grâce à ces actions, proportionnelle qui améliore la rapidité, l'intégrale pour la précision, et la dérivée pour la stabilité.

Dans le cadre de notre travail, nous allons présenter une étude comparative entre un régulateur classique PID et un régulateur moderne à logique floue, pour contrôler la variation de la vitesse d'un moteur à courant continue (MCC) et on procédera à une comparaison des performances.

Le premier chapitre est consacré à la description du moteur à courant continu tout en expliquant son principe de fonctionnement, ses éléments principaux, la modélisation du MCC Introduction générale et le modèle mathématique de la réponse en vitesse et en position avec un exemple d'une appareil à gouverner navale.

Dans le deuxième et le troisième chapitre nous allons définir les principes fondamentaux des commandes PID et la logique floue et son application aux moteurs à courant continu, ses avantages et inconvénients.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons nos résultats. Et nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I :

Machine à Courant Continu

I.1.Introduction :

De nos jours, les machines à courant continu sont utilisées souvent en fonctionnement moteur dans les systèmes d'entraînement à vitesse variable, vu la simplicité et la souplesse de leur commande. Mais elles présentent certains inconvénients principalement à cause du système « Balais-Collecteur », des limitations en puissance et en vitesse avec un coût relativement plus élevé que les machines à courant alternatif. Afin de pouvoir commander ou de contrôleur ces machines, la connaissance et l'étude de leurs caractéristiques deviennent une nécessité. L'objectif essentiel de ce chapitre est présenté les différentes caractéristiques de la machine à courant continu en fonctionnement moteur.

I.2.Description et définition d'une machine à courant continu

I.2.1 Définition :

Une machine à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique ; selon la source d'énergie [1][2].

I.2.2 Représentation générale :

I.2.2.1 Structure du MCC :

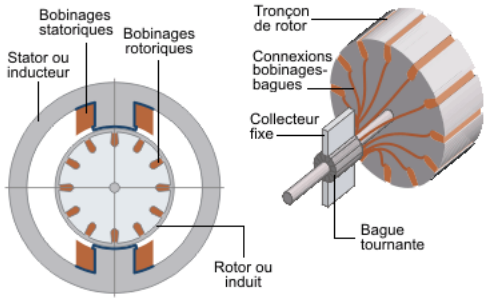


Figure 1 : Structure d'un moteur a courant continue

Exemple : moteur brushless, utilisé en robotique et machines-outils Pour des puissances plus importantes, le rotor est bobiné et alimenté en courant continu par un collecteur à deux bagues.

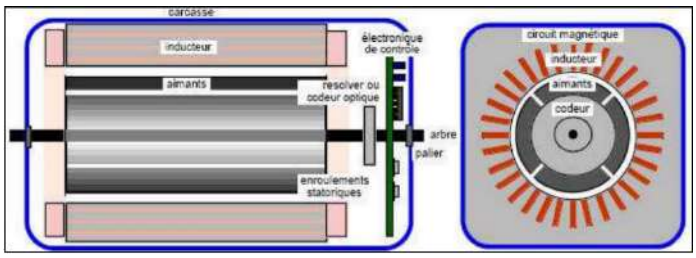


Figure 2 : Structure d'un MCC à deux paires de pôles

Un moteur brushless comporte les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu, excepté le collecteur**(voir la Figure 2)**, mais l'emplacement des bobines et des aimants permanents sont inversés. Le rotor est composé d'un ou plusieurs aimants permanents, et le stator de plusieurs bobinages.

I.2.2.2 Représentation schématique :

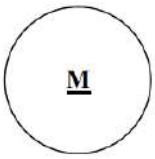


Figure 3 : symbole d'un M.C.C

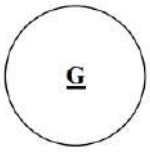


Figure 4 : symbole d'une génératrice à C.C

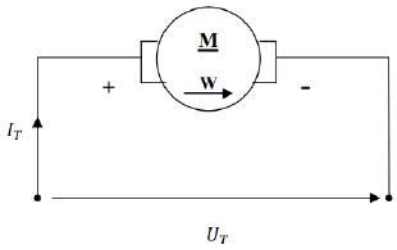


Figure 5 : Schéma d'une Machine à C.C fonctionnant en moteur

1.2.3. Vue d'ensemble :

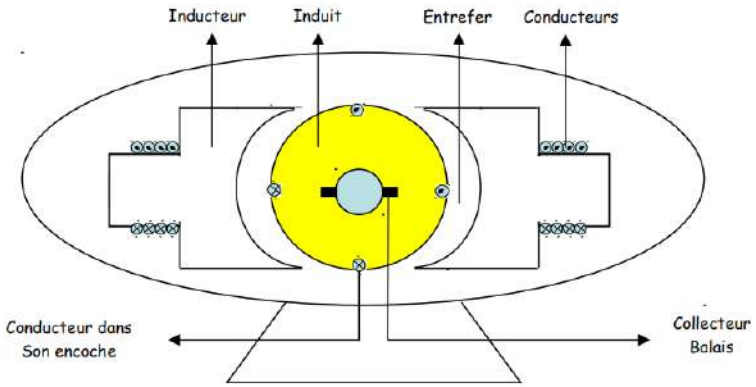


Figure 6 **:** Vue du Moteur à courant continue

• Une partie fixe appelée STATOR qui aura le rôle d'inducteur.

• Une partie mobile appelée ROTOR qui aura le rôle d'induit.

• Une liaison rotor - éléments extérieurs à la machine appelée COLLE

1.2.3.1. L'inducteur :



Figure 7 : L'inducteur d'un MCC

C'est la partie fixe de la machine à courant continu l'inducteur (stator) comporte une carcasse en forme d'anneau servant de support aux pôles inducteur et éventuellement aux pôles auxiliaires de commutation très souvent pour des raisons dépendant de la régulation et de la commutation,**(voir la figure 7)** le stator des machines à courant continu alimentées par convertisseurs statique est constitué de tôle magnétique est entièrement feuillé [3].

1.2.3.2. L'induit :



Figure 8 : L'induit d'un MCC

C'est la partie tournante de la machine à courant continu, elle comporte un noyau magnétique constitué par un empilage des tôles magnétiques isolées les uns des autres, ,**(voir la figure 8)** les tôles de l'induit sont encochées par estampage pour loger les conducteurs des bobines de l'enroulement d'induit. Chaque spire, ou plus souvent, chaque section de l'enroulement de l'induit est relevée a une lame de collecteur. L'alimentation en courant de l'induit ce fait a l'aide des balais. Les parties fixes et mobiles sont séparées par un entre faire [3].

1.2.3.3. Collecteur et balais :



Figure 9 : Collecteur et balais d'un MCC

Le collecteur a pour fonction d'assurer la commutation du courant d'alimentation dans les conducteurs de l'induit. Il se compose de lame de cuivre de section trapézoïdale, portent chacune une ailette de connexion à l'enroulement de l'induit et isolées par du mica **(voir la figure 9)**.

I.3. Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu :

Le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu repose sur la création d'un couple électromagnétique sur un rotor porteur de conducteurs parcourus par un courant continu, et qui se déplacent dans un champ magnétique.

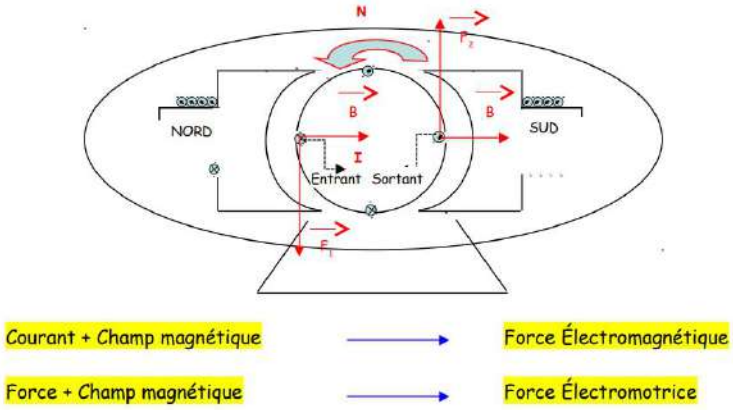


Figure 10 : fonctionnement d'un moteur à courant continu

Un inducteur (stator) crée un champ magnétique de direction fixe **(voir la Figure 10),** Ce champ peut être obtenu par un aimant permanent ou par un électro-aimant.

L'induit (rotor) porte des conducteurs parcourus par un courant continu. Les spires sont le siège de forces (loi de Laplace) qui créent un couple entraînant la rotation du rotor. De cette rotation résulte une variation du flux traversant la spire, variation qui engendre une force électromotrice (f.e.m.) aux bornes de la spire.

Un dispositif permet l'alimentation des conducteurs en inversant leur sens deux fois par tour. Ce dispositif est appelé collecteur. Des solutions plus récentes permettent par une solution électronique de

s'affranchir du collecteur. Les moteurs sont alors appelés moteur à courant continu "sans balais", mais il s'agit en réalité de moteurs synchrones (voir chapitre spécifique) .

I.3.1 Fonctionnement en moteur :

Soit une spire du bobinage d'induit :

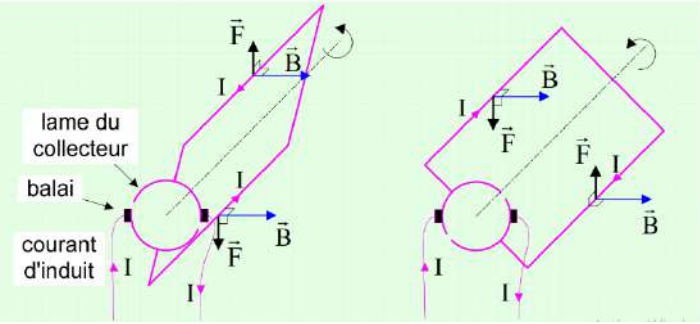


Figure 11 : fonctionnement en moteur

champ magnétique inducteur B

+ courant d'induit I

⇒ forces électromagnétiques (forces de Laplace)

⇒ couple électromagnétique

⇒ rotation du rotor

I.3.2. Fonctionnement en génératrice :

Le principe physique utilisé est le phénomène d'induction électromagnétique (loi de Faraday : e = -d Φ/dt) :

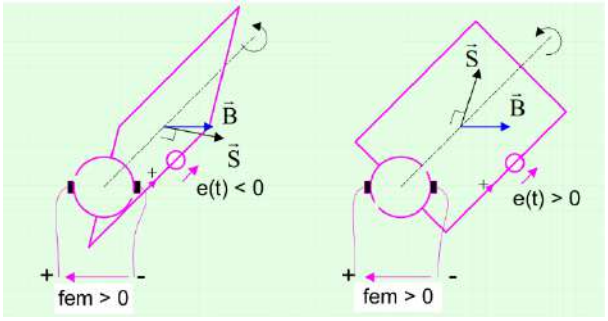


Figure 12 : Fonctionnement en génératrice

champ inducteur + rotation de la spire

⇒ variation du flux magnétique Φ= B·S

⇒ création d'une fem induite (e) alternative

Le collecteur permet d'obtenir une fem de forme continue.

• **Remarque**

La machine à courant continu est réversible :

elle fonctionne aussi bien en moteur qu'en génératrice.

I.4. Les différents types de moteur à courant continu :

I.4.1 Les moteurs brushed (à balais) :

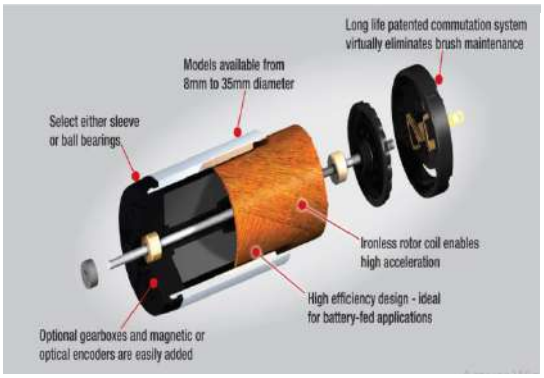




Figure 13 : Composants du moteur à balais

Figure 14 : un MCC à balais

Ils représentent le type de moteur le plus classique et sont généralement utilisés pour des applications à faible budget **(voir la Figure 13 ,14)**, dans lesquelles le système de commande est relativement simple, telles que des applications grand public, et pour des équipements industriels basiques.

Ce type de moteur peut être décomposé comme ci-dessous :

I.4.1.1 moteurs à excitation série :

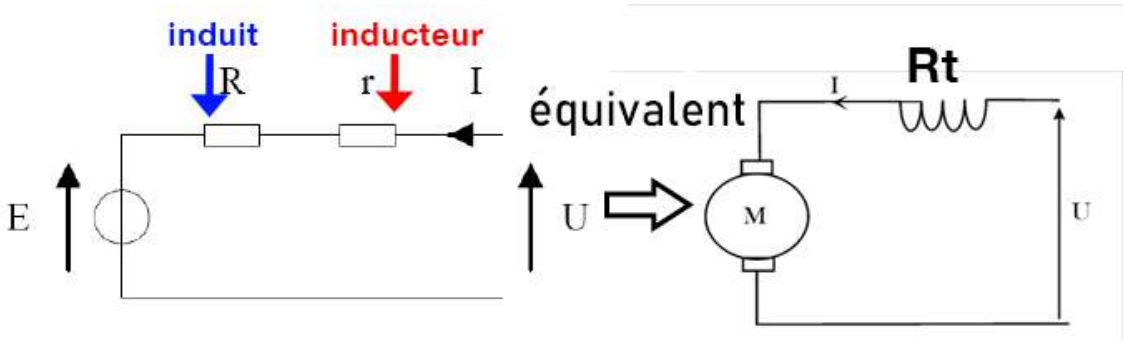


Figure 15 : Schéma électrique du MCC a excitation série

D'après le schéma équivalent en conclure que Rt est la somme des deux résistances d'induit R et d'inducteur r **(voir la Figure 15)**. en la mesure en mesurent R et r indépendamment l'un de l'autre [4].

