



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abbes Lechrour Khenchela



**Faculté Des Sciences et de Technologies
Département De Génie Industriel**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention
Du diplôme de Master**

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

Thème :

**LE CONTROLE PSO.PID
D'UN MOTEUR BRUSHLESS**

Réaliser par :

-Melle : Salmi Dounia

Melle : Amraoui Siham

Devant les jurys :

Dr : BEDDIAF ABDELAZIZ

Président

Dr : MAALEM ALI

Examineur

Mr: BERKANI ABDELHAKIM

Encadreur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2021-2022

Remerciements

Je remercie Dieu d'avoir mis toutes les clés du succès sur mon chemin, qui ma donnée l'opportunité d'apprendre et de me cultiver.

Je tiens en premier lieu à Remercier le Dr **ABDELHAKIM. BERKANI** pour son encadrement des plus précieux, pour son sens du partage et de la sagesse me donnant toute la confiance nécessaire pour aboutir à ce travail, Mais aussi pour avoir répondu présent à tous mes détresse et pardessus tout sa confiance en moi et en mes capacités.

Je voudrais aussi remercier les membres du jury qui me rendent honneur par leur présence et par leur intéressement à mon projet personnel et pour tous les conseils et remarques qui m'auront apportée.

Ainsi que le personnel et les enseignants du département de Génie INDUSTRIEL. Sans oublier mes très chères camarades qui on fait de mes années d'études un réel plaisir.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à **Mes parents**

Ma mère, qui ne cesse jamais de m'offrir, son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

Mon père, j'espère qu'il est fier de trouver ici le résultat d'années de sacrifices pour m'aider à avancer dans la vie.

Merci pour les valeurs nobles, l'amour, l'éducation et le soutien permanent venu de vous.

Mes frères et sœurs (Iyase Mondhire Amel Douaa)

qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes amies(Bessema Rania Nassim) tout particulièrement **mon binôme (Siham Amraoui)**, mes collègues(**iman Dounia Asma Hizya**)

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à **Mes parents**

Ma mère, qui ne cesse jamais de m'offrir, son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

Mon père, j'espère qu'il est fier de trouver ici le résultat d'années de sacrifices pour m'aider à avancer dans la vie.

Merci pour les valeurs nobles, l'amour, l'éducation et le soutien permanent venu de vous.

Mes frères et sœurs (Hamid Abdrarime Dounia Marouia)

qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes amies(rania) tout particulièrement **mon binôme (Salmi Dounia)**, **mes collègues(iman Dounia Asma hizya)**

Résumé

Résumé :

Ce projet de fin étude en Master automatique et informatique industrielle est porté sur le contrôle PID d'un moteur brushless. Une courte description brushless DC moteur est donnée. Pour ce travail, les modèles mathématiques ont été développés et subséquentement utilisés pour obtenir les paramètres de simulation. Le modèle PID et PSO est accompli avec l'utilisation de MATLAB/SIMULINK. Les paramètres opérationnels de spécificité de BLDC moteur ont été modélisés à l'aide des méthodes qui sont utilisées pour développer ultérieures simulations.

Abstract :

This report presents a PID model of a brushless DC (BLDC) motor and simulation. A short description of the Brushless DC motor is given. For this work, mathematical models were developed and subsequently used in getting the simulation parameters. The PID and PSO model is accomplished with the use of MATLAB/SIMULINK. The operational parameters of the specific BLDC motor were modeled using the tuning methods which are used to develop subsequent simulations.

ملخص

هذا مشروع نهاية الدراسة ماستر الية و اعلام الي صناعي بعنوان ا لتحكم في محرك براش ليس حيث سنقوم

بنمذجة امحرك الكهربائي و التحكم فيه عن طريق المتحكم [PID PSO] بواسطة برنامج ماطلاب Matlab/simulation

Sommaire

Sommaire :

Introduction Générale	1
Chapitre I:.....	3
Modélisation Brushless DC moteur	3
Chapitre I: modélisation brushless DC moteur	4
I.1 Introduction	4
I.2 Applications typiques des moteurs DC :	4
I.3. Construction du moteur DC :	4
I.3.1. Stator :	5
I.3.2. Rotor :	7
I.4. Contrôle des moteurs Brushless BLDC :	7
I.5. Les différents types de moteurs Brushless :	8
I.5.1. les moteurs Brushless inrunners :	8
les moteurs Brushless inrunners ont le rotor à l'intérieur du stator	8
I.5.2. Moteurs brushless outrunner :	9
I.5.3. Moteurs brushless disques :	9
I.6. Avantages des moteurs DC :	10
I.6.1. Format compacte :	10
I.6.2. Haute efficacité :	10
I.6.3. Grande vitesse :	10
I.6.4. Aucun entretien :	10
I.6.5. Une Réponse rapide :	11
I.6.6. Moins d'interférences radio :	11
I.6.7. Caractéristiques linéaires vitesse-couple :	11
I.6.8. Couple de démarrage élevé :	11
I.6.9. Vitesse réglable :	11
I.6.10. Meilleure évacuation de la chaleur :	11

Sommaire

I.6.11. Une Bien meilleure contrôlabilité par rapport aux moteurs à induction :	11
I.6.12. Fonctionnement silencieux :	11
I.7. Inconvénients du moteur brushless :	12
I.8. Applications des moteurs BLDC sans balais :	12
I.9. Principe de fonctionnement de Moteurs BLDC :	12
I.10. Principe de commutation des moteurs brushless :	13
I.10.1. Moteurs brushless à Capteurs à effet hall :	13
I.10.2. Moteurs brushless à régulation basée sur la fcem :	14
I.11. Les différents de moteurs brushless et Les moteurs	14
I.11.1. Moteur Sans balais :	14
I.11.2. Les moteurs à balais :	15
I.12. Conclusion :	16
Chapitre II:	17
Réglage PID d'un moteur BLDC	17
II.1. Introduction :	18
II .2. Aperçu du PID :	18
II.3. Modèle mathématique d'un moteur à courant continu :	19
II.4. Modèle mathématique d'un moteur brushless :	23
II.5. Maxon BLDC Moteur:	24
II.6. Modèle mathématique d'un moteur Maxon BLDC :	25
II.7. Comment régler les coefficients d'un PID :	26
II.7.1. Condition de stabilité :	28
II.7.2. Critères de stabilité :	29
II.7.3. Critères graphiques :	29
II.7.3.1. la précision :	29
II.7.3.2 La rapidité :	30
II.8. Principes de régulation P_ PI_ PID :	30

Sommaire

II.8.1.La régulation Proportionnelle (P) :.....	30
II.8.2.La régulation Proportionnelle – Intégrale (PI) :.....	31
II.8.3.La régulation Proportionnelle – Intégrale – Dérivée (PID) :.....	31
II.9.Types de contrôleur PID :.....	32
II.9.1.Contrôle ON / OFF :.....	32
II.9.2.Contrôle proportionnel :.....	32
II.9.3.Contrôleur PID de type standard :.....	32
II.10 .méthodes de réglage des paramètres du régulateur:	33
II.10.1.Méthodes empiriques :	33
II.10.2.Méthode en boucle ouverte :	33
a.Mode opératoire	33
b. Exploitation de la réponse indicielle :.....	33
c. Réglage du régulateur PID :.....	34
II.11. Méthode de Ziegler&Nichols en boucle fermée.	36
II.11.1.Mode opératoire :	36
II.11.2.Exploitation du résultat de pompage de la boucle :.....	36
II.11.Méthode empirique :.....	39
II.11.1.Méthode de la réglabilité :.....	39
II.12. Applications :.....	40
II.12.1.Contrôle de la température du four :	41
II.12.2 .Contrôleur de charge MPPT :.....	41
II.12.3.Le convertisseur d'électronique de puissance :	41
II.13. conclusion :	41
Chapitre III:	42
Intelligence Artificielle	42
III.1.Introduction :	43
III.2.Définition :.....	43

Sommaire

III.3 Principe :	43
III. 3.1 .Définition de la méthode :	44
III.4.Formalisation	45
III .5. L'algorithme PSO :	45
III.6.Contrôle des paramètres PSO :	47
III.7. Version globale vs version locale :	47
III.8.Variantes de PSO :	48
III.9.Avantages :	48
III .10.Inconvénients :	48
III.11.Comparaisons entre l'algorithme génétique et PSO :	48
III.12. Principe de base :	49
III.13.Configuration de la méthode :	50
III .14.Le facteur de constriction :	50
III.15.La notion du voisinage :	51
a. Topologie en anneau :	52
b.Topologie en étoile :	52
III.16.Proposition d'une approche de parallélisations de la méthode PSO :	53
III .17.Extension et modification	54
III.18.Conclusion	55
Chapitre IV:	56
Simulation et Applications	56
IV.1. Introduction :	57
IV.2- Outils de développement :	57
IV.2.1- MATLAB :	57
IV.2.2- SIMULINK :	57
III.3.Analyse du moteur maxon en boucle ouvert a l'aide de sumilink :	58

Sommaire

IV.3.1. Analyse du moteur BLDC avec un correcteur PID en boucle fermée l'aide de sumilink.....	58
IV.4. INDICES DE PERFORMANCE D'UN PID	58
IV.5. pourcentage de dépassement «D» :	59
IV.6. intégrales faisant intervenir l'erreur :	59
IV.7. Optimisation des paramètres du régulateur PID par PSO:	62
IV.8. Codage des paramètres du régulateur PID	63
IV.9. Essaim de particules Algorithme d'optimisation (PSO) :	63
IV.9.1. Principe de l'algorithme PSO :	63
IV.10. Méthode de réglage des paramètres de PID :	63
IV.11. Expérience de simulation et analyse des résultats :	65
IV.1. Paramètres :	65
IV.12. Conclusion :	68
CONCLUSION	69
GENERALE.....	69
Conclusion.....	70
Références Bibliographiques.....	71
Bibliographies :	72

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre 1 :

Figure II.1: montre la coupe transversale d'un moteur BLDC.

Figure I.2 : Stator du moteur DC.

Figure I.3 : Sinusoidal back EMF.

Figure I.4 : Trapezoidal back EMF.

Figure I. 5 : rotor du moteur DC.

Figure I .6: Contrôle des moteurs Brushless.

Figure I.7: brushless inrunners .

Figure I.8 : brushless outrunne.

Figure I.9 : brushless disques.

Figure I.10 : Exemple de situation de commutation.

Figure I. 11 : Fonctionnement de l'onduleur et du moteur brushless.

Figure I .12 : Le capteur à effet Hall émet une impulsion électrique.

Figure I .13 : Sans balais.

Chapitre II :

Figure II .1 : système de rétroaction unitaire.

Figure II.2 : le circuit électrique du moteur à courant continu.

Figure II. 3; Montage de système électromécanique du moteur à courant continu.

Figure II. 4. Schéma d'un moteur brushless .

Figure II.5: Réponse d'un système du second ordre.

Figur II .6 : Réponse d'un système stable .

Figur II.7 : Réponse d'un système instable .

Figur II.8: La perturbation est représentée par $w(t)$.

Figure II .9.: La régulation Proportionnelle (P).

Figure II.10 : La régulation Proportionnelle – Intégrale (PI) .

Figure II.11: régulateur est en mode automatique dans état stabilité .

Liste des figures

Figure II.12 : Exploitation de la réponse indicielle Figure II.13 : la réponse indicielle d'un procédé à un échelon unité .

Figure II.14 : Les réponses indicielles en boucle fermée sont données régulation P .

Figure II.15 : Les réponses indicielles en boucle fermée sont données régulation PI .

Figure II.16 : R Les réponses indicielles en boucle fermée sont données régulation PI .

Figure II.17 : Le régulateur est en mode automatique avec une faible valeur de K_p .

Figure II.18 : conduisant au pompage de la boucle et la période des oscillations T_c .

Figure II.19 : régulation P.

Figure II.20 : régulation PI.

Figure II.21 : régulation PID .

Figure II. 22: la réponse indicielle en boucle fermée .

Chapitre III : intelligence artificiel PSO :

Figure III.1. : Déplacement d'une particule .

Figure III.2 : Particle Motion Toward Optimal Solution .

Figure III.3: Déplacement d'une particule .

Figure III.4 : Différents types de topologies pour un essaim de particules.

Figure III.5 : Représentation de l'approche implémentée.

Chapitre IV :

Figure IV.1 schéma simulink du moteur BLDC en boucle ouvert .

Figure IV.2 Schéma simulink du moteur BLDC avec un contrôleur PID en boucle fermé .

Figure IV.3: Intégrale faisant intervenir l'erreur .

Figure IV.4: Approche d'optimisation du PID par l'algorithme PSO.

Figure IV.5 : structure du contrôleur pso-pid proposé .

Figure IV. 6 : montre la structure de la particule du PSO utilisé

Figure IV.7: Variation de K_p avec l'angle de frottement

Figure IV.8 : Forme d'onde de courant de sortie du moteur électrique

Liste des figures

FigureIV.9 :Forme d'onde de tension de sortie du moteur électrique .

FigureIV.10 : Forme d'onde de vitesse de sortie du moteur électrique

Liste des Tableaux

Liste des tableaux :

TableauII.1: paramètres du moteur BLDC utilisés.

TableauII.2 : Le régulateur la boucle est dans état stabilisé.

TableauII.3 : de réglage proposé.

TableauII.4 : le réglage proposé .

Tableau II.5 : fournit des relations empiriques pour calculer les coefficients.

Tableau II.6 : le régulateur PID dont les paramètres.

Liste des Abréviations

Liste des abréviations

BLDC : Brushless Direct Current.

PID: Proportionnel intégral dérivé.

P : Contrôleur (proportionnelle).

PI : Contrôleur (proportionnelle, Intégral).

CC : Courant continu.

K_p : gain proportionnel .

K_i : gain intégral

Introduction Générale

Les moteurs à courant continu sans balais (BLDC) sont l'un des types de moteurs qui gagnent rapidement en popularité ces dernières années car de son rendement élevé, de son couple de démarrage élevé, de son fonctionnement silencieux et de sa longue durée de vie.

Les moteurs BLDC sont utilisés dans de nombreux industries telles que l'automobile, l'automatisation industrielle, l'aérospatiale, la consommation et l'instrumentation. Il existe de nombreuses méthodologies de contrôle modernes telles que le contrôle optimal, le contrôle de structure variable, le contrôle non linéaire, et le contrôle adaptatif ont été largement proposés pour le contrôle de la vitesse d'un moteur à courant continu à aimant permanent sans balais. Cependant, ces méthodes sont difficiles à mettre en œuvre.

Le contrôleur PID est utilisé à des fins de contrôle et ses trois paramètres la fonctionnalité couvrant le traitement de la réponse transitoire et en régime permanent offre la solution la plus simple et la plus efficace solution à de nombreux problèmes de contrôle du monde réel même s'il a une structure simple, un réglage optimal du gain du PID les contrôleurs sont assez difficiles.

Les méthodes traditionnelles telles que la méthode de Ziegler-Nichols et le schéma de Fuller donnant des valeurs de gain approximatives du PID manette. Il nécessite un réglage manuel et prend également plus de temps. Récemment, l'intelligence computationnelle a proposition de la technique d'optimisation des essaims de particules (PSO). PSO trouvé pour la première fois par Kennedy et Eberhart, est l'un des technique métaheuristique moderne. PSO dispose d'un mécanisme fiable et bien équilibré pour améliorer le global et le local solution optimale. PSO est utilisé pour concevoir un contrôleur PID de manière optimale pour un moteur à courant continu sans balais. Les résultats obtenus de la méthode proposée et des méthodes conventionnelles sont comparées à travers les caractéristiques de performance [2]

Il existe principalement deux types de moteurs à courant continu utilisés dans l'industrie. Le premier est le moteur à courant continu conventionnel où le flux est produit par le courant à travers la bobine de champ de la structure du pôle stationnaire. Le deuxième type est le moteur CC sans balais (moteur BLDC) où l'aimant permanent fournit le flux d'air nécessaire au lieu des pôles de champ enroulés par fil.

Introduction Générale

Il existe de nombreuses méthodologies de contrôle modernes telles que le contrôle linéaire, le contrôle optimal, le contrôle de structure variable et le contrôle adaptatif ont été largement proposés pour le contrôle de la vitesse d'un moteur CC à aimant permanent sans balais. Cependant, ces approches sont soit complexes en termes théoriques, soit difficiles à mettre en œuvre. Le contrôleur PID avec ses trois termes de fonctionnalité couvrant le traitement de la réponse transitoire et à l'état d'équilibre offre la solution la plus simple et la plus efficace à de nombreux problèmes de contrôle du monde réel. Malgré la structure simple, les gains de réglage optimal des PID Controller sont assez difficiles.[1]

L'objectif de ce travail est d'étudier la modélisation d'un moteur sans balais DC (Brushless) et de faire une régulation par PID en utilisant l'intelligence artificielle PSO. L'optimisation par essaim de particules est une méthode métaheuristique, développée à partir de l'intelligence en groupe qui est basée sur le comportement du déplacement des oiseaux ou des poissons pour la recherche de la nourriture.

Le premier chapitre est consacré pour des généralités sur les moteurs sans balais : leur principe de fonctionnement, avantages et inconvénients de ces types, les caractéristiques ainsi que les comportements mécaniques. Dans le deuxième chapitre on s'intéresse à l'étude et au réglage PID d'un moteur BLDC.

Le troisième chapitre consiste à étudier les dérives. L'optimisation par essaim de particules est une méthode métaheuristique, développée à partir de l'intelligence.

Le dernier chapitre consacre à la simulation et applications et aux interprétations des résultats obtenus concernant les dérives techniques.

Chapitre I:

Modélisation Brushless DC
moteur

Chapitre I: modélisation brashless DC moteur

I.1 Introduction

Les moteurs sans balais « Brushless » permettent d'obtenir des performances/encombrement très impressionnants par rapport aux technologies plus conventionnelles. Il présente des caractéristiques semblables à celles des moteurs courant continu et alternatif sans les inconvénients : une forte dynamique de vitesse et d'accélération sans l'usure mécanique des moteurs courant continu ; la commutation électronique se substituant à la commutation mécanique.

la technologie Brushless trouve sa place dans la chaîne de traction électrique et hybride des véhicules là où l'encombrement et le poids doivent être optimisés. Les caractéristiques principales du moteur brushless sont une durée de vie exceptionnelle, une forte constante de couple, une puissance importante et une haute vitesse de fonctionnement. La commutation des moteurs est assurée par des électroniques qui permettent ainsi des positionnements et entraînements très précis.[3]

I.2 Applications typiques des moteurs DC :

Les moteurs BLDC trouvent des applications dans tous les segments du marché, tels que, les appareils électroménagers, contrôle industriel, automatisation, aviation, etc. Nous pouvons catégoriser le moteur BLDC en trois grands types tels que :

- a Charge constante
- b Charges variables
- c Positionnement des applications (2)

I.3. Construction du moteur DC :

La principale différence de conception entre un moteur à balais et un moteur sans balais est le remplacement du commutateur mécanique par un circuit de commutation électrique. En gardant cela à l'esprit, un moteur BLDC est un type de moteur synchrone dans le sens où le champ magnétique généré par le stator et le rotor tournent à la même fréquence. Les moteurs

Chapitre I : Modélisation Brushless DC moteur

brushless sont disponibles en trois configurations : monophasée, biphasée et triphasée. Parmi ceux-ci, le BLDC triphasé est le plus courant.

