République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de d'enseignement supérieur et recherche scientifique

Université Dr. Yahia Farès Médéa

Faculté des Sciences et de Technologie

Département de Génie de la Matière



Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master

En **Génie Mécanique**

Option : **Mécatronique**

Thème

Etude d'un système de contrôle et de génération de mouvement d'une table multiaxes. Application aux moteurs à courant continu

Proposé et dirigé par :

Dr. BOUCHHIDA ouahid

Dr. ALLICHE Mounir

Réalisés par :

Mr. Aradj Sofiane

Mr. Boutahraoui Hibri

Promotion: 2011/2012

A mes parents

A mes frères et sœurs

Pour leur soutien et leur amour

A tout mes amis

Sofiane

A mes parents et ma sœur et mes frères

Hibri

Remerciements :

On remercie Monsieurs Bouchhida et Alliche pour leur aide, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'intérêt qu'il a toujours porté à l'égard de mon travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers, Messieurs : Bachen, Bouhedda et Soltane pour leur sympathie et leur aide précieuse.

Enfin c'est dans un état d'esprit mitigé que je rédige ces quelques linges afin de remercier tout mes enseignants et toutes les personnes qui ont contribué implicitement ou explicitement a ce travail.

Résumé :

Dans un premier temps nous allons appréhender le contexte dans lequel s'inscrit ce mémoire. Apres avoir donné des généralités sur les machine outils, nous définissons la table multiaxes et ses organes. Nous verrons plus en détail ce qu'est la génération de mouvement, la transmission de puissance pour définir un actionneur linéaire. On se consacre ensuite à l'étude du moteur à courant continue, sa modalisation et ainsi le mode d'alimentation, pour ensuit réaliser une commande d'un axe de mouvement, et enfin proposer une généralisation sur deux et trois axes de mouvement. Pour finir, nous interprétons les résultats et proposons quelques éléments de perspectives.

Summary:

Initially we will understand the context within which this thesis. After having given generalities about tools machines, we will define the multi-axis table and his body. We will see in detail what the motion generating, transmitting power to define a linear actuator. We then devoted to the study of the dc motor, and its modeling and the power mode, to place an order follows an axis of movement, and finally proposes a generalization of two and three axes of motion. Finally we give the interpretation of the results, prepositions and prospects.

Introduction générale ……..…1

CHAPITRE I : Généralité sur la génération de mouvement dans les tables multiaxes.

I.1. Introduction ……...3
I.2. Descriptif général d'une table multiaxes ……3
I.2.1. Axes linéaires primaires ……...3
I.2.2. Axes rotatifs ……4
I.2.3. Direction……....4
I.2.4. Mouvements additionnels…… 4
I.2.5. Origine du système normal de coordonnées…… 4
I.2.6. Broche ……...5
I.2.7. Arrosage ……5
I.2.8. Mouvement linéaire ordonné ……... 5
I.3. Applications des tables multiaxes ……6
I.3.1. Table routeur ……6
I.1.Génération de mouvement pour une table multiaxes ……7
I.4.1. L'entrainement électromagnétique direct ..…… 7
I.4.2. Architecture des machines linéaires.……7
I.4.2.1 Avantages et limites ……8
I.4.3. L'entraînement électromagnétique indirect…… 9
I.4.4. Nécessité de l'utilisation des transmissions……...9
I.5. Systèmes de transmission de puissance……9
I.5.1. Rendement d'une transmission de puissance ……10
I.5.2. Le système vis écrou. ……10
I.5.3. Le système pignon crémaillère...……12
I.5.4. Le système poulies courroie(s) ……..13
I .5.5. Système pignons chaines …… 15
I.5.6. Choix de système de transmission de mouvement ……16
I .4.Les organes mécaniques annexes ……..17
I.6.1.Les réducteurs……..17
I.6.2. Le guidage linéaire ……18
I.6.2.1. Guidage par glissements ……19
I.6.2.2. Guidage par roulement ……19
I.6.2.3. Rail de guidage pour le guidage prismatique ……..19
I.6.2.4.Douille à billes pour guidage cylindrique…… 20
I.6.2.5.Critères de choix d'un système de guidage……..20
I.7.Les prés actionneurs électriques ……21
I.7.1Relais électromagnétique ……....21
I.7.1.1. Description ……..21
I.7.1.2. Fonctionnement monostable……22
I.7.1.3. Fonctionnement bistable ……..22
I.7.1.4. Utilisation…….... 22
I.7.2. Les contacteurs ……...22
I.7.2.1. Construction ……23
I.7.2.2. Contacte de puissance…… 23
I.7.2.3. Contacte auxiliaire ……..23
I.7.2.4. Utilisations ……24

I.8. conclusion ……24

CHAPITRE II : Moteur a courant continue et alimentation en hacheur quatre quadrants.

II.1. L'introduction ……..25
II. .2.les moteur électriques ……25
II.3. Le moteur à courant continue ……..25
II.3.1. Critère de choix du moteur a courant continue ……25
II.3.2. Définition ……..26
II.3.3. Organisation de la machine ……...26
II.3.3.1. Stator ou « inducteur » ……...26
II.3.3.2. Induit« rotor » ……26
II.3.3.3. Collecteur…….... 27
II .3.3.4. Organe mécanique ……27
II.3.4. Principe de fonctionnement ……..28
II 3.4.1. Force électromotrice……..29
II.3.5. Fonctionnement ……29
II.3.5.1. Fonctionnement moteur ……29
II.3.5.2. Fonctionnement génératrice ……...30
II.3.6. Bilan de puissance……..30
II.3.7. Les différents modes d'excitations…….. 32
II.3.7.1. Moteur à excitation séparée……..... 32
II.3.7.2. Moteur a excitation shunt (Dérivée)…….. 32
II.3.7.3. Moteur à excitation série ……33
II.3.7.4. Moteur à excitation compound (Composée)……...34
II.3.8. Variation de la vitesse de la machine à courant continue ……35
II. 3.9.Avantage et inconvénient moteur à courant continue ……..36
II.4. Les hacheurs ……37
II. .4.1.Analyses du fonctionnement hacheur ……..37
II.4.2. Hacheur quatre quadrants ……37
II. 4.2.1.Définition ……...38
II.4.2.2. Changement du sens de rotation : principe général ……...39
II.4.2.3.Principe de la variation de vitesse et fonctionnement dans les 4 quadrants ……...39
II.4.2.4. Les interrupteurs bidirectionnels ……40
II.4.2.5. Commande séquentielle ……40
II.5. Conclusion ……...43

CHAPITRE III : Modalisation de l'ensemble moteur alimentation :

III.1. Introduction……44
III.2. Modélisation d'un moteur à courant continu……...44

III.2.2. Fonction de transfert du moteur ……...45
III.2.3 Simulation du modèle de la Mcc en boucle ouverte…….46
III.3. Modélisation de l'alimentation de la Mcc……...49
III.3.1.Modélisation d'un hacheur série ……...49
III .3.3.Modélisation d'un hacheur réversible en tension et en courant ……...50
III .3.3.1.Commande par modulation de largeur impulsion……..50
III .3.3.2.Commande de MLI du hacheur série……50
III .4. Simulation de l'association de la Mcc avec l'hacheur quatre quadrants ……...52
III .5.Conclusion……..…… 54

CHAPITRE IV : Résultats et discussions

IV.1.Introduction ……....55
IV.2.Régulation en position d'un axe de mouvement par boucle imbriquée……...55
IV.2.1 Principe de commande ……55
IV.2.2.Les caractéristiques de régulation à boucle multiple……55
IV.2.2.Asservissement de courant ……..56
IV.2.3.Asservissement de vitesse ……...56
IV.2.3.Asservissement de position ……57
IV.3.résultats de la simulation en boucle fermée…….57
IV.4.Couplage de mouvement de deux axes ……..58
IV.4.1.Contrôle de la vitesse ……...61
IV.4.2. Contournage point par point……...61
IV.4.3. simulation du couplage du mouvement sur deux axes ……...62
IV .5.Proposition d'un modèle de couplage X, Y, Z ……..……64
IV.4.Conclusion…….…..64

Conclusion générale……....65

Liste des figures :

Figure (1.1) : forme général d'une table routeur…….……..6
Figure (1.2) : moteur linéaire induit mobile…….……..8
Figure (1.3) : moteur linéaire induit fixe…….……...8
Figure (1.4) : moteur linéaire induit fixe inducteur mobile…….……...8
Figure (1.5) : système vis écrou …….……..11
Figure (1.6) : pignon cremaillere…….……...13
Figure (1.7) : système poulie courroie…….……..14
Figure (1.8) : système pignon chaine…….……15
Figure (1.9) : système moteur réducteur…….……...17
Figure (1.10) : liaison glissière coulisseau…….……...18
Figure (1.11) : exemple de guidage prismatique…….……...19
Figure (1.12) : Module de guidage linéaire (*Schrader*)…….……20
Figure (1.13) : fonctionnement d'un relais…….……22
Figure (1.14) fonctionnement contacteur…….……..23
Figure (2.1) : a : aimant, b : bobines …….…….....26
Figure (2.2) : rotor du moteur à courant continue……..27
Figure (2.3) : induit du moteur à courant continue…… 27
Figure (2.4) **:** Vue éclatée**. «** Machine à courant continue **»** ……28
Figure (2.5) : principe de fonctionnement ……28
Figure (2 .6) : bilan de puissance d'un moteur a courant continue ……...31
Figure (2 .7) : Bilan de puissance du générateur à courant continue……31
Figure (2 .8) : modélisation électrique d'un moteur à excitation séparée……..32
Figure. (2 .9) : Modélisation électrique d'un Moteur à excitation shunt…….……...33
Figure (2 .10) : Modélisation électrique d'un Moteur à excitation série…….……...33
Figure (2.11) : Modélisation électrique d'un Moteur à excitation compound……...34
Figure (2.12) : variation de la vitesse en fonction de la tension d'induit…….……..35
Figure (2.13) : variation de la vitesse en fonction du flux d'inducteur…….……35
Figure (2.14) : Réglage de tension par hacheUr……..…….……..37
Figure (2 .15**)** : schéma d'un moteur à courant continue commandée par hacheur…….……...38
Figure (2.16) : changement de sens de rotation en quatre quadrants…….….39
Figure (2.17) : schéma de sens du courant dans le quadrant 1…….……...40
Figure (2.18) : schéma de sens du courant dans le quadrant 2…….……...41
Figure (2.19) : schéma de sens du courant dans le quadrant 3…….....41
Figure (2.20) : schéma de sens de courant dans le quadrant 4…….……...41
Figure (2.21) : les déférents fonctionnements du moteur à courant continue par hacheur quadrant ……....42
Figure (3.1) : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu……44
Figure (3.2) : Schéma bloc du Modèle de moteur électrique en vitesse en boucle ouverte….46
Figure (3.3) : Modélisation sous Matlab de la réponse de vitesse en boucle ouverte……..47
Figure (3.4) : Schéma bloc du Modèle de moteur électrique en position en boucle ouverte...47
Figure (3.5) : Modélisation sous Matlab de la réponse de position en boucle ouverte…….... 48
Figure (3.6) **:** La réponse de courant de l'induit en boucle ouverte……48
Figure (3.7) : hacheur serie……..49
Figure (3.8) : tension de sortie……51
Figure (3.9) : modèle hacheur moteur en boucle ouverte…….....52
Figure (3.10) : variation du rapport cyclique……53
Figure (3.11) : réponse de la vitesse……53
Figure (3.12) : réponse du courant……54

Figure (4.1) : réglage en cascade de Mcc……..……..55
Figure (4.2) : réponse du courant en boucle fermée……58
Figure (4.3) : réponse de la tension d'entrée en boucle fermée…….59
Figure (4.4) : réponse du couple boucle fermée……...…….59
Figure (4.5) : réponse de vitesse en boucle fermée……60
Figure (4.6) : réponse de position en boucle fermée……...60
Figure (4.7) : couplage de mouvement en x, y……....61
Figure (4.8) a : forme triangulaire de référence……...62
Figure (4.8) b : forme triangulaire reproduit……62
Figure (4.9) a : forme carrée de référence……62
Figure (4.9) b : forme carrée reproduit…….62
Figure (4.10) a : forme étoile de référence……..63
Figure (4.10) b : forme étoile reproduit……...63
Figure (4.11) a : forme circulaire de référence……63
Figure (4.11) b : forme circulaire reproduit ……63
Figure (4.12) a : modèle de couplage en x,y,z……..64

Liste des tableaux :

Tableau (2.1) particularité et emploi d'une MCC a excitation séparée……...32
Tableau (2.2) particularité et emploi d'une MCC a excitation shunt……..33
Tableau (2.3) particularité et emploi d'une MCC a excitation serie……34
Tableau (2.4) particularité et emploi d'une MCC a excitation compound……..34
Tableau (2.5) avantages et inconvénients d'un moteur a courant continue…….36
Tableau: (2.1) valeur numérique uiliser dans la simulation……46

Nomenclature

Liste des Symboles :

p_e : Puissance d'entrée du système en	(W)
p_s : Puissance de sortie du système en	(W)
V : vitesse linéaire	(m/s)
N : fréquence de rotation	(tr/min)
P : pas	(m/tr)
e : Nombre de filets de la	
Z : Nombre de dents de la roue dentée.	
ω : La vitesse de rotation de la roue	(rad/s)
d: diamètre de la poulie	(m)
w : vitesse angulaire poulie	(rad /s)
r: rapport de transmission	
Zi: nombre de dents du pignon i	
m : module d'engrenage	
Nm : Vitesse motrice	(tr/min)
Nr: Vitesse réceptrice	(tr/min)
k : rapport de réduction.	
P : Nombre de paire de pole	
a : Nombre de paires de voies d'enroulement	
N : Nombre de conducteurs	
Φ : flux maximum à travers les spires	(Wb)
Ω : Vitesse de rotation	(rd/s)
E : force électromotrice	(V)
P_U : La puissance utile	(W)
P_{abs}: La puissance absorbée	(W)
T : couple moteur	(Nm)
U : la tension du moteur	(V)
R : la résistance	(Ω)
I : le courant électrique	(A)
μ : le rendement	
i_{max} : Le courant maximal	(A)
U : Tension d'alimentation d'induit	(V)
I : Courant d'induit	(A)
R : Résistance d'induit	(Ω)
L : Inductance d'induit	
K : Coefficient de couple	
J : Moment d'inertie totale du système mécanique ramené	(N)
Ω : Vitesse rotorique	(tr/m)

f : Coefficient de frottement visqueux

C_r : Couple de résistant (Nm)

U_e : La tension de l'induit (V)

Φ : Le flux magnétique (wb)

τ_m : Le constante de temps (s)

α : Le rapport cyclique

$\overline{U}$: La tension moyenne (V)

S : L'état logique de l'interrupteur

i_c : Le courant parcouru dans le moteur (A)

N : La vitesse (tr/m)

K : Est la constante de vitesse et de couple

V_r : Signal de référence (V)

$V_P(t)$: Signal de la porteuse (V)

Z : l'impédance (Ω)

C_m : Couple mécanique. (Nm)

M_U : Valeur du couple de frottement sec (Nm)

K_e : Constante de la force électromotrice

M_m : Couple moteur (Nm)

K_P : Coefficient de régulation proportionnel

K_i : Coefficient de régulation intégral

Us : La tension redressée (V)

Liste des abréviations :

Om : origine mecanique

den : Dénominateur

MOS : metal oxyde semiconductor

IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor

H : hacheur

PI : proportionnel intégrale

Mcc: moteur à courant continue …

MLI : modulation de largeur d'impulsion

MOSFET: metal–oxide–semiconductor field-effect transistor

BF : boucle fermé

FEM : force électromotrice

Gi(BF) : fonction de transfert en boucle fermée

Introduction Générale

Depuis que la société humaine est entrée dans l'ère industrielle au 18ème siècle, la commande de mouvement, en particulier le contrôle des mouvements de précision, a retenu l'attention constante en matière de recherche, et de développement de son application à produire de l'innovation. La Commande de mouvement de précision, en termes électroniques, nécessite des moyens pour commander avec précision le mouvement d'un objet sur la base de la vitesse, la distance, la charge, l'inertie ou une combinaison de ces facteurs.

Poussé par les exigences, pour une performance du produit beaucoup plus élevé, une plus grande fiabilité, durée de vie et à moindre coût, de nombreux progrès ont été accomplis récemment, notamment avec l'aide du numérique ordinateurs.