$Rt = R + r$ **ET** $= E - Rt$ **I**

Le bobinage du stator est connecté en série au bobinage du rotor. La contrôle de la vitesse est effectué en variant la tension d'alimentation. Cependant, ce type de moteur offre un contrôle médiocre de la vitesse et lorsque le couple vers le moteur augmente, sa vitesse chute. Ces moteurs sont utilisés dans les applications exigeant un couple de démarrage élevé Comes les automobiles, les palans, ascenseurs et grues.

L'excitation série étant principalement réservée à des moteurs, il n'est pas habituel d'utiliser le terme de machine à excitation série (exception faite dans les systèmes ferroviaires).

Ce type de moteur est caractérisé par le fait que le stator (inducteur) est raccordé en série avec le rotor (induit).

● Donc le même courant traverse le rotor et le stator $Ii = Ie = I$ et la tension d'alimentation

U = Ui +Ue

● $Bs =$ Ke x I

I.4.1.2 moteurs à Excitation shunt:

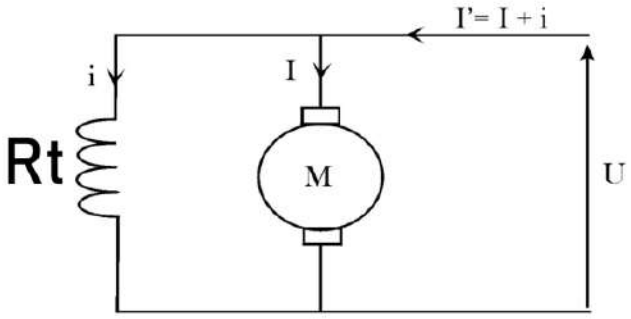


Figure 16 : Schéma électrique du MCC a excitation shunt

Ce type de moteur possède une tension d'alimentation et le bobinage du stator est connecté en parallèle au bobinage du rotor et peut fournir un couple plus élevé **(Figure 16),** sans réduction de vitesse lors d'une augmentation du courant de moteur. Son couple de démarrage est moyen avec une vitesse constante, il convient donc aux applications telles que les tours, aspirateurs, convoyeurs et meuleuses.

I.4.1.3 Excitation compound (composé):

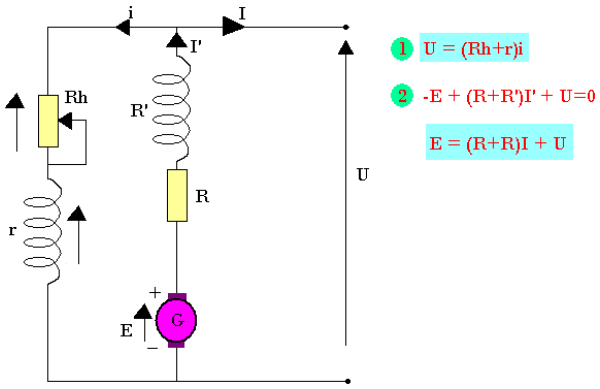


Figure 17 : Schéma électrique du MCC a Excitation compound (compose)

Ce type de moteur combine la structure à excitation série et celle du bobinage "shunt". Ainsi la polarité du bobinage shunt s'ajoute aux champs en série **(Figure 17)**. Ce type de moteur possède un couple de démarrage élevé et offre une large variation de vitesse. Il est utilisé pour piloter des compresseurs, pompes centrifuges à tête variable, presses rotatives, scies circulaires, machines de cisaillement, ascenseurs et carrousels à bagages

I.4.1.4 Moteur à Excitation indépendante (séparé) :

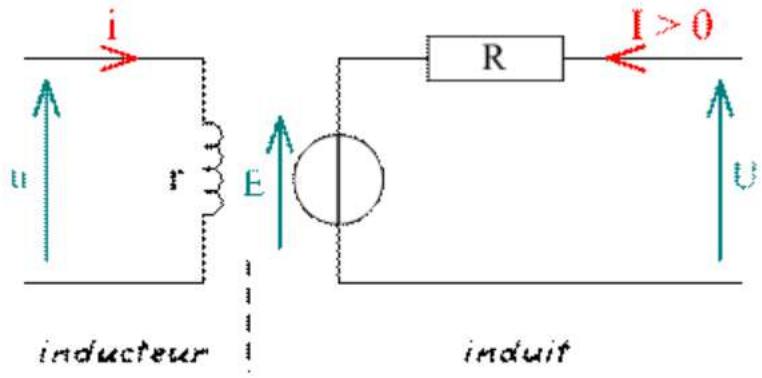


Figure 18 : Schéma électrique du MCC a Excitation indépendante (séparé)

I : courant d'induit. **R : résistance d'induit.**

i : Courant d'excitation. **r : Résistance de l'inducteur.**

U : tension d'induit. **E : force contre électromotrice du moteur**

u : Tension d'excitation.

Le moteur à excitation séparée est appelé ainsi parce que l'inducteur et l'induit sont indépendant et peuvent être alimentés par des sources séparées **(Figure 18)** : par exemple alimentation variable par dispositif électronique pour l'induit et alimentation fixe pour l'inducteur.

I.4.2 les moteurs bushless (sans balais) :

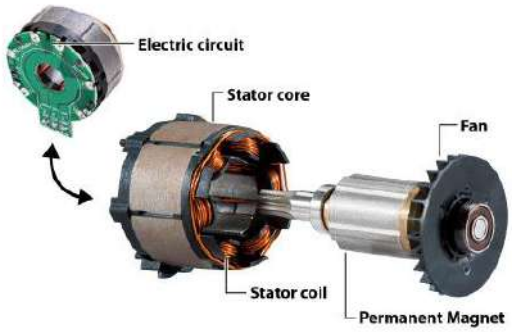


Figure 19 : Composants du moteur Brushless



Figure 20 :Moteur Brushless

Les moteurs brushless réduisent certains problèmes liés aux moteurs à balais les plus courants (durée de vie limitée pour des applications à usage intensif) **(voir la Figure 19 ,20)**, et leur conception mécanique est beaucoup plus simple (sans balais). Le contrôleur de moteur utilise des capteurs à effet Hall pour détecter la position des rotors, et le contrôleur peut ainsi commander le moteur de façon précise via le courant dans les bobines du rotor pour réguler la vitesse. Les avantages de cette technologie sont une longue durée de vie, peu d'entretien et un haut rendement (85-90 %), tandis que les inconvénients sont des coûts élevés et des contrôleurs plus compliqués. Ces types de moteurs sont généralement utilisés dans le contrôle de positionnement et de vitesse avec des applications telles que les ventilateurs, pompes et compresseurs, qui nécessitent fiabilité et robustesse.

Les Moteurs pas à pas font partie de la catégorie des moteurs brushless. Ils sont principalement utilisés dans le contrôle de position en boucle ouverte, avec des utilisations allant des imprimantes jusqu'à des applications industrielles telles que les équipements de placement à grande vitesse.

I.5. Bilan de puissance :

I.5.1 Bilan de puissance du moteur :

Le bilan des puissances décline toutes les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine mécanique jusqu'à la puissance utile de nature électrique.

Entre ces deux termes, l'étude se portera sur toutes les pertes aussi bien mécaniques qu'électriques, et enfin une puissance sera étudiée tout particulièrement, elle correspond au passage de la puissance mécanique à la puissance électrique. Le bilan, peut être résumé à l'aide schéma suivant :

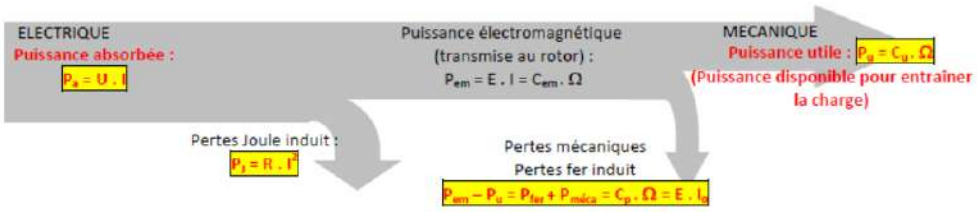


Figure 21 : Bilan de puissance en moteur

Rendement :

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{absorbée}} \quad , \quad \eta = \frac{P_{absorbée} - \sum pertes}{P_{absorbée}} = \frac{P_{utile}}{P_{utile} + \sum pertes}$$

Pa : La Puissance absorbée (électrique) **Pj : Les pertes Joule**

Pe : La Puissance électromagnétique **Pc : les pertes collectives**

Pu : La Puissance utile (mécanique)

I.5.2. Bilan de puissance d'une génératrice :

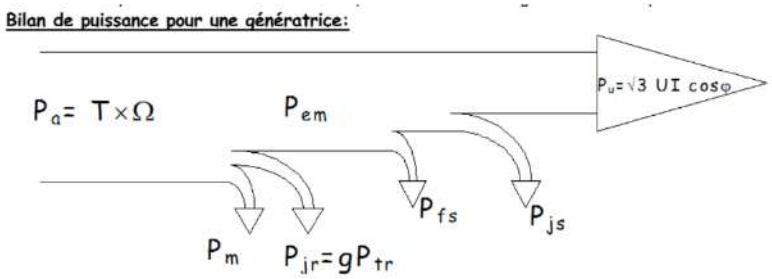


Figure 22 : Bilan de puissance en génératrice

La génératrice reçoit une puissance Pa, produit du moment du couple mécanique T provenant d'un système auxiliaire et de la vitesse angulaire Ω

I.6. Modélisation d'un Moteur à Courant Continu

1.6.1. Equation Mécanique :

Equation Fondamentale de la dynamique pour les systèmes tournants :

$$\mathbf{J.\ d\Omega/dt = Cm - Cr}$$

Cr Couple résistant peut être décomposé en un couple de frottements sec C0 et un couple frottements visqueux proportionnel à la vitesse

$$\mathbf{Cv = f.\Omega}$$

REMARQUE

Cm Couple moteur est proportionnel au courant dans le rotor

$$\mathbf{Cm=K\Phi.I}$$

1.6.2. Equation Electrique :

Etant donné le nombre de spires, nous avons affaire à un circuit inductif, modélisé par l'inductance L.

Les fils ont toujours une certaine résistivité modélisée par R.

Comme il y a mouvement d'un fil dans un champ magnétique –> Force Contre Electromotrice induite

$$\mathbf{\vec{E} = \vec{V} \wedge \vec{B}}$$

Cela induit une différence de potentiel s'opposant à la tension d'alimentation U

$$\mathbf{E=K\Phi.\Omega}$$

NB: ce KΦ est le même que pour Cm=KΦ.I

L'équation Electrique est donc :

$$\mathbf{U=R.i+L.di/dt+E}$$

avec E=KΦ.Ω

1.6.3. Modèle de Laplace :

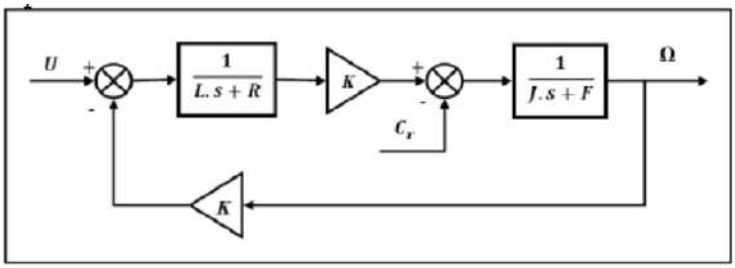


Figure 23 : schéma fonctionnel du mcc en boucle ouverte

I.6.4 La plaque signalétique :

Les moteurs sont accompagnés d'une plaque signalétique qui porte des conditions d'utilisation et des informations qui nous aides à comprendre le fonctionnement de ces moteurs **(figure 24)**.

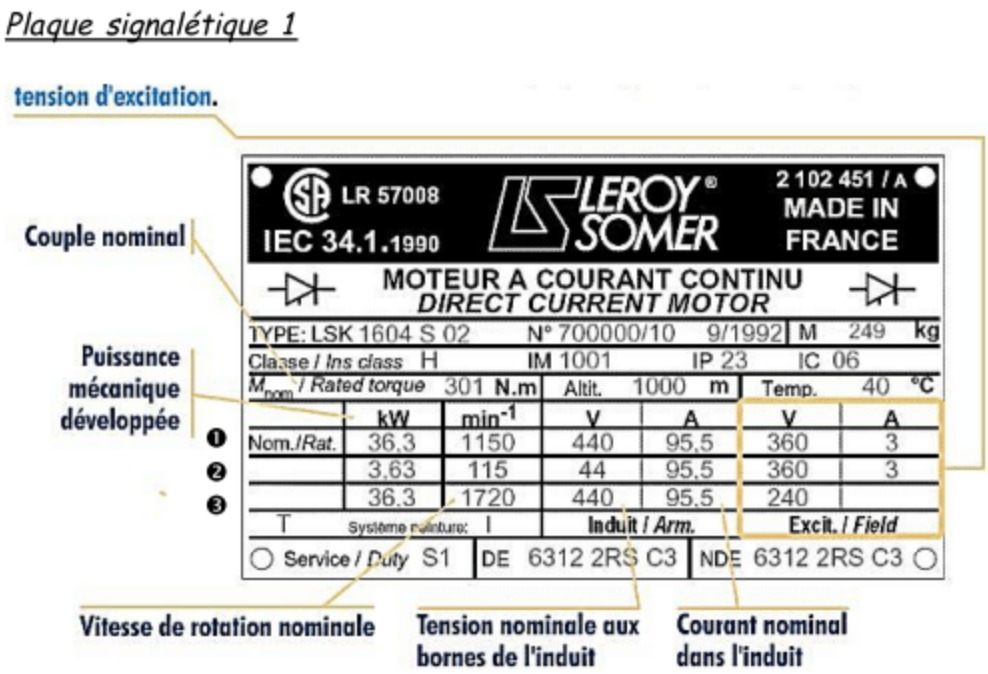


Figure 24 : plaque signalétique d'un moteur à courant continu

I.7 Choix du moteur à courant continu

Le choix d'un moteur à courant continu doit permettre l'entrainement de la machine accouplée avec les performances imposées par le cahier des charges à savoir [16] :

● Le nombre de quadrants de fonctionnement.

● La vitesse maximale / minimale.

● L'accélération et la décélération maximale.