L'image suivante montre la coupe transversale d'un moteur BLDC.

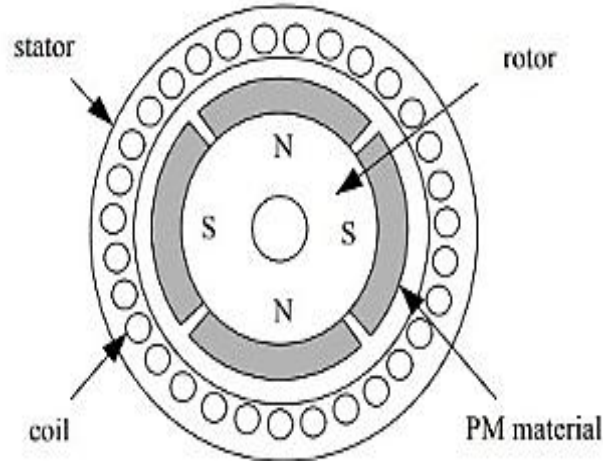


Figure I.1 : montre la coupe transversale d'un moteur BLDC.

Comme vous pouvez le voir sur l'image, un moteur BLDC se compose de deux parties principales: un stator et un rotor . [4]

I.3.1.Stator :

Stator d'un moteur BLDC composé de tôles d'acier empilées pour porter les enroulements. Ces bobinages sont placés dans des encoches découpées axialement le long de la périphérie interne du stator. Ces enroulements peuvent être disposés en étoile ou en delta. Cependant, la plupart des moteurs BLDC ont un stator connecté en étoile triphasé.

Chaque enroulement est construit avec de nombreuses bobines interconnectées, où une ou plusieurs bobines sont placées dans chaque fente. Afin de former un nombre pair de pôles, chacun de ces enroulements est réparti sur la périphérie du stator.

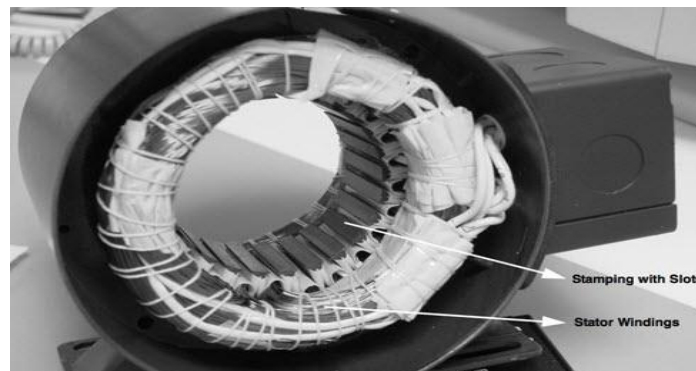


Figure I.2 : Stator du moteur DC

Chapitre I : Modélisation Brushless DC moteur

Le stator doit être choisi avec la tension nominale correcte en fonction de la capacité d'alimentation. Pour la robotique, l'automobile et les petites applications d'actionnement, les moteurs BLDC à tension de 48 V ou moins sont préférés. Pour les applications industrielles et les systèmes d'automatisation, des moteurs de puissance nominale de 100 V ou plus sont utilisés. Généralement, la plupart des moteurs BLDC se composent de trois enroulements de stator qui sont connectés en étoile ou en « Y » (sans point neutre). De plus, sur la base des interconnexions de bobines, les enroulements du stator sont en outre divisés en moteurs trapézoïdaux et sinusoïdaux.[6]

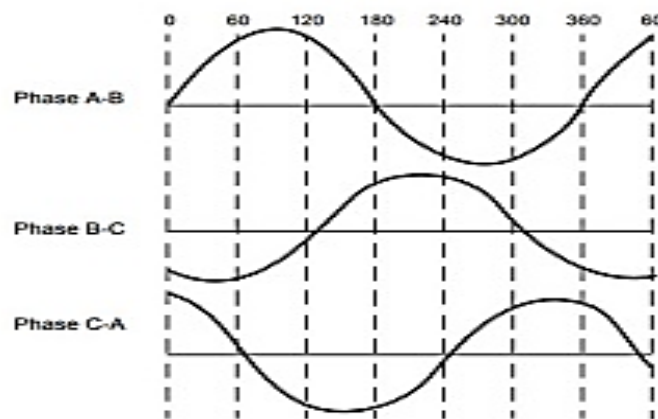


Figure I.3 :Sinusoidal back EMF

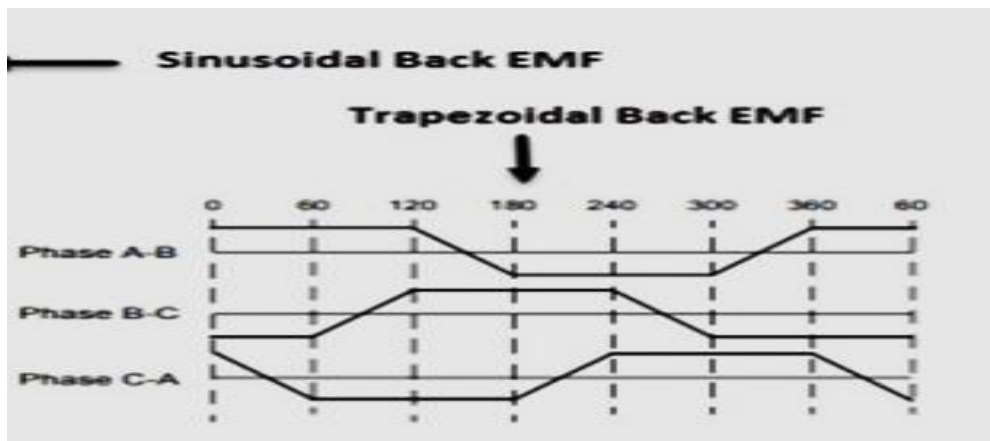
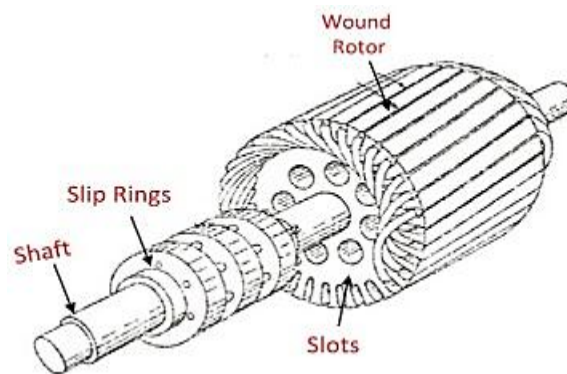


Figure I.4: Trapezoidal back EMF

I.3.2 .Rotor :

La partie tournante du moteur est connue sous le nom de rotor. Le noyau du rotor et son enroulement font partie du rotor. L'enroulement du rotor est excité par l'alimentation en courant continu. La cage d'écurueil et la phase enroulée sont les types du rotor.

Le noyau du rotor à cage d'écurueil est constitué de noyau de fer cylindrique. L'âme présente sur sa surface extérieure une fente semi-circulaire sur laquelle sont placés les conducteurs en cuivre ou en aluminium. Les conducteurs sont court-circuités aux extrémités à l'aide d'anneaux en aluminium ou en cuivre.[7]



FigureI. 5 : :rotor du moteur DC

I.4.Contrôle des moteurs Brushless BLDC :

Si le stator et le rotor sont des parties essentielles d'un moteur BLDC qui en font partie intégrante, l'électronique d'entraînement est tout aussi essentielle. Le schéma fonctionnel d'un système de commande ou d'entraînement de moteur CC sans balais typique est illustré dans l'image suivante.

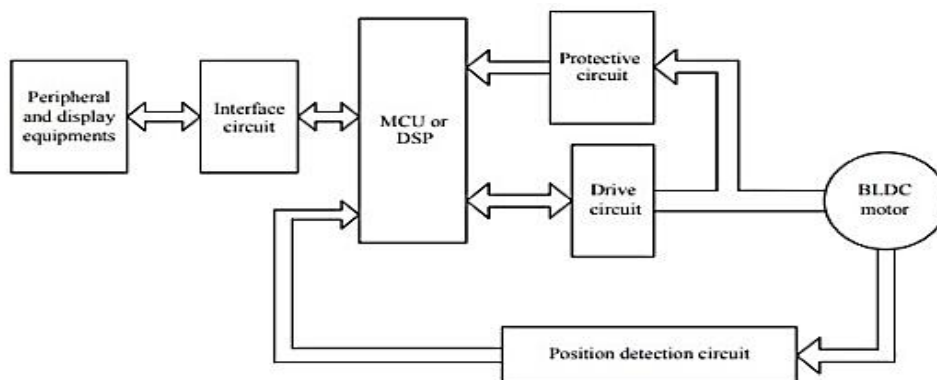


Figure I .6: Contrôle des moteurs Brushless

Le schéma fonctionnel d'un système de commande ou d'entraînement de moteur

Ce circuit d'entraînement est souvent connu sous le nom de système de contrôleur de vitesse électronique ou simplement. Une configuration courante s'appelle le Circuit d'entraînement Full Bridge. Il se compose d'un microcontrôleur avec sorties PWM, de six MOSFET pour les trois phases des enroulements du stator, d'un retour d'information des capteurs à effet Hall et de certains composants liés à l'alimentation.[7]

I.5. Les différents types de moteurs Brushless :

I.5.1. les moteurs Brushless inrunners :

les moteurs Brushless inrunners ont le rotor à l'intérieur du stator.

Ils n'ont généralement qu'une seule paire de pôles sur le rotor, et 3 bobines au stator. L'inertie du rotor est beaucoup plus faible que pour un moteur outrunner, et les vitesses atteintes par ce type de moteur sont beaucoup plus élevées (Kv jusqu'à 7700tr/min/V) .

La gestion électronique de la commutation est par contre plus simple car le rotor tourne à la même fréquence que le champ magnétique.

Le couple des moteurs brushless inrunners est plus faible que pour un outrunner car les aimants sont sur un diamètre plus petit à taille de moteur égale.

Ce type de moteur brushless est très utilisé dans l'industrie car il se rapproche beaucoup d'un moteur à courant continu à balais et collecteur.[8]



Figure I.7: brushless inrunners .

I.5.2.Moteurs brushless outrunner :

les moteurs brushless outrunners comprenant plus de 3 bobines et 2 pôles ne font qu'une fraction de tour lorsque le champ a tourné de 180° . Leur fréquence de rotation est donc plus faible mais le couple très élevé. Ces moteurs brushless outrunners sont souvent utilisés dans des applications qui nécessitent un fort couple, car ils peuvent être reliés à la charge sans nécessiter de dispositif de réduction Leur coefficient Kv est relativement faible par rapport aux autres types de moteurs brushless. Chaque composant des moteurs sont de la plus haute qualité, des matériaux utilisés, de la boîte qu'ils expédient. Ils sont conçus pour fournir une énergie fiable pour votre modèle réduit d'avion à des prix abordables, offrant une solution de performance totale.[10]



Figure I.8 : brushless outrunne.

I.5.3.Moteurs brushless disques :

Le rotor et le stator peuvent également être constitués de deux disques faces à face, avec les rayons et les bobines répartis selon les rayons de ces deux disques. Ce type de moteur brushless est peu employé car l'action des bobines sur les aimants crée un effort axial important qui nécessite des butées à billes conséquentes, sans offrir de différences notables au niveau des performances par rapport à un moteur brushless outrunner.[11]



Figure I.9 : brushless disques

I .6. Avantages des moteurs DC :

I.6.1.Format compacte :

Les aimants permanents modernes et l'absence de pertes dans le rotor permettent au moteur DC sans balais d'être plus petit que les moteurs DC à balais et les moteurs à courant alternatif à induction.

I.6.2.Haute efficacité :

Un aimant permanent dans le rotor. Contrairement aux moteurs à induction à courant alternatif, il n'y a pas de pertes de cœur dans le rotor. Les moteurs DC sont fiables et économes en énergie, et leur technologie n'a cessé d'être améliorée depuis leur invention. Le développement des moteurs et des pilotes DC dépend d'autres technologies, telles que la microélectronique et les algorithmes de pilotes. De nouveaux composants et algorithmes microélectroniques sont créés en permanence, et avec l'aide de ces améliorations, l'efficacité des moteurs BLDC augmente.

I.6.3.Grande vitesse :

Pas de brosses pour limiter la vitesse, moins de pertes de vitesse par conception. Les moteurs DC ont été conçus pour des vitesses aussi élevées que 100 000 tr/min. Le problème de la rétention des aimants, dans un rotor tournant à grande vitesse, est résolu depuis longtemps.

I.6.4.Aucun entretien :

Les moteurs DC n'ont pas de balais à remplacer, inspecter ou entretenir. Les moteurs sans balais nécessitent moins d'entretien, ils ont donc une durée de vie plus longue que les moteurs à courant continu à balais.

I.6.5. Une Réponse rapide :

Comparé aux machines à induction, le moteur BLDC a une inertie plus faible, ce qui permet une réponse dynamique plus rapide aux commandes de référence. De plus, les progrès réalisés dans les appareils électroniques de puissance et les processeurs DSP/FPGA ont ajouté plus de fonctionnalités à ces entraînements de moteur pour les rendre plus répandus dans les installations industrielles.

I.6.6. Moins d'interférences radio :

En règle générale, les moteurs à balais génèrent plus d'interférences RF que leurs homologues sans balais.

I.6.7. Caractéristiques linéaires vitesse-couple :

Retour de position de l'arbre interne. La conception à aimant permanent avec retour de position de l'arbre interne confère aux moteurs BLDC des caractéristiques vitesse-couple linéaires par rapport aux moteurs à induction AC «en boucle ouverte».

I.6.8. Couple de démarrage élevé :

La rétroaction interne de la position de l'arbre donne aux moteurs BLDC un couple de démarrage et à basse vitesse plus élevé par rapport aux moteurs à induction AC «en boucle ouverte».

I.6.9. Vitesse réglable :

L'électronique de commutation des moteurs BLDC peut être utilisée pour le contrôle de la vitesse sans surcoût.

I.6.10. Meilleure évacuation de la chaleur :

L'élément générateur de chaleur est le stator qui se trouve à l'extérieur du moteur au lieu d'être à l'intérieur comme dans le cas d'un moteur à courant continu à balais.

I.6.11. Une Bien meilleure contrôlabilité par rapport aux moteurs à induction :

Caractéristiques linéaires vitesse-couple dues au retour de position interne de l'arbre et à la conception de l'aimant permanent.

I.6.12. Fonctionnement silencieux :

Les consommateurs exigent désormais une réduction du bruit acoustique. Les technologies traditionnelles ne peuvent pas fournir les solutions, mais les moteurs BLDC peuvent fonctionner en silence . [13]

I.7. Inconvénients du moteur brushless :

- ✚ Ces moteurs coûtent cher.
- ✚ Contrôleur électronique requis pour contrôler ce moteur est coûteux.
- ✚ Nécessite des circuits de commande complexes.
- ✚ Besoin de capteurs supplémentaires.
- ✚ Peu de disponibilité de nombreuses solutions de contrôle électronique intégrées, en particulier pour les minuscules moteurs BLDC.[14]

I.8. Applications des moteurs BLDC sans balais :

- A. Disques durs d'ordinateur et lecteurs de DVD/CD.
- B. Véhicules électriques, véhicules hybrides et vélos électriques.
- C. Robots industriels, machines-outils CNC et systèmes simples entraînés par courroie.
- D. Machines à laver, compresseurs et sèche-linge.
- E. Ventilateurs, pompes et soufflantes.[14]

I.9. Principe de fonctionnement de Moteurs BLDC :

Le moteur brushless fonctionne à partir de trois sources de tensions variables, fournies par un onduleur, et permettant de générer un champ magnétique tournant. Le rotor, généralement équipé d'un aimant permanent, tend à suivre le champ magnétique tournant. La figure 9 montre l'architecture du moteur et de son onduleur.

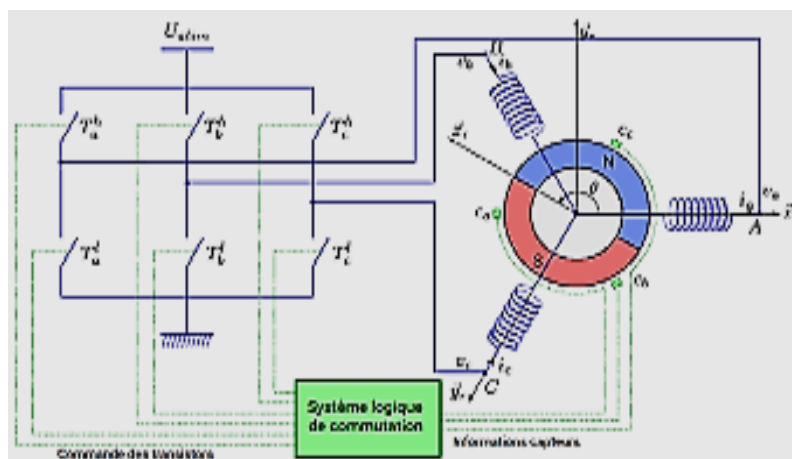


Figure I.10 : Exemple de situation de commutation

Dans le cas simple du moteur BLDC, à chaque commutation, deux phases sont reliées respectivement à la tension d'alimentation et à la masse, et une phase n'est pas connectée. Prenons l'exemple de la figure I.9, la phase A n'est pas reliée, la phase B est reliée à la tension d'alimentation et la phase C est reliée à la masse. Un courant parcourt les bobines de B vers C et génère un champ magnétique statorique \vec{B} dans le moteur dirigé suivant \vec{y}_s . Le rotor supporte un aimant dont le moment magnétique \vec{m} , orienté du sud vers le nord, tend à s'aligner avec le champ magnétique statorique en tournant dans le sens trigonométrique

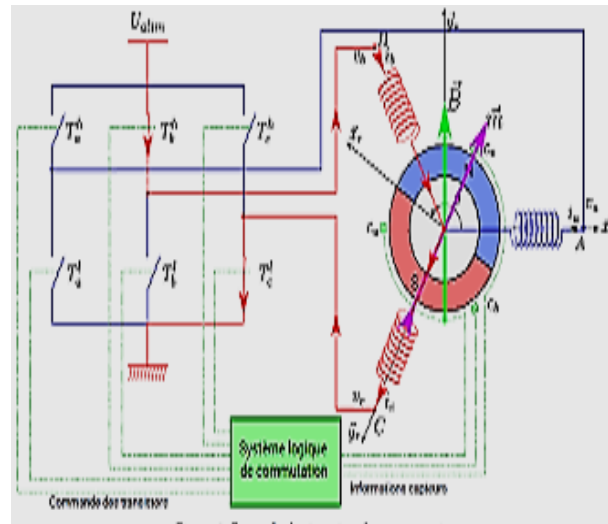


Figure I.11 : Fonctionnement de l'onduleur et du moteur brushless

Dès que le rotor s'approchera de \vec{y}_s , la commutation sera modifiée pour faire circuler le courant de B vers A, le champ magnétique statorique \vec{B} tourne de $\pi/6$, de façon à attirer le rotor et poursuivre la rotation dans le sens trigonométrique. L'angle entre \vec{m} et \vec{B} conduit à un couple magnétique $C \vec{m} = \vec{m} \wedge \vec{B}$. [15]