Avec l'émergence des nanosciences, à la fin du siècle, la dernière technologie dans ce domaine avancé requiert un niveau plus élevé. Aujourd'hui, de forte commande de mouvement de précision est devenue une exigence essentielle dans les systèmes de fabrication de pointe tels que les machines-outils, robots montés sur surface et des table multiaxes etc.…

En règle générale, les systèmes de contrôle de mouvement peuvent être séparés en plusieurs parties:

- Le dispositif mécanique qui assure la génération de mouvement, tel que les transmissions, les guidages etc. …
- et le moteur qui est un des dispositifs clés de la raison pour laquelle il fournit une force motrice brute.

Dans les systèmes de génération de mouvement, il existe de nombreux types de moteurs électriques, chacun avec ses propres exigences d'entraînement de puissance. Trois types de communes sont les suivantes: courant alternatif (AC) servo moteurs, les moteurs pas à pas, et les moteur à courant continue qui font l'objet de notre étude. Les moteurs à courant continu sont adaptés pour des tâches complexes de mouvement parce que la vitesse et le couple dans les moteurs à courant continu sont faciles à contrôler en faisant varier la tension et le courant.

Pourtant, en raison de les systèmes de rétroaction de mouvement caractéristiques, en utilisant ce type de moteur sont coûteux et très complexes. C'est aussi la raison principale pour utiliser les moteurs pas à pas dans ce type d'application.

D’autre part, la commande numérique qui est conçue pour piloter le fonctionnement d’une machine à partir des instructions d’un programme sans intervention directe de l’opérateur pendant son exécution, elle a, dans un premier temps, permis de franchir un pas important dans l’automatisation des machines-outils traditionnelles. Tours, fraiseuses, perceuses et table multiaxes sont ainsi devenues capables d’assurer en quantité comme en qualité, une production à peine imaginable quelques années auparavant. La CN est également à l’origine de nouvelles conceptions de machines polyvalentes comme le centre d’usinage, par exemple.

L’objective de notre étude est de contrôler et commander une table multiaxes ; ce qui revient à contrôler un moteur à courant continu en position, ainsi que de faire une synthèse sur les différents organes qui assurent la génération et la transmission de mouvement.

Cette étude est organisée en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons un descriptif général d’une table multiaxes, et les différents organes mécaniques qui assurent la génération de mouvement.

Dans le deuxième chapitre, nous exposerons une description générale sur les machines à courant continu et son alimentation par un hacheur quatre quadrants.

Dans le troisième chapitre on propose une simulation de l’ensemble moteur-hacheur en boucle ouverte.

Dans le quatrième chapitre, on présente une régulation en positon par l’intermédiaire de l’environnement Simulink d’un moteur à courant continu à l’aide de deux boucles imbriquées. Par ailleurs, les résultats de simulation pour le couplage de deux axes de mouvement sont aussi discutés et interprétés.

En fin, on achève notre travail par une conclusion générale tout en mentionnant des recommandations comme perspectives.

CHAPITRE I : Généralité sur la génération de mouvement dans les tables multiaxes.

I.1. Introduction :

Une table multiaxes à commande numérique dispose de beaucoup de composants mécaniques pouvant être contrôlés, ou qui peuvent avoir une incidence sur la façon dont le contrôle de la machine s'effectue.

Ce chapitre décrit les composants qui interagissent avec l'interpréteur notamment les systèmes de transmission et de guidage.

On parle aussi des différentes façons d'actionnement ainsi que les prés actionneurs appropriées.

I.2. Descriptif générale d'une table multiaxes :

La norme NF Z 68-020 définit un système de coordonnées machine et les mouvements de la table de telle façon qu'un programmeur puisse décrire les opérations d'usinage sans avoir à distinguer si l'outil s'approche de la pièce ou la pièce de l'outil. Ce système d'axes peut être défini d'après cette norme pour n'importe quel type de machine. Cette normalisation est notamment nécessaire pour garantir l'interchangeabilité des programmes sur plusieurs machines différentes. Cette norme étant complexe, nous allons en présenter une version simplifiée pour les machines les plus usuelles.[1]

Le système normal de coordonnées est un système cartésien rectangulaire de sens direct avec les trois principaux axes orthogonaux appelés **X**, **Y** et **Z** et avec des axes de rotation autour de chacun de ces axes appelés respectivement **A**, **B** et **C**. On a un Mouvement de translation selon **X**, **Y**, **Z**.

I.2.1. Axes linéaires primaires :

L'axe de mouvement Z est parallèle à la broche principale de la table. Lorsque celle-ci est pivotante ou orientable, cet axe doit être parallèle à l'axe de la broche quand cette dernière est dans la position zéro. La position zéro de référence est de préférence celle où la broche est perpendiculaire à la surface de bridage de la pièce.

Quand cela est possible, l'axe **X** doit être horizontal et parallèle à la surface de bridage de la pièce. Pour les tables avec des pièces en rotation, l'axe **X** doit être radial et parallèle aux glissières du chariot transversal. L'axe **Y** de mouvement forme avec les axes **X** et **Z** un trièdre de sens direct [1].

I.2.2. Axes rotatifs :

Mouvements de rotation **A**, **B**, **C** : Les angles **A**, **B** et **C** définissent les mouvements de rotation effectués respectivement autour d'axes parallèles à **X**, **Y** et **Z**.

I.2.3. Direction :

Le sens positif des axes est défini de manière telle qu'un mouvement dans une direction positive d'axes de translation ou de rotation, augmente les valeurs positives de la position de la pièce par rapport à la table [1].

I.2.4. Mouvements additionnels :

Dites aussi axes linéaires secondaire :

- Mouvement de translation Quand en plus des mouvements de translation primaire **X**, **Y** et **Z**, il existe des mouvements de translation secondaires parallèles à ceux-ci, ils seront respectivement désignés par **U**, **V** et **W**.
- Mouvements de rotation : Quand, en plus des mouvements de rotation primaires **A**, **B** et **C**, il existe des mouvements de rotation secondaires parallèles ou non à **A**, **B** et **C**, ceux-ci seront désignés par les lettres **D** ou **E** [1].

I.2.5. Origine du système normal de coordonnées :

L'emplacement de l'origine (X=0, Y=0, Z=0) du système normal de coordonnées est arbitraire.

Suivant le type de capteur de mesure de la position du mobile (absolu ou incrémental), cette origine est permanente ou volatile. Dans le second cas, l'origine système de coordonnées sera réinitialisée selon une procédure définie par le constructeur de la machine, à chaque mise sous tension.

Cette origine correspond pour chaque machine, à une position particulière bien définie des différents organes mobiles. Cette origine est appelée : origine mesure **(Om)** [1].

I.2.6. Broche :

Une table multiaxes est équipée d'une broche qui maintient un outil coupant, un palpeur ou d'autres outils. La broche peut tourner dans les deux sens. Elle peut être conçue pour tourner à vitesse constante mais réglable.

Excepté sur les machines dont la broche est montée sur un axe rotatif, l'axe de la broche est maintenu parallèle à l'axe Z et il est coïncident avec l'axe Z quand X et Y sont à zéro. La broche peut être stoppée sur une position fixée ou non.

I.2.7. Arrosage :

Une table multiaxes (type machine-outil d'usinage) peut être équipée d'un système fournissant l'arrosage fluide ou un arrosage par gouttelettes.

I.2.8. Mouvement linéaire ordonné :

Pour mener un outil sur une trajectoire spécifiée, une table multiaxes doit coordonner les mouvements de plusieurs axes. Nous utilisons le terme mouvement linéaire coordonné pour décrire une situation dans laquelle, nominalement, chacun des axes se déplace à vitesse constante et tous les axes se déplacent de leur point de départ à leur point d'arrivée en même temps. Si deux des axes X, Y, Z (ou les trois) se déplacent, ceci produit un mouvement en ligne droite, d'où le mot linéaire dans le terme.

Cependant, généralement en pratique, ce n'est souvent pas possible de maintenir la vitesse constante à cause des accélérations et décélérations nécessaires en début et fin de mouvement. C'est faisable, en effet, de contrôler les axes.

Ainsi, chaque axe doit en permanence faire la même fraction du mouvement requis que les autres axes. Ceci déplace l'outil le long du même parcours et nous appelons aussi ce genre de mouvement, mouvement linéaire coordonné.

Un mouvement linéaire coordonné peut être exécuté soit en vitesse travail, soit en vitesse rapide, ou il peut être synchronisé à la rotation de la broche (3eme axe). Si les limites physiques de l'axe rendent le déplacement impossible, tous les axes seront ralentis pour maintenir le parcours prévu [2].

I.3. Applications des tables multiaxes :

Il existe plusieurs applications de la table multiaxes dans l'industrie. Grâce à l'implantation de la commande numérique, les tables multiaxes sont utilisée pour différentes procéder d'usinage, notamment l'usinage à grande vitesse ou de précision.

Dans notre étude, on ne prend en compte que les mouvements de translation. Dans ce cas, on peut citer deux types de tables :

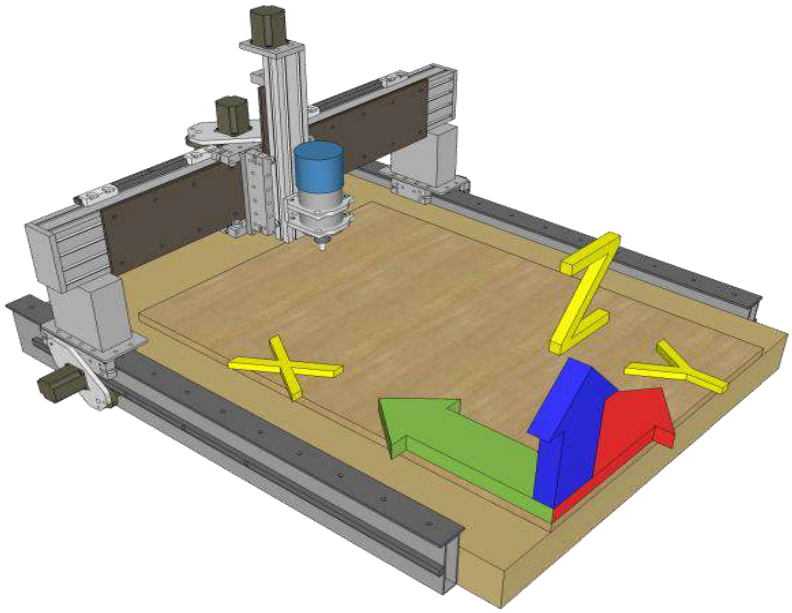
- Les tables routeur,
- et les tables traçantes

I.3.1. Table routeur :

Une table routeur figure (1.1), est une machine dotée d'un système cartésien de coordonnées (X, Y, Z) pour la commande de mouvement 3D. Ce mouvement est généré grâce à des actionnements linéaires (électropneumatique, électro hydraulique ou électrique).
Ce qui signifie qu'il peut déplacer le dispositif de coupe de gauche à droite, ou de haut en bas tout en même temps. C'est pourquoi il est possible de couper des lignes courbes. Cela permet de suivre n'importe quel profil à 2 dimensions ainsi que dans l'espace 3D.

Les tables de routeur sont très répondues dans l'industrie souvent utilisé pour couper divers types de matériaux ; Plastique, métal.

Ainsi, on peut obtenir de nombreux usages différents. Ces machines peuvent également utiliser des forets, couteaux, stylos et autres outillages plus spécialisé comme la torche à jet plasma (sujet de notre projet).



Fig(1.1) forme générale d'une table routeur

I .4.Génération de mouvement pour une table multiaxes :

Pour assurer la génération de mouvements dans les différents axes de translation de la table multiaxes, il existe deux types d'entraînement. Le premier est l'entraînement indirect, il reste très employé actuellement et nécessite un organe mécanique entre le moteur et la charge. Le second mode d'entraînement mécanique, contrairement au premier, vise à simplifier la chaîne de transmission par la suppression de l'organe intermédiaire. On parle alors de l'aspect d'entraînement direct.

Bien qu'il existe plusieurs type d'actionnements, dans cette étude on vise une application sur les moteurs à courant continu.

Pour cela, on se contente de décrire les méthodes d'entrainement électromagnétique uniquement.

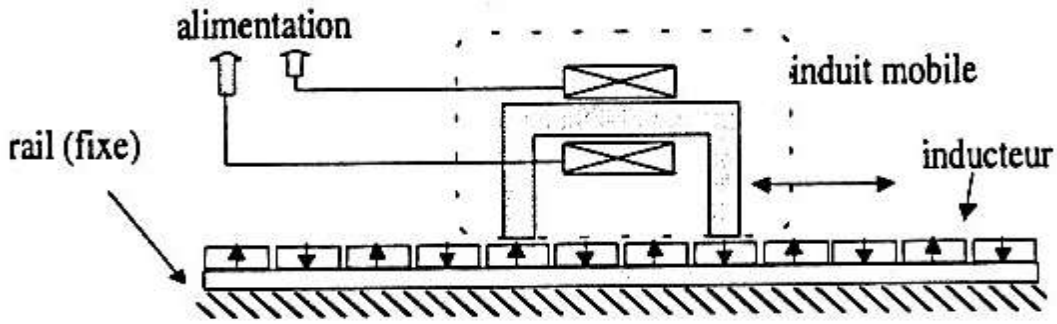
I.4.1.L'entrainement électromagnétique direct :

Pour les actionneurs à prise directe, il s'agit de concevoir des actionneurs électromagnétiques adaptatifs aux critères particuliers. Ces machines doivent par exemple, s'intégrer au mieux dans les systèmes, offrir des couples élevés à basse vitesse, pouvoir fonctionner à des vitesses considérables, fournir de fortes accélérations ou produire des déplacements linéaires [11].

I .4.2. Architecture des machines linéaires :

Pour les actionneurs à déplacement longitudinal, nous rencontrons fréquemment trois topologies.

- L'induit est mobile et l'inducteur reste fixe (figure 1.2) comme l'indique la figure, l'inducteur est solidaire du rail donc fixe également. L'induit est en mouvement et supporte l'alimentation qui est embarquée ou relié à celle-ci par un câble souple ce qui limite la course de son déplacement [11].



Fig(1.2) :moteur linéaire induit mobile

- L'induit est fixe et l'inducteur, solidaire du rail (figure 1.3), est mobile comme mentionné sur la figure

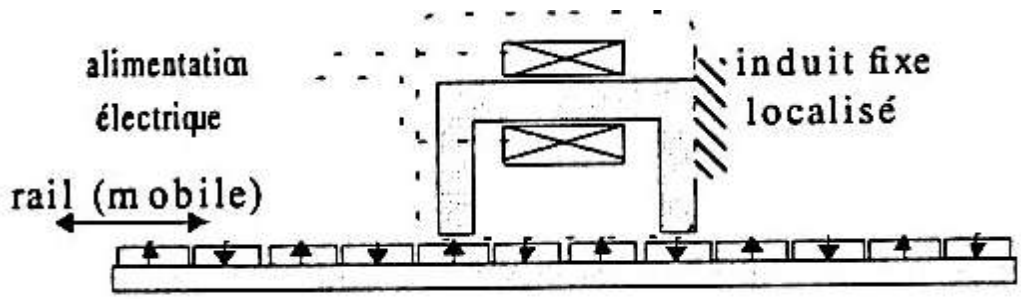
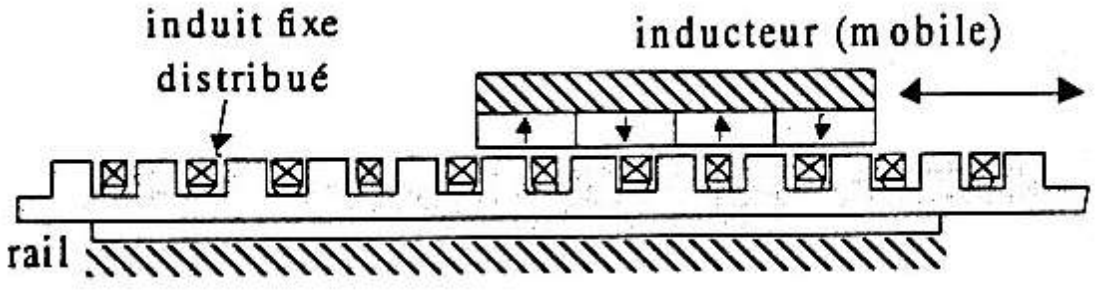


Fig. (1.3) : moteur linéaire induit fixe

- Inducteur mobile et induit fixe (figure 1.4) tel que celui-ci est distribué sur la longueur d'un rail comme le croquis suivant l'indique.