● La qualité, la précision et la dynamique du couple et de la vitesse. aussi le respect des normes pour le réseau d'alimentation énergétique à savoir :

● La consommation d'énergie réactive.

● Le taux harmoniques imposé au réseau.

● La compatibilité électromagnétique.

I.8. Exemple d'un appareil a gouverné d'un petit bateau en utilisant un moteur (MCC):

DESCRIPTION DU PRODUIT

L'appareil à gouverner électrique pour le petit bateau de pêche utilisant l'actionneur linéaire électrique.

La configuration de l'appareil à gouverner électrique pour le petit bateau de pêche utilisant l'actionneur linéaire électrique est montrée sur **(la Figure 25).**

Ce système a été développé pour remplacer les engrenages de direction hydrauliques existants. Les actionneurs de bord classiques à huile utilisés pour les organes de direction (safrans, ailettes stabilisatrices de roulis) sont généralement encombrants et nécessitent un lourd fardeau de maintenance.

L'appareil à gouverner électrique est non seulement capable de participer à la politique de contrôle des gaz à effet de serre de l'Organisation Maritime Internationale en utilisant uniquement l'énergie de la batterie DC, mais aussi en tant qu'équipement écologique pour l'environnement marin.

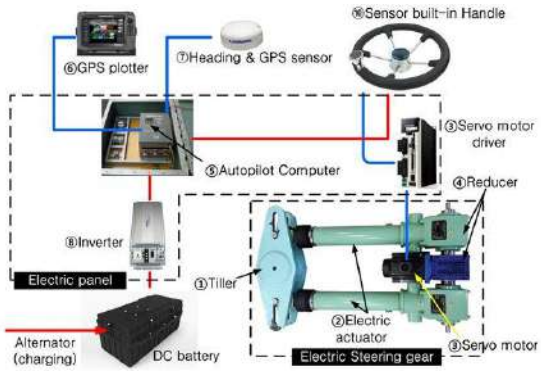


Figure 25 : L'appareil à gouverner pour les petits bateaux à l'aide des servomoteurs électriques

Machine de direction électrique, conception et principe de fonctionnement

Le volant entraîne le contact mobile du rhéostat avec la résistance Rw, qui est reliée électriquement au deuxième rhéostat, résistance dont Rs varie en fonction de la position de la crosse.

Si, par exemple, la rotation du volant coïncide avec le sens de la flèche, la résistance augmente. Le générateur, dont la tension dans l'enroulement est contrôlée par le régulateur, fournit de l'énergie au moteur de direction exécutif. Le sens de rotation du moteur de direction exécutive pour le cas considéré correspond à une augmentation de la résistance Rs et à une diminution du courant dans le régulateur.

Au moment où le volant atteint la position souhaitée, la résistance Rs devient égale à Rw et le moteur de direction s'arrête.

Considérons la disposition structurelle d'un appareil à gouverner électrique typique installé sur un certain nombre de navires, et en particulier sur les remorqueurs pousseurs de lac OT-800 (projet 758) d'une capacité de 590 kW **(Fig. 26)**.

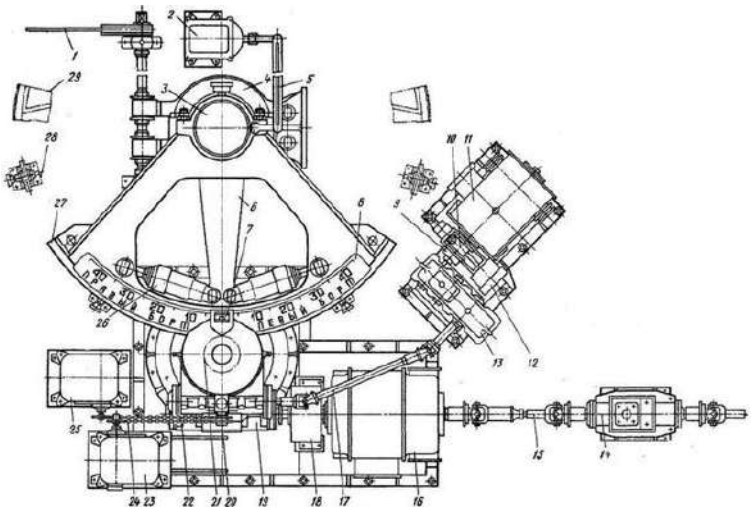


Figure 26 : Schéma de la machine de direction électrique

Ces poussoirs sont à double vis, équipés de tuyères rotatives, chacun d'eux dispose de deux machines de direction identiques qui permettent une commande conjointe et séparée.

Les arbres des moteurs électriques principaux 16 sont reliés par des arbres à cardan 15 et un embrayage électromagnétique 14 pour travailler ensemble en mouvement. Lors des manœuvres, les machines à gouverner avec l'embrayage électromagnétique désactivé fonctionnent indépendamment, chacune sur son propre corps de direction. Le moteur principal à courant continu 16, fonctionnant selon le système "moteur - générateur - moteur", est relié par un accouplement élastique 18 à la paire de vis sans fin inférieure du différentiel Fedoritsky 19, qui fait tourner l'engrenage droit 21, couplé au secteur denté 27 Le secteur, monté sur l'arbre 3, le fait tourner librement grâce aux amortisseurs à ressort 26 et au timon 6, fixés à la crosse avec une clé. Le moteur électrique 11 de l'entraînement de secours est alimenté par des batteries. Son arbre, à l'aide d'un accouplement élastique 9, d'une boîte de vitesses à deux étages 13 et d'un arbre à cardan 17, transmet la rotation à la paire de vis sans fin supérieure du différentiel Fedoritsky. Pour une protection plus fiable du rotor du moteur électrique de rechange contre la rotation pendant le fonctionnement en tant qu'entraînement principal, un frein à sabot 10 avec un électroaimant 12 est installé sur l'accouplement élastique 9.

L'arrêt automatique des moteurs électriques lorsque les organes de direction atteignent les positions extrêmes est assuré par les interrupteurs de fin de course 23 des transmissions principale et 25 de secours, qui ouvrent le circuit d'alimentation électrique des moteurs électriques. Ils sont entraînés par des entraînements à chaîne 24 et 22 à partir de deux pignons 20. En cas de dysfonctionnement des fins de course, la rotation du secteur est limitée par des butées 29. s'allume lorsque le navire est stationné pendant une longue période. Sur le pont dans la zone de rotation du secteur, 4 rouleaux 28 sont installés, le protégeant de l'affaissement sous l'action de son propre poids. Il y a une échelle 8 sur le secteur, et un pointeur fixe 7 au-dessus de celui-ci, vous permettant de déterminer sur place de quel côté et de quel angle le corps de direction est dévié. A l'aide du levier 5 et du capteur 2 de l'axiomètre électrique, les indications de déviation du corps de direction sont transmises à la timonerie.

La présence du différentiel Fedoritsky vous permet de passer de l'entraînement principal à la roue de secours et vice versa, sans aucune commutation dans la voiture.

I.8.1. Gyrocompas:

Une boussole gyroscopique est une forme de gyroscope, largement utilisée sur les navires utilisant une roue de gyroscope électrique à rotation rapide et des forces de friction entre autres facteurs utilisant les lois physiques de base, les influences de la gravité et la rotation de la Terre pour trouver le vrai nord.

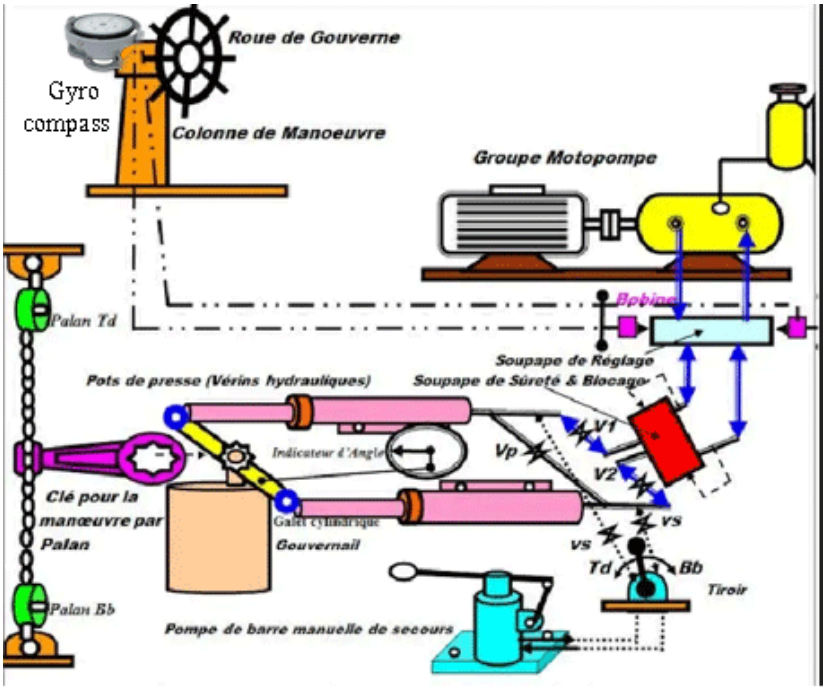


Figure 27 : Schéma explique le fonctionnement d'un gyrocompas avec le moteur et l'appareil à gouverner

Le gyrocompas naval à rotor unique utilise un gyroscope libre dont le Centre de gravité se déplace dans son plan équatorial sous le point de suspension, c'est-à-dire un gyroscope positionnel. Selon la méthode de génération de l'effet pendule, une distinction est faite entre les compas gyroscopiques à pendule, à vases à mercure et à correction indirecte.

Dans le gyrocompas à pendule (figure 30), le rotor est enfermé dans une chambre, avec un poids fixé à sa partie inférieure. La chambre est montée dans l'anneau extérieur de suspension

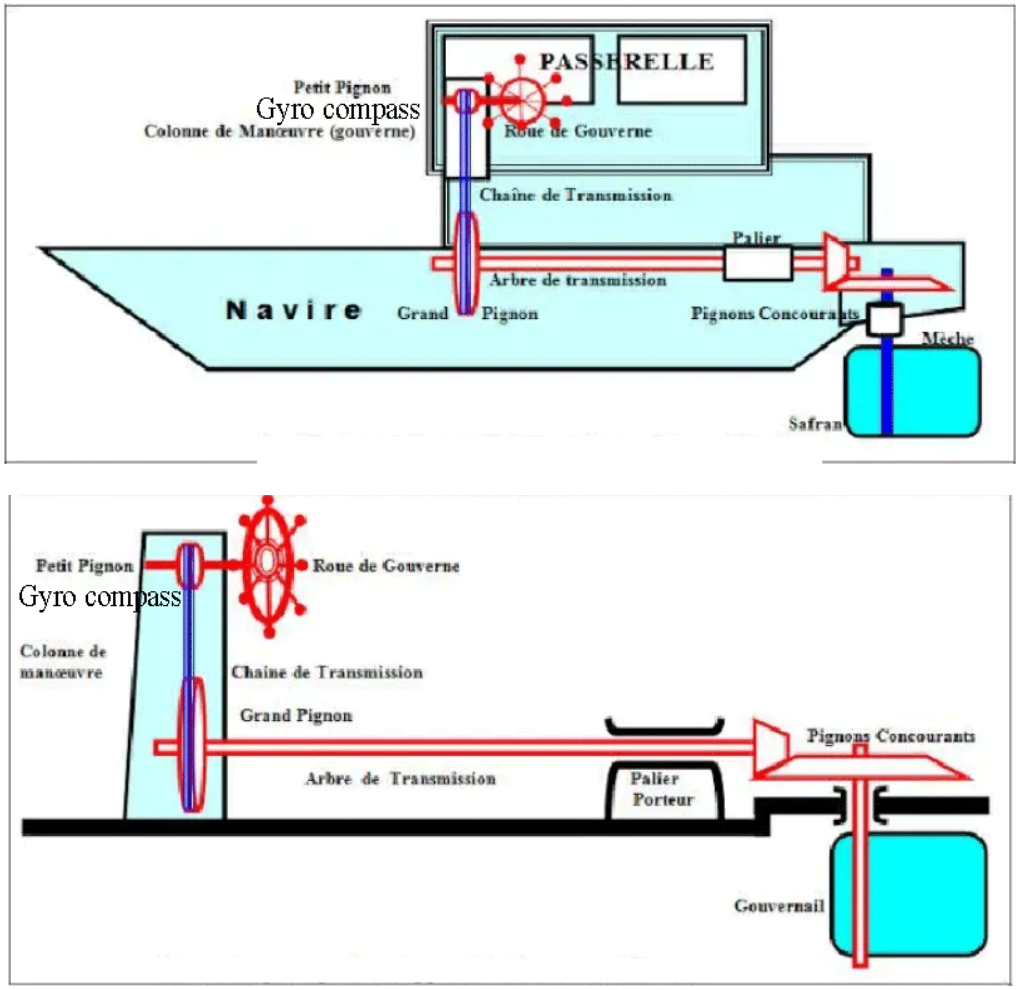


Figure 28 : Schéma d'un système gouvernail

Résumer :

Tous les navires doivent être équipés d'un appareil à gouverner et que les tests effectués sur ces appareils doivent répondre à des critères spécifiques

Ces exigence sont très spécifiques et précises par exemple l'appareil à gouverner principal doit pouvoir lorsque le navire est son tirant d'épaule plus élevé et es t'en marche avant a la Vitesse maximale de service tourner de la position de 35 degrés d'un cote a 30 degrés du cotte oppose en 28 s maximum en e que concerne l'appareil à gouverner auxiliaire il doit pouvoir passer de 15 degrés d'un cote a 15 degrés du cote oppose dans les mêmes conditions que pour l'appareil a gouverner principal en un temps maximal de 60 secondes

Avantages :

►Amélioration de l'efficacité énergétique et de la complexité réduite

►Effet de réduction des émissions de carbone

►Lorsque le traceur GPS et le capteur de cap et le panneau électrique, les fonctions de pilotes automatiques sont disponibles.

I.9. Avantages et inconvénients des moteurs à courant continu :

Le principal avantage d'un moteur à courant continu est son faible coût, et la capacité qu'il offre de régler facilement sa vitesse à l'aide d'un gradateur. On peut citer d'autres avantages :

●Moteur entièrement feuilleté rotor et stator.