I.10. Principe de commutation des moteurs brushless :

I.10.1. Moteurs brushless à Capteurs à effet hall :

Dans ce type de moteur brushless, des capteurs à effet hall (3 en général) sont utilisés pour connaître à tout moment la position du rotor, et adapter en conséquence l'alimentation des bobines et le champ magnétique. Le capteur va détecter le passage d'un pôle magnétique, et à partir cette information le circuit de commande électronique assurera la commutation des bobines. L'utilisation de capteurs à effet hall dans les moteurs brushless permet une excellente régulation, cependant l'ajout de ces composants, et le fait qu'il faille les placer très près du rotor entraîne un surcoût et un risque de panne supplémentaire. Cette solution est la plus employée dans les moteurs brushless utilisée en industrie. [16]

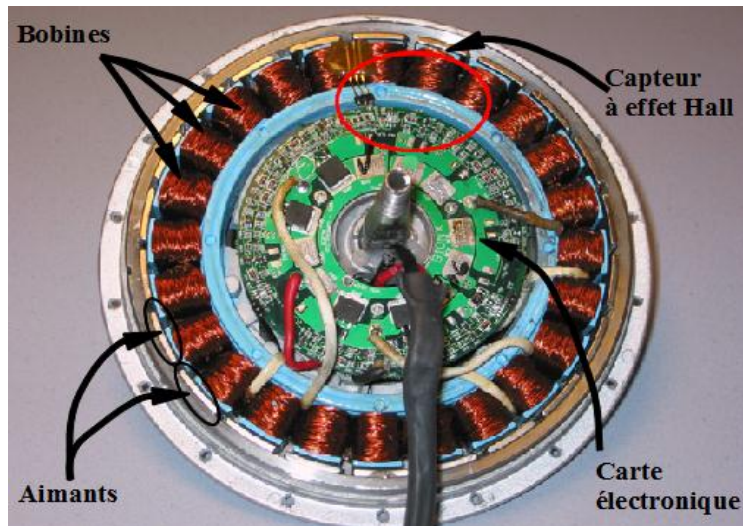


Figure I .12 : Le capteur à effet Hall émet une impulsion électrique[17]

I.10.2.Moteurs brushless à régulation basée sur la fcem :

Pour éviter l'utilisation de capteurs à effet hall, certains circuits de commande de moteurs brushless utilisent les bobines non alimentées à un instant donné pour mesurer la force contre électromotrice et en déduire le moment pour déclencher la commutation. Cette solution permet d'éviter l'emploi de capteurs à effet hall, et donc de réduire le prix du moteur brushless. Par contre, au démarrage, la fcem est trop faible pour être utilisable. Il faut donc utiliser un autre mode de commande pour le démarrage des moteurs brushless sans capteurs. Généralement, ils sont démarrés comme des moteurs pas à pas, en commutant les phases à une fréquence croissante prédéfinie, suffisamment lentement pour que le moteur brushless ne décroche pas. Le couple dans cette phase est très mauvais. La mise au point de ce système de commande est très difficile, requiert une puissance de calcul importante et nécessite des solutions de filtrage pour distinguer la fcem des parasites engendrés par le moteur. Cette technique est principalement employée dans les petits moteurs brushless, en particulier en modélisme.

I.11.Les différents de moteurs brushless et Les moteurs

I.11.1.Moteur Sans balais :

Les moteurs brushless réduisent certains problèmes liés aux moteurs à balais les plus courants (durée de vie limitée pour des applications à usage intensif) 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.

Un exemple de conception sans balais est celui des moteurs pas à pas, qui sont principalement utilisés dans le contrôle de position en boucle ouverte, avec des utilisations allant des imprimantes aux applications industrielles telles que les équipements de prélèvement et de placement à grande vitesse.

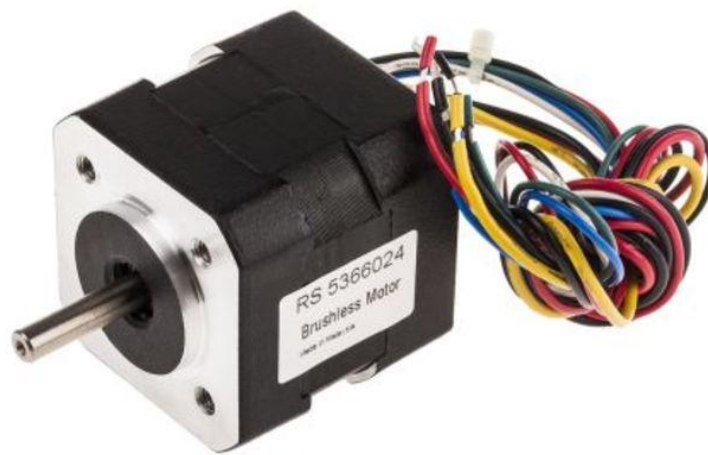


Figure I .13 : Sans balais[18]

I.11.2. Les moteurs à balais :

Ils représentent le type de moteur le plus classique et sont généralement utilisés pour des applications à faible budget, 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 :

a. Série Enroulé : 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

b. À 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, 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.

c. À excitation compound : 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. Ce type de moteur possède un couple de démarrage élevé et offre un 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

d. Moteur à aimant permanent : Plutôt qu'un électroaimant, comme son nom l'indique, un aimant permanent est utilisé dans des applications où une commande précise et un couple faible sont nécessaires, telles que dans la robotique et les servo-systèmes.[20]

I.12. Conclusion :

Les moteurs sans balais sont meilleurs que les unités polies. Les utilisateurs peuvent bénéficier d'une maintenance réduite, d'une efficacité améliorée et d'une réduction de la chaleur et du bruit. Les moteurs brushless sont des unités synchronisées avec un ou plusieurs aimants permanents. Les appareils électriques à moteur brushless sont maintenant des produits haut de gamme. Le moteur DC se compose de deux parties électriques: la partie dure et le rotor. Lorsque le moteur est allumé, il crée une réaction magnétique qui déplace le moteur. Lorsque vous inversez la tension qui étend le moteur, il tourne dans la direction opposée.

Chapitre II:
Réglage PID d'un moteur
BLDC

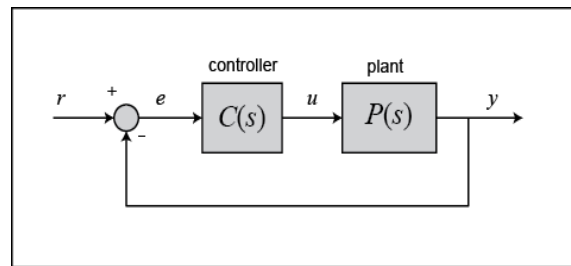
II.1.Introduction :

Le terme PID signifie dérivé intégral proportionnel et il s'agit d'un type d'appareil utilisé pour contrôler différentes variables de processus telles que la pression, le débit, la température et la vitesse dans les applications industrielles. Dans ce contrôleur, un dispositif de retour de boucle de contrôle est utilisé pour réguler toutes les variables de processus.

Il est presque partout pour le contrôle de la température et utilisé dans les processus scientifiques, Dans ce contrôleur, la rétroaction en boucle fermée est utilisée pour maintenir la sortie réelle d'une méthode proche de l'objectif, sinon sortie au point fixe si possible. Dans cet article, la conception du contrôleur PID avec les modes de contrôle utilisés comme P, I & D est discutée.[1]

II .2. Aperçu du PID :

Dans ce didacticiel, nous considérerons le système de rétroaction unitaire suivant :



FigureII .1 : système de rétroaction unitaire

La sortie d'un contrôleur PID, qui est égale à l'entrée de contrôle de l'installation, est calculée dans le domaine temporel à partir de l'erreur de retour comme suit :

$$U(t) = K_p(t) + K_i \int 1 e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{II (1)}$$

Voyons d'abord comment le contrôleur PID fonctionne dans un système en boucle fermée en utilisant le schéma ci-dessus. La variable (e) représente l'erreur de suivi, la différence entre la sortie souhaitée (r) et la sortie réelle (y). Ce signal d'erreur (e) est transmis au contrôleur PID, et le contrôleur calcule à la fois la dérivée et l'intégrale de ce signal d'erreur par rapport au temps. Le signal de commande (u) envoyé à l'installation est égal au gain proportionnel (k_p) multiplié par l'amplitude de l'erreur plus le gain intégral (k_i) multiplié par l'intégrale de l'erreur plus le gain dérivé (k_d) multiplié par la dérivée de l'erreur.

Ce signal de commande (u) est appliqué à l'installation et la nouvelle sortie (y) est obtenue. La nouvelle sortie (y) est ensuite renvoyée et comparée à la référence pour trouver

Chapitre II : Réglage PID d'un moteur BLDC

le nouveau signal d'erreur (e). Le contrôleur prend ce nouveau signal d'erreur et calcule une mise à jour de l'entrée de commande. Ce processus se poursuit tant que le contrôleur est actif. La fonction de transfert d'un contrôleur PID est trouvée en prenant la transformée de Laplace de l'équation .[2]

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad \text{II (2)}$$

K_p = gain proportionnel,

K_i = gain intégral

Nous pouvons définir un contrôleur PID dans MATLAB en utilisant directement un modèle de fonction de transfert .

Alternativement, nous pouvons utiliser l' **objet pid** de MATLAB pour générer un contrôleur de temps continu équivalent .

Convertissons l'objet pid en une fonction de transfert pour vérifier qu'il donne le même résultat que ci-dessus :[2]

II.3. Modèle mathématique d'un moteur à courant continu :

Circuit de moteur à courant continu équivalent typique est illustré comme représenté dans le circuit représenté ci-dessous :

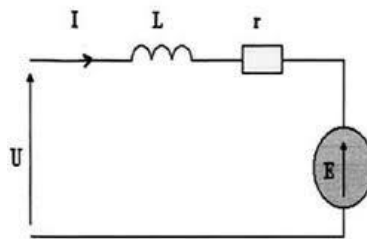


Figure II.2 : le circuit électrique du moteur à courant continu

$$L\left\{\frac{dw_m}{dt} = i \frac{kt}{j} - \frac{Kf}{j} w_m + \frac{1}{j} T_L\right\}$$

ceci implique :

$$sW_m = -i \frac{kt}{j} - \frac{Kf}{j} W_m + \frac{1}{j} T_L \quad \text{II (13)}$$

à ne pas charger ($T_L = 0$) : équation devient :

$$sW_m = -i \frac{kt}{j} - \frac{Kf}{j} W_m + \frac{1}{j} T_L \quad \text{II (14)}$$

De l'équation , i est fait l'objet d'un substitut dans l'équation :

$$i = \frac{sw_m + \frac{Kf}{j} w_m}{\frac{ki}{j}} \quad \text{II (15)}$$

$$\left(\frac{sw_m + \frac{Kf}{j} w_m}{\frac{kt}{j}}\right) \left(s + \frac{R}{L}\right) = -\frac{ke}{L} W_m + \frac{1}{L} v_s \quad \text{II (16)}$$

L équation

$$\left\{ \left(\frac{s^2 J}{kt} + \frac{sKf}{kt} + \frac{SRJ}{KTL} + \frac{KFR}{KtL} \right) + \frac{ke}{L} \right\} W_m = \frac{1}{L} V_s \quad \text{II (17)}$$

$$V_s = \left\{ \frac{s^2 J l + sKFL + sR_j + KFR + KeKt}{kt} \right\} W_m \quad \text{II (18)}$$

$$G(s) = \frac{w_m}{V_s} = \frac{kt}{s^2 J l + sKFL + sR_j + KFR + KeKt} \quad \text{II (19)}$$

$$G(s) = \frac{w_m}{V_s} = \frac{kt}{s^2 J l + (KFL + R_j) s + KFR + KeKt} \quad \text{II (20)}$$

La constante de frottement est faible, c'est-à-dire $k f$ tend vers 0, ce qui implique que;

$$R_j \gg KfL, \text{ et}$$

$$KeKt \gg RKf$$

Et les remises à zéro des valeurs négligeables, la fonction de transfert est finalement s'écrire :

Chapitre II : Réglage PID d'un moteur BLDC

$$G(s) = \frac{w_m}{V_s} = \frac{Kt}{s^2 J L + R J s + K e K t} \quad \text{II (21)}$$

Donc, en réarrangement et de manipulation mathématique sur "JL", en multipliant haut et en bas de l'équation

$$\frac{R}{K e K t} \times \frac{1}{R}$$

Equation est obtenu après la manipulation :

$$G(s) = \frac{\frac{1}{K s}}{\frac{R J}{K e K t} \times \frac{L}{R} \times s^2 + \frac{R J}{K e K t} \times s + 1} \quad \text{II (22)}$$

les constantes suivantes sont acquis, La mécanique (constante de temps)

$$\tau_m = \frac{R J}{K e K t}$$

$$\tau_e = \frac{L}{R}$$

$$G(s) = \frac{\frac{1}{k s}}{\frac{R J}{K e K t} \times \frac{L}{R} \times s^2 + \frac{R J}{K e K t} \times s + 1} \quad \text{II (23)}$$

V_s = la tension de la source à courant continu

i = le courant d'induit

T_e = le couple électrique

k_f = la constante de frottement

J = l'inertie du rotor

w_m = la vitesse angulaire

T_L = la charge mécanique supposée

K_e = la constante emf arrière

k_t = la constante de couple

$U(t)$: la tension d'alimentation

R : la résistance de l'enroulement L : l'inductance de l'enroulement

$i(t)$: le courant passant à travers l'enroulement ω : la vitesse angulaire du moteur

$e(t)$: la force contre électromotrice

K_w : la constante "contre électromotrice" exprimée en V / RPM

II.4.Modèle mathématique d'un moteur brushless :

En règle générale, le modèle mathématique d'un moteur DC sans balais n'est pas tout à fait différent du moteur à courant continu classique

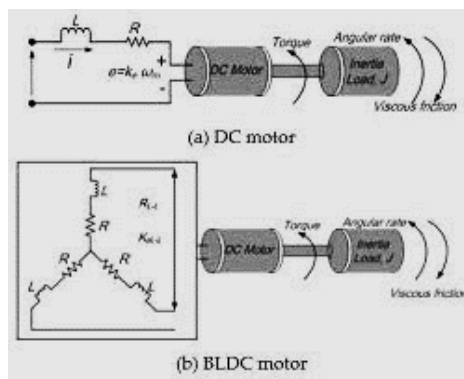


Figure II. 4.Schéma d'un moteur brushless

Cette différence affecte principalement les constantes mécaniques et électriques car ils sont des éléments très importants de paramètres de modélisation.

La constante mécanique : $\tau_m = \sum \frac{RJ}{KeKt} = \frac{J \sum R}{KeKt}$

La constante électrique : $\tau_e = \sum \frac{L}{R} = \frac{L}{\sum R}$

Dans le moteur BLDC il ya 3 phase c ā d les constantes mécaniques et électrique décrit sou la forme suivant :

$$\tau_M = \frac{j3R}{KeKt}, \tau_e = \frac{L}{3R} \quad \text{II (24)}$$

C'est ilya des effets de phase la constante mécanique décrit comme suivant :

$$\tau_M = \frac{3R_\theta}{KeKt} \quad \text{II (25)}$$

Ke : le ferm entre phase en volt

$$K_e = k_{e(L-l)/\sqrt{3}} \quad \text{II(26)}$$

Par conséquent, l'équation de moteur BLDC peut maintenant être obtenu comme l'équation suivante :

$$G(s) = \frac{\frac{1}{K_e}}{\tau_m \cdot \tau_e \cdot s^2 + \tau_m \cdot s + 1} \quad \text{II (27)}$$

II.5. Maxon BLDC Moteur:

II.5.1. Maxon EC 45 flat Ø 45 mm, brushless moteur :

Le moteur BLDC prévue à cette thèse est le CE 45 Ø plat de 45 mm, sans balais, 30 Watt de moteurs Maxon. Le numéro de commande du moteur est 200142. Les paramètres utilisés dans la modélisation sont extraites de la fiche technique de ce moteur avec les paramètres pertinents utilisés correspondant. Ci-dessous dans le tableau 5.1, les principaux paramètres extraits utilisés pour la tâche de modélisation.

Tableau II.1: paramètres du moteur BLDC utilisés

	Maxon moteur	unité	valeur
	Valeur a la tension nominale		
1	tension nominale	v	120
2	Vitesse à charge	rpm	12.0
3	Non Courant de charge	mA	151
4	Vitesse nominale	rpm	2860
5	Couple nominal (couple permanent max)	mNm	59.0
6	Courant nominal (max. courant continu)	A	2.14

Chapitre II : Réglage PID d'un moteur BLDC

7	Couple de décrochage	mNm	25.5
8	Courant de démarrage	A	10.0
9	Efficacité maximale	%	77
	Caractéristiques		
10	La phase de résistance terminale à la phase	Ω	1.20
11	D'inductance de phase terminale à la phase	mH	0.560
12	Couple constant	mNm/A	25.5
13	Vitesse constant	rpm/V	37.4
14	Vitesse / couple Gradient	rpm/mNm	17.6
15	Constante de temps mécanique	Ms	17.1
16	Rotor à inertie	gcm ²	92.5
17	Nombre de phases		3

II.6. Modèle mathématique d'un moteur Maxon BLDC :

A partir de les paramètre de tableaux et l'équation on obtient la fonction de transfert de moteur maxon BLDC

$$G(s) = \frac{\frac{1}{K_e}}{\tau_m \tau_e s^2 + \tau_m s + 1} \quad \text{II (28)}$$

Maintenant il faut calculer $k_e, \tau_m, \tau_e,$

$$\tau_e = \frac{L}{3R} \Rightarrow \tau_e = \frac{0.560 \times 10^{-3}}{3 \times 1.20} \Rightarrow \tau_e = 155.56 \times 10^{-6}$$

$$R = R_\emptyset = 1.2 \Omega ;$$

$$J_{\text{rotor}} = 92.5 \text{ gcm}^2 = 9.25 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2 ;$$

$$k_t = 25.5 \times 10^{-3} \text{Nm/A}$$

$$\tau_m = \frac{j.3.R}{KeKt} \Rightarrow \tau_m = \frac{3R\phi_j}{KeKt} = 0.0171 \text{secs}$$

$$\Rightarrow k_e = \frac{3R\phi_j}{\tau_m k_t} = 0.0763 \text{V}^{-\text{secs}}/\text{rad}$$

Donc G(s) deviant :

$$G(s) = \frac{13.11}{155.56 \times 10^{-6} \times 0.0171 \cdot s^2 + 0.0171 \cdot s + 1}$$

$$G(s) = \frac{13.11}{2.66 \times 10^{-6} \times 0.0171 \cdot s^2 + 0.0171 \cdot s + 1}$$

G(s) c'est la fonction de transfert en boucle ouverte du moteur BLDC en utilisant tous les paramètres Maxon nécessairement suffisantes.