Fig(1.4) :moteur linéaire induit fixe inducteur mobile

I.4.2.1Avantages et limites :

- Grande dynamique de mouvement (vitesse, accélération)
- Grande précision du positionnement

- Grande fiabilité, durée de vie plus longue
- Flexibilité d'utilisation (partie indépendante sur un même axe)
- Techniquement toujours, les principales limites sont les suivantes :
- Le moteur linéaire placé à proximité de la charge peut nuire au processus : échauffement, aimantation de copeaux sur la partie magnétique, environnement agressif. Dans ces cas, l'entraînement indirect est technologiquement plus adapté.
- Surdimensionnement, pour les charges à inertie forte : l'adaptation à la charge nécessite une démultiplication mécanique

I .4.3.L'entraînement électromagnétique indirect :

Le principe de l'entraînement indirect est basé sur l'utilisation de machines tournantes "classiques" et d'un organe mécanique de conversion du mouvement. Ces machines tournantes peuvent être de différentes architectures, dans notre on a opté pour un moteur a courant continue.

Quant à l'organe de transformation du mouvement de rotation en translation, on associe généralement un système de transmission de mouvement assure l'accouplement à la charge [11].

I .4.3.1Nécessité de l'utilisation des transmissions :

La présence d'une transmission est imposée par de nombreux facteurs. Ces facteurs sont discutés en continuation, pour le cas le plus représentatif dans la technique, quand les deux systèmes techniques liés sont une machine motrice et une machine de travail. Il est fréquent que les vitesses nécessaires au fonctionnement des organes d'exécution des machines soient différentes de celles de moteurs normalisés d'où la nécessité des organes de réduction.

Une transmission peut aussi modifier la forme de la puissance, en partant d'une vitesse de rotation en entrée, elle peut donner une vitesse de translation en sortie, mais alors d'un couple d'entrée, une transmission fourni une force en sortie [3].

I.4.5.Systèmes de transmission de puissance:

Une transmission est un ensemble d'organe qui permet de transmettre un mouvement. Ce mouvement est modifié d'une tel manière à, augmenté ou réduire la vitesse de rotation de sortie par rapport à la vitesse d'entré du mouvement de rotation, augmenté ou réduire le couple de sortie par rapport au couple d'entré.

Transformé un mouvement de rotation en un mouvement de translation, Il existe différent type de transmission suivant les besoins et les charges ou condition de transmission [3].

Un mouvement de rotation peut induire un mouvement en translation:

- Par filetage ;
- Par engrenage ;
- Par came ;
- Par poulie ; etc.…

I.5.1. Rendement d'une transmission de puissance :

Le rendement d'une transmission de puissance est donné par l'équation suivante.

$$\eta = \frac{p_s}{p_e} \qquad (1.1)$$

Avec p_e : Puissance d'entrée du système en (N/m).

p_s : Puissance de sortie du système en (N/m).

Le rendement peut varier selon le mode de transmission.

Dans les tables multiaxes, il existe plusieurs manières pour transmettre une puissance. Dans cette étude, on va citer les modes les plus utilisés.

I.5.2. Le système vis écrou [4]:

Les systèmes vis-écrou (figure 1.5), qu'ils soient à friction ou à billes permettent d'assurer une transmission de puissance entre deux arbres coaxiaux tout en assurant une transformation de mouvement (rotation en translation et dans certains cas translation en rotation: réversibilité du mouvement). Si on empêche la possibilité de rotation de l'écrou, le mouvement giratoire de la vis fait avancer cet écrou dans un mouvement rectiligne.

La condition obligatoire pour que la vis et l'écrou puissent être visées est que ces deux éléments aient un pas et un nombre de filets de la même valeur :

un tour de la vis par rapport à l'écrou donne un déplacement de la valeur du pas de la vis par rapport à l'écrou.

Vitesse de Déplacement angulaire :

$$D = P.\ N$$

Vitesse linéaire :

$$V = \frac{PN}{60} 10^{-3} \qquad (1.2)$$

Avec V : vitesse linéaire (m/s)

N : fréquence de rotation (tr/min)

P : pas (mm/tr)



fig(1.5) : système vis ecrou

Rapport de transmissions :

$$r = \frac{e}{z} \qquad (1.3)$$

Avec e : Nombre de filets de la

Z : Nombre de dents de la roue dentée.

Avantage :

- Couple transmissible et rapport de transmission élevé.
- Vitesse limite peut attendre 80 m/s.
- Bon rendement, silencieux, haute précision et durée de vie élevée.

Inconvénients :

- Fortement important.
- Nécessité de lubrification.

I.5.3. Le système pignon crémaillère :

Le système roue crémaillère (figure 1.6) et un système de transformation de mouvement par obstacle, appelle aussi engrenage pignon crémaillère.

Le mouvement rotatif de la roue dentée, aussi appelée pignon, fait déplacer la crémaillère dans un mouvement rectiligne. La condition nécessaire pour que la roue et la crémaillère puissent engrener est que les deux éléments aient le pas de la même valeur.

Un système pignon crémaillère est constitué de deux éléments :

Une roue dentée et une crémaillère.

Les roues dentées peuvent être cylindriques ou coniques. La denture peut être droite ou hélicoïdale.

Ce mécanisme est un système réversible : on peut considérer le mouvement d'entrée dans la roue dentée ou pignon comme dans la crémaillère, en fonctionnant correctement dans les deux cas [4].

Equation de la vitesse linéaire de la crémaillère :

$$v = \frac{m.Z}{2} \times \omega \qquad (1.4)$$

Z : le nombre de dents de la roue

ω : La vitesse de rotation de la roue (en rad/s)

V : vitesse linéaire (m/s)

m : module d'engrenage

$$\omega = \frac{\pi N}{30} \qquad (1.5)$$

Étant N : le nombre de tour de la vis en (tr/min)

Puissance :

La puissance d'entrée

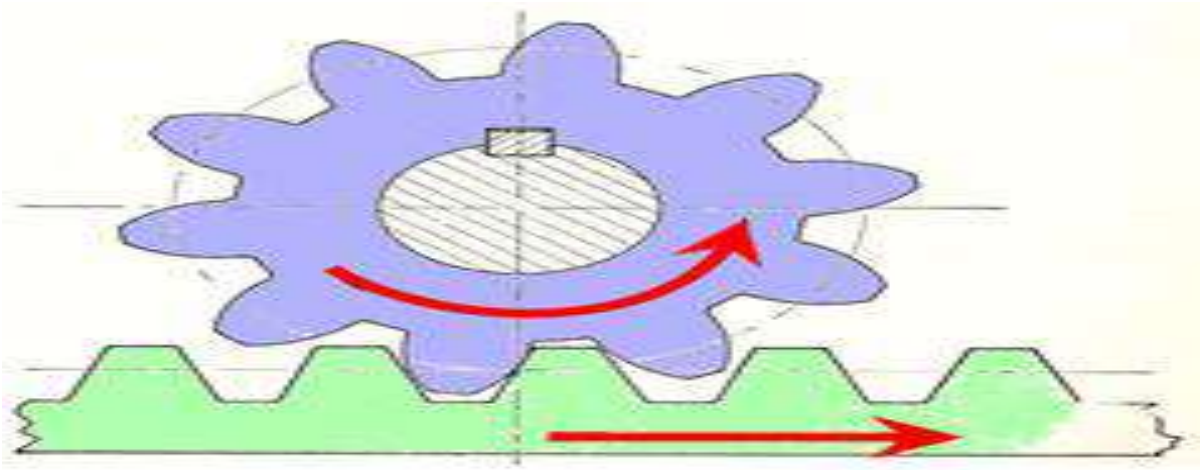
$$p_e = c.\omega \qquad (1.6)$$

Puissance de sortie

$$p_s = F.v \qquad (1.7)$$

F : force en (N).

C : couple en (Nm).



fig(1.6) : pignon cremaillere

La transmission à crémaillère est utiliser souvent dans l'entrainement des machines tour, fraiseuse et table routeur.

Avantage :

- Couple transmissible et rapport de transmission élevé.
- Vitesse maximum peut attendre 100 m/s.
- Synchronisme, précision, couple élevé, bon rendement et durée de vie élevée.

Inconvénients :

- Nécessité de lubrification et un entraxe précis.

I.5.4. Le système poulies courroie(s) :

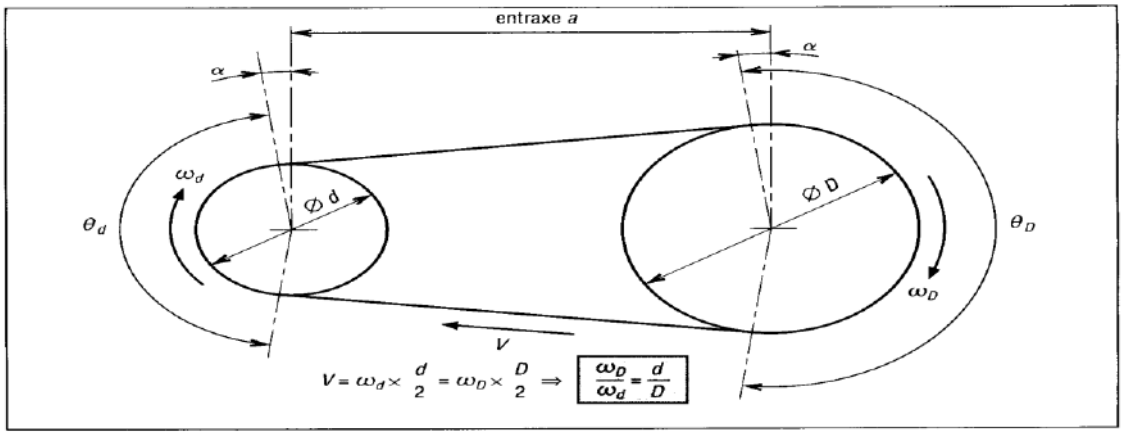
Les poulies crantées et la courroie associée (figure 1.7) assurent une transformation de mouvement sans glissement. Comme les engrenages, cette transformation de mouvement est par obstacle, donc avec conservation des positions relatives des poulies à tout instant. On rencontre par exemple ce type de matériels dès qu'il s'agit de transmission de position entre un moteur pas à pas (par exemple) et le dispositif qu'i entraîne.

Silencieuses, elles sont surtout utilisées aux vitesses élevées avec de grands entraxes possibles entre poulies.

La tension initiale des courroies est indispensable pour garantir l'adhérence et assurer la transmission du mouvement.

Un système à entraxe réglable ou un dispositif annexe de tension (galet enrouleur) est souvent nécessaire pour régler la tension initiale et compenser l'allongement des courroies au cours du temps.

A l'exception des courroies crantées, en fonctionnement normal, il existe un léger glissement de la courroie sur les poulies amenant une imprécision du rapport de transmission; celui-ci n'est pas exactement égal au rapport des diamètres des poulies [5].



Fig(1.7) : système poulie courroie

Vitesse :

$$V_{courroie} = \frac{d_1\omega_1}{2} = \frac{d_2\omega_2}{2} \qquad (1.8)$$

Rapport de transmission :

$$r = \frac{\omega_e}{\omega_s} = \frac{\omega_d}{\omega_D} = \frac{D}{d} \qquad (1.9)$$

r : rapport de transmission.

d: diamètre de la poulie a.

D : diamètre de la poulie b.

ω2 : vitesse angulaire poulie i.

Avantages :

- Couple transmissible moyen et rapport de transmission très élevé.
- Vitesse maximum peut attendre 95 m/s.
- Flexibilité, faibles diamètres d'enroulement, économique et silencieuse.
- Encombrement réduit, bon rendement et entretien réduit.

Inconvénients :

- Durée de vie limité, synchronisme non parfait.
- Moins économiques, faible couple.

I.5.5. Système pignons chaines :

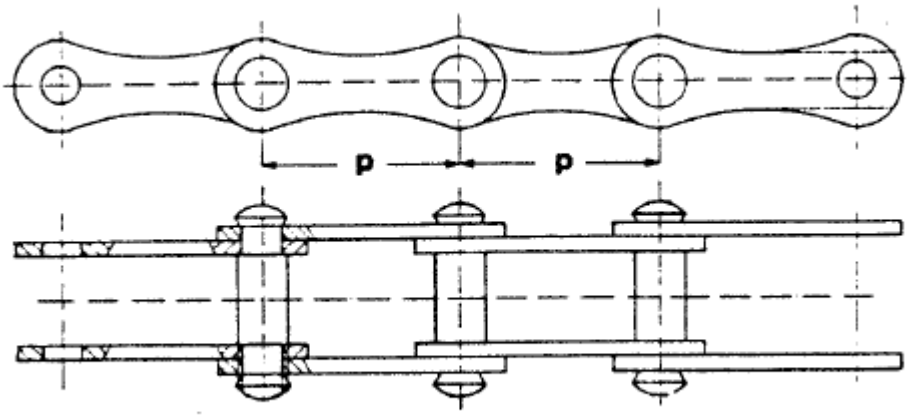
C'est une transmission par obstacle, à l'aide d'un lien articulé appelé « chaîne », et un mouvement de rotation entre deux arbres parallèles.

La transmission par chaîne (figure 1.8) est un système qui relie deux roues dentées par l'intermédiaire d'une chaîne. Ce système de transmission est très utilisé lorsque l'on doit transmettre un mouvement sans glissement à une distance pouvant aller jusqu'à plusieurs mètres.

Avec un rapport de transmission constant (pas de glissement), et une simplicité du montage et entretien, le système de transmission par chaîne est très utilisé en pratique.

Il est aussi souvent utilisé dans les machines-outils grâce à sa longue durée de vie et son aptitude à transmettre des actions mécaniques importantes.

Le système pignon-chaine est un moyen de transmission rotation-rotation. Pour cela, l'utilisation de ce mode nécessite l'emploi d'organes annexes tel que les accouplements[6].



Fig(1.8) : système pignon chaine

$$r = \frac{\omega_e}{\omega_s} = \frac{Z_e}{Z_s} \qquad (1.10)$$

$$V_{chaine} = \frac{d_1\omega_1}{2} = \frac{d_2\omega_2}{2} \qquad (1.11)$$

r: rapport de transmission

Zi: nombre de dents du pignon i

di: diamètre du pignon i

wi: vitesse angulaire pignon i

ωe et ωs : sont les vitesses de rotation d'entrée et de sortie.

ze et zs : sont les nombres de dents des pignons d'entrée et de sortie.

Remarque :

Le rapport de transmission d'un système par chaîne doit être de préférence inférieur à 1/8.

Si le rapport est supérieur à 1/8 prévoir un autre système de transmission.

Avantages :

- Couple transmissible et rapport de transmission élevé.
- Supportent des tensions élevées et des basses vitesses, assez bon synchronisme et durée de vie assez élevée.

Inconvénients :

- Vitesse maximum très faible 20m/s.
- Bruyantes et nécessite la lubrification.

I.5.6. Choix de système de transmission de mouvement :

Le choix d'une solution de transmission de mouvement repose sur son aptitude à satisfaire le cahier de charge de l'application, les principaux paramètres à respecter sont [3].

- Précision du système de transmission.
- Vitesse de déplacement maximale.
- La charge maximale a entrainé.
- Fiabilité (probabilité de bon fonctionnement).
- La disposition de l''actioonnaire utiliser.
- Encombrement.
- Cout et Esthétique.

I.6.Les organes mécaniques annexes :

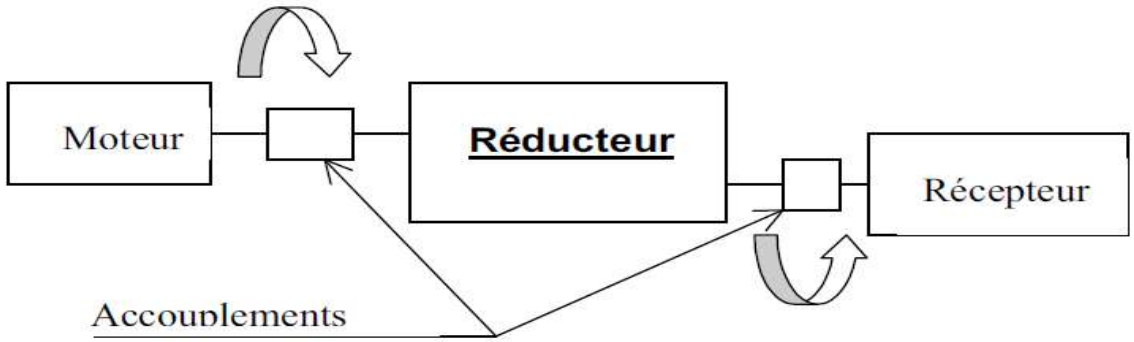
I.6.1.Les réducteurs :

Le nom de réducteur est réserve a un mécanisme sépare s'intercalant entre un moteur et un récepteur.