●Haute capacité de commutation dans les transitoires de courant.

●Encoches inclinées.

●Temps de réponse rapide ; Rendement élevé.

●Niveau de bruit selon préconisation IEC 34-9.

●Porte balais radiaux à pression constante.

L'inconvénient majeur est lié à la nécessité du système collecteur-balais. Sa présence est la source de problème de la commutation, d'étincelles, elle limite la vitesse de rotation et elle entraine la nécessité d'une maintenance contraignante. La présence de l'induit au rotor, à l'intérieur du stator, ne facilite pas les échanges thermiques.

Enfin, le prix des moteurs à courant continu est plus élevé que celui de ses concurrents.

I.10. Conclusion :

La machine à courant continu a été durant de nombreuses années l'actionneur principalement utilisé dans les applications à vitesse variable. En effet, comme cela a été mis en évidence, le contrôle de la vitesse de rotation peut être aisément réalisé par action sur la f.e.m. d'induit de la machine (en grandeur « permanente », donc moyenne). Sur un autre plan, on peut agir sur le flux inducteur qui est réglé par la tension dans l'inducteur (appelé aussi courant d'excitation).

Mais le transit de la puissance par des contacts glissants au niveau du collecteur rend cette machine fragile. Elle réclame un entretien périodique de contrôle des balais et des lames du collecteur, voire du changement préventif de ces organes. C'est pourquoi dans les applications de puissance, elle tend actuellement à être remplacée par la machine asynchrone (MAS) beaucoup plus robuste et plus économique.

Chapitre II :

Commande PID de Moteur à Courant Continu

II.1. Introduction :

La commande PID est dite aussi (correcteur, régulateur, contrôleur), se compose de trois termes P, I et D, où le 'P' correspond au terme proportionnel, 'I 'pour terme intégral et 'D'pour le terme dérivé de la commande. Les régulateurs PID sont probablement les plus utilisés dans le contrôle industriel. Même les plus complexes systèmes de contrôle industriel peut comporter un réseau de contrôle dont le principal élément de contrôle est un module de contrôle PID.

Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur le régulateur PID, ses différentes structures, ses domaines d'applications et les avantages et les inconvénients de son utilisation. à la fin nous allons simuler le modèle de la machine courant continu expliqué dans le chapitre précédent et discuter les différents résultats obtenus suite à l'application de correcteur PID pour la commande de la vitesse/position de MCC.

II.2. Principe général de la régulation :

Dans la plupart des appareils des installations industrielles et domestiques, il est nécessaire de maintenir des grandeurs physiques à des valeurs déterminées, en dépit des variations externes ou internes influant sur ces grandeurs. Par exemple, le niveau d'eau dans un réservoir, la température d'une étuve, la vitesse et la position des moteurs, étant par nature variables, doivent donc être réglés par des actions convenables sur le processus considéré.

Si les perturbations influant sur la grandeur à contrôler sont lentes ou négligeables, un simple réglage dit en boucle ouverte, permet d'obtenir et de maintenir la valeur demandée (par exemple : action sur un robinet d'eau). Dans la majorité des cas, ce type de réglage n'est pas suffisant (pas d'information sur la sortie). Il faut alors comparer, en permanence, la valeur mesurée de la grandeur réglée à celle que l'on souhaite obtenir et agir en conséquence sur la grandeur d'action, dite grandeur réglant. On a, dans ce cas, constitué une boucle de régulation et plus généralement une boucle d'asservissement. Cette boucle nécessite la mise en œuvre d'un ensemble de moyens de mesure, de traitement de signal ou de calcul, d'amplification et de commande d'actionneur, constituant une chaine de régulation ou d'asservissement. La consigne est maintenue constante et il se produit sur le procédé une modification d'une des entrées perturbatrices. L'aspect régulation est considéré comme le plus important dans le milieu industriel, car les valeurs des consignes sont souvent fixes, néanmoins, pour tester les performances et la qualité d'une boucle de régulation, on s'intéresse à l'aspect asservissement [5, 6]

II.2.1. Définition :

Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID (proportionnel, intégral, dérivé) est un système de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement, c'est-à-dire un système ou procédé en boucle fermée.

C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques.

II.2.2 Performances des systèmes réglés :

Les performances des systèmes réglés définies dans un cahier des charges, sont illustrées par la (figure 1).

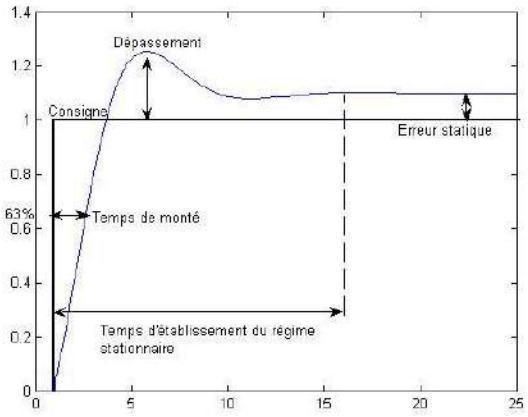


Figure 1 : Performances d'un système de commande

II.2.2.1 Rapidité

La rapidité quantifie le temps de réponse du système. Elle correspond au temps de réaction de la sortie par rapport à la consigne. Le temps mis par la réponse pour ne plus dépasser 5% de la valeur finale. Ce temps est retenu comme critère de rapidité 5%.

II.2.2.2 Précision

La précision quantifié l'erreur lorsque l'équilibre est atteint, Avec l'entrée et la sortie de même nature. Autrement, un système est précis si la sortie suit la consigne en toutes circonstances avec un écart inférieur à la valeur définie dans un cahier des charges.

II.2.2.3 Stabilité

On dit qu'un système est stable lorsque celui-ci tend à revenir à son état d'équilibre pour une consigne constante, la sortie doit être constante.

II.3 Le correcteur

Le correcteur constitue la partie « intelligente » de l'asservissement et sa détermination judicieuse confère à l'asservissement ses qualités. Aisé à modifier, le correcteur peut être muni d'une variation automatique de ses paramètres suivant la plage de fonctionnement du procédé, dans le cas où celle-ci évolue lentement [7].

II.4 But de la correction :

Le concepteur de l'asservissement rencontre deux types de situations, dont il doit faire face

1) Assurer une réponse acceptable pour des signaux de consigne définis en fonction du temps (par exemple : cycle de température pour un traitement thermique).

2) Fournir des caractéristiques fréquentielles (gain, déphasage) demandées dans une bande de fréquences (par exemple : asservissement du mouvement d'un haut-parleur dans un système haute-fidélité).

On impose les qualités de l'asservissement en termes de spécifications temporelles dans le premier cas et en spécifications fréquentielles dans le second cas.

Le but de la correction est de doter l'asservissement des qualités attendues, par le calcul et l'implantation du correcteur nécessaire. Les opérateurs essentiels du correcteur sont réalisables à partir d'amplificateurs à courant continu et d'éléments résistances/capacités. La réalisation numérique peut se transposer aisément à partir d'un schéma analogique, en conservant la même organisation fonctionnelle et en associant un intégrateur numérique à chaque intégrateur électronique [9, 8].

II.5.Contrôleur P „Proportionnelle" :

La commande de type „Proportionnelle" est la plus simple qui soit. 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:

- La loi de commande de ce régulateur :

$$u(t) = K_P\, e(t)$$

- La fonction de transfert de ce correcteur peut être exprimé par :

$$C(s) = K_P$$

Son rôle est d'amplifier l'erreur pour que le système réagisse plus vivement, comme si l'erreur était plus grande qu'elle ne l'est en réalité [10].

A. Schéma électronique du 'Correcteur Proportionnel'

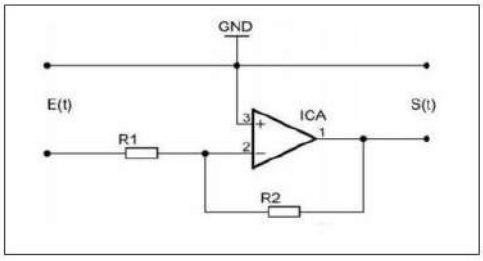


Figure 2 : Schéma électronique du correcteur proportionnel

Limite du régulateur proportionnel

Un inconvénient inhérent au régulateur est son incapacité à éliminer les erreurs en régime permanent, après un changement de point de consigne ou une charge. A cause de cette limitation, le contrôleur proportionnel ne s'emploie que rarement [7]

B. Effets du 'Correcteur Proportionnel'

-Diminution du temps de monté

-Diminution du l'erreur statique

-Augmentation du temps de stabilisation

-Augmentation du dépassement

II.5.1. Action Proportionnel intégrale (PI) :

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 :

$$C(t) = K_P\, e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt$$

●La fonction de transfert de ce correcteur peut être exprimé par :

$$C(s) = K_P\left(1 + \frac{1}{T_i S}\right)$$

Le correcteur intégral est rarement utilisé seul, 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 [8].

(La figure 5) le circuit électrique correspondant au correcteur PI en fonction des Composants électriques.

A. Schéma électronique du 'Correcteur Proportionnel'

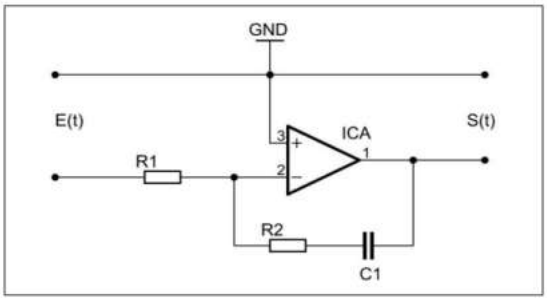


Figure 3 : Schéma électronique du correcteur proportionnel Intégral

B. Effets du correcteur 'Proportionnelle-Intégral'

-Diminution du temps de montée.

-Elimination de l'erreur statique.

-Augmentation du temps de stabilisation.

-Augmentation du dépassement.

II.5.2. Cas d'une commande PID (Proportionnelle-Intégral-Dérivée) :

Les régulateurs rencontrés sur les installations industrielles combinent les effets proportionnel, intégral et dérivée. La fonction de transfert d'un régulateur PID standard, avec filtrage de la dérivée est comme suit [7]

$$C(s) = K_P\left(1 + \frac{1}{T_i S} + \frac{T_d S}{1+\frac{T_d}{N}S}\right)$$

K_P, K_i et K_d Sont en fonction des valeurs des résistances et des capacités du montage montré par **la figure (4)**

A. Schéma électronique du correcteur 'Proportionnel-Intégral-Dérivé'

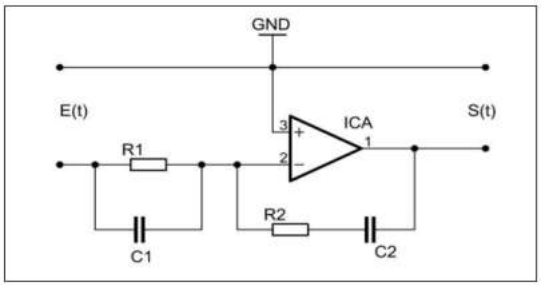


Figure 4 : Schéma électronique du correcteur Proportionnel Intégral Dérivé

B. Effets du correcteur 'Proportionnel-Intégral-Dérivé'

- Diminution du temps de montée.

- Elimination de l'erreur statique.

- Diminution du temps de la stabilisation.

- Diminution du dépassement.

.voici le tableau qui présente le réglage du contrôleur par la méthode d'oscillation de Ziegler-Nichols.

Controller	K_p	K_i	k_d
P	$K_u/2$	-	-
PI	$K_u/2.2$	$P_u/1.2$	-
PID	$K_u/1.7$	$P_u/2$	$P_u/8$

Tableau (II-1) : Réglage du contrôleur par la méthode d'oscillation de Ziegler-Nichols

II.5.3. Résumé sur l'action des paramètres (coefficients) :

Apres l'explication quand a fait sur chaque action des coefficients : proportionnelle, intégrale et dérivé. On représente un résumé sur l'action de ces paramètres (coefficients) **(voir le tableau II-1)**

Coefficient	Temps de montée	Erreur statique	Temps de la stabilisation	Dépassement
K(p)	**Diminuer**	**Diminuer**	**Augmenter**	**Augmenter**
K(pi)	**Diminuer**	**Éliminé**	**Augmenter**	**Augmenter**
K(pid)	**Diminuer**	**Éliminé**	**Diminuer**	**Diminuer**

Tableau (II-2) : Résumé sur l'action des paramètres (coefficients)

II.6. Application des régulateurs PID sur le moteur à courant continu :

Le régulateur PID est une simple implémentation de retour d'information (Feedback). Il a la capacité d'éliminer la compensation de l'état d'équilibre grâce à l'action intégrale, comme il peut anticiper le futur grâce à une action dérivée.

Cette partie a pour but d'implémenter la commande PID pour un moteur à courant continu a excitation indépendante, pour l'objectif d'annuler l'erreur statique, diminuer le dépassement, diminuer le temps de repense et le temps de monté afin d'obtenir une solution adéquate du procédé et d'avoir un système précis, rapide, stable et robuste. Le réglage des coefficients (paramètres) de la commande PID est basé sur la méthode empirique « Ziegler &Nichols »

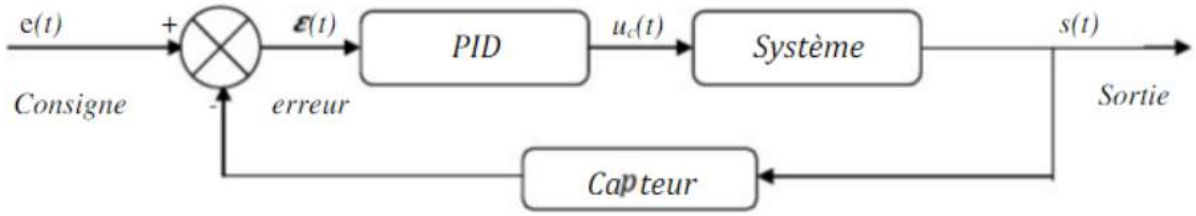


Figure 5 : Schéma bloc d'un système avec régulateur PID (Boucle fermée)

II.7. La commande PID en régulation de vitesse:

La commande proportionnelle-intégral-dérivé est insérée en série avec le processus **(Figure 2),** à partir du signal d'erreur(t), le régulateur élabore une commande $uc(t)$ en fonction de trois actions proportionnelle, intégrale et dérivée [12].