Le composant de base représentés sont la résistance d'induit, R et l'inductance d'induit L; en outre, il y a la fem arrière, e.

De la figure I.6 et figure I.7 ci-dessus, les équations suivantes sont utilisées pour décrire la relation de fonctionnement.

II.7. Comment régler les coefficients d'un PID :

Le réglage des coefficients K_p, K_i et K_d d'un PID peut se faire "à la main" par essais/erreurs. Tout d'abord, il ne sert à rien de vouloir régler les trois coefficients en même temps. Il y a trop de combinaisons possibles et trouver un triplet performant relèverait de l'exploit. Il vaut mieux y aller par étape.

a-Tout d'abord, il faut mettre en place un simple régulateur proportionnel (les coefficients K_i et K_d sont donc nuls). Par essais/erreurs, il faut régler le coefficient K_p afin d'améliorer le temps de réponse du système. C'est-à-dire qu'il faut trouver un K_p qui permette au système de se rapprocher très vite de la consigne tout en faisant attention de garder la stabilité du système. Il ne faut pas que le système réponde très vite tout en oscillant beaucoup.

b-Une fois ce coefficient réglé, on peut passer au coefficient K_i. Celui-là va permettre d'annuler l'erreur finale du système afin que celui-ci respecte exactement la consigne. Il faut donc régler K_i pour avoir une réponse exacte en peu de temps tout en essayant de minimiser les oscillations apportées par l'intégrateur.

c-Enfin, on peut passer au dernier coefficient K_d qui permet de rendre le système plus stable. Son réglage permet donc de diminuer les oscillations.

En général, pour régler ces coefficients, on donne au système une consigne fixe (exemple : pour un moteur : tourne à 3 tours par seconde) et on observe la réponse du système (exemple : l'évolution du nombre de tours par seconde du moteur au cours du temps). le graph résultant possède donc cette forme :

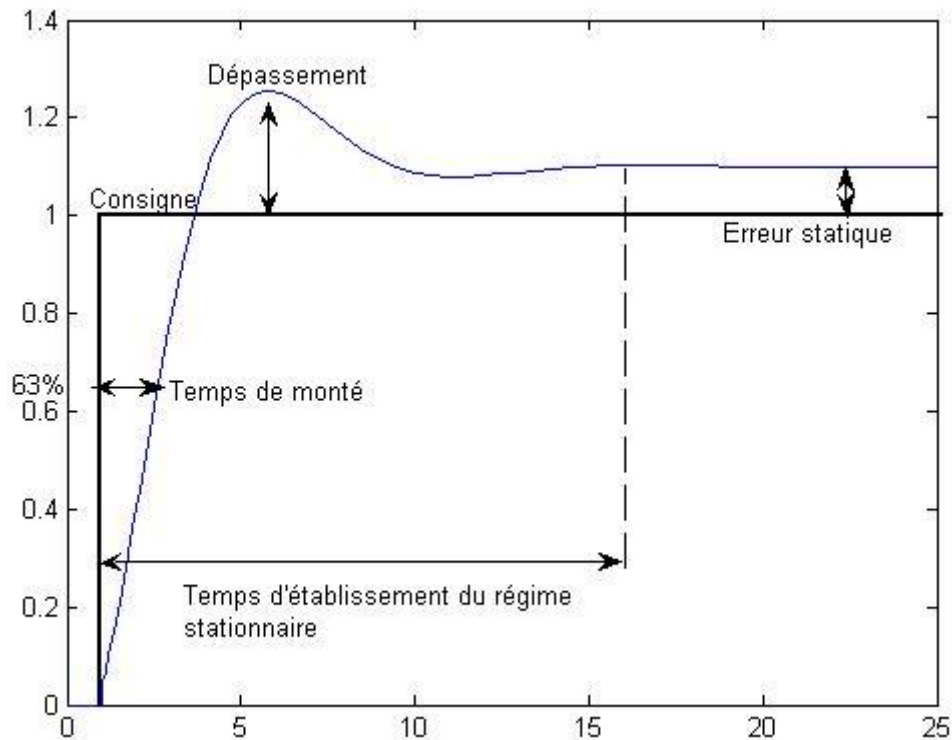


Figure II.5: Réponse d'un système du second ordre

Le PID parfait n'existe pas, tout est une question de compromis. Certaines applications autoriseront un dépassement afin d'améliorer le temps de stabilisation, alors que d'autres ne l'autoriseront pas (exemple, contrôler un stylo pour écrire sur une feuille. S'il y a dépassement dans le PID, le stylo traversera la feuille). Tout dépend donc du cahier des charges. Chacun des coefficients a un rôle à jouer sur la réponse à une consigne

- L'erreur statique, c'est l'erreur finale une fois que le système est stabilisé. Cette erreur doit être nulle. Pour diminuer l'erreur statique, il faut augmenter K_p et K_i .
- Le dépassement, c'est le rapport entre le premier pic et la consigne. Ce dépassement diminue si K_p ou K_i diminuent ou si K_d augmente.

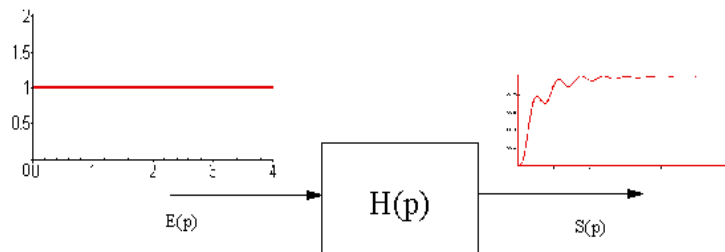
c .Le temps de montée correspond au temps qu'il faut pour arriver ou dépasser à la consigne. Le temps de montée diminue si K_p ou K_i augmentent ou si K_d diminue.

d .Le temps de stabilisation, c'est le temps qu'il faut pour que le signal commette une erreur inférieure à 5% de la consigne. Ce temps de stabilisation diminue quand K_p et K_i augmentent.

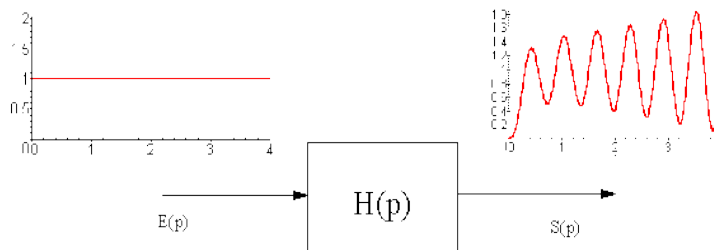
Pour vous donner une petite idée de la valeur des coefficients lors de vos premiers essais, vous pouvez regarder du côté de la méthode Ziegler-Nichols. Cette méthode permet de déterminer K_p , K_i et K_d en fonction de votre cahier des charges.[3]

a.La stabilité :

←précédente↑ Remonter → suivante



Figur II .6 :Réponse d'un système stable



FigurII.7 : Réponse d'un système instable

II.7.1. Condition de stabilité :

On peut écrire une nouvelle condition de stabilité d'un système

Un système est stable si, et seulement si, la fonction de transfert en boucle fermée n'a pas de pôle à partie réelle positive ou nulle.

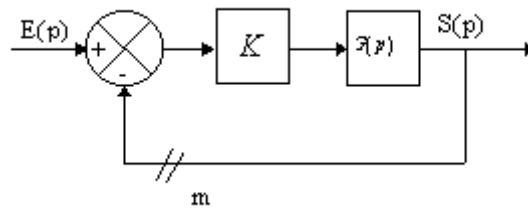
La position des pôles de la fonction de transfert en boucle fermée nous renseigne donc sur la stabilité de la fonction de transfert.

II.7.2. Critères de stabilité :

$$F(p) = \frac{T(p)}{1+T(p)} = \frac{N(p)}{D(p)} = \frac{Am \cdot p^m + A(m-1) + A1 \cdot p^1 + A0}{Bn \cdot p^n + B(n-1) \cdot p^{n-1} + B1 \cdot p^1 + B0} \quad \text{II (29)}$$

II.7.3. Critères graphiques :

Les critères graphiques de stabilité permettent d'étudier la stabilité d'un système à partir de l'étude fréquentielle de la fonction de transfert en boucle ouverte [4]

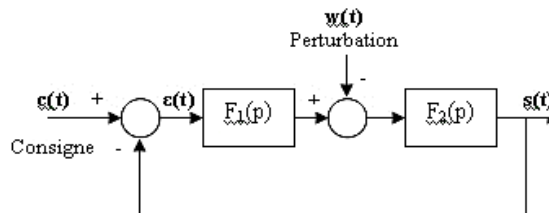


II.7.3.1. la précision :

On a vu que le rôle d'un système asservi est de faire suivre à la sortie $s(t)$ une loi déterminée en général par une consigne $c(t)$. De même, le rôle d'un système de régulation est de maintenir la sortie égale à la consigne malgré des perturbations.

La qualité d'un système asservi est jugée par sa stabilité et sa rapidité, mais aussi par la précision avec laquelle il suit la loi d'entrée.

L'étude de la précision est l'étude de l'erreur $\varepsilon(t)$ entre la sortie $s(t)$ et la consigne $c(t)$. La perturbation est représentée par $w(t)$ et on a supposé que son point d'application apparaît dans la chaîne d'action comme le montre la figure suivante :[5]



FigurII.8: La perturbation est représentée par w(t)

II.7.3.2 La rapidité :

La rapidité d'un système caractérise le temps mis par le système à atteindre la valeur finale pour une entrée en échelon, la résolution des équations différentielles montre que ce n'est théoriquement qu'au bout d'un temps infini que la valeur finale est atteinte. Néanmoins, pour chiffrer en pratique la rapidité du régime transitoire, on a l'habitude de considérer le temps de réponse à 5% ; c'est le temps au bout duquel le système a atteint son régime permanent à 5% près et à partir duquel il ne s'en écarte pas de plus de 5%. De la même manière on peut définir les temps de réponse à 10% et à 2%. La figure 2.5a montre pour trois réponses temporelles : — la courbe 1 est caractéristique d'un système non oscillant, le temps de réponse à 5% de ce système est : $T_{5\%} = T_1$. À partir de l'instant T_1 la réponse est toujours comprise entre les deux bandes à $\pm 5\%$ de la valeur finale. — les courbes 2 et 3 sont caractéristiques d'un système dont la réponse est oscillatoire amortie. Les instants T_2 et T_3 correspondent aux temps de réponse à 5% des réponses 2 et 3. Attention, la mesure s'effectue par rapport à la valeur finale de la sortie et non pas par rapport à l'échelon de l'entrée. [6]

II.8.Principes de régulation P_ PI_ PID :

II.8.1.La régulation Proportionnelle (P) :

Imaginons un meilleur système : une vanne 3 voies mélangeuse qui modulerait la température d'alimentation d'un radiateur pour que celui-ci reçoive la température d'eau juste nécessaire, telle que l'émission de chaleur du radiateur soit justement égale aux déperditions de la pièce. C'est dans ce cas que la température d'ambiance serait stable .

Soit une consigne fixée à 20°C. Supposons au départ une température ambiante inférieure à la consigne, il faut chauffer.

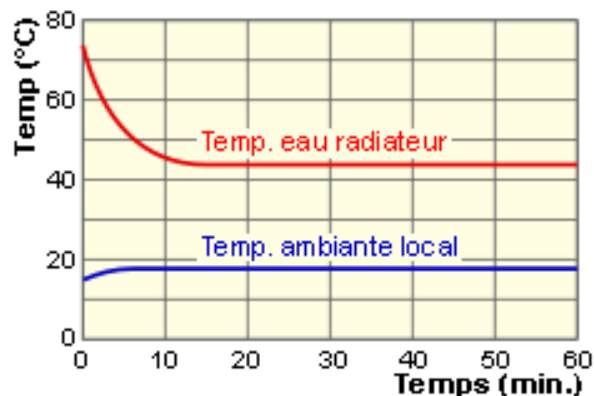


Figure.II .9.: La régulation Proportionnelle (P)

II.8.2. La régulation Proportionnelle – Intégrale (PI) :

En agissant avec une force proportionnelle à l'écart entre l'ambiance et la consigne, un écart subsiste en permanence. On décide dès lors que la force d'intervention aura deux composantes. La première, c'est la force proportionnelle à l'écart, comme dans la première solution ci-dessus. Mais une deuxième force la complète : une force proportionnelle à l'intégration de l'écart dans le temps, c'est-à-dire proportionnelle à la somme de tous les écarts mesurés en permanence.

Si la température se stabilise à 19°C, de par la composante proportionnelle, un écart de 1°C subsiste. Tous les "pas de temps", le régulateur va mesurer cet écart et l'additionner à la valeur d'une case "mémoire". L'ouverture de la vanne sera donnée par la somme des 2 composantes. Tant que la consigne ne sera pas atteinte, la composante Intégrale augmentera, la vanne s'ouvrira un peu plus, jusqu'à atteindre cette fois la consigne.

Une fois celle-ci atteinte, l'écart est nul et la composante intégrale n'est plus modifiée (puisqu'elle additionne une valeur "0"). Si la consigne est dépassée, l'écart sera négatif et la composante intégrale diminuera.

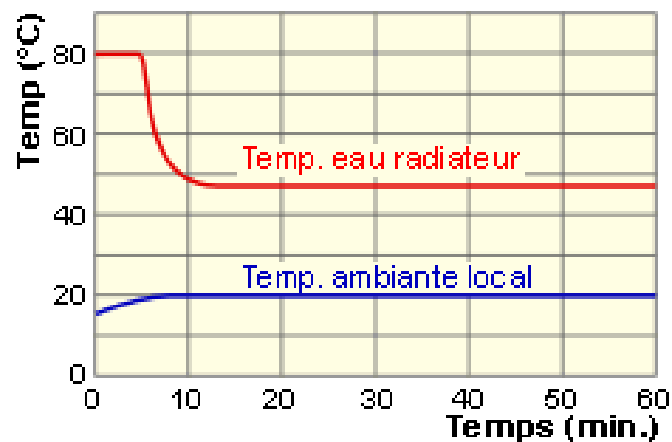


Figure II.10 : La régulation Proportionnelle – Intégrale (PI)

II.8.3. La régulation Proportionnelle – Intégrale – Dérivée (PID) :

Dans les installations de conditionnement d'air, le fluide à réguler peut être de l'air. Or, n'ayant que peu de capacité thermique, l'air verra sa température varier très rapidement en fonction de la position de la vanne de réglage. Il faut donc ajouter une 3ème composante à la grandeur de réglage : une force dont la valeur est d'autant plus grande que l'écart varie

rapidement, c'est-à-dire d'autant plus grande que la "dérivée" de l'écart par rapport au temps est élevée.

La valeur de la "grandeur réglée", la température de l'eau de radiateur (ou ici l'ouverture de la vanne) sera le résultat d'une addition de 3 grandeurs : une composante proportionnelle à l'écart existant (P), une composante proportionnelle à l'intégrale de l'écart dans le temps (I) et une composante proportionnelle à la dérivée de l'écart (D).[7]

II.9.Types de contrôleur PID :

Les contrôleurs PID sont classés en trois types tels que les contrôleurs de type ON / OFF, proportionnels et standard. Ces contrôleurs sont utilisés en fonction du système de contrôle, l'utilisateur peut utiliser le contrôleur pour réguler la méthode.

II.9.1.Contrôle ON / OFF :

Une méthode de contrôle marche-arrêt est le type d'appareil le plus simple utilisé pour le contrôle de la température. La sortie de l'appareil peut être activée désactivée sans état central. Ce contrôleur activera la sortie simplement une fois que la température aura franchi le point fixe. Un contrôleur de limite est un type particulier de contrôleur ON / OFF qui utilise un relais de verrouillage. Ce relais est réinitialisé manuellement et utilisé pour désactiver une méthode une fois qu'une certaine température est atteinte.

II.9.2.Contrôle proportionnel :

Ce type de contrôleur est conçu pour supprimer le cycle qui est connecté via le contrôle ON / OFF. Ce contrôleur PID réduira la puissance normale fournie vers le radiateur une fois que la température atteindra le point fixe. Ce contrôleur a une fonction pour contrôler le réchauffeur afin qu'il ne dépasse pas le point fixe, mais il atteindra le point fixe pour maintenir une température constante.

Cet acte de dosage peut être réalisé en activant et désactivant la sortie pendant de courtes périodes. Ce dosage du temps changera le rapport du temps ON au temps OFF pour contrôler la température.

II.9.3.Contrôleur PID de type standard :

Ce type de contrôleur PID fusionnera le contrôle proportionnel par le biais d'un contrôle intégral et dérivé pour aider automatiquement l'unité à compenser les modifications au sein du système. Ces modifications, intégrales et dérivées sont exprimées en unités temporelles. Ces

contrôleurs sont également référencés par leurs réciproques, RATE & RESET en conséquence. Les termes du PID doivent être ajustés séparément, sinon ajustés à un système spécifique avec l'essai ainsi que l'erreur. Ces contrôleurs offriront le contrôle le plus précis et le plus stable des 3 types de contrôleurs.[8]

II.10 .méthodes de réglage des paramètres du régulateur:

II.10.1.Méthodes empiriques :

ont proposé deux approches expérimentales destinées à fixer rapidement les paramètres des régulateurs P, PI et PID. La première nécessite l'enregistrement de la réponse indicielle du système à régler, alors que la deuxième exige d'amener le système en boucle fermée à sa limite de stabilité.

II.10.2.Méthode en boucle ouverte :

a.Mode opératoire

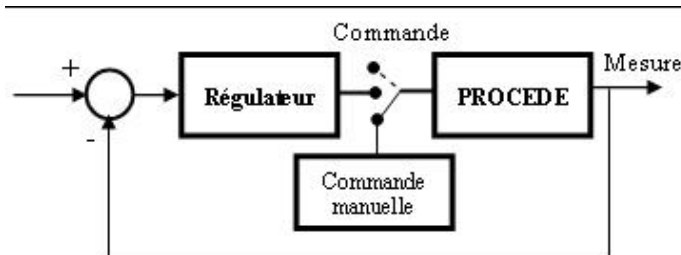


Figure II.11:régulateur est en mode automatique dans état stabilisé

Le régulateur est en mode automatique et la boucle est dans état stabilisé. La sortie du régulateur indique une commande u_0 et la sortie du procédé indique une valeur y_0

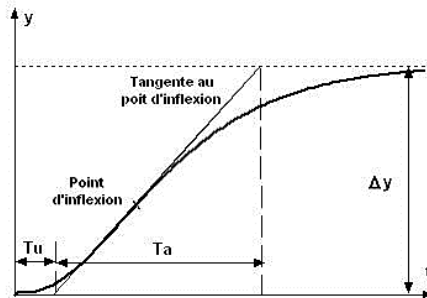
On affiche la valeur u_0 sur le module de la commande manuelle. On met le régulateur en mode manuel c'est-à-dire qu'il est déconnecté de la boucle

On envoie une variation constante du signal de commande sur l'entrée procédé et on enregistre sur une table traçante la variation du signal de mesure à la sortie du procédé. Il s'agit donc de l'enregistrement de la réponse indicielle du procédé seul.

b. Exploitation de la réponse indicielle :

Sur l'enregistrement de la réponse indicielle, on trace le mieux possible la tangente au point d'inflexion Q de la courbe. On mesure ensuite le temps T_u correspondant au point d'intersection entre l'axe des abscisses et la tangente ainsi que le temps T_a « temps de montée

de la tangente ».