Lorsque le moteur est fixe sur le carter du réducteur, l'ensemble porte le nom de motoréducteur. La (figure 1.9) nous montre un système moteur réducteur.

Un réducteur sert à réduire la vitesse d'un moteur (hydraulique, pneumatique, thermique ou électrique) avec transmission de la puissance motrice vers une machine réceptrice en absorbant le moins d'énergie.

Il permet d'augmenter le couple moteur afin d'entrainer en rotation ou en translation un organe récepteur sous l'effet d'un nouveau couple [3].



Fig(1.9) : système moteur réducteur

Rapport de réduction :

$$k = \frac{N_r}{N_m} \qquad (1.12)$$

k = 1: Nr = Nm

k < 1: Nr < Nm. réducteur

k > 1: Nr > Nm. Multiplicateur

avec Nm : Vitesse motrice en(tr / min).

Nr: Vitesse réceptrice en (tr / min).

k : rapport de réduction.

I.6.2Le guidage linéaire :

Le guidage en translation entre deux pièces est la matérialisation de la liaison glissière. Il faut donc éliminer entre ces deux pièces 5 degrés de liberté : deux translations et trois rotations.

Le degré de liberté en translation peut être obtenu aussi bien par association de surfaces planes que de surfaces de révolution. Selon la nature de ces surfaces assurant la mise en position on distinguera :

Le guidage prismatique : Surfaces de contact planes.

Le guidage cylindrique : Surface de contact cylindrique plus un arrêt en rotation.

Dans ces deux cas il existe une combinaison minimale des surfaces permettant d'obtenir un guidage isostatique [9].

La pièce prise comme référence fixe sera appelée glissière, comme on peut voir dans la (figure 1.10)

La pièce mobile par rapport à la glissière sera appelée coulisseau.

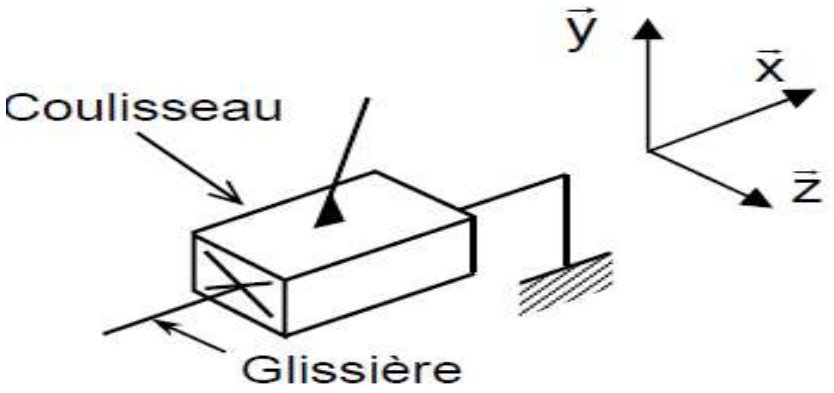


Fig (1.10) liaison glissière coulisseau

Il existe plusieurs principes de guidage de guidages ayant des performances spécifiques :

- guidages par contact direct.
- guidages avec interposition d'éléments antifriction.
- guidages avec interposition d'éléments roulants.
- guidages sans contact.

On va citer quelques applications, les plus souvent utilisées dans la conception des machines-outils.

I.6.2.1. Guidage par glissements :

C’est un guidage par contact direct avec ce type de guidage apparaît un frottement entre le coulisseau et la glissière ce qui entraîne une perte d'énergie, une augmentation de la température et donc une usure entre les deux pièces.

Le frottement f dépend de la nature des matériaux, de l'état de surface. Pour diminuer f la solution est d'utiliser un lubrifiant. Les solutions par queue d'aronde ou par profil rectangulaire exigent un système de rattrapage de jeu pour fonctionner avec précision. Convient pour des vitesses de déplacement faibles ou modérées [9].

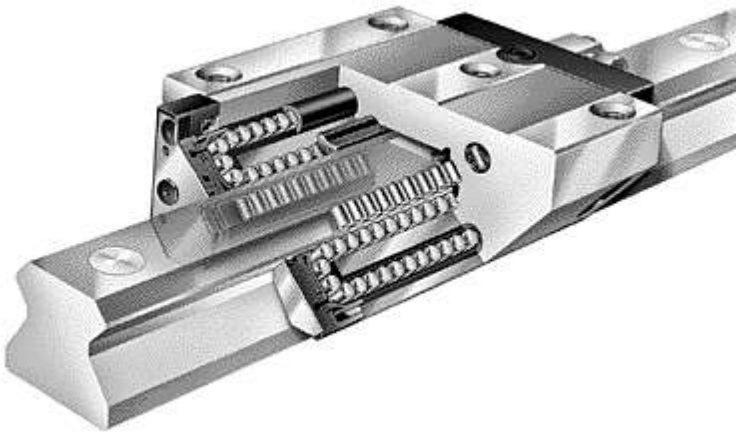
I.6.2.2. Guidage par roulement :

Il s'agit de remplacer le déplacement par glissement par un déplacement par roulement. Il suffit d'intercaler entre le coulisseau et la glissière des éléments roulants (billes). Meilleur rendement mais coût plus élevé. Améliore les performances (cadences, vitesses…), aucune lubrification nécessaire sauf pour les éléments roulants [9].

I.6.2.3. Rail de guidage pour le guidage prismatique :

Guidages linéaires sur patins utilisés dans la mécanique de précision (automation, dispositifs de contrôle et de mesure etc… Ils permettent une absence totale de jeu et ils possèdent un très faible coefficient de frottement (0,0005 à 0,003). Vitesse de déplacement de 3 à 5 m/s [9].

La (figure 1.11) nous montre un exemple d’un guidage prismatique.



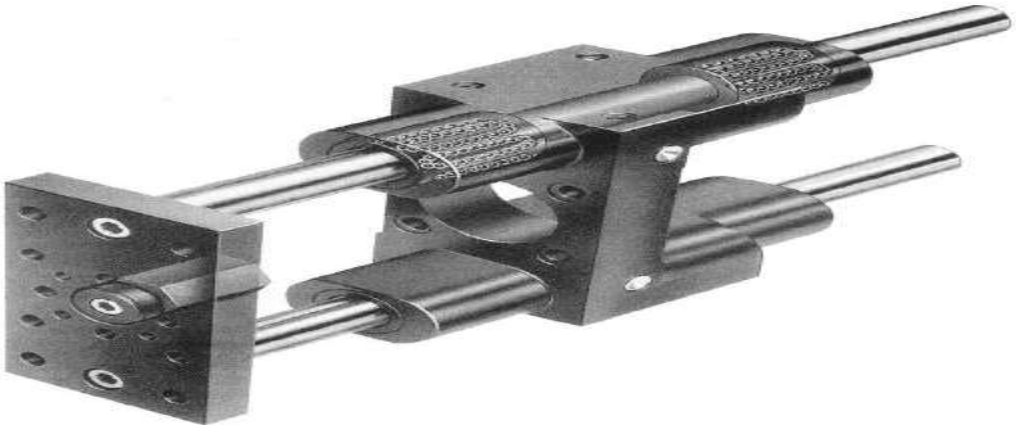
Fig(1.11) exemple de guidage prismatique

I.6.2.4.Douille à billes pour guidage cylindrique :

C’est un guidage avec interposition d’éléments roulants (figure 1.12) permettent des fonctionnements sans jeux, améliorent la précision et les performances. Valeur du coefficient de frottement de 0,001 à 0,005. Se montent par paire.

Utilisées sur les machines-outils, robots, systèmes automatisés… Vitesse de déplacement 5 m/s.

Economiques pour arbres lisses, ne supportent que des charges radiales [9].



Fig(1.12) : Module de guidage linéaire (Schrader)

I.6.2.5.Critères de choix d’un système de guidage :

Le choix d’une solution constructive repose sur son aptitude à satisfaire le cahier de charge de l’application, en mettant en jeu le minimum de ressources.

Les principaux indicateurs de qualité sont les suivants [9] :

- Précision du guidage
- Vitesse de déplacement maximale
- Intensité des actions mécaniques transmissibles
- Fiabilité (probabilité de bon fonctionnement)
- Maintenabilité (probabilité liée à la durée de réparation)
- Encombrement
- Esthétique
- Coût

I.7.Les prés actionneurs électriques :

Les prés actionneurs font partie de la chaîne d'action d'un actionneur électromagnétique. Les prés actionneurs sont les interfaces entre la Partie Commande et la Partie Opérative. Ils distribuent, sur ordre de la Partie Commande, l'énergie de puissance aux actionneurs [10].

Un pré-actionneur est choisi en fonction de :

- La partie commande.
- La source d'énergie.
- L'actionneur.

Parmi les prés actionneurs électriques les plus utilisés on trouve les relais et les contacteurs.

Ces dispositifs permettent de commander un circuit de puissance à partir d'un circuit de commande.

Les relais sont utilisés avec des circuits intégrés et un petit circuit de commutation (transistor), ils permettent de commander un circuit de puissance (contacteurs, lampes…).

Les contacteurs fonctionnent de la même façon que les relais, ils permettent cependant la circulation d'un courant beaucoup plus important. . Les contacteurs sont utilisés pour des très fortes puissances [10].

I.7.1. Relais électromagnétique :

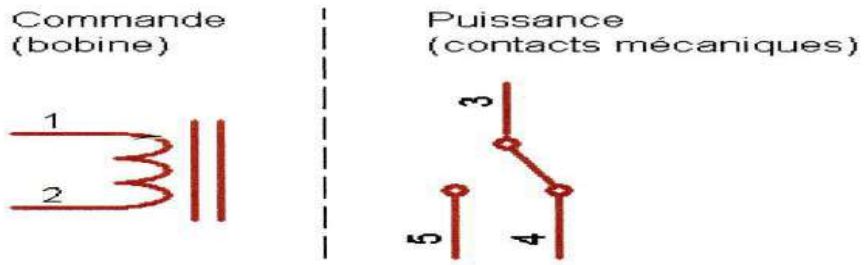
Un relais électromécanique est un organe électrotechnique permettant la commutation de liaisons électriques. Il est chargé de transmettre un ordre de la partie commande à la partie puissance d'un appareil électrique et permet, entre autres, un isolement galvanique entre les deux parties [10].

I.7.1.1. Description :

Un relais est composé principalement d'un électroaimant, qui lorsqu'il est alimenté, transmet une force à un système de commutation électrique (figure 1.13).

- L'électroaimant peut être, suivant les spécifications et besoins, alimenté en TBT (12 V, 24 V, 48 V) continu ou alternatif ou en BT (220 V, 380 V).
- Dans les systèmes mettant en œuvre une certaine puissance, on appelle les relais des contacteurs.

- Divers systèmes mécaniques ou pneumatiques peuvent créer un retard à l'enclenchement ou au relâchement.
- Un relais peut être monostable ou bistable :



Fig(1.13) fonctionnement d'un relais

I.7.1.2. Fonctionnement monostable :

Les contacts commutent quand la bobine est alimentée et le retour à l'état initial se fait quand la bobine n'est plus alimentée.

I.7.1.3. Fonctionnement bistable :

On alimente la bobine pour que les contacts commutent : l'état ne change pas quand la bobine n'est plus alimentée, un système mécanique bloque le retour. Pour revenir à l'état initial, on alimente à nouveau la bobine pour débloquer le mécanisme, dans certain cas en inversant la polarité de l'alimentation.

I.7.1.4. Utilisation :

La fonction première des relais est le plus souvent de séparer les circuits de commande des circuits de puissance à des fins d'isolement et bien souvent d'amplification des tensions et des courants.

On peut les utiliser aussi pour créer des fonctions logiques adaptées, comme ce fut le cas pour les premiers ordinateurs [10].

I.7.2. Les contacteurs :

Un contacteur (figure 1.14) est un appareil électrotechnique destiné à établir ou interrompre le passage du courant, à partir d'une commande électrique ou pneumatique.

Le contacteur, de par son mode de fonctionnement permet :

- de commander à distance un récepteur quelconque.

- de commander un récepteur de manière automatique.

I.7.2.1. Construction :

Unipolaires, bipolaires, mais encore tripolaires ou encore tétra polaires, en d'autres termes ils possèdent un, deux, trois ou quatre contacts de puissance.

Sur les contacteurs de puissance élevée les bobines de commande sont souvent interchangeables, permettant de commander le contacteur avec différentes tensions (24 V, 48 V, 110 V, 230 V, 400 V).

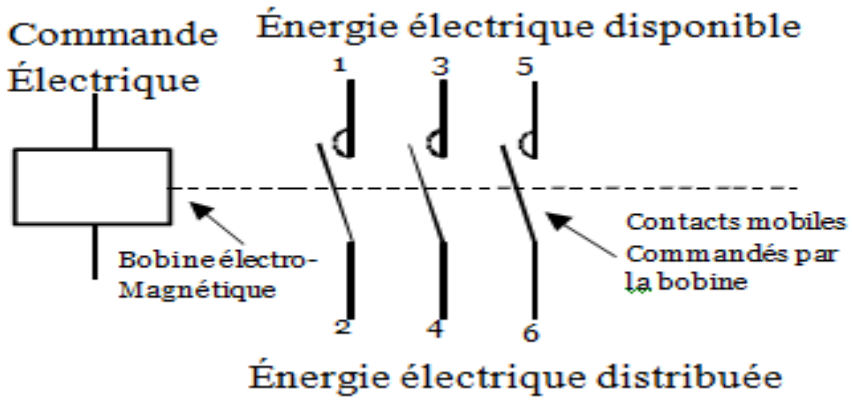


Fig. (1.14) fonctionnement contacteur

I.7.2.2. Contact de puissance :

Le contact de puissance est prévu pour résister à l'apparition d'un arc électrique issu d'un fort courant, à l'ouverture ou à la fermeture du circuit ; de ce fait, c'est ce contact qui possède un fort pouvoir de coupure.

I.7.2.3. Contacte auxiliaire :

Le contact auxiliaire n'est doté que d'un très faible pouvoir de coupure, le contacte auxiliaire fait partie de la commande du montage dont les courants restent faibles face à la partie puissance.

Ainsi, la seule différence qui existe entre un relais électromécanique et un contacteur est la présence ou non de contacts de puissance, pouvant établir ou interrompre de forts courants. On peut considérer un contacteur comme étant un (relais de puissance), ou bien un relais comme étant un contacteur dépourvu de contacts de puissance [10].

I.7.2.4. Utilisations :

Il a la même fonction qu'un relais électromécanique, avec la différence que ses contacts sont prévus pour supporter un courant beaucoup plus important. Ainsi, des contacteurs sont utilisés afin d'alimenter des moteurs industriels de grande puissance (plus de 50 kW) et en général des consommateurs de fortes puissances. Ils possèdent un pouvoir de coupure important [10].

I.8. Conclusion :

La génération de mouvement linéaire à partir d'un moteur rotatif nécessite l'emploi de plusieurs organes mécaniques, pour assurer la transformation du mouvement circulaire à un mouvement linéaire. L'utilisation d'un moteur linéaire nous permet d'éliminer les organes de transmission de puissance.

CHAPITRE II : Moteur a courant continue et alimentation en hacheur quatre quadrants.

II.1. Introduction :

La plupart des moteurs électriques fonctionnent grâce au magnétisme, mais il existe aussi des moteurs électrostatiques et d'autres utilisant l'effet piézoélectrique.

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en travail ou énergie mécanique; ce processus est réversible et peut servir à produire d'électricité [11].

II.2. Le moteurs électriques :

Il existe plusieurs moteurs électriques utilisés dans différentes applications classés souvent leur alimentation (alternative ou continue).

Dans les tables multiaxes, le moteur le plus souvent utilisé c'est le moteur pas à pas à cause de la simplicité de sa commande.

II.3. Le moteur à courant continue :

Une machine à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un Convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continue et un dispositif mécanique. Elle est aussi appelée dynamo.

- En fonctionnement moteur, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique.
- En fonctionnement générateur, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique. La machine se comporte comme un frein [12].