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

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

$$K_i = \frac{1}{T_i}$$

Apres l'application de la Transformer de Laplace :

$$u_c(p) = K_p.\varepsilon(p) + K_i\frac{d\varepsilon(p)}{p} + K_d\,\varepsilon(p)\,p$$

***Avec*:**

Kp : Gain d'action proportionnelle.

Ki: Gain d'action intégral.

Ti: Constante de temps, dite temps d'action intégral.

Td : Constante de temps, dite temps d'action dérivée.

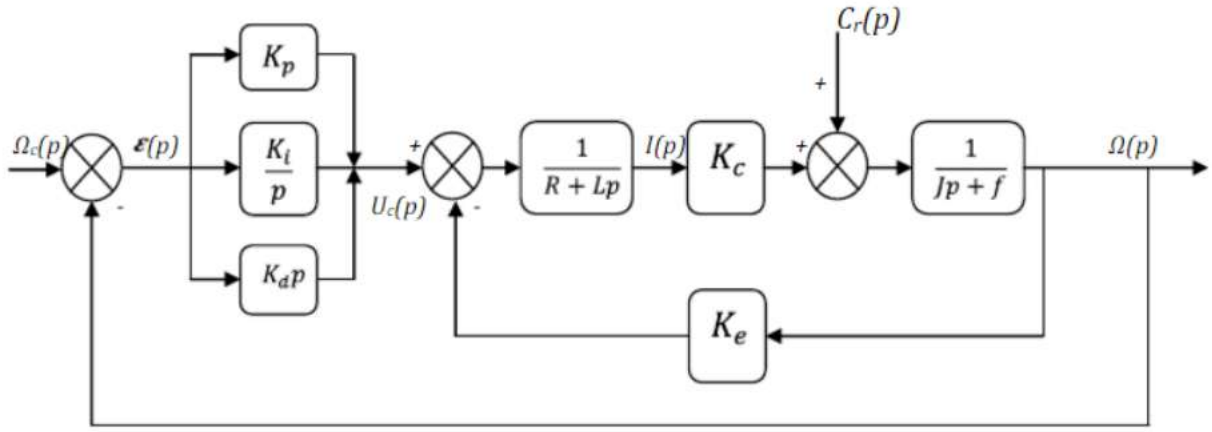


Figure 6 : Schéma bloc du correcteur PID en régulation de vitesse.

II.8 Conclusion :

Dans ce chapitre on a pu modéliser le moteur à courant continu par un système de deuxième ordre. Après modélisation sous Matlab on constate que la réponse en vitesse elle converge vers la stabilité du système, donc elle nécessite une commande a but de stabiliser ce système.

Dans notre travaille nous avons choisis le moteur à courant continu a excitation indépendante à cause de ces dimensions et que la vitesse reste constante quel que soit la charge, ce choix aussi est fait car est la plus utiliser dans l'automatique.

On a aussi utilisé le régulateur PID pour commander ce moteur, les trois actions de ce régulateur permettent de commander le moteur électrique à courant continu, le rôle de cette régulation est d'annuler l'erreur permanente de la sortie régulée. Cette propriété de précision est due à la présence d'une action intégrale, et la stabilité du moteur augmente à cause d'une action dérivée, donc le dépassement de la réponse indicielle diminue.

CHAPITRE III :

Commande floue appliquée au MCC

III.1.Introduction :

Au départ théorie, la logique floue (FUZZY) s'affirme comme une technique opérationnelle. Utilisée à côté d'autres techniques de contrôle avancé, elle fait une entrée discrète mais appréciée dans les automatismes de contrôle industriel. En outre, la logique floue ne remplace pas nécessairement les systèmes de régulation conventionnels. Elle est complémentaire.

L'utilisation de la commande floue est particulièrement intéressante lorsqu' on ne dispose pas de modèle mathématique précis du processus à commander ou lorsque ce dernier présente de trop fortes non linéarités ou imprécision.

Un des intérêts de la logique floue pour formaliser le raisonnement humain est que les règles sont énoncées en langage naturel. Voici par exemple quelques règles de conduite qu'un conducteur suit, en supposant qu'il tienne à son permis.

Exemple de règles floues:

Règles de conduite automobile à l'approche d'un carrefour contrôlé par des feux tricolores.

si le feu est rouge….	**si ma vitesse est élevée….**	**et si le feu est proche….**	**alors je freine fort.**
si le feu est rouge..	**si ma vitesse est faible ...**	**et si le feu est loin ...**	**alors je maintiens ma vitesse.**
si le feu est orange..	**si ma vitesse est moyenne ...**	**et si le feu est loin ...**	**alors je freine doucement.**
si le feu est vert...	**si ma vitesse est faible ...**	**et si le feu est proche ...**	**alors j'accélère.**

Tableau (III-1) : Les règles floues sont énoncées en langage naturel

Dans ce chapitre, nous allons présenter la théorie sur laquelle repose la logique floue et on va voir au cours de ces définitions que le concepteur d'un système flou doit faire un nombre de choix important. Ces choix essentiellement sont basés sur les conseils de l'expert ou sur l'analyse statistique des données passées.

III.2.Histoire :

Dans le premier sixties, Lotfi Zadeh, Professeur à 'Université de Californie, Berkeley, Eh bien, il est connu pour ses contributions au La théorie des systèmes, Il a commencé à se sentir que l'analyse des techniques traditionnelles de systèmes étaient trop et inutilement précis pour un grand nombre des problèmes du monde réel. L'idée d'un degré d'appartenance, le concept est devenu plus tard l'épine dorsale de la théorie des ensembles flous par lui a été introduit en 1964, et cela a conduit plus tard, 1965, la publication d'un premier article et la naissance de la logique floue. Le concept d'ensemble sfumato (Ou un ensemble flou), et la logique floue, ont attiré des critiques acerbes de la communauté universitaire ; néanmoins les chercheurs et les scientifiques du monde entier - domaines les plus divers, de la psychologie à la sociologie, la philosophie, l'économie, les sciences naturelles à l'ingénierie - sont devenus adeptes de Zadeh. La première puce VLSI (Very Large Scale Intégration) dédié au calcul de l'inférence floue a été développé par Masaki Togai et H. Watanabe dans 1986 : Chips de ce genre sont en mesure d'améliorer la performance des systèmes flous pour toutes les applications en temps réel. Plusieurs

entreprises (parexemple, Togai Infralogic, Aptronix, informer GmbH) Sont formés pour des outils matériels et logiciels du marché pour le développement de systèmes de logique floue. En même temps, les fabricants de logiciels dans le domaine de la théorie classique de contrôle, ont commencé à introduire des paquets supplémentaires de la conception du système flou. La boîte à outils logique floue Matlab, par exemple, il a été présenté comme un élément supplémentaire dans la 1994.

III.3. Définition :

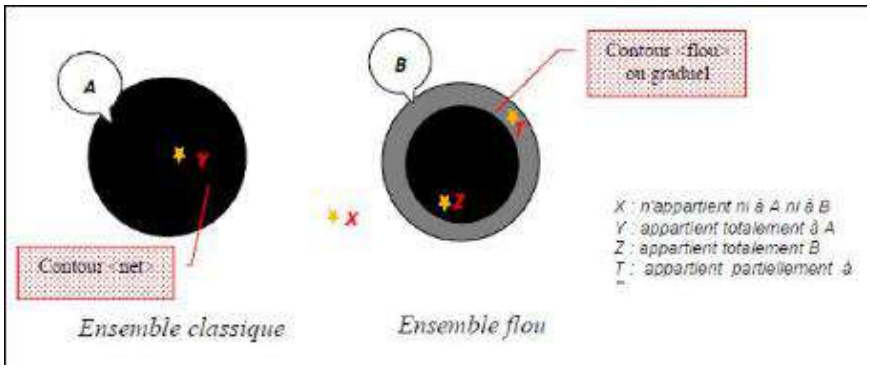
III.3.1. La logique floue :

La logique floue (fuzzy logic, en anglais) est une logique polyvalente où les valeurs de vérité des variables au lieu d'être vrai ou faux, sont des réels entre 0 et 1. En ce sens, elle étend la logique booléenne classique avec des valeurs de vérités partielles. Elle consiste à tenir compte de divers facteurs numériques pour aboutir à une décision qu'on souhaite acceptable.

III.3.2.Ensemble flou :

La théorie des sous-ensembles flous est une théorie mathématique du domaine de l'algèbre abstraite. Elle a été développée par Lotfi Zadeh en 1965 afin de représenter mathématiquement l'imprécision relative à certaines classes d'objets et sert de fondement à la logique floue.

Ensemble flou. Le niveau de gris indique le degré d'appartenance.



A. ensemble classique B. ensemble flou

Figure 1 : Comparaison entre un ensemble classique et un ensemble flou.

●Opérations sur les sous ensemble floues :

En observant comment les opérations usuelles se comportent vis-à-vis des fonctions caractéristiques de parties, on étend ces opérations aux fonctions d'appartenance des parties floues.

● Intersection

L'opérateur logique correspondant à l'intersection est le ET. Le degré de vérité de la proposition « A ET B » est le minimum des degrés de vérité de A et de B :

μ (A ET B) = MIN (μ(A), μ(B)) = μ(A) $\wedge$ μ(B)

Exemple :

► Température Basse » est vraie à 0,7

► Pression Faible » est vraie à 0,5

► Température Basse ET Pression Faible » est donc vraie à 0,5 = MIN (0,7; 0,5)

Remarque : l'opérateur ET de la logique classique est bien respecté : 0 ET 1 donne bien 0.

● **Union**

L'opérateur logique correspondant à l'union d'ensembles est le OU. Le degré de vérité de la proposition « A OU B » est le maximum des degrés de vérité de A et de B :

μ (A OU B) = MAX (μ(A), μ(B)) = μ(A) $\vee$ μ(B))

Exemple :

► Température Basse » est vraie à 0,7

► Pression Faible » est vraie à 0,5

► Température Basse OU Pression Faible » est donc vraie à 0,7.

Remarque : l'opérateur OU de la logique classique est bien respecté : 0 OU 1 donne bien 1

● **Complément**

L'opérateur logique correspondant au complément d'un ensemble est la négation.

μ (NON A) = 1 - μ(A)

Exemple :

► Température Basse » est vraie à 0,7

► NON Température Basse», que l'on utilisera généralement sous la forme

► Température NON Basse », est donc vraie à 0,3.

Remarque : l'opérateur négation de la logique classique est bien respecté : NON(0) donne bien 1 et NON(1) donne bien 0.

● **Egalité**

A et B sont dits égaux, propriété qui l'on note A = B, si leurs fonctions d'appartenance prennent la même valeur en tout point de X.

$\forall\, x \in X\ \mu A(x) = \mu B(x)$

III.3.3. Fonction d'appartenance :

La fonction d'appartenance μ A (x) définit le degré d'appartenance de l'élément 'x' a l'ensemble 'A' et les valeurs qu'elle prend appartient à l'intervalle [0 1], elle est de forme (triangulaire, gaussienne et trapézoïdale…etc)

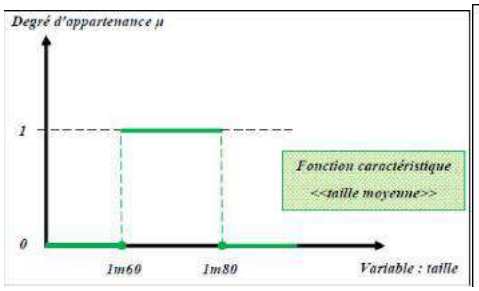


Figure 2 : Fonction caractéristique

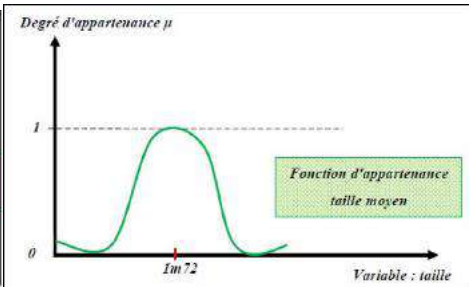


Figure 3 : Fonction d'appartenance

Supposons que nous voulions définir l'ensemble des personnes de « taille moyenne ». En logique classique, nous conviendrons par exemple que les personnes de taille moyenne sont celles dont la taille est comprise entre 1,60 m et 1,80 m. La fonction caractéristique de l'ensemble donne « 0 » pour les tailles hors de l'intervalle [1,60 m ; 1,80 m] et « 1 » dans cet intervalle (Figure 2).

L'ensemble flou des personnes de « taille moyenne » sera défini par une « fonction d'appartenance » qui diffère d'une fonction caractéristique par le fait qu'elle peut prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle [0, 1]. A chaque taille possible correspondra un « degré d'appartenance » à l'ensemble flou des « tailles moyennes » (Figure 3), compris entre 0 et 1.

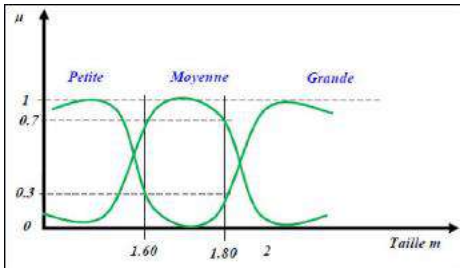


Figure 4 : Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique

Plusieurs ensembles flous peuvent être définis sur la même variable, par exemple les ensembles « taille petite », « taille moyenne » et « taille grande », notions explicitées chacune par une fonction d'appartenance (Figure 4).

Les fonctions d'appartenance « linéaires par morceaux » sont très utilisées car elles sont simples et elles comportent des points permettant de définir les zones où la notion est vraie, les zones où elle est fausse, ce qui simplifie le recueil d'expertise.