FigureII.12 : Exploitation de la réponse indicielle .

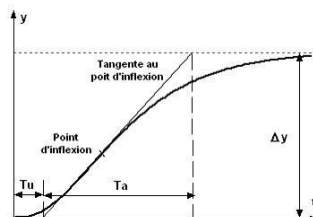
c. Réglage du régulateur PID :

Proposent de calculer les paramètres du régulateur P, PI ou PID à l'aide des recommandations suivantes :

TableauII.2 : Le régulateur la boucle est dans état stabilisé

	Réglage des paramètres		
Régulateur	K_p	T_i	T_d
P : $R(p) = K_p$		*	*
PI : $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$	$\frac{T_a 0.9}{T_u K}$	$3.33 T_u$	*
PID : $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$	$\frac{T_a 1.2}{T_u K}$	$2.0 T_u$	$0.5 T_u$

Une illustration de cette démarche est donnée ci-dessous pour la réponse indicielle d'un procédé à un échelon unité.



FigureII.13 :la réponse indicielle d'un procédé à un échelon unité.

Chapitre II : Réglage PID d'un moteur BLDC

On relève les paramètres suivants :

$$K = 0.5 \quad T_u = 0.8 \quad T_a = 3.7$$

Le tableau de réglage proposé par Ziegler & Nichols est:

Le tableau II.3 : de réglage proposé

Action	Kp	Ti	Td
P	9.25		*
PI	8.33	2.66	*
PID	11	1.6	0.4

Les réponses indicielles en boucle fermée sont données par les figures suivantes avec une consigne égale à 1

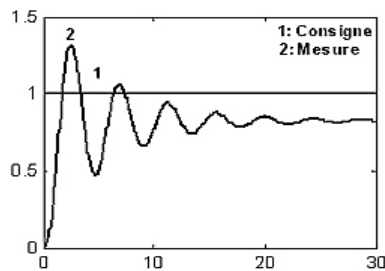


Figure II.14 : Les réponses indicielles en boucle fermée sont données régulation P

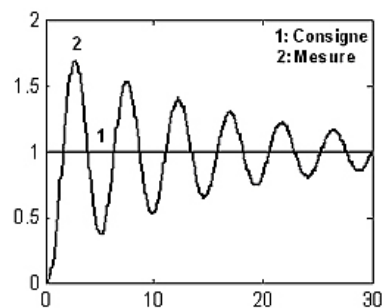


Figure II.15: Les réponses indicielles en boucle fermée sont données régulation PI

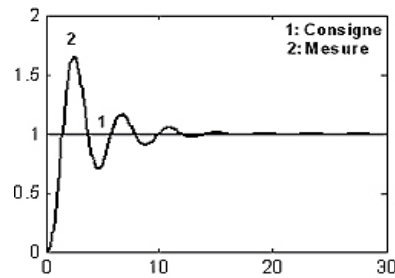
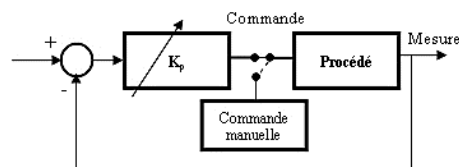


Figure II.16 : Les réponses indicielles en boucle fermée sont données régulation PID

Généralement les gains proportionnels (K_p) proposés par Ziegler&Nichols sont trop élevés et conduisent à un dépassement supérieur à 20%. Il ne faut pas craindre de réduire ces gains d'un facteur 2 pour obtenir une réponse satisfaisante.

II.11. Méthode de Ziegler&Nichols en boucle fermée.

II.11.1.Mode opératoire :



FigureII.17: Le régulateur est en mode automatique avec une faible valeur de K_p .

Le régulateur est en mode automatique avec une faible valeur de K_p . Les actions I et D sont inhibées en mettant $T_i = T_{\text{imax}}$ et $T_d = 0$.

On augmente progressivement le gain K_p du correcteur proportionnel agissant seul jusqu'à l'obtention de la juste oscillation de la boucle (pompage).

II.11.2.Exploitation du résultat de pompage de la boucle :

On relève le gain limite (K_{pc}) conduisant au pompage de la boucle et la période des oscillations T_c correspondant à ce fonctionnement à partir de n'importe quel point d'observation (sortie du régulateur, sortie du procédé..).

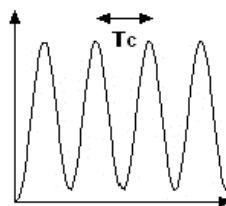


Figure II.18 : conduisant au pompage de la boucle et la période des oscillations T_c .

II.11.3. Réglage du régulateur PID :

proposent de calculer les paramètres du régulateur choisi à l'aide des recommandations suivantes :

	Réglage des paramètr		
Régulateur	Kp	Ti	Td
P : $R(p) = K_p$	0.5 Kpc	*	*
PI : $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$	0.45 Kpc	0.83 Tc	*
$R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$	0.6 Kpc	0.5 Tc	0.125 Tc

P Pour illustrer cette démarche, on considère le même système considéré plus haut et pour lequel on a les résultats du pompage suivants : $K_{pc}=16$ et $T_c = 3.63$ (l'unité du temps n'est pas précisée ici).

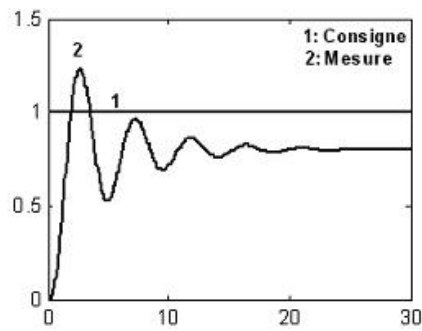
Le tableau II.4 : le réglage proposé

Le tableau de réglage proposé est :

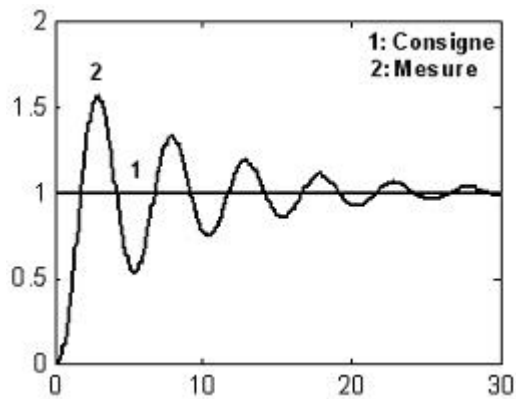
Action	Kp	Ti	Td
P	8	*	*
PI	7.2	3	*
PID	9.6	1.82	0.45

On note au passage que les deux méthodes de Ziegler&Nichols conduisent à des valeurs très proches pour les paramètres du régulateur et par conséquent les performances seront similaires.

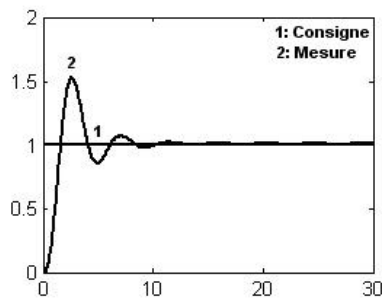
En effet, les réponses indicielles en boucle fermée sont données par les figures suivantes avec une consigne égale à 1.



FugireII.19 : régulation P



FugireII.20 : régulation PI



Fugir II.21 : régulation PID

Les valeurs proposées ont été testées dans de très nombreuses situations. Elles conduisent également à un temps de montée relativement court assorti d'un dépassement élevé

II.11.Méthode empirique :

II.11.1.Méthode de la réglabilité :

Les méthodes précédentes peuvent conduire à des réponses en boucle fermée très oscillante, ce qui est particulièrement gênant lors des changements de consigne.

La présente méthode dite de réglabilité constitue une version adoucie des réglages précédents. Elle est basée sur la réponse indicielle du système (en boucle ouverte : pas de régulateur).

Le mode opératoire et l'exploitation de la réponse indicielle sont ceux de la première méthode. Les paramètres du régulateur sont déterminés en fonction du « coefficient de réglabilité » défini par le rapport :

$$R = \frac{T_u}{T_a}$$

Il s'agit du même rapport qui intervient dans la première méthode de Ziegler&Nichols basée sur la réponse indicielle. Il traduit l'importance du retard T_u par rapport à la constante de temps T_a .

Le tableau suivant fournit des relations empiriques pour calculer les coefficients du régulateur et déterminer son type selon le rapport r :

Tableau II.5 : fournit des relations empiriques pour calculer les coefficients du régulateur et déterminer son type selon le rapport r .

r	K_p	T_i	T_d
0.05 à 0.1	$\frac{5}{K}$	T_a	0
0.1 à 0.2	$\frac{0.5}{K_r}$	T_a	0
0.2 à 0.5	$\frac{0.5 (1+0.5r)}{K_r}$	$T_a (1 + 0.5 r)$	$T_a \frac{0.5r}{0.5r+1}$
Au delà	PID non recommandé		

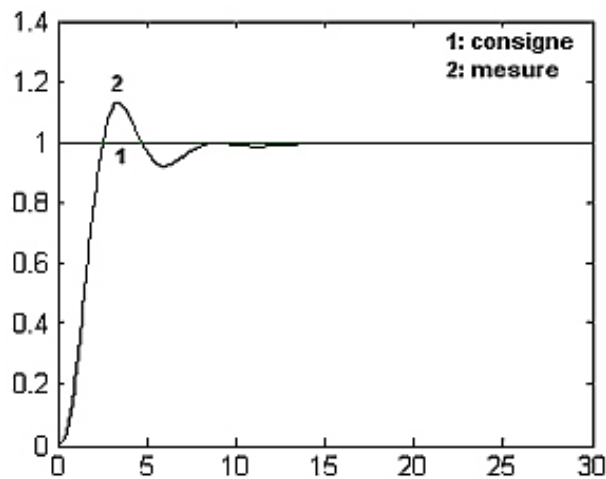
Chapitre II : Réglage PID d'un moteur BLDC

Une illustration de cette méthode est donnée pour l'exemple du système dont la réponse indicielle donnée par la figure 6.27 et pour lequel on a : $K= 0.5$; $r = 0.8/3.7 = 0.216$. On prendra alors un régulateur PID dont les paramètres sont :

TableaII.6 : le régulateur PID dont les paramètres .

r	Kp	Ti	Td
0.216	5.13	4	0.36

Ce qui fournit la réponse indicielle en boucle fermée donnée par la figure ci-dessous. On note que la réponse est plus douce en comparaison avec les autres réglages.[9]



FigureII. 22: la réponse indicielle en boucle fermée

II.12. Applications :

Les applications du contrôleur PID sont les suivantes.

La meilleure application de contrôleur PID est le contrôle de la température où le contrôleur utilise une entrée d'un capteur de température et sa sortie peut être associée à un élément de contrôle comme un ventilateur ou un radiateur. Généralement, ce contrôleur n'est qu'un élément d'un système de contrôle de température. L'ensemble du système doit être examiné et pris en compte lors du choix du bon contrôleur.

II.12.1. Contrôle de la température du four :

Généralement, les fours sont utilisés pour inclure le chauffage et contiennent une énorme quantité de matière première à des températures énormes. Il est courant que le matériau occupé comprenne une masse énorme. Par conséquent, il faut une grande quantité d'inertie et la température du matériau ne se modifie pas rapidement, même en cas d'application de chaleur énorme.

II.12.2 .Contrôleur de charge MPPT :

La caractéristique V-I d'une cellule photovoltaïque dépend principalement de la plage de température ainsi que de l'irradiance. En fonction des conditions météorologiques, le courant et la tension de fonctionnement changeront constamment. Ainsi, il est extrêmement important de suivre la plus haute PowerPoint d'un système photovoltaïque efficace Le contrôleur PID est utilisé pour trouver le MPPT en donnant des points de tension et de courant fixes au contrôleur PID. Une fois les conditions météorologiques modifiées, le tracker maintient le courant et la tension stables.

II.12.3.Le convertisseur d'électronique de puissance :

Nous savons que le convertisseur est une application de l'électronique de puissance, donc un contrôleur PID est principalement utilisé dans les convertisseurs. Chaque fois qu'un convertisseur est associé à un système basé sur le changement au sein de la charge Dans cet état, ce contrôleur générera des signaux PWM pour activer les IGBT de l'onduleur. Sur la base du changement au sein de la charge, le signal de réponse est fourni au contrôleur PID de sorte qu'il produise n erreur. Ces signaux sont générés sur la base du signal de défaut. Dans cet état, nous pouvons obtenir une entrée et une sortie modifiables via un onduleur similaire.[10]

II.13. conclusion :

Le réglage PID implique la détermination de valeurs de gain appropriées pour le processus à contrôler. Ce réglage peut être effectué à la main ou par le biais de méthodes heuristiques de régulation, mais la plupart des régulateurs modernes sont équipés d'une fonction de réglage automatique.

L'intérêt principal de ce type de correcteur est donc d'améliorer la précision, il introduit malheureusement un déphasage de -90° et risque de rendre le système instable.

Chapitre III:

Intelligence Artificielle

III.1.Introduction :

L'optimisation par essaim de particules est une méthode métaheuristique, développée à partir de l'intelligence en groupe qui est basée sur le comportement du déplacement des oiseaux ou des poissons pour la recherche de la nourriture

Lorsque les oiseaux sont à la recherche de nourriture, d'un endroit à l'autre, il y a toujours un oiseau qui peut sentir la nourriture et trouver l'endroit où elle peut être trouvée. Comme qu'il y'a un échange d'informations entre eux à tout moment, ils finiront par affluer vers l'endroit où la nourriture peut être trouvée. Une bonne information est égale à la solution la plus optimiste et la nourriture est égale à la solution la plus optimiste pendant tout le parcours. L'algorithme proposé par Kennedy et Eberhart cherche à simuler ce comportement social basé sur l'analyse de l'environnement et du voisinage et constitue alors une méthode de recherche d'optimum par l'observation des tendances des individus voisins. Chaque individu cherche à optimiser ses chances en suivant une tendance qu'il modère par ses propres vécus. Le modèle qu'ils ont proposé à ensuite été étendu en un algorithme simple et efficace d'optimisation

III.2.Définition :

Particle Swarm Optimization (PSO) : L'optimisation par essaim de particules. Comme les réseaux de neurones artificiels, les algorithmes génétiques et les algorithmes d'essaims particulaires (Particle Swarm Optimization) est une méthode qui s'inspire de la biologie pour résoudre des problèmes d'optimisation. ou les algorithmes de colonies de fourmis, le Particle Swarm Optimization (PSO) est un algorithme bio-inspiré. Il repose sur les principes d'auto-organisation qui permettent à un groupe d'organismes vivants d'agir ensemble de manière complexe, à partir de "règles" simple. [1]

III.3 Principe :

L'optimisation par essaim particulière (OEP), ou Particle Swarm Optimization (PSO) en anglais, est un algorithme évolutionnaire qui utilise une population de solutions candidates pour développer une solution optimale au problème. Il s'inspire à l'origine du monde du vivant, plus précisément du comportement social des animaux évoluant en essaim, tels que les bancs de poissons et les vols groupés d'oiseaux. En effet, on peut observer chez ces animaux des dynamiques de déplacement relativement complexes, alors qu'individuellement chaque

individu a une « intelligence » limitée, et ne dispose que d'une connaissance locale de sa situation dans l'essaim. L'information locale et la mémoire de chaque individu sont utilisées pour décider de son déplacement. Des règles simples, telles que « rester proche des autres individus », « aller dans une même direction » ou « aller à la même vitesse », suffisent pour maintenir la cohésion de l'essaim, et permettent la mise en œuvre de comportements collectifs complexes et adaptatifs.

III. 3.1 .Définition de la méthode :

Dans PSO le comportement social est modélisé par une équation mathématique permettant de guider les particules durant leur processus de déplacement . Le déplacement d'une particule est influencé par trois composantes : la composante d'inertie, la composante cognitive et la composante sociale. Chacune de ces composantes reflète une partie de l'équation, :

- *La composante d'inertie* : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement ;
- *La composante cognitive* : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée ;
- *La composante sociale* : la particule tend à se diriger vers le meilleur site atteint par ses voisins.

Le principe de la méthode d'essaim de particule est résumé par figure (III.1)

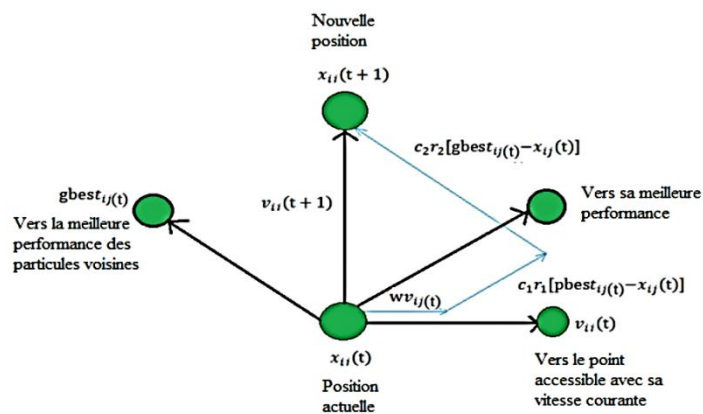


Figure III.1. : Déplacement d'une particule

III.4. Formalisation

Une particule i de l'essaim dans un espace de dimension D est caractérisée, à l'instant t , par :

X : sa position dans l'espace de recherche

V : sa vitesse

P_b : la position de la meilleure solution par laquelle elle est passée

P_g : la position de la meilleure solution connue de tout l'essaim

$f(P_b)$: la valeur de fitness de sa meilleure solution

$f(P_g)$: la valeur de fitness de la meilleure solution connue de tout l'essaim.

Le déplacement de la particule i entre les itérations t et $t+1$ se fait selon les deux équations et [4].

$$v_{(t+1)} = v_{(t)} + c_1 r_1 (P_b(t) - x(t)) + c_2 r_2 (P_g(t) - x(t)) \dots \dots \dots \text{III (1)}$$

$$X_{(t+1)} = X(t) + v_{(t+1)} \dots \dots \dots \text{III(2)}$$

C_1 et C_2 : deux constantes qui représentent les coefficients d'accélération, elles peuvent être non constantes dans certains cas selon le problème d'optimisation posé ;

r_1 et r_2 : deux nombres aléatoires tirés de l'intervalle $[0, 1]$.

III .5. L'algorithm PSO :

Bien que le cœur de l'algorithm PSO soit plutôt simple, vous devrez le comprendre à fond afin de modifier le code de cet article pour répondre à vos propres besoins. PSO est un processus itératif. À chaque itération de la boucle de traitement principale du PSO, la vitesse actuelle de chaque particule est d'abord mise à jour en fonction de la vitesse actuelle de la particule, des informations locales de la particule et des informations globales sur l'essaim. Ensuite, la position de chaque particule est mise à jour en utilisant la nouvelle vitesse de la particule.

Algorithme d'optimisation par essaim particulaire :

1 -Initialiser aléatoirement N particules : position et vitesse.