II.3.1. Critère de choix du moteur à courant continue :

Le choix de l'étude d'application du moteur à courant continue dans les tables multiaxes, repose sur plusieurs paramètres, on cite [12] :

- Haute puissance de sortie par rapport à la taille du moteur et le poids.
- Détermine la précision et la résolution du codeur.
- Haute efficacité. Il peut approcher les 90% à des charges légères.
- Couple élevé à taux d'inertie. Il peut accélérer rapidement des charges.
- A «réserve» de puissance. 2-3 fois la puissance continue pour de courtes périodes.
- A «réserve» du couple. 5-10 fois du couple nominal pendant de courtes périodes.

- Moteur reste froid. Appel de courant proportionnel à la charge
- Utilisable couple à grande vitesse. Maintient couple nominal à 90% de NL RPM

Résonance et le fonctionnement exempt de vibrations, et calme à des vitesses élevées.

II.3.2. Définition :

La machine à courant continu est la première machine électrique, elle utilise comme source d'énergie une source continue. Celle-ci a été créée par VOLTA. Son fonctionnement est basé sur un phénomène simple : Les Forces de LAPLACE

II.3.3. Organisation de la machine :

Dans l'organisation d'une machine à courant continu, on peut distinguer les principaux éléments suivants :

II.3.3.1. Stator ou « inducteur » :

Le stator, partie fixe, constitué par un aimant ou un électroaimant appelé également inducteur qui crée un champ magnétique dirigé vers l'axe du rotor. Il est formé d'aimant (figure2.1-a) pour les petites moteurs et des bobines (figure2.1-b) parcourue par un courant continue .les aimants ou les bobines permettant la création des flux magnétiques Les pôles inducteurs ont pour rôle de créer *le* flux inducteur dans la machine « Entre la culasse et l'induit »[12].

Ce flux est généré soit par des enroulements, soit par des aimants.

- Ce flux est canalisé dans la machine par des matériaux ferromagnétiques
- Ce flux étant constant dans la partie portant les pôles inducteurs et dans les pôles inducteurs eux-mêmes.



Fig (2.1) : a : aimant, b : bobines.

II.3.3.2. Induit« rotor » :

Le rotor partie mobile, appelé également induit, constitue par un cylindre d'acier doux à la périphérie du quel sont disposé des conducteurs reliés aux lames du collecteurs sur lesquelles frottent deux charbons (figure2.2), qui assurent la liaison avec les bornes du moteur [12].



Fig (2.2) : rotor du moteur à courant continue.

II.3.3.3. Collecteur :

Il est formé d'un ensemble de lame de cuivre isolé latéralement(figure 2.3) les unes des autres et disposés suivant un cylindre en bout de rotor. Deux balais portés par le stator frottent sur les lames du collecteur [12].

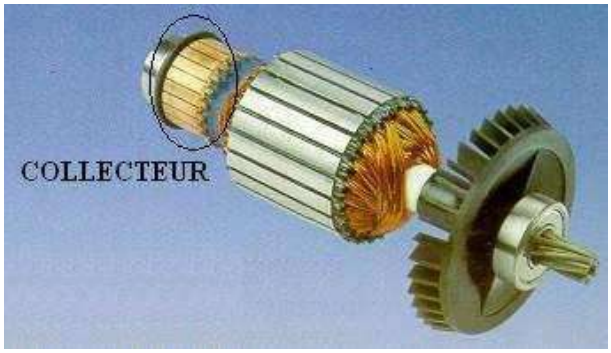


Fig. (2.3) : induit du moteur à courant continue.

II.3.3.4. Organe mécanique:

Le stator autoporteur reçoit de chaque coté un flasque sur lequel le rotor sera positionné grâce a des roulements à billes ou a rouleaux suivant le type de charge « axiale ou radiale »les pôles Inducteur sont en générale vissés sur le stator « ils peuvent aussi en faire partie intégrante.

Un ventilateur est placé en bout d'arbre, sur le rotor, pour le refroidissement de la machine. Il peut être complété par une ventilation forcée motorisée pour le refroidissement aux vitesses lentes. Le collecteur, l'ensemble porte balais et les balais se situent de l'autre coté

de la machine [12]. La (figure2.3) montre les différents organes dans un moteur a courant continue.

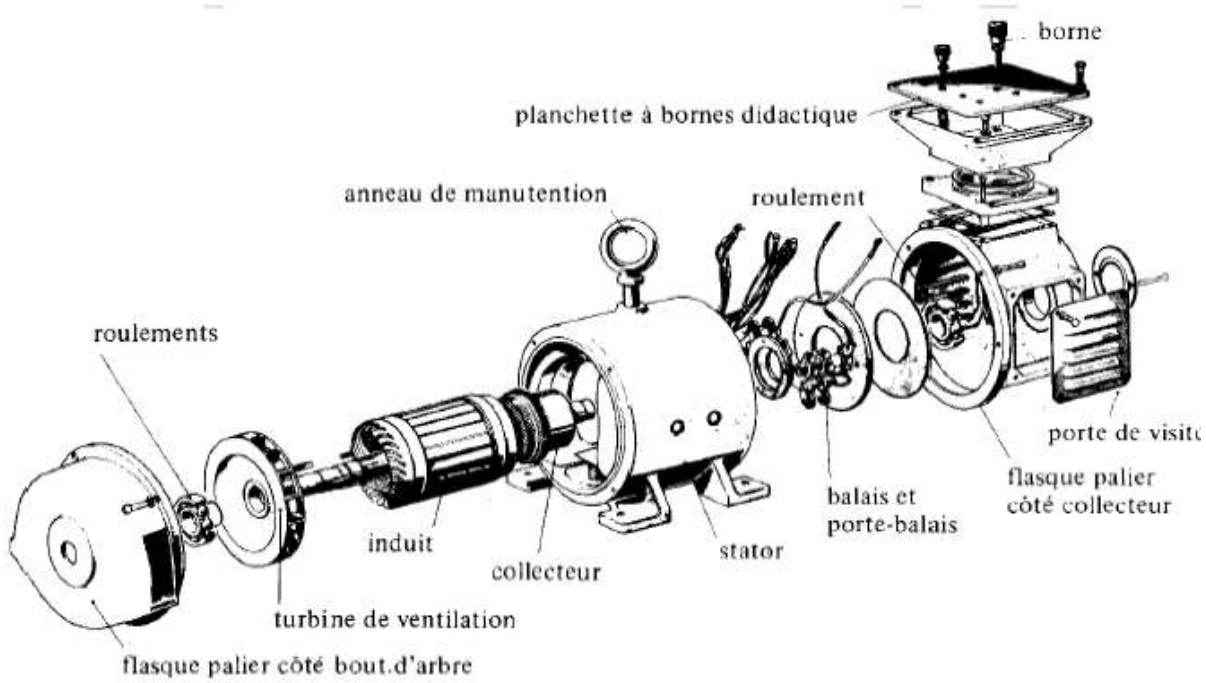


Fig (2.4) : Vue éclatée. « Machine à courant continue ».

II.3.4. Principe de fonctionnement :

Lorsque les conducteurs sont parcourus par un courant, ils sont soumis à des forces F_1 et F_2 qui tendent à faire tourner le rotor (figure2.4).le collecteur permet d'inverser le sens du courant dans les conducteurs lorsque ceux-ci passent le plan vertical [12].

Ainsi le sens du couple des forces F_1 et F_2et donc le sens de rotation du moteur est conservé.

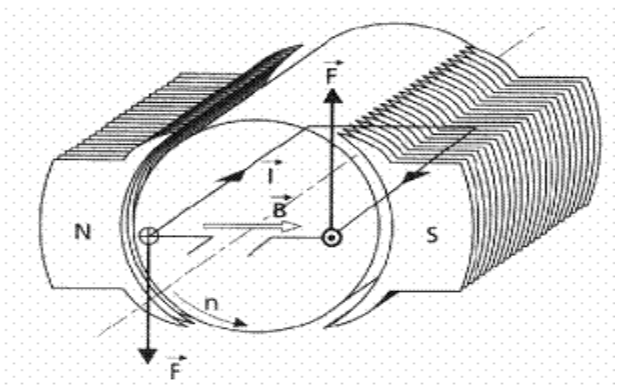


Fig (2.5) : principe de fonctionnement

II.3.4.1. Force électromotrice :

Nous savons qu'une bobine en mouvement dans un champ magnétique voit apparaître à ses bornes une **f**orce **é**lectro**m**otrice « **f.é.m.** » donnée par la loi de Faraday, sur ce principe, la machine à courant continu est le siège d'une f.é.m. E :

$$E = \left(\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot a} \right) \cdot N\Phi\,\Omega \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.1)$$

Avec ;

P ：Nombre de paire de pole

a ：Nombre de paires de voies d'enroulement ;

N ：Nombre de conducteurs « ou de brin-deux par spire » ;

Φ ：flux maximum à travers les spires « en Webers, Wb » ;

Ω：Vitesse de rotation « en rd/s ».

Pour :

$$k = \frac{\mathrm{P}}{2\pi \cdot a} \cdot N \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.2)$$

$$E = K\Phi\,\Omega \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.3)$$

Si la machine fonctionne à flux constants :

$$\mathrm{E} = \mathrm{K}'\Omega \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.4)$$

$$\mathrm{K}' = \mathrm{K}\Phi$$

II.3.5. Fonctionnement :

Imaginons une machine électrique alimentée par une source de tension U constante. Lorsque le moteur tourne à vide il n'a pas besoin de fournir de couple, I_a est très faible et $U \approx E$. La vitesse de rotation est proportionnelle à U [10].

II.3.5.1. Fonctionnement moteur :

Lorsque l'on veut la faire travailler, en appliquant un couple résistant sur son axe, cela la freine donc E diminue. Comme U reste constant, le produit $R_i \cdot Ii$ augmente donc I_i augmente, donc le couple T augmente lui aussi et lutte contre la diminution de vitesse : c'est un couple moteur . Plus on le freine, plus le courant augmente pour lutter contre la diminution de vitesse. C'est pourquoi les moteurs à courant continu peuvent « griller » lorsque le rotor est bloqué, si le courant de la source n'est pas limité à une valeur correcte [10].

$$U = E + R \cdot I \quad \text{…….……..} \quad (2.5)$$

II.3.5.2. Fonctionnement génératrice :

Si une source d'énergie mécanique essaie d'augmenter la vitesse de machine, « la charge est entraînante : ascenseur par exemple », _ augmente donc E augmente.

Comme U reste constant, le produit $R_i \cdot L_i$ devient négatif et augmente en valeur absolue, donc I_i augmente, donc le couple T augmente lui aussi et lutte contre l'augmentation de vitesse : c'est un (couple frein). Le signe du courant ayant changé, le signe de la puissance consommée change lui aussi. La machine consomme une puissance négative, donc elle fournit de la puissance au circuit. Elle est devenue génératrice. Ces deux modes de fonctionnement existent pour les deux sens de rotation de la machine. Celle-ci pouvant passer sans discontinuité d'un sens de rotation ou de couple à l'autre. On dit alors qu'elle fonctionne dans les quatre quadrants -du plan couple vitesse [10].

$$U = E - R \cdot I \quad \text{…….....} \quad (2.6)$$

II.3.6. Bilan de puissance :

Les (figures2.4 et 2.5) montrent les différentes pertes dans une MCC soit en respectivement en fonctionnement moteur et génératrice.

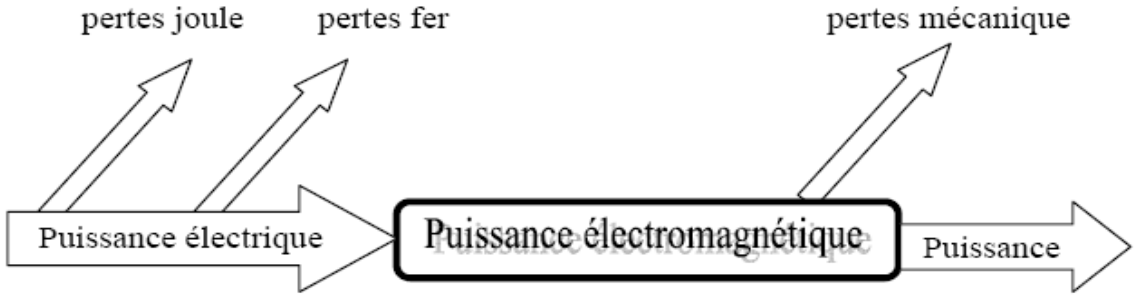


Fig (2.6) : bilan de puissance d'un moteur a courant continue

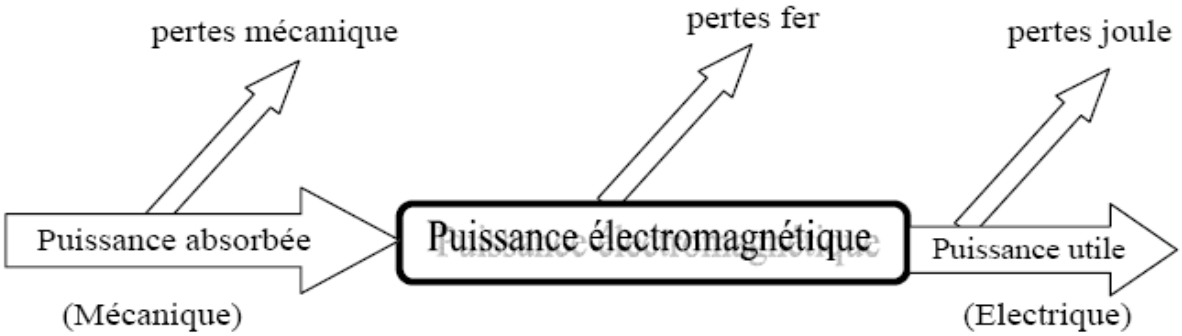


Fig (2 .7) : Bilan de puissance du générateur à courant continue.

Puissance utile « sur l'arbre en sortie moteur » :

- $P_U = P_{em}$ …… (2.7)

« Pertes mécanique + pertes magnétiques », en watts

Puissance absorbée « en entrée» :

- $P_{abs} = U \cdot I$ …….. (2.8)

« U: tension d'alimentation en volt, I : courant absorbée en ligne, P_{abs} en watt »

Pertes :

- Pertes par effet joule $\left(R \cdot I^2\right)$, pertes magnétiques, et pertes mécaniques

Le rendement :

$\eta = \frac{P_U}{P_{abs}}$ …… (2.9)

- Le rendement = Puissance fournie « utile » / Puissance totale absorbée.
- $P_{abs} = U \cdot I$ « + puissance absorbée par l'inducteur »

- $P_U = C_U \cdot \Omega$, d'ou rendement $\mu = \frac{C_U \,.\, \Omega}{U \,.\, I}$ ..... (2.10)

II.3.7. Les différents modes d'excitations :

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

II.3.7.1. Moteur à excitation séparée :

Ce mode d'excitation nécessite deux sources d'alimentations distinctes. L'alimentation de l'enroulement inducteur est prise sur une source indépendante de la source principale. On change le sens de rotation en permutant les bornes de l'induit ou de l'inducteur. Le circuit électrique est représenté par la (figure 2 .7*)* [10]:

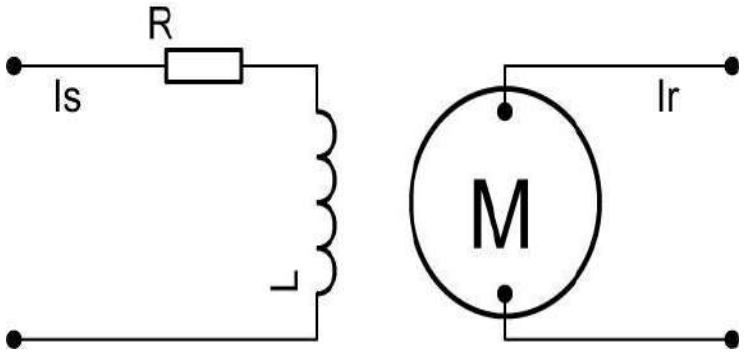


Fig (2 .8) : modélisation électrique d'un moteur à excitation séparée.