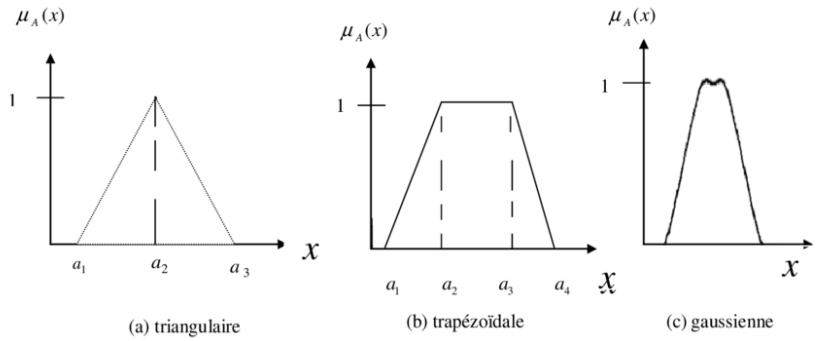


Figure 5 : Différentes forme des fonctions d'appartenances

III.4. SYSTEME D'INFERENCE FLOUE :

Un Système d'Inférence Floue (SIF) a comme but de transformer les données d'entrée en données de sortie à partir de l'évaluation d'un ensemble des règles. Les entrées sont issues du processus de fuzzification et l'ensemble de règles normalement sont définies par le savoirfaire de l'expert.

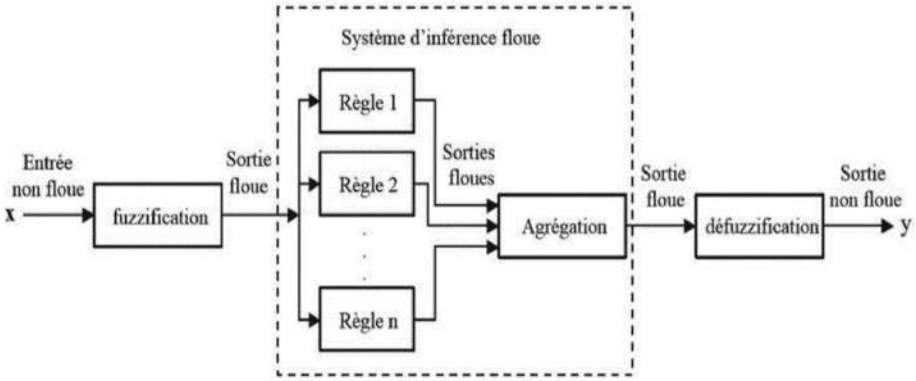


Figure 6 : SYSTEME D'INFERENCE FLOUE

III.4.1. Règle d'inférence :

Les règles d'inférences peuvent être décrites de plusieurs façons :

●Linguistiquement

On écrit les règles de façon explicite comme dans l'exemple suivant :

SI (la température est élevée ET la vitesse est faible) ALORS la tension est grande positive

OU

SI (la température est moyenne ET la vitesse est faible) ALORS la tension est positive

● **Description symbolique des inférences :**

Si (X NG ET y EZ), ALORS X = PG, OU

Si (x NG ET y PM), ALORS Xr = PM, OU..

● **Par matrice d'inférence :**

Matrice d'inférence pour 2 variables linguistiques d'entrée :

x_r		x				
		NG	NM	EZ	PM	PG
y	NG			PG	PM	
	NM			PM	EZ	NM
	EZ	PG	PM	EZ	NM	NG
	PM	PM	EZ	NM		
	PG		NM	NG		

Tableau (III-2) : les règles d'inférences sous forme de tableau

Remarque: Pour une valeur particulière de x et de y, plusieurs règles peuvent être concernées à cause du recouvrement. Il peut y avoir des cases vides. Cases vides => pas d'action

III.4.2. les méthodes d'inférence :

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la valeur représentative d'un ensemble de sortie, dont les principales sont:

III.4.2.1. Méthode d'inférence MIN / MAX (Mamdani) :

C'est la méthode la plus universelle mais qui n'est guère applicable en raison du temps de calcul très long.

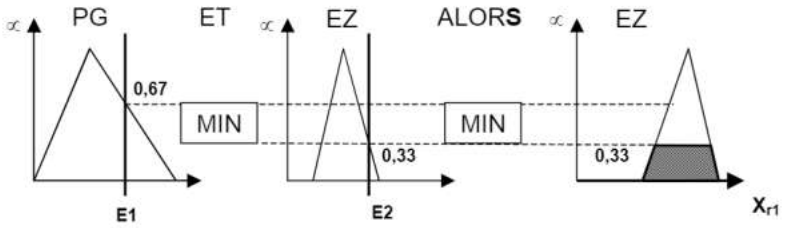
Principe :

Cette méthode réalise, au niveau de la condition, l'opérateur Ou par la formation maximum et l'opérateur ET par la formation du minimum.

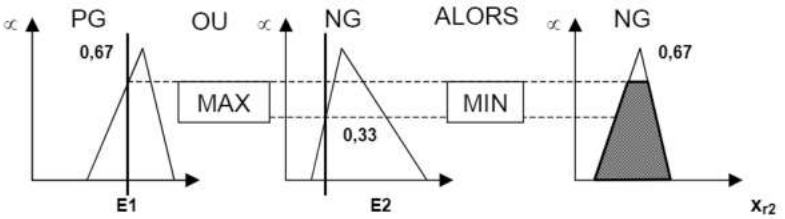
La conclusion dans chaque régle, introduite par ALORS, lie le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie Xr par l'opérateur ET, réalisé dans le cas présent par la formation du minimum.

Enfin l'opérateur Ou qui lie les différentes règles est réalisé par la formation du maximum.

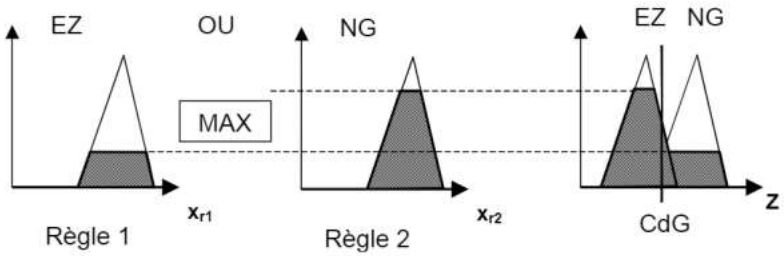
● **Méthode Min/Max :**



Règle 1: Si E1 PG ET E2 EZ ALORS X_r EZ



Règle 2: Si E1 PG OU E2 NG ALORS X_r NG



$\mu_{Res}(Z) = MAX\ [\mu_{r1}(X_{r1}) + [\mu_{r2}(X_{r2})]$

III.4.2.2. Méthode d'inférence MAX / PRODUIT :

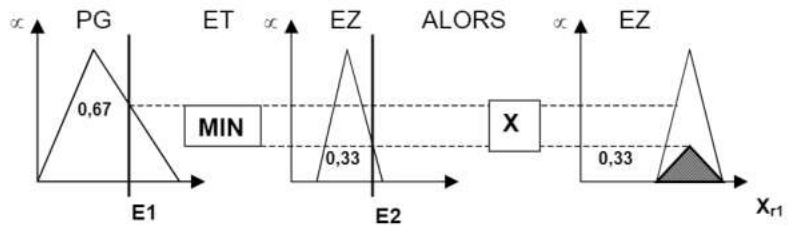
Principe :

Cette méthode réalise, en général, au niveau de la condition, l'opérateur OU par la formation maximum et l'opérateur ET par la formation du minimum.

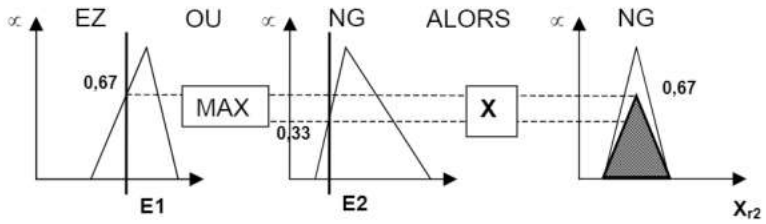
Contre, la conclusion dans chaque régle, introduite par ALORS, lie le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie xr par l'opérateur ET, est réalisé cette fois-ci par la formation du produit.

Enfin l'opérateur OU qui lie les différentes règles est réalisé par la formation du maximum.

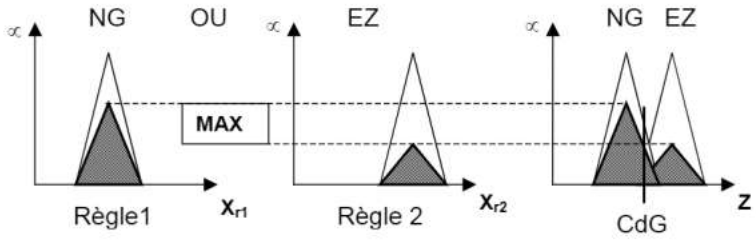
●Méthode MAX / PRODUIT:



Règle 1: Si E1 PG ET E2 EZ ALORS X_r EZ



Règle 2: Si E1 EZ ET E2 NG ALORS X_r NG



$\alpha_{Res}(Z) = MAX\,[\alpha_{r1}(X_{r1}) + [\alpha_{r2}(X_{r2})]$

III.4.2.3. Méthode d'inférence SOMME / PRODUIT :

Cette méthode est la plus utilisée car son temps de calcul est court.

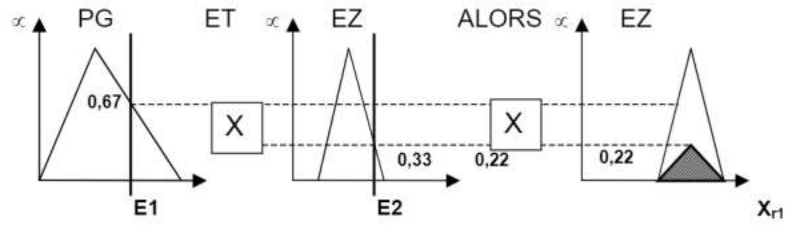
Principe :

Par opposition aux méthodes d'inférences précédentes, cette méthode réalise, au niveau de la condition, l'opérateur Ou par la formation de la somme, plus précisément par la valeur moyenne, tandis que l'opérateur ET est réalisé par la formation du produit.

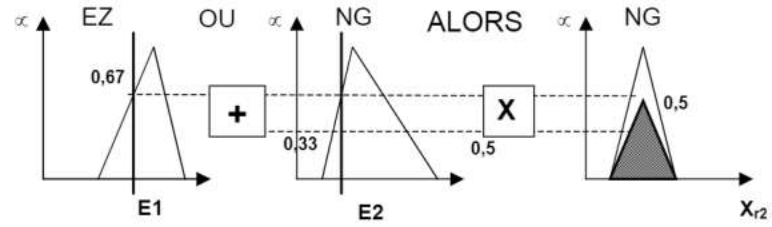
La conclusion de chaque règle, introduite par ALORS, liant le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie xr par l'opérateur ET, est réalisé par la formation du produit.

Enfin l'opérateur OU qui lie les différentes règles est réalisé par la formation de la somme, donc de la valeur moyenne.

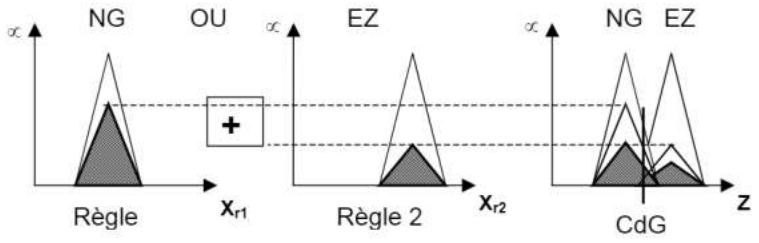
●Méthode SOMME / PRODUIT :



Règle1: Si E1 PG ET E2 EZ ALORS X_r EZ



Règle2: Si E1 EZ OU E2 NG ALORS X_r NG



$\alpha_{Res}(Z) = [\alpha_{r1}(X_{r1}) + [\alpha_{r2}(X_{r2})] / m$ ici m = 2

III.5. Les domaines d'applications de la logique floue :

Les domaines d'applications de la logique floue sont très nombreux. On la retrouve :

►En automatique, pour faire de la commande et de la régulation floue, etc.

►En traitement du signal, pour faire de la fusion de données, de la classification, de la reconnaissance de forme ou de la recherche d'information, etc.

►En robotique, pour faire de la planification de trajectoire, etc.

►En traitement d'image, pour atténuer le bruit d'une image, pour faire de l'interpolation, etc.

III.6. FUZZIFICATION :

Qui consiste à caractériser les variables linguistiques utilisées dans le système. Il s'agit donc d'une transformation des entrées réelles en une partie floue définie sur un espace de représentation lié à l'entrée. Cet espace de représentation est normalement un sous-ensemble flou. Durant l'étape de la fuzzification, chaque variable d'entrée et de sortie est associée à des sous-ensembles flous.

III.7. INFERENCE :

Il effectue simplement une identité entre les fonctions d'appart les coefficients de sorties. Par coefficients de sorties, on entend coefficients de modifications des divers sous-ensembles de sorties. Pour obtenir de telles identités, il faut se baser sur des règles prédéfinies.

Une règle est une combinaison de variables d'entrées, combinaison qui utilise les opérateurs "flous", tel que le "ET" et le "OU" (min et max).

Ainsi pour toutes les combinaisons possibles des entrées, on va définir une règle. Cette règle nous indique à quel sous-ensemble de sortie, le coefficient de modification va être attribué.

III.8. DEFUZZIFICATION :

Qui consiste à caractériser les variables linguistiques utilisées dans le système. Il s'agit donc d'une transformation des entrées réelles en une partie floue définie sur un espace de représentation lié à l'entrée. Cet espace de représentation est normalement un sous-ensemble flou. Durant l'étape de la fuzzification, chaque variable d'entrée et de sortie est associée à des sous-ensembles flous.