- 2- *Evaluer* les positions des particules
- 3 -*Pour chaque* particule des i , $\vec{p}best_i = \vec{x}_i$
- 4- *Calculer* $\vec{g}best$ selon (1.3.4)
- 5 -*tente* que le critère d'arrêt n'est pas satisfaisant
- 6 -*Déplacer* les particules selon (1.3.1) et (1.3.2)
- 7- *Evaluer* les positions des particules
- 8-*Mette à jour* $\vec{p}best_i$ et $\vec{g}best$ selon (1.3.3) et (1.3.4)
- 9 -*Fin*

En termes mathématiques, les deux équations de mise à jour sont :

$$v_i(t+1) = w(t) v_i(t) + \phi_1 u_1 (pbest_i(t) - x_i(t)) + \phi_2 u_2 (gbest(t) - x_i(t)) \quad (a) \dots\dots\dots III.3$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \dots\dots\dots III.4$$

Caractéristiques de la particule i à l'itération t :

$x_i(t)$ est la position (un vecteur d -dimensionnel)

$v_i(t)$ est la vitesse ; c'est la taille de pas entre $x_i(t)$ et $x_i(t+1)$

$w(t)$ est le poids d'inertie ; un facteur d'amortissement qui diminue pendant le calcul généralement d'environ 0,9 à environ 0,4.

ϕ_1, ϕ_2 sont les coefficients d'accélération ; généralement entre 0 et 4.

Les symboles u_1 et u_2 dans la formule de vitesse (a) représentent des variables aléatoires avec la distribution $U(0,1)$. La première partie de la formule de la vitesse est appelée « inertie », la seconde « la composante cognitive (personnelle) », la troisième est « la composante sociale (de voisinage) ».

La position de la particule i change selon la formule (III.4) réfléchissez au processus de mise à jour un peu, vous verrez que la nouvelle vitesses l'ancienne vitesse (multipliée par un poids) plus un facteur qui dépend de la meilleure position connue d'une particule, plus un autre facteur qui dépend de la meilleure position connue de toutes les particules de l'essaim.

La nouvelle position d'une particule a tendance à se déplacer vers une meilleure position basée sur la meilleure position connue de la particule et la meilleure position connue de toutes les particules. Le graphique de la figure III.2 montre le mouvement de l'une des particules au cours des huit premières itérations de la démo PSO. La particule commence à $x_0 = 100,0$, $x_1 = 80,4$ et tend à se déplacer vers la solution optimale de $x_0 = 0$, $x_1 = 0$. Le mouvement en spirale est typique de PSO.

III.6. Contrôle des paramètres PSO :

Dans le cas ci-dessus, nous pouvons remarquer qu'il existe deux étapes clés lors de l'application de PSO à des problèmes d'optimisation : la représentation de la solution et la fonction de Fitness.

Il n'y a pas beaucoup de paramètres à régler dans PSO. Voici une liste avec leurs valeurs typiques.

- Le nombre de particules (population) : la taille typique est 20 - 50. En fait, pour la plupart des problèmes, 10 particules sont assez satisfaisantes pour obtenir de bons résultats. Pour certains problèmes difficiles ou spéciaux, cela peut aller jusqu'à 100 ou 200 particules.
- Dimension des particules : elle est déterminée par le problème à optimiser.
- Facteurs d'apprentissage (coefficient d'accélération) : ϕ_1 , ϕ_2 sont généralement égaux à 2. Cependant, d'autres paramètres ont également été utilisés dans différents articles mais généralement ϕ_1 est égal à ϕ_2 et va de $[0,4]$.
- La condition d'arrêt : le nombre maximal d'itérations exécutées par le PSO et l'exigence d'erreur minimale.

III.7. Version globale vs version locale :

Il existe deux versions de PSO. Version globale (utilise g_{best}) et locale (utilise p_{best} et donc l_{best}). La version globale est plus rapide mais pourrait converger vers l'optimum local pour certains problèmes. La version locale est un peu plus lente mais pas facile à piéger dans les optimums locaux. Nous pouvons utiliser la version globale pour obtenir un résultat rapide et utiliser la version locale pour affiner la recherche.

III.8. Variantes de PSO :

Il existe un grand nombre de variantes différentes des PSO, qui habituellement modifie la formule pour le changement de vitesse (par exemple, au lieu de u_1 et u_2 ils utilisent les matrices diagonales U_1 et U_2 , dans d'autres variantes ils n'utilisent pas d'inertie, mais imposent une limite supérieure sur la vitesse des particules, il y a le PSO dit "entièrement informé" une modification populaire utilisant un «coefficient de constriction").

Il existe des variantes de PSO pour l'optimisation contrainte, pour l'optimisation discrète et pour l'optimisation multi-objective.

III.9. Avantages :

- Très simple et facile à programmer
- Trouve le minimum global s'il existe
- PSO présente l'avantage d'être efficace sur une grande variété de problèmes, sans pour autant que l'utilisateur ait à modifier la structure de base de l'algorithme

III .10. Inconvénients :

- Il n'y a pas de théorie générale de la convergence applicable aux problèmes pratiques et multidimensionnels.
- Pour obtenir des résultats satisfaisants, il est parfois nécessaire de régler les paramètres d'entrée et d'expérimenter différentes versions de la méthode PSO.
- Certaines versions de la méthode PSO dépendent du choix du système de coordonnées des particules. [2]

III.11. Comparaisons entre l'algorithme génétique et PSO :

La plupart des techniques évolutives ont la procédure suivante :

1. Génération aléatoire d'une population initiale
2. Calcul d'une valeur de fitness pour chaque sujet. Cela dépendra directement de la distance à l'optimum.
3. Reproduction de la population basée sur les valeurs de fitness.

4. Si les exigences sont satisfaites, arrêtez. Sinon, retournez à 2.

De la procédure, nous pouvons remarquer que PSO partage de nombreux points communs avec AG. Les deux algorithmes commencent avec un groupe d'une population générée aléatoirement, les deux ont des valeurs de fitness pour évaluer la population. Les deux mettent à jour la population et recherchent l'optimum avec des techniques aléatoires.

Les deux systèmes ne garantissent pas le succès. Cependant, PSO n'a pas d'opérateurs génétiques comme le croisement et la mutation. Les particules se mettent à jour avec la vitesse interne. Ils ont aussi de la mémoire, ce qui est important pour l'algorithme.

Comparé aux algorithmes génétiques (GA), le mécanisme de partage d'informations dans PSO est significativement différent. Dans les GA, les chromosomes partagent des informations entre eux.

Ainsi, toute la population se déplace comme un groupe vers une zone optimale. Dans PSO, seul gBest (ou lBest) donne l'information aux autres. C'est un mécanisme de partage d'information à sens unique.

L'évolution ne cherche que la meilleure solution. Par rapport à GA, toutes les particules ont tendance à converger rapidement vers la meilleure solution, même dans la version locale dans la plupart des cas.[3]

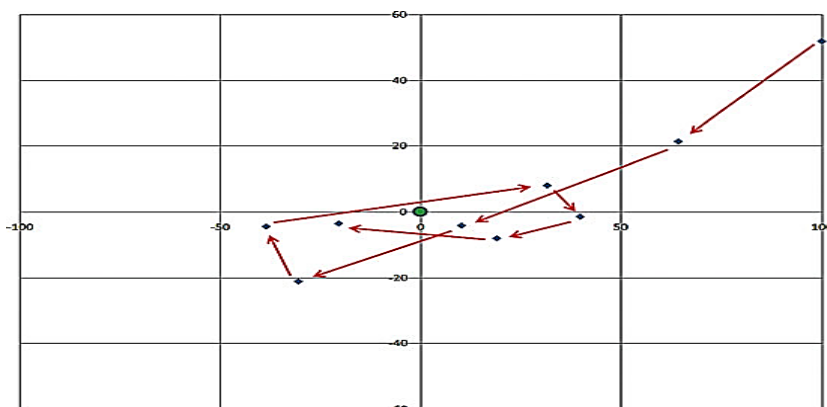


Figure III.2 : Mouvement des particules vers une solution optimale

III.12. Principe de base :

PSO est une méta-heuristique de l'intelligence de l'essaim inspirée du comportement de groupe des animaux, par exemple les troupes d'oiseaux. De même que pour les algorithmes génétiques, il s'agit d'une méthode basée sur la population, c'est-à-dire qu'elle représente l'état

de l'algorithme par une population, modifiée itérativement jusqu'à ce qu'un critère de terminaison soit satisfait. Dans les algorithmes PSO, la population $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ des solutions réalisables est souvent appelée un essaim. Les solutions réalisables p_1, \dots, p_n sont appelées particules. La méthode PSO considère l'ensemble R^d de solutions comme un « espace » où les particules « bougent ». Pour résoudre des problèmes pratiques, le nombre de particules est habituellement choisi entre 10 et 50. [4]

III.13. Configuration de la méthode :

Il existe plusieurs paramètres qui interviennent et influencent la performance de la méthode PSO. Le choix de ces paramètres reste critique et dépend généralement du problème mais a une grande influence sur la convergence de l'algorithme. Parmi les paramètres qui rentrent en ligne de compte citons :

- La dimension du problème
- *Le nombre des particules*
- *La disposition des particules*
- *Les coefficients de confiance*
- *La vitesse maximale*
- *Le facteur d'inertie*
- *Le facteur de construction*
- *La notion du voisinage*
- *Le critère d'arrêt*

Nous allons par la suite nous intéresser plus particulièrement aux quatre derniers paramètres.

III .14. Le facteur de constriction :

Le facteur de constriction k a été proposé dans le but d'améliorer la convergence de l'algorithme, de prévenir l'explosion de l'essaim et de contrôler la vitesse des particules afin d'échapper au problème de la divergence de l'essaim qui cause la convergence prématurée de l'algorithme. La formule.

$$V_{(t+1)} = kv_{(t)} + C1r1(pb_{(t)}) + C2r2(pg_{(t)} - x(t)) \dots\dots\dots III.5$$

$$K = \frac{2}{|2 - \sigma - \sqrt{\sigma^2 - 4\sigma}|} \quad \text{ET : } \sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \geq 4.0 \dots\dots\dots III.6$$

$$\sigma = C2r2$$

Selon d'autres études menées dans certains cas, le coefficient de constriction seul ne permet pas la convergence vers la solution optimale pour un nombre d'itérations donné. Pour résoudre ce problème, il peut être intéressant de fixer $V_{max} = X_{max}$ en plus du coefficient de constriction, ce qui permet d'améliorer les performances globales de l'algorithme de la vitesse [5]

III.15. La notion du voisinage :

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Le voisinage d'une particule représente avec qui chacune des particules va pouvoir communiquer. Il existe deux principaux types de voisinages Ce type de voisinage représente la proximité géographique, c'est la notion la plus naturelle du voisinage pour les essaims particulaires, les voisins sont considérés comme les particules les plus proches.

Cependant, à chaque itération, les nouveaux voisins doivent être recalculés à partir d'une distance prédéfinie dans l'espace de recherche.

C'est donc un voisinage dynamique qu'il convient de définir et d'actualiser à chaque itération. C'est ce type de voisinage qui a été retenu dans notre approche. Le voisinage social ce type de voisinage représente la proximité sociale, les voisinages ne sont plus l'expression de la distance mais l'expression de l'échange d'informations, les voisins sont définis à l'initialisation et ne sont pas modifiés par la suite.

Une fois le réseau des connexions sociales établi, il n'y a pas besoin de le réactualiser. C'est donc un voisinage statique. La modification de la formule de vitesse (1) est réalisée en utilisant un nouveau terme dans l'équation. Il a été introduit par [6], son illustration paraît dans la figure III.3 [7] :

- n où : P_n : la meilleure position du voisinage ;
- C_3 : le coefficient d'accélération, appelé aussi paramètre social ;
- r_3 : nombre aléatoire tiré de l'intervalle [0,1].

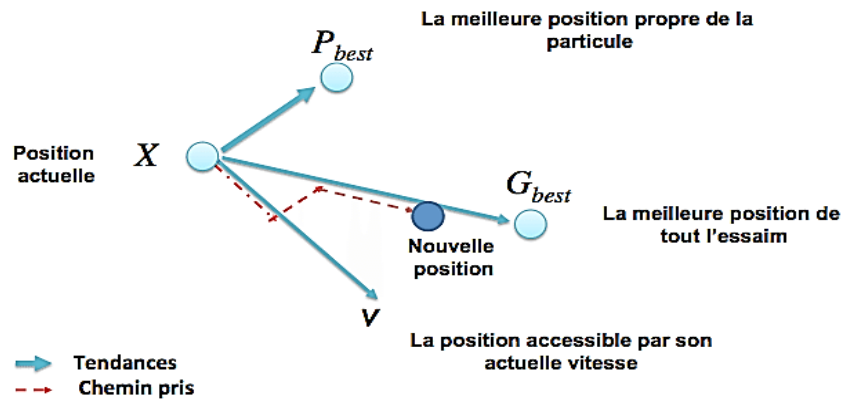


Figure III.3: Déplacement d'une particule

Le réseau de rapports entre toutes les particules est connu sous le nom de "la topologie de l'essaim". Le choix d'une topologie du voisinage a une importance cruciale, plusieurs études de topologies ont été menées à ce propos [MEN 04], différentes combinaisons ont été proposées dont les plus utilisées sont susmentionnées ci-dessous [7] :

a. Topologie en anneau :

Chaque particule est reliée à n particules, (généralement $n = 3$), chaque particule tend à se diriger vers la meilleure dans son voisinage locale.

Topologie en rayon : la communication entre les particules est faite via une particule centrale, seule cette dernière ajuste sa position vers la meilleure, s'il y a amélioration de sa position, l'information est alors propagée à ses congénères.

b. Topologie en étoile :

Chaque particule est reliée à toutes les autres, le réseau social est complet. L'optimum du voisinage est l'optimum global. C'est le réseau de communication "anneau" qui a été utilisé comme topologie pour notre modèle

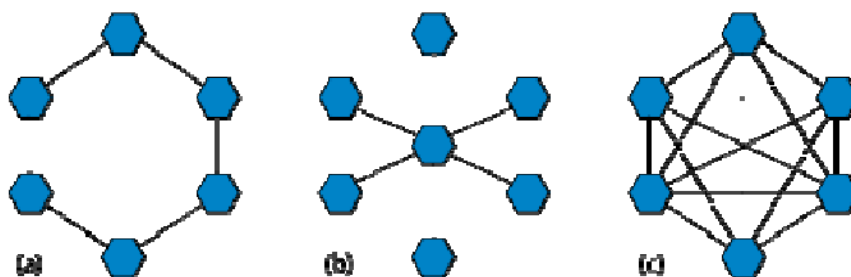
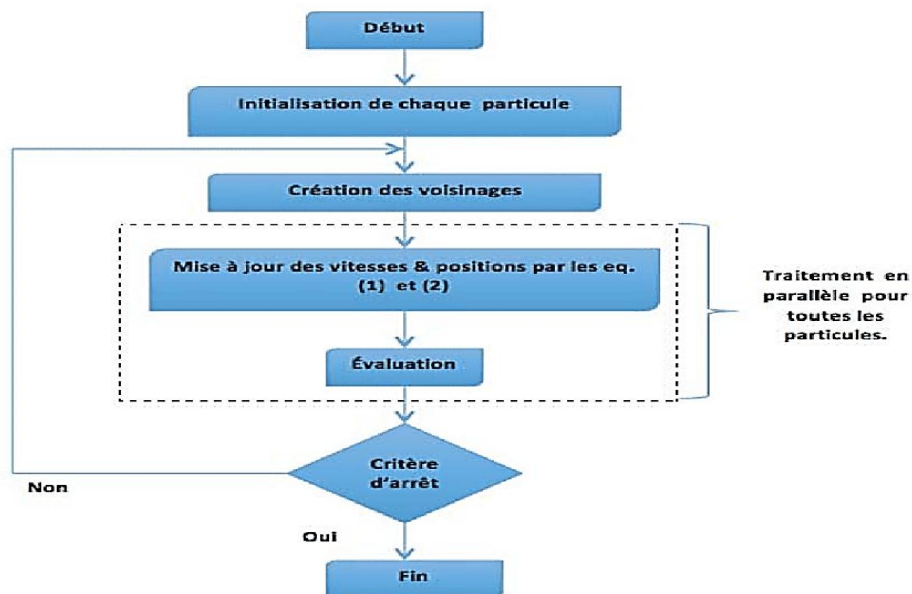


Figure III.4 : Différents types de topologies pour un essaim de particules

III.16. Proposition d'une approche de parallélisations de la méthode PSO :

Dans l'implémentation de l'algorithme classique de la méthode PSO, tous les calculs se font d'une manière séquentielle, c'est de là que vient l'idée de la parallélisations pour améliorer les performances de l'algorithme. Plusieurs scénarios s'imposent [5] [6], celui que nous avons adopté pour notre implémentation, permet de paralléliser les calculs en lançant un ensemble de threads sur des lots de particules se positionnant dans des voisinages différents. Les threads, sorte de processus, s'exécutent en parallèle pour chaque itération de l'algorithme. Chaque thread exécute le traitement d'une itération de son lot de particules, et attend que les autres threads finissent leurs traitements pour mettre à jour les voisinages et commencer une nouvelle itération.

Ce scénario se répète jusqu'à l'obtention d'une solution satisfaisante : "atteinte du critère d'arrêt". Nos voisinages ont la forme de sphères, qui sont mises à jour à chaque itération : leurs centres évoluent et la valeur du rayon change suivant des conditions relatives au nombre de voisinages. La particularité de l'approche consiste à profiter de la robustesse de l'algorithme PSO dans le choix du bon paramétrage, plus particulièrement la notion de voisinage dynamique, dans le but de créer la diversité dans la recherche et dans le partage de l'information pour une convergence plus optimale. Aussi bien le calcul parallèle qui permet d'accélérer les calculs afin d'avoir une solution optimale dans un temps de calcul optimisé. La figure 3.1 est une représentation de l'approche proposée.



FigureIII.5 : Représentation de l'approche implémentée

III .17.Extension et modification

Maintenant que vous avez vu comment écrire un PSO de base, discutons de la façon dont vous pouvez étendre et modifier le code que j'ai présenté. L'exemple de problème que j'ai résolu est artificiel dans le sens où il n'est pas nécessaire d'utiliser PSO pour trouver une solution approximative car le problème peut être résolu exactement. Là où PSO est vraiment utile, c'est lorsque le problème numérique à l'étude est extrêmement difficile ou impossible à résoudre à l'aide de techniques standard.

Considérez le problème suivant. Vous souhaitez prédire le score d'un match de football (américain) entre les équipes A et B. Vous disposez de données historiques constituées des résultats précédents de A et B contre d'autres équipes. Vous modélisez mathématiquement le classement historique d'une équipe X de telle sorte que si l'équipe gagne un match, le classement de l'équipe augmente d'une valeur fixe (disons 16 points) plus une autre valeur qui dépend de la différence entre les classements des équipes (disons 0,04 fois la différence si la cote de l'équipe X est inférieure à celle de l'équipe adverse). De plus, vous modélisez la marge de victoire prédite d'une équipe en fonction de la différence entre les notes de l'équipe ;

Par exemple, si l'équipe X est notée 1 720 et l'équipe Y est notée 1 620, votre modèle prédit une marge de victoire pour X de 3,5 points. En bref, vous disposez d'une grande quantité de données et devez déterminer plusieurs valeurs numériques (telles que 16 et 0,04) qui minimisent vos erreurs de prédiction. Cette estimation de paramètres basée sur les données est le type de problème qui concerne PSO.