Domaine d'application :

Tableau (2.1) particularité et emploi d'une MCC a excitation séparée.

particularités	Emplois
Moteur autorégulateur de vitesse, la vitesse est relativement constante quelque soit la charge	Entraînement la machines-outils (Remplacé par le moteur asynchrone triphasé)

II.3.7.2. Moteur a excitation shunt (Dérivée) :

L'enroulement d'excitation est connecté en parallèle sur l'alimentation du moteur , il est possède les même propriétés que le moteur à excitation séparée du fait que , dans les deux cas , l'inducteur constitue un circuit extérieur à celui de l'induit[10] .le circuit électrique est représenter par la (figure 2 .8) :

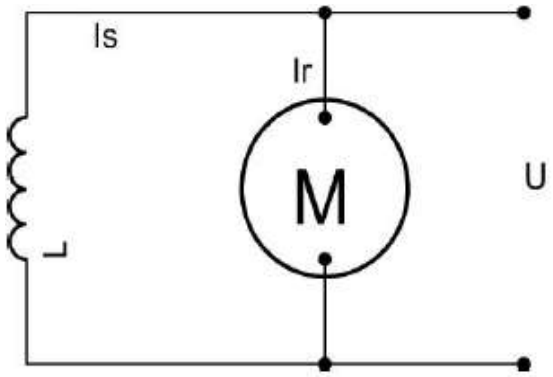


Figure. (2.9) : Modélisation électrique d'un Moteur à excitation shunt.

Domaine d'application :

Tableau (2.2) particularité et emploi d'une MCC a excitation shunt.

particularités	Emploi
Ne s'emballe pas couple de démarrage meilleur qu'en d'excitation dérivation	Appareils de levage et de manutention utilisé aussi en excitation indépendant

II.3.7.3. Moteur à excitation série :

Le circuit d'excitation est placé avec l'induit du moteur. Sa particularité est d'avoir un inducteur qui est traversé par le même courant, l'inducteur possède donc une résistance plus faible que celle des autres types de machines. L'inducteur est en série avec l'induit : une seule source d'alimentation suffit. On change le sens de rotation en permutant les connexions de l'induit et de l'inducteur[10]. Le circuit électrique est représenté par la (figure 2 .9) :

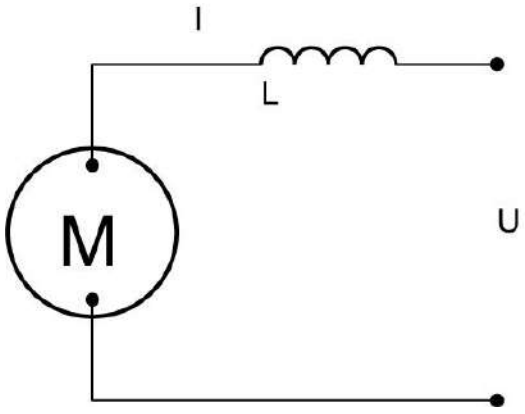


Figure. (2 .10) : Modélisation électrique d'un Moteur à excitation série.

Domaine d'application :

Tableau (2.3) particularité et emploi d'une MCC a excitation serie.

Particularités	Emploi
Moteur autorégulateur de puissance .possède un très grande couple de démarrage mais risque l'emballement à vide .la vitesse décroît quand la charge augmente	Le moteur qui convie le mieux en traction électrique

II.3.7.4. Moteur à excitation compound (Composée) :

C'est une combinaison des excitations Shunt et Série, on peut réaliser un compound - age additif (Si les flux des deux enroulements s'additionnent) ou soustractif (dans le cas contraire). [10]

La (figure 2.10) montre la modalisation de l'excitation compound ;

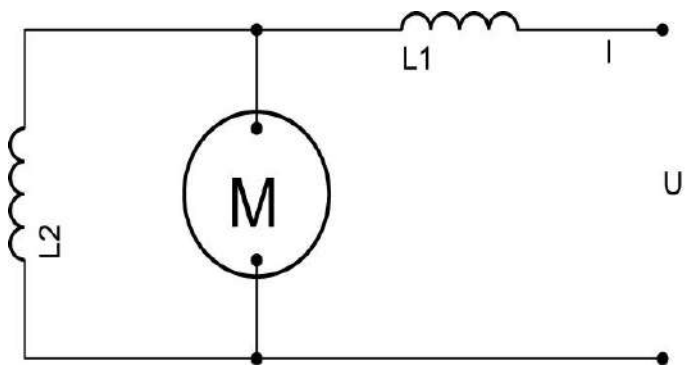


Figure (2.11) : Modélisation électrique d'un Moteur à excitation compound.

Domaine d'application **:**

Tableau (2.4) particularité et emploi d'une MCC a excitation compound.

Particularités	Emploi
Risque d'emballement du fait de l'annulation du flux résultant des enroulements	Pratiquement ce moteur n'est plus utilisé.

II.3.8. Variation de la vitesse de la machine a courant continue :

$$\omega = \frac{(U - Ra.Ia)}{K'\Phi} \quad \text{..... (2.12)}$$

La figure suivante : a.-action sur la tension à flux constant- la figure représente la courbe de variation de la vitesse en fonction de la tension pour une charge constante. b.-action sur le flux à tension constante la (figure2.11) et (figure2.12) représentent la courbe de variation de la vitesse en fonction de flux d'excitation pour une charge constante[10].

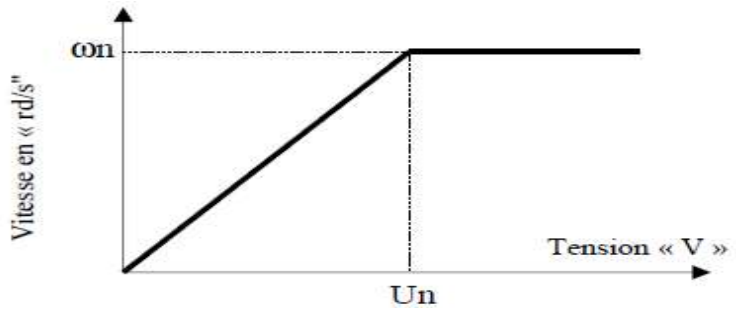


Figure (2.12) : a. variation de la vitesse en fonction de la tension d'induit.

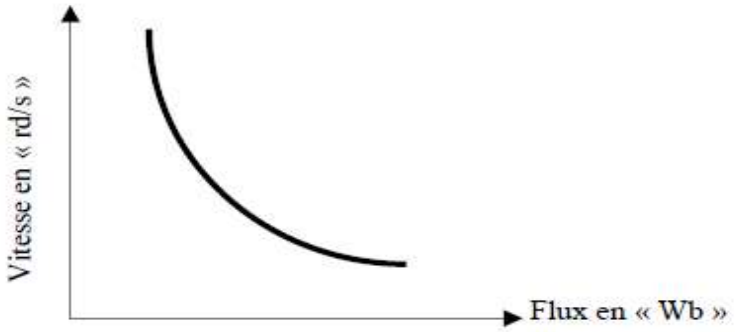
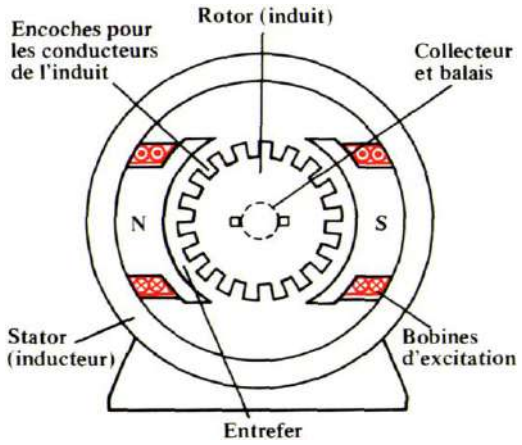


Figure (2.13) : b. variation de la vitesse en fonction du flux d'inducteur.

II .3.9.Avantage et inconvénient moteur à courant continue :

Tableau (2.5) avantages et inconvénients d'un moteur a courant continue.

avantages	inconvénient	Schéma
• Simplicité de mise en ouvre • Commande électrique simple • Elément connu par les élevés • Facile de faire varier sa vitesse (U_{induit}commande Ω)	• Prix >100F avec le moto réducteur (~150F) • Risque de casse si blocage • Commande par relie obligatoire • Niveau sonore de la moto réductrice • Maintenance (changement régulière des contactes bagues-balais)	

II.4. Les hacheurs :

Un hacheur permet d'obtenir une tension unidirectionnelle de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue (figure2.13) . C'est un convertisseur continue - continue (tension V_e continue – courant I_S continue) [13] dont le symbole est :

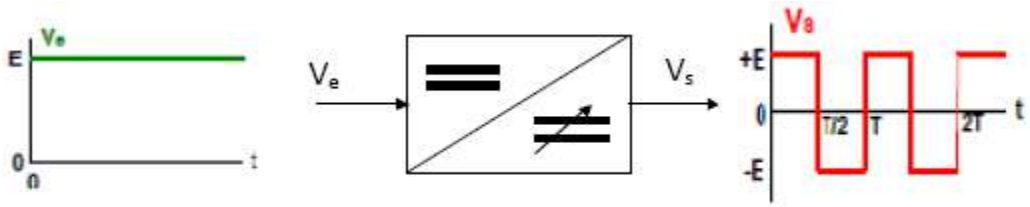


Fig (2.14) : Réglage de tension par hacheur.

Ou plus exactement tension toujours de même signe, valeur moyenne réglable.

Un hacheur peut être réalisé à l'aide d'interrupteur électronique commandable à l'ouverture et à la fermeture tels que les thyristors CTO ou les transistors bipolaires ou à effets de champ à grille isolée.

II .4.1.Analyses du fonctionnement hacheur :

Le principe de fonctionnement du hacheur repose sur :

- La Création aux bornes de la charge d'une tension de valeur positive et négative en alternance.
- L'utilisation d'interrupteurs bidirectionnels formés par un transistor et une diode montée en antiparallèle.
- La commande permettant de gérer les interrupteurs.

Nous nommerons K chaque interrupteur bidirectionnel. A l'aide de la maquette, chacun est commandé indépendamment des autres. Il a été dit précédemment que le but est de créer aux bornes de la charge une tension alternative. Pour cela, il suffit de commander les interrupteurs deux à deux[13]. Nous verrons deux types de commandes :

- Commande symétrique.
- Commande décalée.

II.4.2. Hacheur quatre quadrants :

Dans de nombreux systèmes, il est nécessaire de pouvoir commander le sens de rotation ainsi que la vitesse d'un moteur à courant continu (par exemple, dans le laboratoire, le

moteur du sécateur électronique, le pilote automatique ou les moteurs à courant continu du Transgerbeur).

Un principe largement utilisé est la commande par pont de transistors : Le Hacheur 4 quadrants[13].

II .4.2.1.Définition :

C'est un hacheur réversible en tension et en courant, il est basé sur une structure en pont portant les interrupteurs K_1(D_1, T_1), K_2(D_1, T_1), K_3 (D_1, T_1)et K_4(D_1, T_1).Chaque interrupteur K_i est constitué par un interrupteur commandé unidirectionnel(un thyristor) H, et une diode D, c'est grâce aux diodes qu'on arrive à obtenir des interrupteurs bidirectionnels.

Le courant dans la charge circulera ainsi dans les deux sens, ceci assure la réversibilité en courant du hacheur. Le transfert de puissance peut se faire dans les deux sens (la charge reçoit et fournie de l'énergie). Le point de fonctionnement se balade dans les quartes quadrants du diagramme (< U_C >, < I_C >).

Cela permet, lorsqu'on alimente un moteur à courant continu, du faire tourner dans les deux sens et également du faire fonctionner en génératrice (figure2.14) et, par exemple, de récupérer de l'énergie électrique pendant les phases de freinage [13].

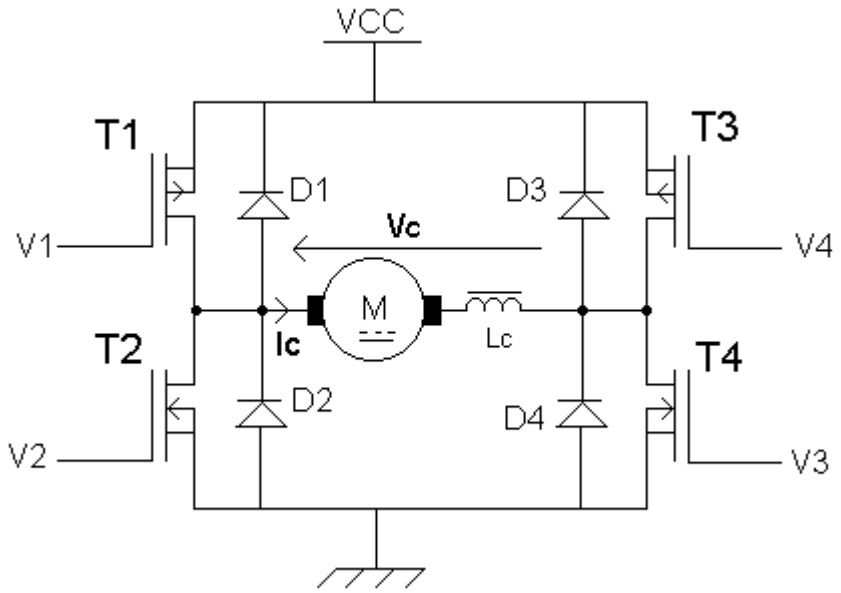


*Fig (2.15**)** : schéma d'un moteur à courant continue commandée par hacheur.*

L_C : inductance de lissage du courant

II.4.2.2. Changement du sens de rotation : principe général :

4 transistors, symbolisés ici par des interrupteurs T1, T2, T3 et T4, sont montés en pont et permettent de commander le sens de rotation du moteur (figure2.15) : Lorsque T1 et T4 sont fermés (saturés), le moteur tourne dans un sens (sens 1). Lorsque T2 et T3 sont fermés, le moteur va tourner dans l'autre sens [13] (sens 2).

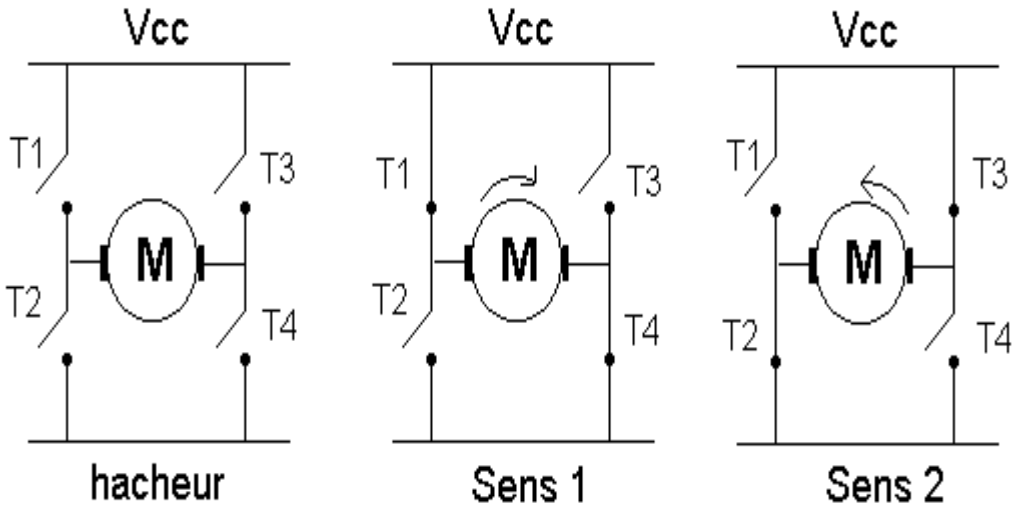


Fig (2.16) : changement de sens de rotation en quatre quadrants.

II.4.2.3.Principe de la variation de vitesse et fonctionnement dans les 4 quadrants :

En jouant sur la fréquence de commutation des transistors, il est possible de faire varier la vitesse de rotation du moteur en limitant plus où moins la puissance fournie au moteur.

La commande des interrupteurs est du type complémentaire : Les transistors T1, T4 d'une part et T2, T3 d'autre part reçoivent des signaux de commande identiques : au cours d'une période de fonctionnement, lorsque T1 et T4 sont commandés à l'amorçage, T2 et T4 sont commandés au blocage et inversement (figure 2.20).

Sur le schéma ci-dessous, T1 et T4 sont commandés pendant le temps $a \cdot T$ et les transistors T2, T3 sont commandés pendant le temps $(T - a \cdot T)\,[0 \le a \le 1]$. On constate naturellement que la tension V_C aux bornes du moteur s'inverse [13].