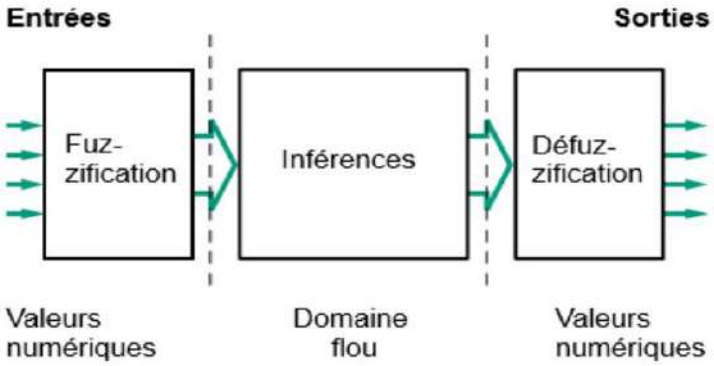


Figure 7 : Traitement flou

III.9. Avantages et inconvénients de la commande par la logique floue :

La commande par logique floue réunit un certain nombre d'avantages et d'inconvénients.

Les avantages essentiels sont :

►La non nécessité d'une modélisation mathématique rigoureuse du processus.

►La réduction du temps de développement et de la maintenance.

►La simplicité de définition et de conception.

Les inconvénients sont :

►Le manque de directives précises pour la conception d'un réglage (choix des grandeurs à mesurer, détermination de la fuzzification, des inférences et de la défuzzification).

►L'approche artisanale et non systématique (implantation des connaissances des opérateurs souvent difficile).

►La difficulté de montrer la stabilité dans tous les cas.

III.10. Conclusion :

On peut dire que la logique floue possède l'avantage d'être intuitive et de pouvoir faire fonctionner une quantité importante de systèmes différents possédant une forte expertise humaine. Néanmoins, il faut garder à l'esprit qu'en logique floue, il est impossible de prédire les performances d'un système. Si le réglage des paramètres est fin, les performances seront au rendez-vous, mais s'il y a un manque de précision au niveau des réglages, les performances laisseront surement à désirer

CHAPITRE IV :

Résultats de simulation et interprétation

IV.1. Introduction :

Notre travail dans ce chapitre consiste à faire une étude comparative entre un régulateur classique PID et un régulateur a logique floue dans la régulation de la vitesse d'un moteur à courant continu.

IV.2. Cahier des charges :

Il s'agit d'un moteur LEROY SOMER MS1 classe F801 L06 de puissance nominale 0,44kw, de vitesse nominale 1500tr/min (soit 157rad /s).

Le constructeur donne les inductions suivantes : La=30mH ; J=0,003kg .m² (moteur seul) Un=170V ; couple nominal 3 N.m ; classe F ; If = 0,38A

Ian=3A ; rendement nominale hors excitation : 0,74 ; R mesuré est : 5 ?

Le calcul montre que K= (170-5x3) /157= 0,987 wb, La mesuré est 0,0243H

La constant de temps électrique vaut donc ôe=La /Ra=4,86 ms

La méthode du ralentissement a donné J= 0,004Kg .m², car le moteur est accouplé à une charge mécanique. La constant de temps électromécanique est donc ôem= RJ/K² =20,5ms

On néglige les autres pertes

Le couple nominal résistant est de 3,5 N.m.

L'hacheur se comporte comme un amplificateur de gain A=100.

La constant de dynamo tachymétrique est à =0,01146.

Démarche à suivre

► Appliquer un couple résistant Cr= 3.5 au démarrage dans les 2 système (avec PID, avec RLF)

► Régler le RLF pour le mener à l'état idéal

► S'assurer que le RLF marche bien quel que soit le couple appliqué

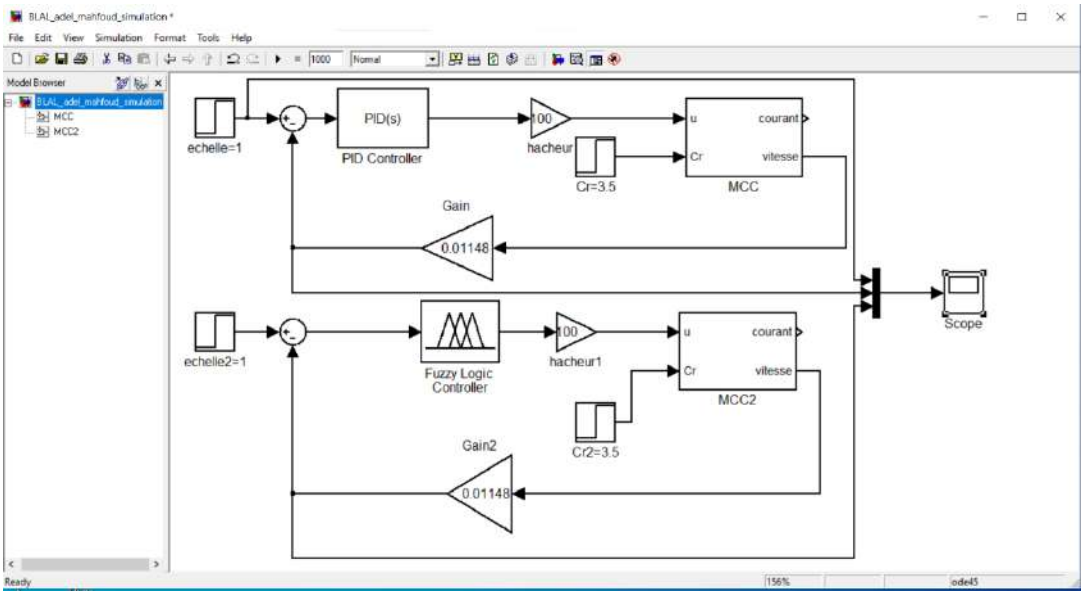


Figure 1 : schéma blocs du système avec un PID et avec un RLF

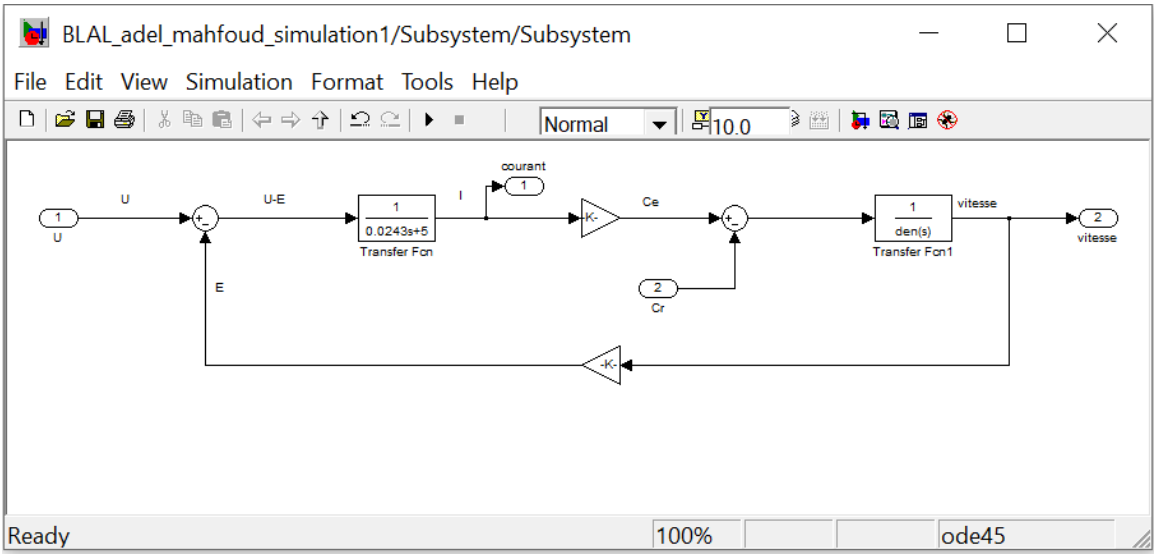


Figure 2 : le modèle Simulink de la machine MCC

Comparaissant entre un PID et RLF avec un couple résistant au démarrage (Cr=3.5)

IV.3. Application de la commande floue sur le moteur :

a-Fonction d'appartenance

Les fonctions d'appartenances floues sont définies pour chaque valeur d'entrée et de sortie, notre système d'inférence flou est configuré suivant : une entrée l'erreur « Err » de la (vitesse) du contrôleur logique floue FLC, la sortie « Comm » est la variation de la vitesse.

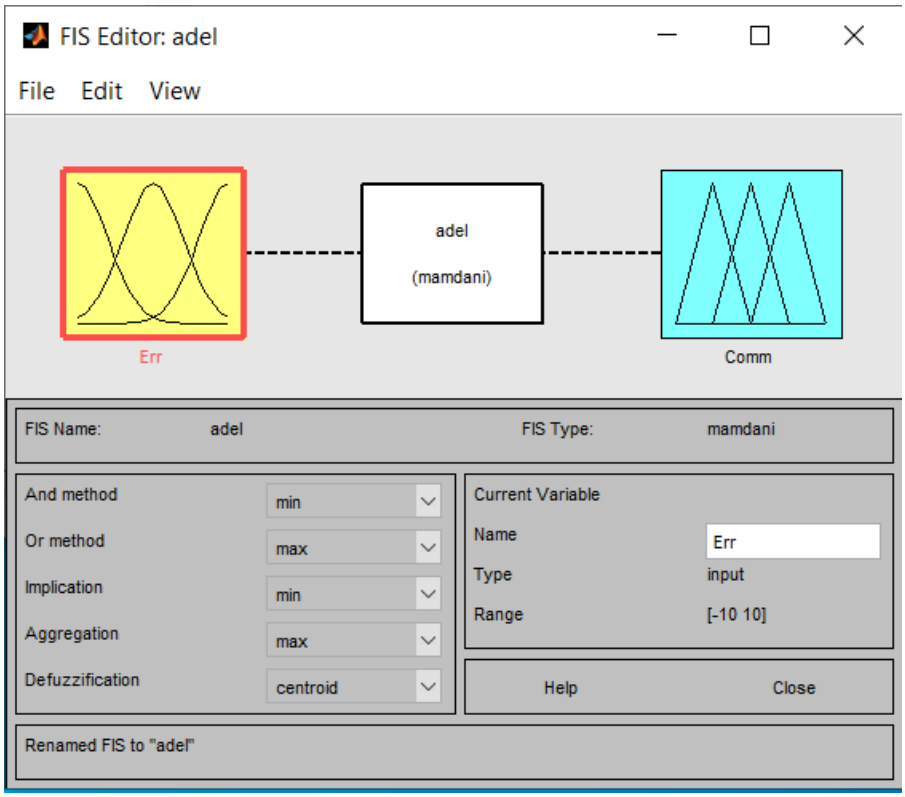


Figure 3 : Définition de la structure globale (entrée, sortie, type d'opérateurs)

b- Base des règles d'inférences

Le concept de base à la logique floue est celui d'une variable linguistique, c'est-à-dire une variable dont les valeurs sont des mots plutôt que des nombres, une grande partie de logique floue peut être considérée comme une méthode pour calculer avec des mots plutôt que des nombres. Bien que les mots soient intrinsèquement moins précis que les nombres, mais leur utilisation est plus proche de l'intuition humaine.

Les sous-ensembles flous des variables d'entrées et la variable de sortie sont définis sous forme d'un tableau des règles d'inférences comme suit :

	Lent	Normal	Rapide
Lent	**Accélérer**	-	-
Normal	-	**Rient**	-
Rapide	-	-	**décélérer**

Tableau (IV.1) : Règles d'inférences.

L'intervalle des variables d'entrées et de sortie sont subdivisés en trois classes, Une base de règle de mode coulissante utilisée dans FLC

En appliquant un Cr=3.5 au démarrage avec les échelles

Suivants :

- Entrée erreur [-10 10]
- Sortie commande [-10 10]

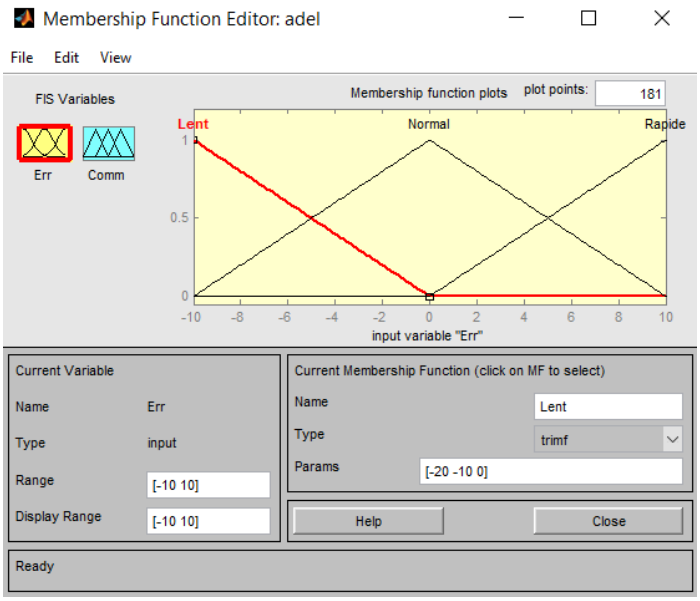


Figure 4 : définition des fonctions d'appartenance pour l'entrée

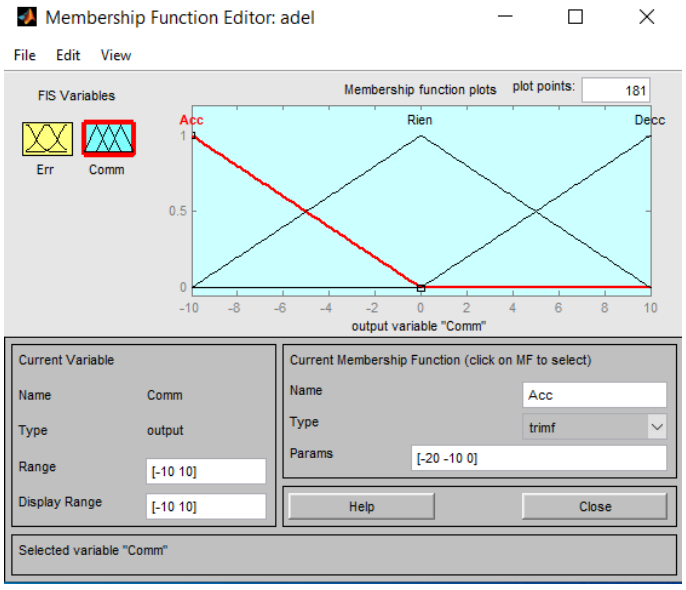


Figure 5 : définition des fonctions d'appartenance pour la sortie

C- Éditeur de règles et analyseur :