PSO n'est qu'une des nombreuses techniques d'IA basées sur le comportement des systèmes naturels. La technique la plus proche des algorithmes PSO est peut-être celle des algorithmes génétiques (AG). Les deux techniques sont bien adaptées aux problèmes numériques difficiles. Les AG ont été largement étudiées depuis des décennies. Un avantage des PSO par rapport aux GA est que les algorithmes PSO sont beaucoup plus simples à mettre en œuvre que les GA. Il n'est pas clair pour le moment si les OSP sont plus ou moins efficaces que les GA, ou à peu près égales à eu

La version de PSO que j'ai présentée ici peut être modifiée de plusieurs façons. Une modification particulièrement intéressante consiste à utiliser plusieurs sous-essaims de particules plutôt qu'un essaim global. Avec une telle conception, chaque particule appartient à un sous-essaim et la nouvelle vitesse d'une particule pourrait dépendre de quatre termes plutôt

que de trois : l'ancienne vitesse, la position la plus connue de la particule, la position la plus connue de toute particule dans le sous-ensemble. essaim, et la meilleure position connue de toute particule. L'idée de cette conception de sous-essaim est de réduire les risques que l'algorithme PSO reste bloqué dans une solution non optimale. A ma connaissance, une telle conception n'a pas encore fait l'objet d'études approfondies.[5]

III.18. Conclusion

. La méthode PSO est une métaheuristique stochastique à base de population de solutions. Elle recherche des solutions optimales basées sur les notions de coopération et de voisinages

La méthode d'optimisation approchée PSO, appliquée au problème de régulation des moteurs a courant continu a donner de bon résultats satisfaisantes.

De nombreuses variantes et améliorations du modèle PSO classique ont été proposées en adaptant des paramètres dans l'algorithme mais une bonne accélération de l'algorithme s'avère nécessaire avec une approche de parallélisations.

Chapitre IV:

Simulation et Applications

IV.1. Introduction :

La simulation va nous permettre d'étudier les résultats et les performances d'un moteur BLDC , sans réaliser l'expérience et le testé sur MATLAB/SIMULINK.

Les moteurs à courant continu sans balais BLDC sont particulièrement utilisés pour une variété de demandes industrielles comme l'entraînement de traction et la demande de véhicule électrique et le système de ventilation de chauffage en raison de sa meilleure organisation, de son couple élevé et de sa faible quantité. Le contrôle de positionnement est fréquemment requis dans le moteur BLDC. En raison des mérites excessifs de ce moteur, le modèle est complété afin d'améliorer les performances du système. l'application, une variété de schémas de contrôle et la modélisation du moteur BLDC dans l'environnement MATLAB/SIMULINK.

Dans ce chapitre ,nous utilisons les essais particuliers pour l'optimisation des paramètres d'un régulateur PID ,appliqué à la commande de quelques systèmes dynamiques.

Nous allons simuler le modèle, et discuter les différents résultats qu'on a obtenus avec les différentes valeurs.

Les résultats sont présentées à l'aide de l'outil Simulink ou la commande plot dans un script Matlab.

IV.2- Outils de développement :

IV.2.1- MATLAB :

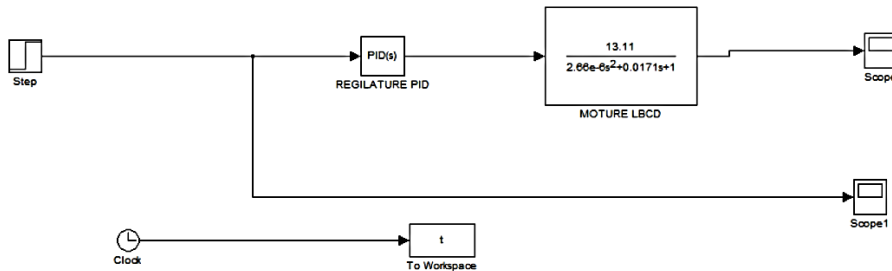
Le logiciel MATLAB est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique. Le logiciel fonctionne sous Windows et sous Linux. Son interface de manipulation HMI utilise les ressources usuelles du multi-fenêtrage. Son apprentissage n'exige que la connaissance de quelques principes de base à partir desquels l'utilisation des fonctions évoluées est très intuitive grâce à l'aide intégrée aux fonctions.

IV.2.2- SIMULINK :

SIMULINK est une extension de MATLAB qui permet aux ingénieurs de construire des modèles dynamiques rapidement et avec une haute précision en utilisant les notations des diagrammes de bloc. En utilisant SIMULINK, il est facile de modéliser des systèmes

complexes non linéaires. Un modèle SIMULINK peut inclure des composants des systèmes continus, hybrides et discrets, ce modèle peut produire des animations et des graphes qui montrent le progrès de la simulation.

III.3. Analyse du moteur maxon en boucle ouvert a l'aide de sumilink :



FigureIV.1:schéma simulink du moteur BLDC en boucle ouvert

IV.3.1. Analyse du moteur BLDC avec un correcteur PID en boucle fermé l'aide de sumilink

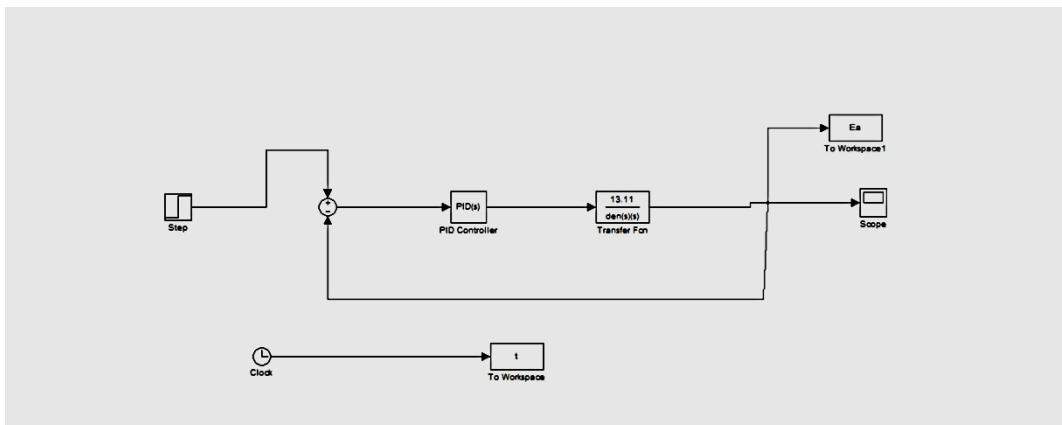


Figure IV.2 : Schéma sumilink du moteur BLDC avec un contrôleur PID en boucle fermé

IV.4. INDICES DE PERFORMANCE D'UN PID

Le régulateur PID est un système linéaire du deuxième ordre à une entrée et une sortie, dont la fonction de transfert dans le domaine de Laplace.

Afin de définir la qualité de la régulation, on se base en général sur l'analyse de la réponse indicielle de l'ensemble régulateur PID plus système.

Différents indices de performance peuvent être évalués à partir de cette réponse temporelle. De façon générale, on cherche à quantifier la différence entre la réponse réelle du système asservi et

une réponse idéale qui serait un échelon. Les indices couramment utilisés sont définis de la façon suivante:

IV.5. pourcentage de dépassement «D» :

Avant de se stabiliser, la sortie du système passe par un régime transitoire oscillant de part et d'autre de la valeur finale. On définit le pourcentage de dépassement par:

$$d\% = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y_{\max}} \times 100\% \quad \text{IV. 1}$$

IV.6. intégrales faisant intervenir l'erreur :

Pour évaluer la différence existant entre la réponse réelle et une réponse idéale de type échelon, on peut calculer l'intégrale d'un terme positif faisant intervenir l'erreur. Un indice calculé de cette façon prend une valeur d'autant plus élevée que la réponse réelle est éloignée de la réponse idéale. En pratique, l'intégrale est calculée sur un intervalle [4] suffisamment étendu pour contenir tout le régime transitoire.

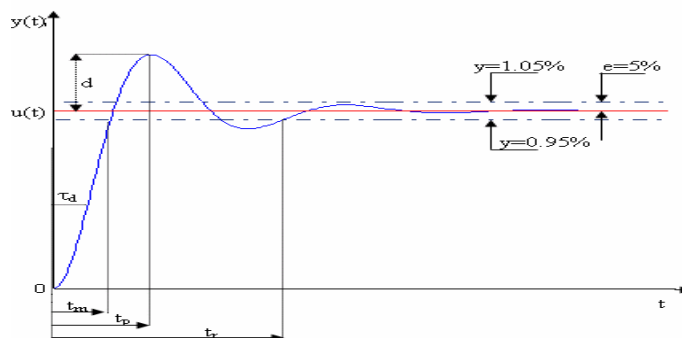


Figure IV.3: Intégrale faisant intervenir l'erreur

Chapitre IV : Simulation et Applications

L'erreur $\varepsilon(t)=y(t)-u(t)$; où $y(t)$: signal de sortie, $u(t)$: signal d'entrée

L'intégrale de la valeur absolue de l'erreur $\varepsilon(t)$ est donnée par :

$$IAE = \int_0^{\tau} |\varepsilon(t)| . dt \quad (IV.2)$$

Cet indice exprime la surface générée par la différence entre la valeur de consigne et la valeur réelle.

On utilise également l'intégrale de l'erreur quadratique, définie par :

$$ISE = \int_0^{\tau} \varepsilon^2(t) . dt \quad (IV.3)$$

Pour pénaliser les systèmes dont le régime transitoire dure trop longtemps, on utilise également l'intégrale du produit de l'erreur par le temps, donnée par :

$$ITAE = \int_0^{\tau} t . \varepsilon(t) . dt \quad (IV.4)$$

Et également l'intégrale du produit de l'erreur quadratique par le temps, donnée par :

$$ISTE = \int_0^{\tau} t . \varepsilon^2(t) . dt \quad (IV.5)$$

Dans [38], on peut trouver une liste plus complète de mesures de performances d'un système asservi. Dans notre étude, nous nous sommes limités aux quatre dernier indices de performance (IAE, ISE, ITAE et ISTE) définis ci-dessus.

Pour notre étude nous avons choisi de minimiser l'erreur $\varepsilon(t)$ entre la vitesse de référence et la vitesse réelle de la machine selon les critères définis par les équations (IV.2), (IV.3), (IV.4), (IV.5).

La fonction à optimiser est donnée par l'équation :

$$\varepsilon(t) = \Omega_{ref} - \Omega \quad (IV.6)$$

Chapitre IV : Simulation et Applications

Pour la mise en œuvre informatique nous avons exploité les équations (III.1) et (III.2) pour le développement d'un programme sous MATLAB qu'on peut le schématiser sous l'organigramme présenté par la figure (IV.2), avec l'intégration des PSO dans le schéma fonctionnel de la commande vectorielle figure (IV.3).

IV.7. Optimisation des paramètres du régulateur PID par PSO:

L'intention de cet effort est de concevoir un contrôleur de vitesse d'un moteur BLDC en sélectionnant des paramètres PID à l'aide d'une méthode d'optimisation bio-inspirée, c'est-à-dire l'optimisation de l'essaim de particules (PSO). Ici, le modèle d'un moteur BLDC est mesuré comme un système de second ordre pour la technique de contrôle de la tension d'induit du contrôle de la vitesse.

La figure IV.4. Illustre le schéma de cette approche d'optimisation. Sur ce schéma on retrouve la boucle de régulation classique au quelle s'ajoute une couche supérieure à base d'un PSO. Le rôle de ce dernier est de fournir les paramètres optimaux du régulateur PID pour améliorer les performances de la boucle de régulation.

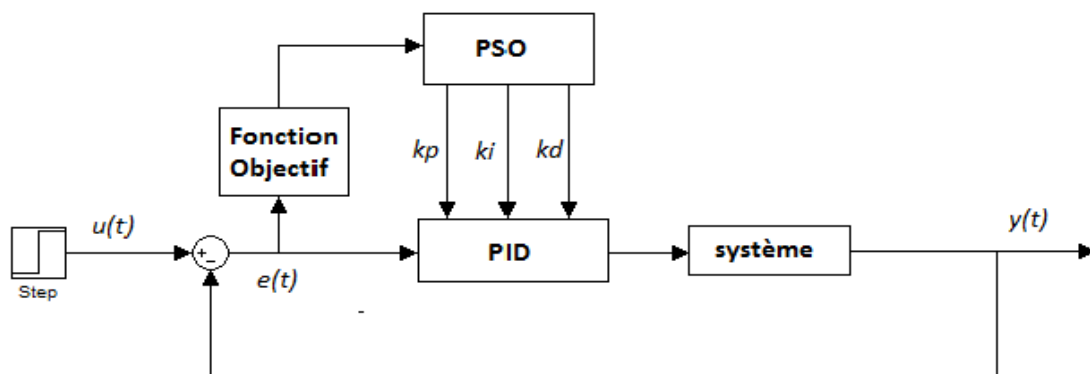


Figure IV.4: Approche d'optimisation du PID par l'algorithme PSO.

Pour réaliser de tel système d'optimisation, deux majeurs problèmes doivent être résolus:

-Définition d'un codage des paramètres du PID.

-Définition d'une fonction objective.

IV.8. Codage des paramètres du régulateur PID

Le codage concerne la manière par laquelle les trois paramètres $\{K_p, K_i \text{ et } K_d\}$ du régulateur PID sont représentés sous forme d'une particule capable d'évoluer durant le processus d'optimisation.

IV.9. Essaim de particules Algorithme d'optimisation (PSO) :

IV.9.1. Principe de l'algorithme PSO :

L'algorithme du PSO proposé par Eberhart et Kennedy en 1995 est originaire et imite le comportement de prédation de la coopération et de la concurrence des flocs d'oiseaux. L'algorithme du PSO recherche l'optimale solution par aléatoire et itération, dont les positions sont suivies de deux valeurs extrêmes dans chaque itération.

Le first si la solution optimale best trouvée par la particule elle-même et l'autre est la solution optimale Meilleur trouvée dans l'ensemble population, également connue sous le nom d'extrême mondial. Supposons qu'une population constituée de particules une certaine vitesse dans un espace dimensionnel. Propriétés de la particule au temps.

IV.10. Méthode de réglage des paramètres de PID :

Contrôleur basé sur l'algorithme PSO dans le domaine industriel moderne, le contrôleur PID est largement utilisé en raison de ses avantages, tels que la structure simple, bon robustesse et grande fiabilité. du traditionnel PID paramètres

Les méthodes d'optimisation d'être incluent l'essai d'expérience et la méthode de l'erreur, la méthode proportionnelle critique, la méthode de la courbe d'atténuation et la caractéristique dynamique méthode.

Les méthodes d'optimisation traditionnelles ne sont pas seulement compliqué dans le processus mais aussi enclin à produire de grandes débordement.

L'algorithme PSO est largement utilisé dans le paramètre conception de contrôleurs PID en raison de son idée simple, facile et moins de paramètres à ajuster .

Le principe de base du contrôleur PID standard est que la quantité de contrôle est formée selon le combinaison linéaire de la proportionnelle-intégrale dérivée du écart entre la valeur définie et la valeur réelle. la grandeur de contrôle est utilisée pour contrôler l'objet de contrôle. La loi du contrôleur PID continu est décrite comme ici :

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt}) \dots \dots \dots (IV.4)$$

Où est le coefficient proportionnel, est l'intégral coefficient, et est le coefficient différentiel.

Le contrôleur PID numérique est généralement utilisé pour améliorer la fiabilité du système de commande de moteur moderne. le contrôleur PID discret, également appelé PID positionnel contrôleur, peut être décrit comme

$$U(k) = [e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} (e(k) - e(k-1))] \dots \dots \dots (IV.5)$$

où est le coefficient intégral, est le différentiel coefficient, est la période d'échantillonnage, et (K) et (K - 1) sont les valeurs d'écart au et (K-1)ième temps d'échantillonnage. Le type le plus courant du moteur CC sans balais BLDC le système de contrôle est la forme proportionnelle-intégrale, car l'élément différentiel peut réduire efficacement le dépassement et réduire l'écart dynamique maximal, mais il est également facile rend le système affecté par des interférences à haute fréquence à en même temps. L'étude principale de ce document est la forme de combinaison de proportion-intégrale aussi. Dans certains moteurs contrôleur numérique, le contrôleur PID montré est facile pour générer des erreurs importantes et des performances dynamiques médiocres, le contrôleur PID incrémentiel peut être utilisé pour surmonter, ces lacunes. Selon le principe récursif, le contrôleur PID incrémentiel peut être exprimé comme suit :

$$\Delta u(k) = k_p(e(k) - e(k-1)) + K_i e(k) + K_D (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \dots (IV.6)$$

Le contrôleur PID atteint les performances spécifiées du système en ajustant trois paramètres, et du point de vue de l'optimisation, il s'agit de l'optimal solution dans l'espace variable de trois paramètres, et pour que le système atteigne l'état optimal. structure du contrôleur PSO-PID proposé est illustré à la figure (IV.3). le problème clé de l'optimisation des paramètres PID la méthode de réglage basée sur l'algorithme PSO est la façon de résoudre le codage des paramètres et la sélection de la fonction fitness.