II.4.2.4. Les interrupteurs bidirectionnels :

4 modes de fonctionnement $\begin{cases} VS > 0 \text{ et } IS > 0 \\ VS > 0 \text{ et } IS < 0 \\ VS < 0 \text{ et } IS > 0 \\ VS < 0 \text{ et } IS < 0 \end{cases}$

II.4.2.5. Commande séquentielle

On ne fait travailler que deux interrupteurs :

- L'un fermé en permanence, joue le rôle d'interrupteur d'aiguillage ;

L'autre, fermé et ouvert à la fréquence de fonctionnement du hacheur assure le hachage Pour obtenir une tension $V_S > 0$, (figure2.16), on peut commander en permanence la fermeture de T4[13].

- Si $I_S > 0$ on hache par T1 :

  T1 fermé, I_S passe par T1 et T4 : $V_S = U$ et $I_e = I_S$

  T1 ouvert, I_S passe par D2et T4 Vs=0 et Ie = 0

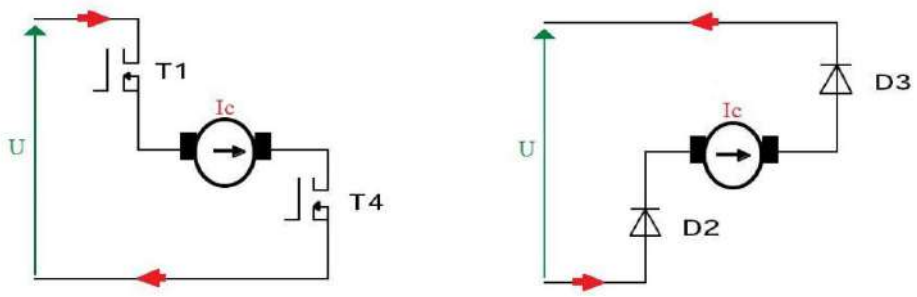


Fig (2.17) : schéma de sens du courant dans le quadrant 1.

- Si $I_S < 0$, on hache par H2(figure2.17) :

  T2 fermé – I_S passe par T2 et D4 : Vs= 0 et Ie = 0
  T2 ouvert – I_S passe par D1 et D4 Vs= U et Ie = - I_S

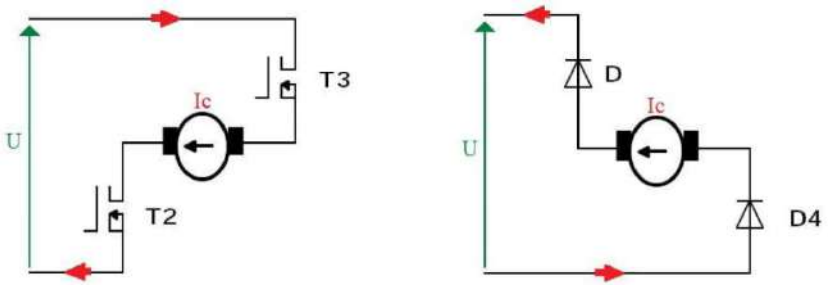


Fig (2.18) : schéma de sens du courant dans le quadrant 2.

Pour obtenir une tension Vs <0, on peut commander en permanence la fermeture de T3 :

- Si $I_S > 0$, on hache par T1 :

T1 fermé, I_S passe par T1 et D3 : $V_S = 0$ et $I_e = 0$

T1 ouvert, I_S passe par D2 et D3 : $V_S = -U$ et $I_e = -I_S$

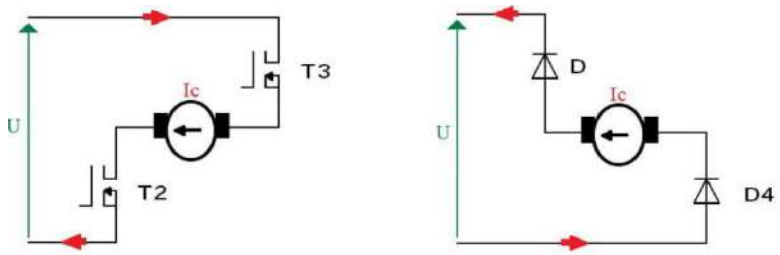


Fig (2.19) : schéma de sens du courant dans le quadrant 3.

- Si $I_S < 0$, on hache par H2 (figure2.19):

T2 fermé I_S passe par T 2 et T3 : $V_S = -U$ et $I_e = I_S$

T2 ouvert $-I_S$ passe par D1 et T3 : $V_S = 0$ et $I_e = 0$

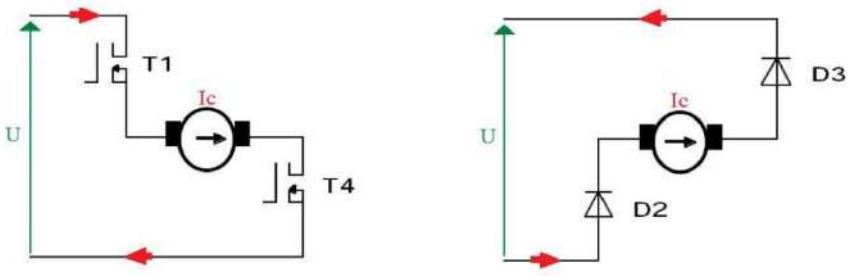


Fig (2.20) : schéma de sens de courant dans le quadrant 4.

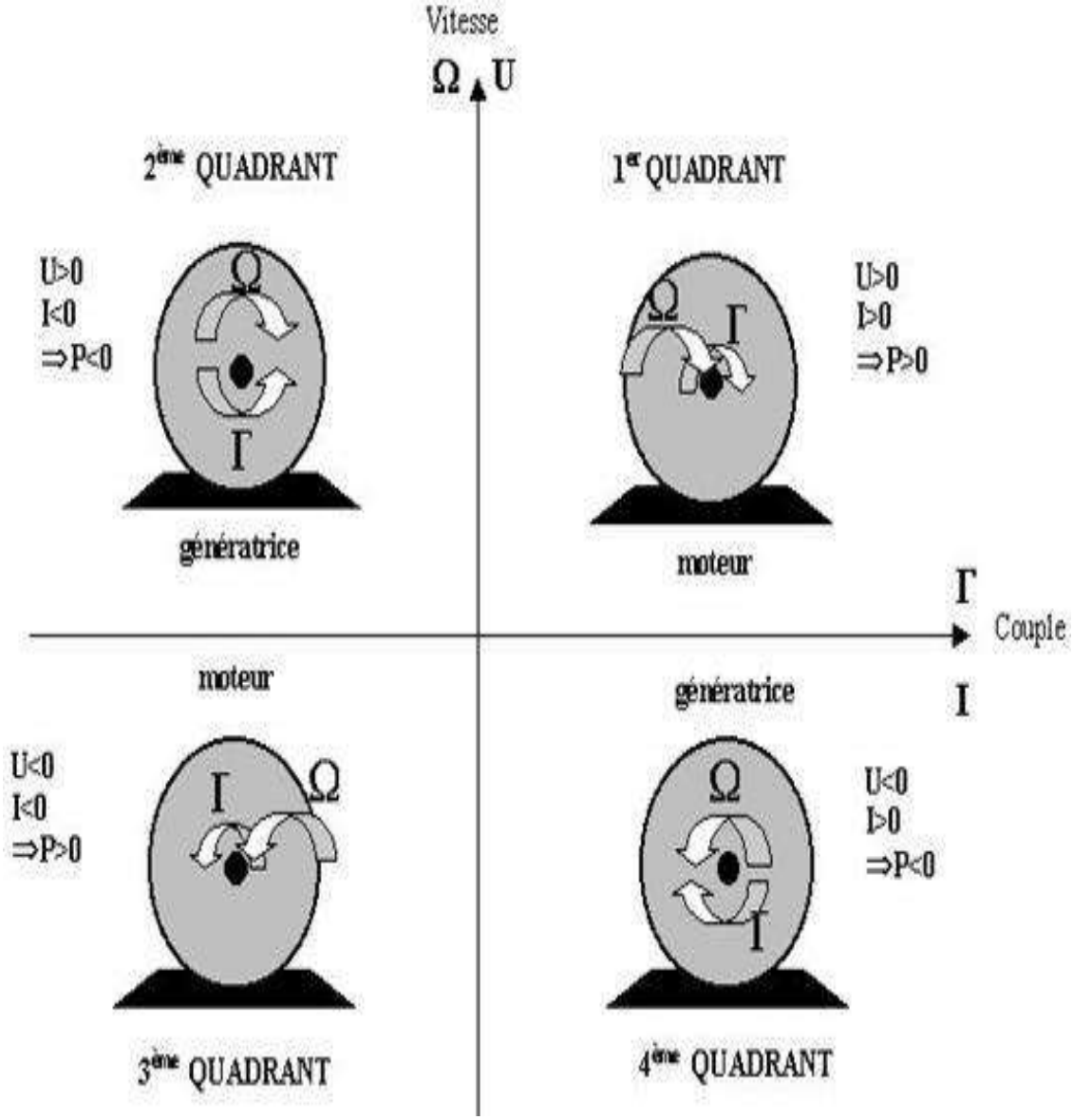


Fig (2.21) : les différents fonctionnement du moteur a courant continue par hacheur quadrant.

Avantage :

- Inversion rapide de la tension et du courant

Inconvénients :

- 2 fois plus de commutations par période ;
- Variation de la tension de sortie Vs 2 fois plus grands, ce qui augmente l'ondulation du courant I_S.
- En effet, le courant de pointe dans les diodes est très supérieur au courant moyen .
- En conséquence, il faut choisir des diodes pouvant supporter des courants de pointes élevés

II.5. Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à l'identification des machines à courant continu et ainsi que la détermination de leurs paramètres électriques et mécaniques.

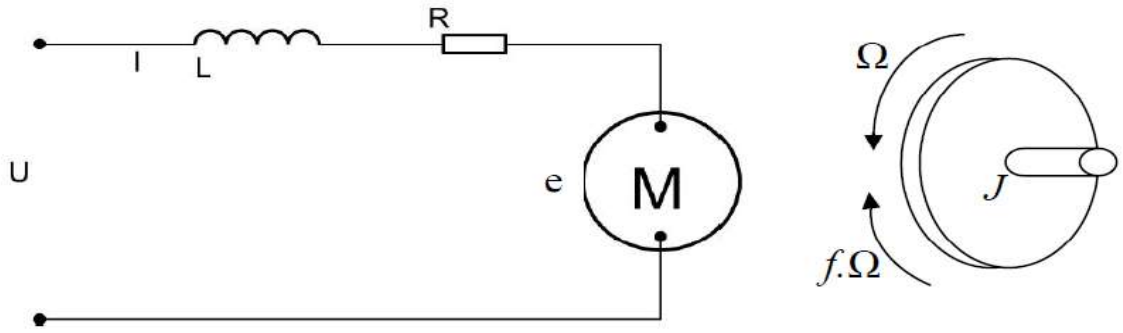
L'optimisation de la gestion énergique nous a amenés à utiliser un hacheur quatre quadrants comme amplificateur de puissance ; ce qui permet le freinage par récupération d'énergie.

CHAPITRE III : Modalisation de l'ensemble moteur alimentation

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on va étudier la modélisation de la MCC en boucle ouverte, l'alimentation à l'aide d'un hacheur quatre quadrant et finalement réaliser l'association de la liaison hacheur moteur.

III.2. Modélisation d'un moteur à courant continu :



Fig(3.1) : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu.

Selon le schéma de la (figure. 3.1)**,** un moteur électrique à courant continu est régit par les équations physiques découlant de ses caractéristiques électriques, mécaniques et magnétiques.

D'après la loi de Newton, combiné à des lois de Kirchhoff, On peut écrire les équations différentielles de premiers ordres suivantes [14] :

$$u(t) = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt} + e(t) \qquad (3.1)$$

$$e(t) = Ke\Omega(t) \qquad (3.2)$$

D' après le principe fondamental de la dynamique on a :

$$j\frac{d\Omega}{dt} = C_u - C_r \qquad (3.3)$$

$C_u = K_c i(t) - C_p$

$C_r = f\Omega(t)$

III.2.2. Fonction de transfert du moteur :

On passe en Laplace

$$Ri(p) = Li(p) + E = U(p) \quad (3.4)$$

$$E = K_e\Omega(p) \quad (3.5)$$

$$Jp\Omega(p) = C_u - C_r \quad (3.6)$$

En combinant *(3.4)* et *(3.5)* on obtient :

$$U(p) = Ri(p) + Lpi(p) + K_e\Omega(p)$$

En modifiant (3.6) on a :

$$Jp\Omega(p) = K_c i(p) - C_p - f\Omega(p)$$

On en déduit l'expression de $\Omega(p)$

$$\Omega(p) = \frac{K_c i(p) - C_p}{f + Jp}$$

On peut en sortir l'expression de *i(p)* :

$$i(p) = \frac{f + Jp}{K_c}\left(\Omega(p) + \frac{C_p}{f + Jp}\right)$$

On l'injecte à présent dans *(II.4)*

$$U(p) = \Omega(p)\left(\frac{(R + Lp)(f + Jp)}{K_c}\right) + \frac{R + Lp}{f + Jp}C_p$$

Si on suppose que le moment du couple de pertes (qui est vu comme une perturbation) est négligeable devant le moment du couple électromagnétique ($K_c i(t)$) on peut alors prend C_p nul pour simplifier le système.

On a donc :

$$U(p) = \Omega(p)\left(\frac{(R + Lp)(f + Jp)}{K_c}\right)$$

La fonction de transfert cherchée *H(p)* est entre la tension entrant dans le moteur *U(p)* et la vitesse de sortie *Ω(p)*, les valeurs numériques sont données dans le tableau suivant.

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_c}{(R + Lp)(f + Jp) + K_c K_e}$$

III.2.3 Simulation du modèle de la MCC en boucle ouverte :

Les valeurs numériques du MCC choisi

Tableau: (2.1) valeur numérique utiliser dans la simulation.

Résistance aux bornes	R=14.3Ω
Constante de couple	Kc=0.9223 *mNm.A−1*
Constance de vitesse	Ke=0.9223 *mNm.A−1*
Inductance	L=0.33 *mH*
Moment d'inertie rapporté au rotor	j=0.0054 *kg.m2*
Coefficient de frottement visqueux	f=0.0005271;

On peut établir le modèle mathématique de la réponse en vitesse du moteur électrique qui est donné par la figure suivante (figure 3.2) :

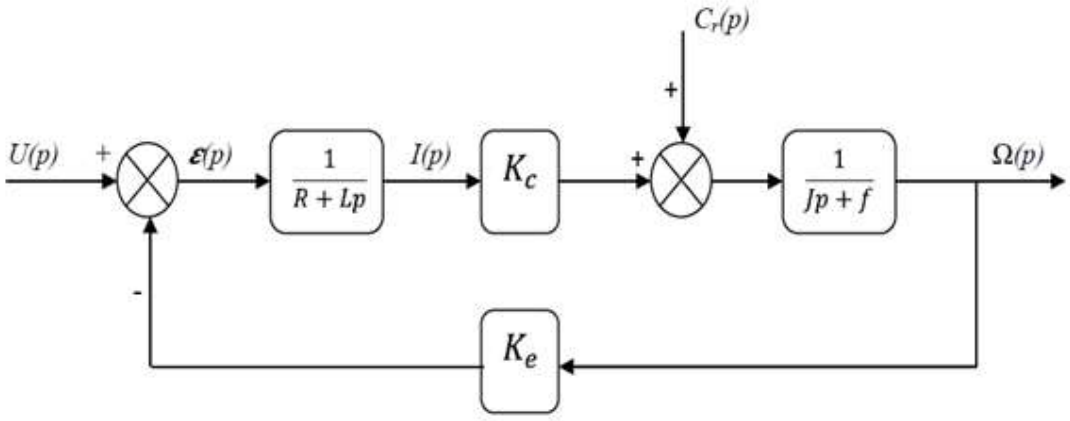


fig (3.2) : Schéma bloc du Modèle de moteur électrique en vitesse en boucle ouverte

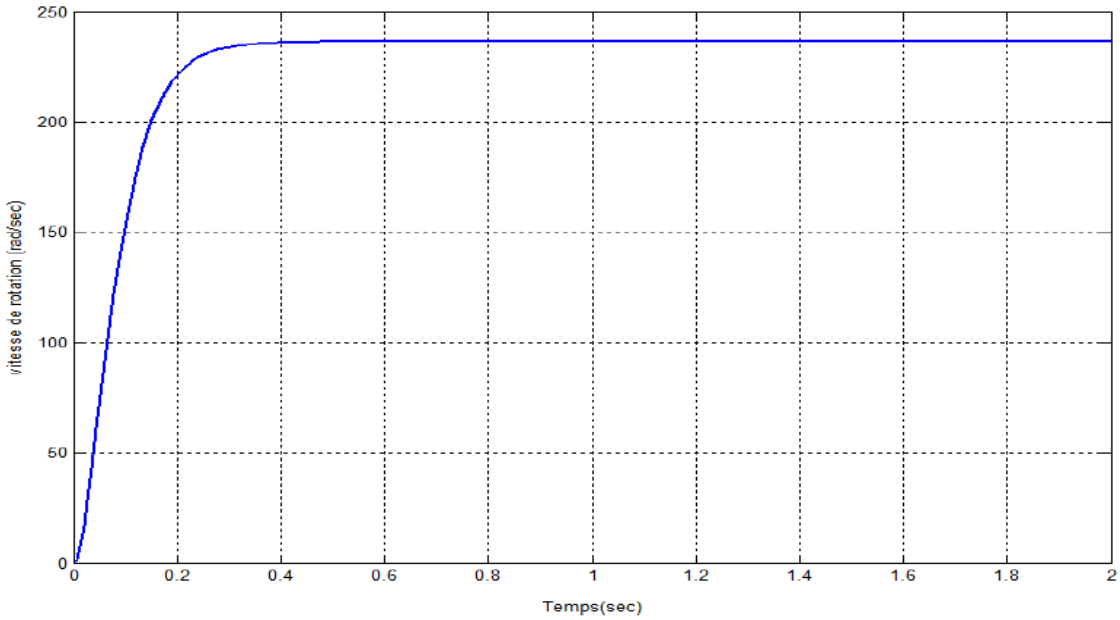


fig (3.3) : Modélisation sous Matlab de la réponse de vitesse en boucle ouverte

D'après l'équation (3.7), le système modélisé soit du second ordre, lorsque l'inductance interne est négligeable devant la résistance interne (ce qui est généralement le cas) il s'apparente à un système du premier ordre[15].