Un autre concept de base dans la logique floue, qui joue un rôle central dans la plupart de ses applications, est celui d'une règle floue (si-alors) ou (if-then) tout simplement, l'opération est implémentée en utilisant les 3 règles suivantes :

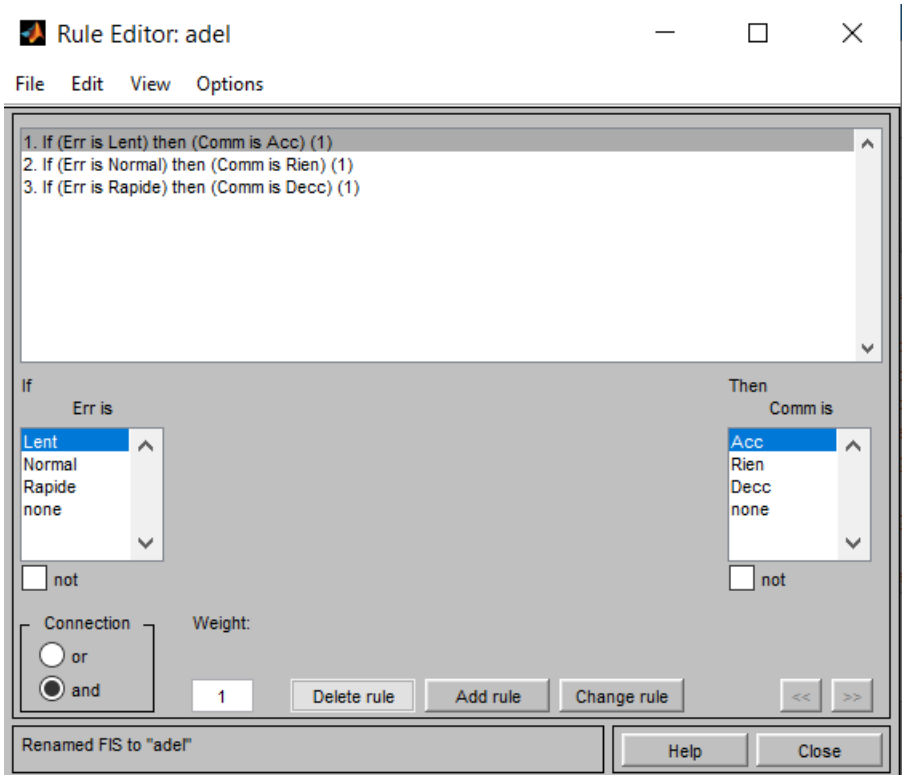


Figure 6: Règles floues

● Description symbolique des inférences :

SI (Erreur est Lent) ALORS (Command est Accélérer)

SI (Erreur est Normal) ALORS (Command est Rient)

SI (Erreur est Rapide) ALORS (Command est Décélérer)

IV.4. LES PARAMETRES DU REGULATEUR PID:

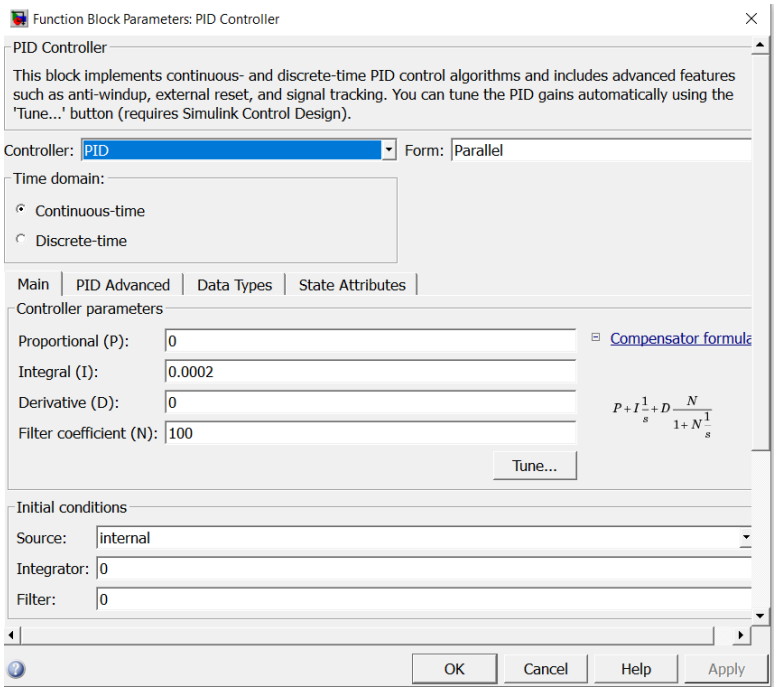


Figure 7 : PARAMETRES DU PID

Proportional (p)= 0

Integral (I)= 0.0002

Deriver (D)= 0

Filtter coefficient (N) = 100

IV.5. Résultats de simulation :

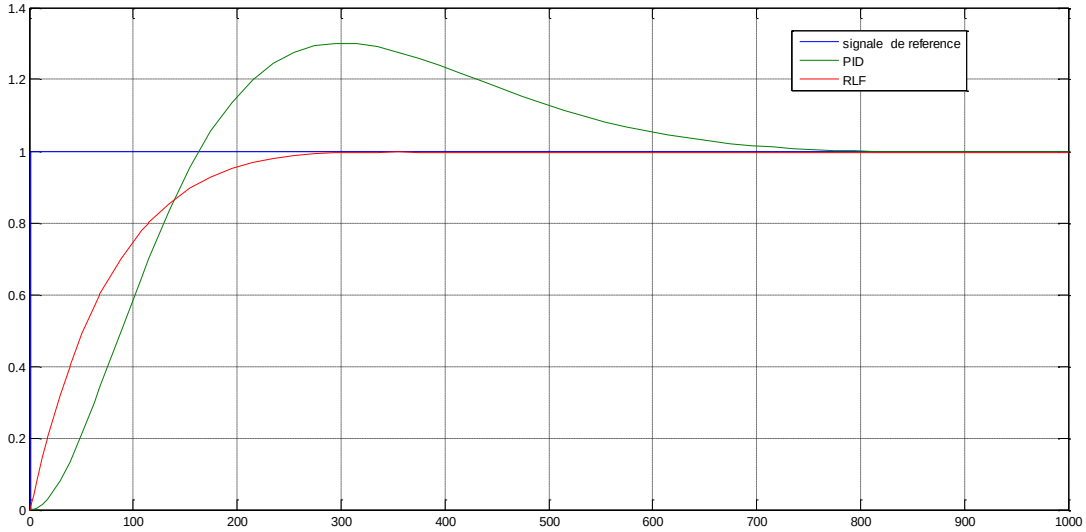


Figure 8: Résultats de simulation

On obtient les résultats suivants :

A. Régulateur PID :

► vitesse de démarrage un peu plus lent que RLF

► vitesse de monter plus rapide que RLF

► dépassent de 0.3 de la consigne

► un temp de stabilité plus lent que RLF

► une erreur nulle

B. Régulateur RLF :

► vitesse de démarrage plus rapide que PID

► vitesse de monter plus lente que PID

►un dépassent nulle

► un temp de stabilité plus rapide que PID

► une erreur nulle

IV.6. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulations et à travers les caractéristiques de la réponse, Nous avons conclu que chaque régulateur a ses propres avantages Mais le régulateur PID reste le plus utilisé et le plus facile à mettre en œuvre..

Conclusion générale :

Notre travail a consisté à étudier les deux techniques (commandes) PID et RLF dans le but de faire une comparaison de performances pour un cas simple et dans notre, nous avons opté pour un moteur à courant continu. Nous avons essayé de présenter ces deux commandes d'une manière suffisamment explicite mais pas complète pour permettre la compréhension de leur fonctionnement. Pour le régulateur à logique floue on a utilisé celui de MAMDANI pour le réglage de vitesse.

Les résultats de simulation que nous avons trouvés ont montré l'efficacité de la commande par régulateur flou. L'observation des caractéristiques de la réponse nous donne de bonnes performances. L'avantage de ce type de régulateur réside dans le fait qu'il ne tient pas compte du modèle de la machine. Les différents résultats obtenus de simulation montrent sa robustesse.

Durant ce travail, nous avons vu que la commande PID appliquée aux moteurs électriques à courant continu était un régulateur qui pouvait aussi nous offrir de bonnes performances, que ce soit au niveau de de la précision, du temps de réaction, du dépassement ou de la stabilité, mais il arrive dans certaines situations que le PID ne donne pas de bons résultats.

En dernier, ce thème nous a permis d'acquérir une expérience enrichissante et nous espérons que ce mémoire sera d'un grand apport aux promotions futures

Référence bibliographique

[1] S. KHELKHAL, la logique floue et le contrôle avancé en milieu industriel. 2004

[2] François CHEVRIE et François GUÉLY la logique floue Cahier Technique Schneider n° 191, édition mars 1998

[3] Dif Nihad Triki Razika, „„Synthèse d‟un contrôleur PID pour la commande d‟une MCC‟‟‟, Mémoire de Master Option:Informatique Industrielle, Université de Larbi BenM‟hidi–Oum El Bouaghi, 2010/2011.

[4] M.Boes, J.Vaillant, D.Verkindére, G.Chateigner,D.Bouix, Manuel de génie électrique, Dunod, Paris. 2006

[5] Ayeb Fakhreddine , „„Conception et implémentation d'une commande PID numérique D'un moteur à courant continu. ‟‟‟, Mémoire de Master Option Informatique Industrielle :, Université de LARBI BEN M‟HIDI D‟OUM EL BOUAGUI , 2013/2014

[6] Bensaoula Mohamed Amine, „„Conception du Contrôleur PID pour le Moteur à Courant Continu (MCC) à Excitation indépendante Simulation sous Matlab/Simulink‟‟‟, Mémoire de Master Option : Electromécanique, Université de BADJI MOKHTAR 2019

[7] Menoun Idhir, Rehrah Ferhat,„„Etude comparative des régulateurs PID et Flou Application à un moteur à courant continu (MCC)‟‟‟, Mémoire de Master Option : Automatismes Industriels, Université Abderrahmane Mira - Bejaïa, 2011/2012.

[8] Bensaoula Mohamed Amine, „„Conception du Contrôleur PID pour le Moteur à Courant Continu (MCC) à Excitation indépendante Simulation sous Matlab/Simulink‟‟‟, Mémoire de Master Option : Electromécanique, Université de BADJI MOKHTAR 2019

[9] Jean-Marie Flaus, La régulation industrielle ; „„régulateur PID, Prédictifs et flous‟‟‟ Edition HERMES, Paris 1994.

[11] Jean-Marie Flaus, La régulation industrielle ; „„régulateur PID, Prédictifs et flous‟‟‟ Edition HERMES, Paris 1994.

[12] H. Bouiche & M.Brahami, commande PID d'un moteur à courant continu, Mini projet, Université de Bejaia, 2010.

WEBSITES :

►https://www.rs-online.com/designspark/different-types-of-motors-and-their-use-fr

►http://sti.ge1.free.fr/COURS/ORT-strasbourg/net/JPP/2001_2004/PH/0PH_10.htm

►https://www.portescap.com/en/products/brush-dc-motors/brushed-dc-motor-basics

►https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-a-courant-continu/

►http://colbertserv.lyceecolbert-tg.org:3007/cours_motorisation_electrique/viewer/visu.php?f=82#:~:text=Le%20principe%20de%20fonctionnement%20d,champ%20magn%C3%A9tique%20de%20direction%20fixe

►http://fabrice.sincere.pagesperso-orange.fr/

►http://sa.ge.sts.free.fr/Wiki/pmwiki.php?n=SA.MASBilanPuissance#Rendement

►https://www.researchgate.net/publication/323425064_Commande_Sans_Capteur_de_Vitesse_D'un_Moteur_a_Courant_Continu

►https://energieplus-lesite.be/techniques/chauffage10/principes-de-regulation-p-pi-pid/

►https://helpiks.org/3-65970.html

Résumé :

L'objectif visé dans ce travail est de faire une étude comparative entre deux de contrôleurs : l'un de type classique (PID) et l'autre basé sur la logique floue (RLF) et ceci dans le but de commander un moteur à courant continu (MCC) et d'étudier le comportement dynamique de la réponse en vitesse de ce système. Dans ce contexte, Nous avons essayé de présenter ces deux commandes d'une manière suffisamment explicite mais pas complète pour permettre la compréhension de leur fonctionnement.

Les résultats de simulation que nous avons trouvés montre que chaque régulateur a ses propres avantages Mais le régulateur PID reste le plus utilisé et le plus facile à mettre en œuvre

Mots Clés:

Régulateur PID, régulateur RLF, moteur courant continu, MCC.1

Summary:

The objective of this work is to make a comparative study between two controllers: one of the classic type (PID) and the other based on fuzzy logic (RLF) and this in order to control a current motor. (MCC) and to study the dynamic behavior of the velocity response of this system. In this context, we have tried to present these two commands in a way that is sufficiently explicit but not complete to allow understanding of their operation.

The simulation results that we found show that each regulator has its own advantages But the PID regulator remains the most used and the easiest to implement

Keywords:

PID controller, RLF controller, DC motor, MCC.

ملخص :

الهدف من هدا العمل هو القيام بدراسة مقارنة بين جهازي تحكم:

احدهما من نوع الكلاسيكي (بي-إي-دي) و الاخر يعتمد على المنطق الضبابي و دلك من اجل التحكم في المحرك المستمر ودراسة السلوك الدينامي لسرعة الاستجابة لهذا النظام. في هذا السياق حاولنا تقديم هذين الامرين بطريقة واضحة بما فيه الكفاية ولكنها ليست كاملة للسماح بفهم عمليتهما.

تظهر نتائج المحاكاة التي وجدناها ان كل منظم لم مميزاته الخاصة، لكن منظم (بي-إي-دي) يضل الاكثر استخداما والاسهل في التنفيذ

الكلمات المفتاحية: وحدة تحكم (بي-إي-دي) / المنطق الضباب/ محرك المستمر