D'abord on suppose qu'il y a une population et qu'il y a un total de particules dans la population ; le vecteur position de chaque la particule se compose de trois paramètres de contrôle, et la dimension du vecteur position des particules est =3, Dix la population peut être représentée par une matrice de $n \times 3$

$$P(S,D) = \begin{matrix} K_p^1 & K_p^1 & K_p^1 \\ K_p^2 & K_p^2 & K_p^2 \\ K_p^3 & K_p^3 & K_p^3 \end{matrix}$$

En raison de la diversité du système, la gamme de chaque est formulé en fonction des besoins et des besoins réels les conditions; la population initiale est également générée aléatoirement dans la plage de valeurs. Afin d'obtenir la dynamique caractéristique d'un processus transitoire satisfaisant, le temps intégré L'indice de performance de la valeur absolue d'erreur est utilisé comme

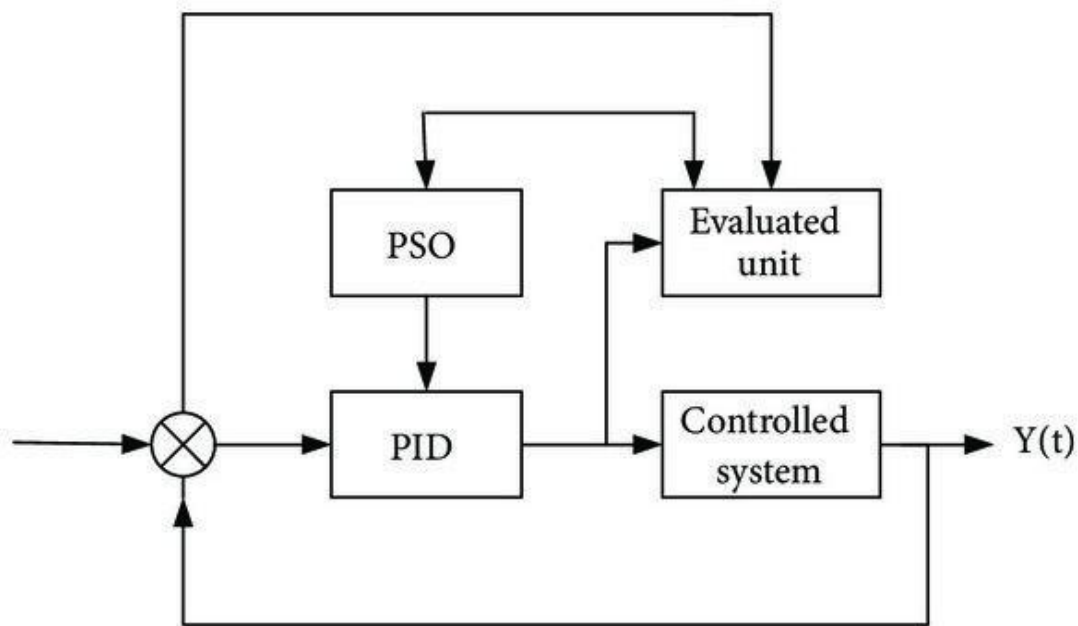


Figure IV.5 : structure du contrôleur PSO-PID proposé

IV.11. Expérience de simulation et analyse des résultats :

IV.1. Paramètres :

Initialisation de l'algorithme PSO. Paramètres T_e de PSO sont répertoriés . Dans les expériences de simulation, différentes stratégies d'ajustement du poids d'inertie sont adoptées pour vérifier l'effet de l'algorithme PSO pour le contrôleur PID du moteur CC sans balais BLDC.

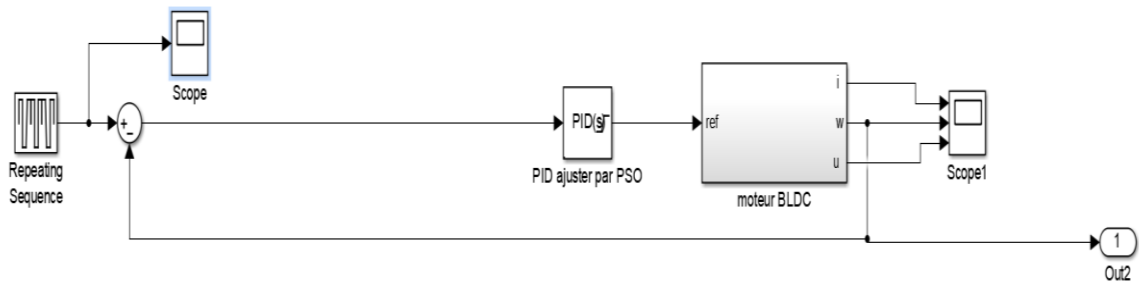


Figure IV.6 : montre la structure de la particule du PSO utilisé

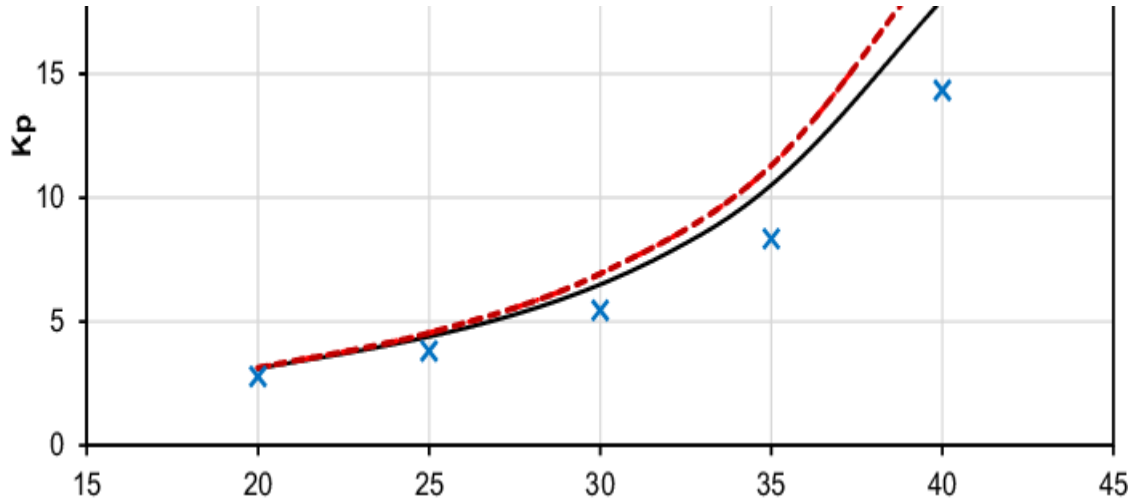


Figure IV.7:Variation de K p avec l'angle de frottement

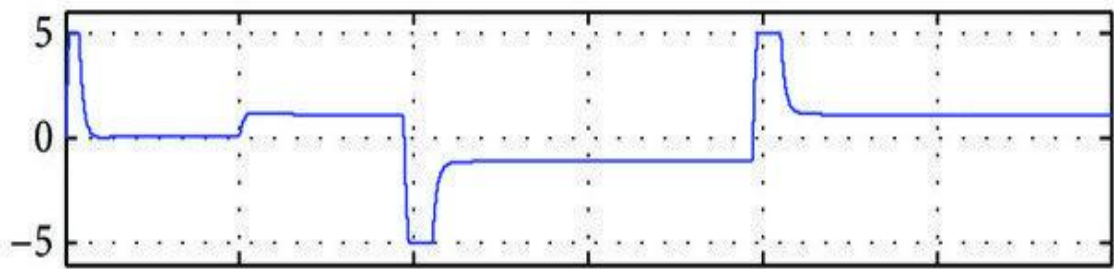


Figure IV.8:Forme d'onde de courant de sortie du moteur électrique.

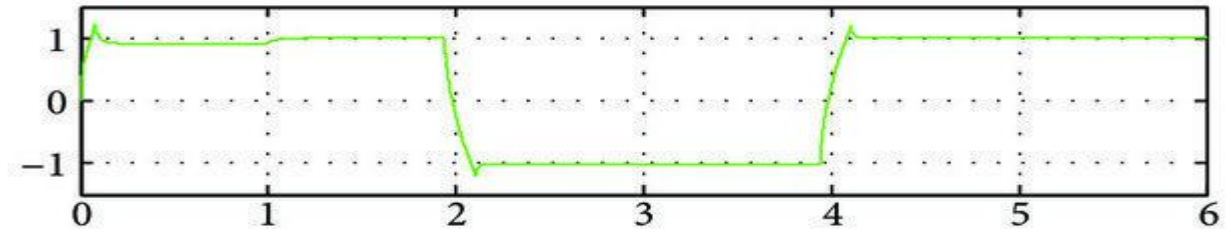


Figure IV.9 :Forme d'onde de tension de sortie du moteur électrique.

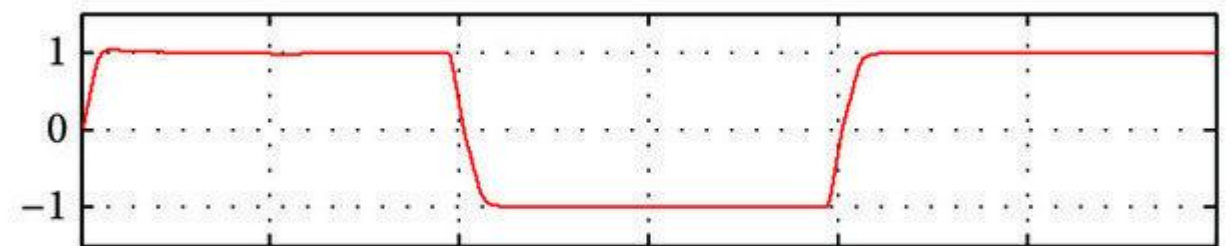


Figure IV.10 :forme d'onde de vitesse de sortie du moteur électrique.

Le Résultats de la simulation. Les expériences de simulation sont réalisé pour obtenir les diagrammes de courant (I), de tension (U),et vitesse angulaire (W). Te paramètres K_i et K_p et K_d du moteur CC sans balais BLDC et la solution globale optimale sont obtenus sur la base de l'algorithme PSO.

La simulation des résultats sous différents poids d'inertie pour l'algorithme PSO sont comparé. La forme d'onde d'entrée est illustrée à la figure (IV.7).

Poids d'inertie linéaire descendant. Lorsque le linéaire typique la stratégie descendante est utilisée sur le poids d'inertie, le simulation formes d'onde de sortie latex du courant, de la vitesse et de la tension du moteur est illustré dans les figures (IV.5) (IV.6) grâce à l'optimisation de l'algorithme PSO lorsque la stratégie descendante linéaire typique de l'inertie le poids et la forme d'onde d'entrée illustrés à la figure 3 sont adopté, les résultats optimisés de K_i et K_p et K_d .

Le Poids d'inertie descendante linéaire différentielle. Quand adopter l'inertie linéaire de la stratégie descendante différentielle poids et même forme d'onde d'entrée, la sortie simulée formes d'onde du courant, de la vitesse et de la tension du moteur

IV.12. Conclusion :

Dans cette recherche, le développement du contrôleur PID pour le moteur BLDC est accepté. L'optimisation du contrôleur PID se fait grâce à l'aide de l'algorithme d'optimisation PSO.

Les paramètres du monde réel du moteur BLDC sont utilisés pour la confirmation du fonctionnement du moteur BLDC avec le contrôleur PID.

Un modèle simple du moteur BLDC est développé avec le bloc moteur Simulink, puis il est contrôlé avec le contrôleur PID primaire, puis l'optimisation des paramètres PID est terminée avec l'aide de l'algorithme PSO.

Le contrôle de la vitesse du moteur BLDC est mis en œuvre avec la méthode de contrôle de la bande d'hystérésis.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion

Dans ce mémoire, une méthode d'optimisation du contrôleur PID paramètres de régulation de vitesse pour moteur CC sans balais basé sur l'algorithme PSO avec des poids d'inertie variables est réalisée.

Le poids d'inertie est un paramètre très important affecter la capacité de développement local de l'algorithme PSO et capacité de recherche globale. La recherche locale et la recherche globale de l'algorithme PSO peut être équilibré en ajustant le magnitude du poids d'inertie dans une certaine mesure.

En se déplaçant correctement réglage du poids d'inertie, la performance optimale de l'algorithme PSO sur le réglage des paramètres du contrôleur PID peut être améliorée, la vitesse de convergence peut être accélérée, et une solution optimale plus précise est obtenue. Sur la plus part, d'autres techniques méta heuristiques, telles que la fourmi algorithme d'optimisation des colonies, algorithme de chauves-souris, algorithme d'optimisation de l'essaim de poulet algorithme), sera exploré dans l'optimisation de PID paramètres de contrôleur du moteur CC sans balais dans notre avenir travail.

Bien que, les objectives sub-visées dans l'introduction ont été suffisamment atteints, toutefois, le travail du présent mémoire n'offre pas la solution idéale pour faire face aux contraintes liées à l'utilisation de la technique PSO pour avoir un meilleur mécanisme de réglage. En effet, reste comme perspectives de suggérer l'identification des paramètres du modèle et d'optimiser les gains de réglage par PSO avec une implantation sur site réel

Références Bibliographiques

Bibliographies :

- [1] : Christian Blum & Daniel Merkle: Swarm Intelligence, Introduction and Applications- Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008.
- [2] : KHELDOUN Aissa, Amélioration des Performances d'un Variateur de Vitesse par Moteur Asynchrone Contrôlé par la Méthode à Flux Orienté. Thèse présentée pour l'obtention du titre de doctorat à l'université de Boumerdes - 2007
- [3] : BAGHLI Lotfi: Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques. Thèse présentée pour l'obtention du titre de doctorat à l'université Henri Poincaré, Nancy I, en génie électrique - 1999
- [4] : Caron J. P., Hautier J.P., Modélisation et commande de la machine asynchrone, Edition Technicpub- 1995.
- [5] : CHATELAIN Jean, Traité d'électricité Tome 1, Presse polytechniques Romandes - 1983
- [6] M.S. NAIT SAID & N. NAIT SAID Modélisation vectorielle d'une machine à courant alternatif triphasé & symétrique. Cours destiné aux ingénieurs en électrotechnique des années avancées et en Post-Graduation. Université de Batna - 2004.
- [7] : CHAOUCH Souad, Commande vectorielle robuste d'une machine à induction sans capteur de vitesse, Thèse présentée pour l'obtention du titre de doctorat en science à l'université de Batna – 2005.
- [8] : BAZI Smail, Commande vectorielle d'une machine asynchrone alimentée en tension, mémoire ingénieur d'état, Université de Batna -1995.
- [9]: A. ESSADKI, A.OUKASSI, M.MAAROUFI & M.CHERKAOUI, Orientation de flux
d'une machine asynchrone à cage alimentée en courant « estimation du flux rotorique »,IEEE-2000.
- [10] : TARBOUCHI Mohamed, Commande par linéarisation exacte d'une machine asynchrone,régime défluxé. Thèse présentée pour l'obtention du grade de (P.Hd) à l'université de Laval . Québec - 1997
- [11] : HAMADOUCHE Sonia, Contribution à l'amélioration des structures de régulation des courants des machines à courant alternatif, Thèse de magister, Université de Batna – 2007.

Références Bibliographiques

- [12]: DAMKHI Sihem, Commande sans capteur de vitesse d'un moteur asynchrone par la SFG (Signal Flow Graphs) de Holtz, Thèse de magister, Université de Batna – 2007.
- [13]: SORIN Gusia, Modélisation des systèmes électroniques de puissance à commande MLI Application aux actionnements électriques, Université catholique de Louvain, Thèse de doctorat – 2005.
- [14]: TAMRABET Hanane, Robustesse d'un contrôle vectoriel de structure minimale d'une machine asynchrone, Thèse de magister, Université de Batna – 2006.
- [15]: MERABET Adel, Commande non linéaire à modèle prédictif pour une machine asynchrone Thèse présentée pour l'obtention du titre de doctorat à l'université du Québec – 2007.
- [16]: AGUGLIA David, Identification des paramètres du moteur à induction triphasé en vue de sa commande vectorielle. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître en Sciences, Université Laval - Québec – 2004.
- [17]: C. Canudas De Wit, commande des moteurs synchrones 2, modélisation control vectoriel et DTC, édition Hermes science europe 2000.
- [18]: G. Grellet and G. Clerc, "Actionneurs électriques-Principes Modèles Commande," Edition Eyrolles, Paris 1997.
- [19]: Michael A. Johnson & Mohammad H. Moradi, PID Control New Identification and Design Methods, Springer-Verlag London Limited – 2005.
- [20]: Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey - 1997.
- [21]: Daniel Ashlock, Evolutionary Computation for Modeling and Optimization, New York, NY 10013, USA – 2000
- [22]: Randy L. Haupt & Sue Ellen Haupt, Practical Genetic Algorithms, second edition, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- [23]: D.A. Goldberg. Genetic algorithms in search, optimisation and machine learning. Addison-Wesley, janvier 1999.
- [24]: Jean Marc Alliot. Algorithmes génétiques et applications. ENAC 2000.

www.recherche.enac.fr

- [25] James Kennedy & Russell C. Eberhart, Swarm intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
- [26] : Maurice Clerc, L'optimisation par essaim particulaire, Tutorial pour PSO 2003-http://www.particle swarm.net/oep_2003.
- [27] : Maurice Clerc, M. and Kennedy, J. The Particle Swarm : Explosion, Stability, and Convergence in a Multi-Dimensional Complex Space. In Proceedings of the IEEE Transactions on Evolutionary Computation, (2002).
- [28] : Rania Hassan & Babak Cohanin & Olivier de Weck : A Copmarison Of Particle Swarm Optimization And The Genetic Algorithm- American Institute of Aeronautics and Astronautics - Colorado – 2004
- [29] : Chao Ou & Weixing Lin, Comparison between PSO and GA for Parameters Optimization of PID Controller, China, Proceedings of the 2006 IEEE
- [30] : Wei WU : Synthèse d'un contrôleur flou par Algorithme Génétique : Application au réglage dynamique des paramètres d'un système. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Lille 1 Discipline : Automatique et Informatique Industrielle. 1998
- [31] : George Ellis : Control system design guide – A practical guide, Elsevier academic press, 2004, California.
- [32] : Codrons Benoit: Process modelling for control, British Library – 2005
- [33] : Mehdi Nasri, Hossein Nezamabadi-pour, and Malihe Maghfoori: A PSO-Based Optimum Design of PID Controller a Linear Brushless DC Motor, , Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology Volume 20 April 2007
- [34] : Anisha M. C. Fernandes: Gas Turbine Control And Load Sharing Of A Shipboard Power System, Master of Science in Electrical Engineering, Morgantown, West Virginia 2006 , USA.
- [35] : WeiZhng KunWang Shouzhi-Li: Increment PID Controller Based on Immunity Particle Swarm Optimization Algorithm, IMACS Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications"(CESA), October 4-6, 2006, Beijing, China.

Références Bibliographiques

- [36] : Haibing Hu, Qingbo Hu, Zhengyu Lu, Dehong Xu: Optimal PID Controller Design in PMSM Servo System Via Particle Swarm Optimization, China 2005 - IEEE
- [37] : Zhe-Lee Gaing: A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System, IEEE Transactions On Energy Conversion, June 2004. Taiwan.
- [38] : R.C. Dorf.: Modern Control Systems. Addison-Wesley, Reading, MA., 1974.
- [39] : C. Schauder: Adaptive Speed Identification For Vector Control Of Induction Motors Without Rotational Transducers, Conf. Rec. IEEE – 1989.

Résumé :

Ce projet de fin étude en Master automatique et informatique industrielle est porté sur le contrôle PID d'un moteur brushless une courte description brushless DC moteur est donné .pour ce travail, les modèles mathématique ont été développé et subséquentment utilisé pour obtenir la simulation paramètres. Le modèle PID et PSO est accompli avec l'utilisation de MATLAB/SIMULINK. Les paramètres opérationnels du spécificité de BLDC moteur ont été modélisés a laide des méthodes qui sont utilisées pour développer ultérieur simulations.

Abstract :

This report presents a PID model of a brushless de (BLDC) motor and simulation .A short description of the Brushless DC motor is given. for this work, mathematical model were developed and subsequently used in getting the simulation parameters. The PID and PSO model is accomplished with the use of MATLAB/SIMULINK. The operational parameters of the specific BLDC motor were modeled using the tuning methods which are used to develop subsequent simulations.

ملخص

هذا مشروع نهاية الدراسة ماستر الية واعلام الي صناعي بعنوان التحكم في محرك براش ليس حيث سنقوم

بنمجة الحركة الكهربائي و التحكم فيه عن طريق المتحكم PID PSO بواسطة برنامج ماطلاب Matlab/simulation