On peut établir le modèle mathématique de la réponse en position du moteur électrique qui est donné par la figure suivante (figure. 3.4):

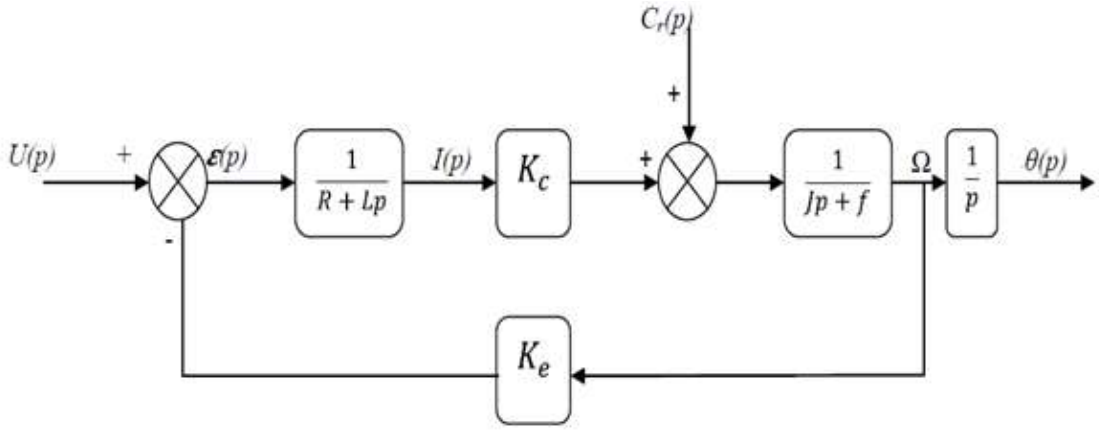
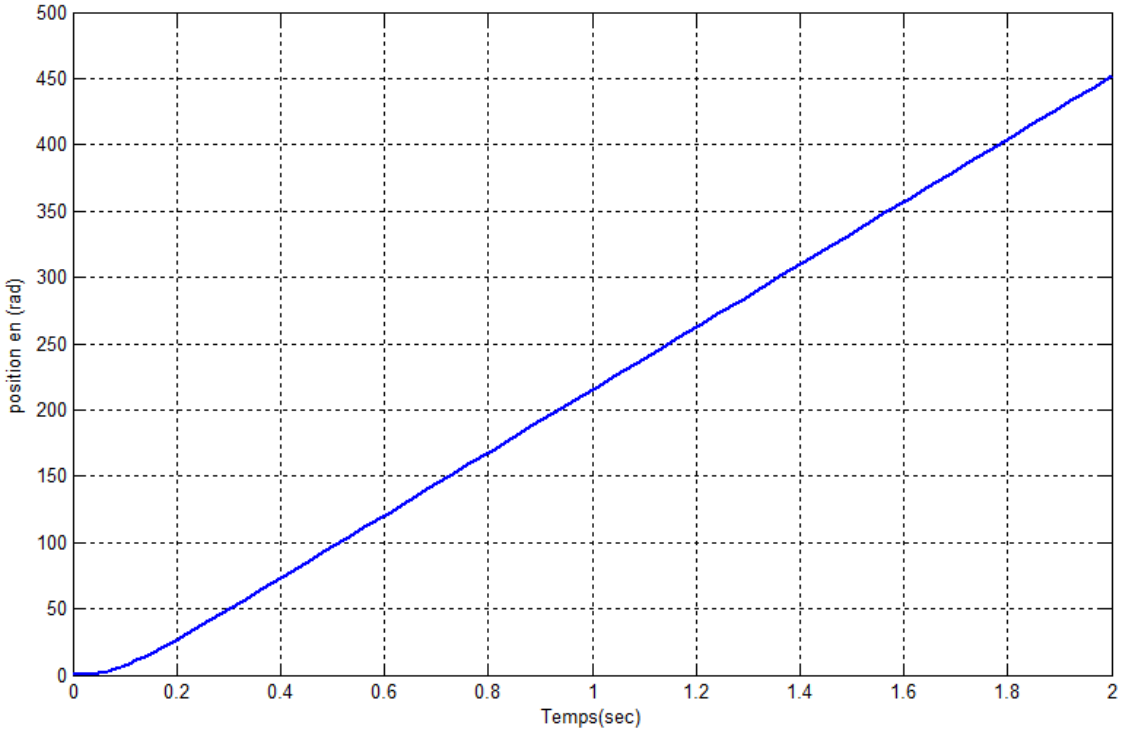
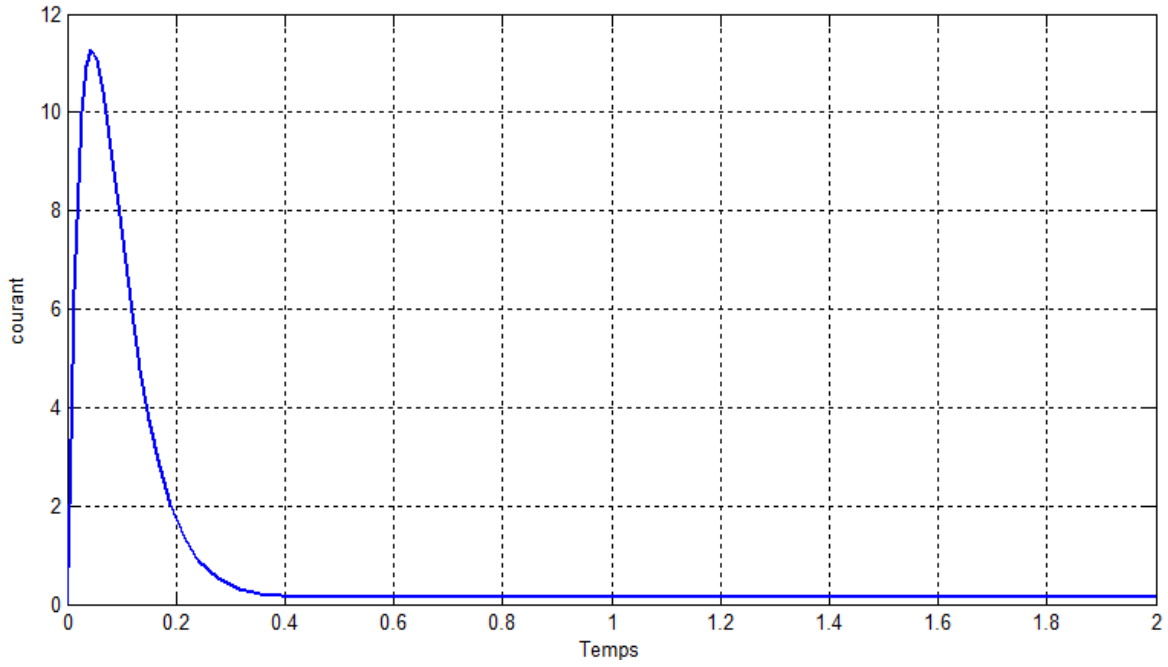


fig (3.4) : Schéma bloc du Modèle de moteur électrique en position en boucle ouverte



Fig(3.5) : Modélisation sous Matlab de la réponse de position en boucle ouverte

D'après la (figure.3.5), on voit bien que la réponse en position est une rampe, on va effectuer une régulation améliorer les performances en position.



Fig(3.6) **:** *La réponse de courant de l'induit en boucle ouverte*

Interprétation :

On remarque d'après les figures (3.6) et (3.4) une augmentation de vitesse progressive en parallèle avec une diminution du courant. On remarque aussi un pic de courant au démarrage du a l'application de la tension nominal (F E M nul).

Apres la stabilisation le courant augmente à cause de l'application du couple résistant perturbateur.

III.3. Modélisation de l'alimentation de la Mcc :

Le convertisseur statique de puissance qui fournit une tension variable aux bornes du moteur – à partir de la tension continue d'alimentation de l'ensemble du montage, est modélisé par un bloc à gain constant qui ne présente ni retard, ni pertes.

Les hypothèses concernant la représentation du fonctionnement du moteur et sont admises de façon unanime dans toutes les études sur le contrôle en vitesse de la machine est alimentée à partir d'une source de tension continue fixe, doit être capable de par sa structure physique et sa commande, d'imposer aux borne de la machine une tension dont la valeur moyenne soit variable et contrôlable [15].

III.3.1.Modélisation d'un hacheur série :

On appelle aussi hacheur dévolteur, son nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie est inférieure de celle de l'entre (figure3.7), il comporte un interrupteur à amorçage et à blocage commande (transistor bipolaire, transistor MOS ou EGBT) et un interrupteur à blocage et à amorçage spontanés (diode)[14].

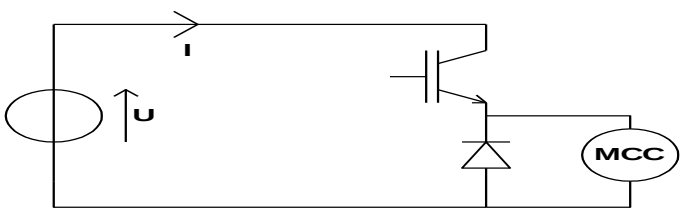
La valeur moyenne de sa tension de sortie est : $\overline{U} - \alpha \cdot U$

Tel que α c'est le rapport cyclique du hacheur

Et son modèle est représenté par l'équation suivante : $\overline{U} = S \cdot U$ (3.7)

Tel que S est l'état logique de l'interrupteur T.

U est une tension constante ; la charge est inductive (RL)et on suppose l'inductance de bobines suffisamment élevée pour que i_c ne s'annule jamais (conduction continue).H est interrupteur commandé : un transistor ou un thyristor avec circuit



Fig(3.7) : hacheur serie.

III .3.3.Modélisation d'un hacheur réversible en tension et en courant :

Le choix d'un hacheur réversible en courant et en tension permet le fonctionnement dans les quatre quadrants du plan couple/vitesse avec récupération d'énergie dans la phase de récupération. Le convertisseur utilisé est un hacheur à transistor MOSFET

Il permit aussi de contrôler la tension de sortis par la modification de rapport cyclique α selon l'équation suivante :

$$\overline{V} = (2\alpha - 1)E \qquad (3.8)$$

Le modèle du hacheur en pont est donné par l'équation suivante :

$$V = (S_1 - S_2)E \qquad (3.9)$$

Tel que S_1 est l'état logique des interrupteurs T1 et T4 et S_2 c'est l'état logique des interrupteurs T2 et T3.

III .3.3.1.Commande par modulation de largeur impulsion :

Un signal MLI est constitué tout simplement d'un signal contenant des impulsions à intervalle régulières obtenus par la comparaison entre un signal de découpage porteuse (figure3.8), qui est en générale triangulaire ou dent de scie et le signal de référence V_r . Ces impulsions ou moins longue. Ce qui a pour effet de modifier la valeur moyenne du signal envoyé. La valeur moyenne du signal peut être contrôlée en variant uniquement la valeur de V_r [14].

Le but de contrôler la valeur moyenne du signal est de pouvoir l'utiliser pour faire varier la vitesse du moteur à courant continue (figure3.9).

III .3.3.2.Commande de MLI du hacheur série :

Soit le signal de la porteuse $V_P(t)$ est :

$$V_P(t) = \begin{cases} V_P = 2V_{pm}\left(\dfrac{t}{T_P}\right) \Rightarrow t < TP/2 \\ V_P = -2V_{pm}\left(\dfrac{t}{T_P}\right) \Rightarrow 2 < t < T_P \end{cases}$$

L'algorithme de commande utilisé est : si non

$$\text{Si} : \begin{cases} Vr > VP \Rightarrow S = 1 \\ \text{si non} \Rightarrow S = 0 \end{cases}$$

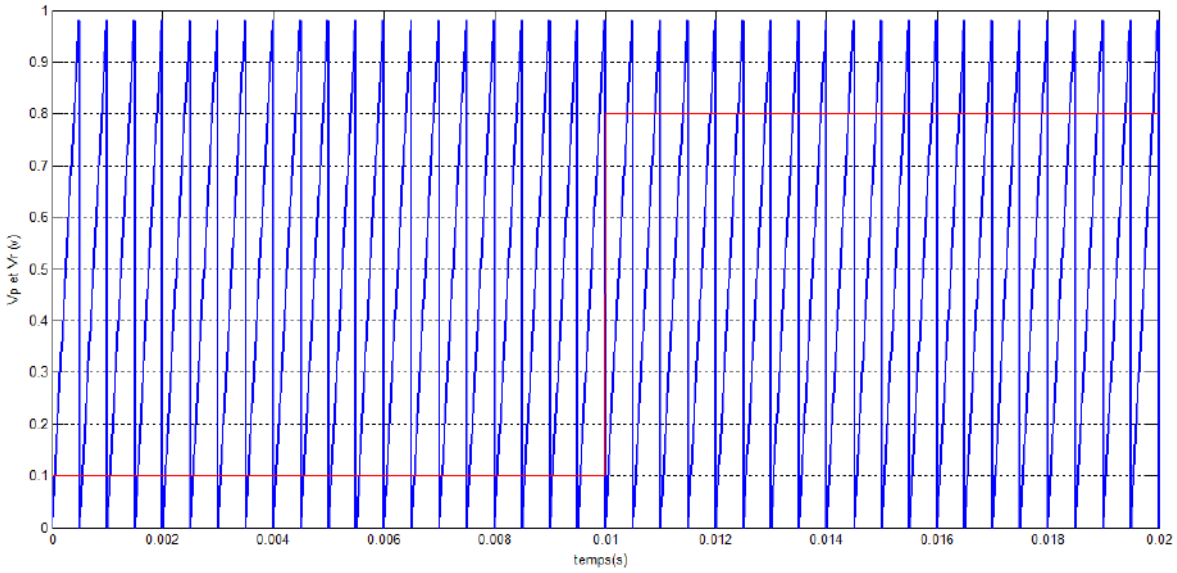


Fig (3.8) : comparaison entre la référence et le signal porteuse.

Soit le signal de découpage triangulaire :

$$V_P(t) = \begin{cases} V_P = 2V_{pm}\left(\dfrac{t}{T_P}\right) \Rightarrow t < T_P/2 \\ V_P = -2V_{pm}\left(\dfrac{t}{T_P}\right) \Rightarrow T_P/2 < t < T_P \end{cases}$$

L'algorithme de commande utilisé est :

$$\text{Si : } \begin{cases} V_r > V_P \Rightarrow S_1 = 1, S_2 = 0 \\ V_r < V_P \Rightarrow S_1 = 0, S_2 = 1 \end{cases}$$

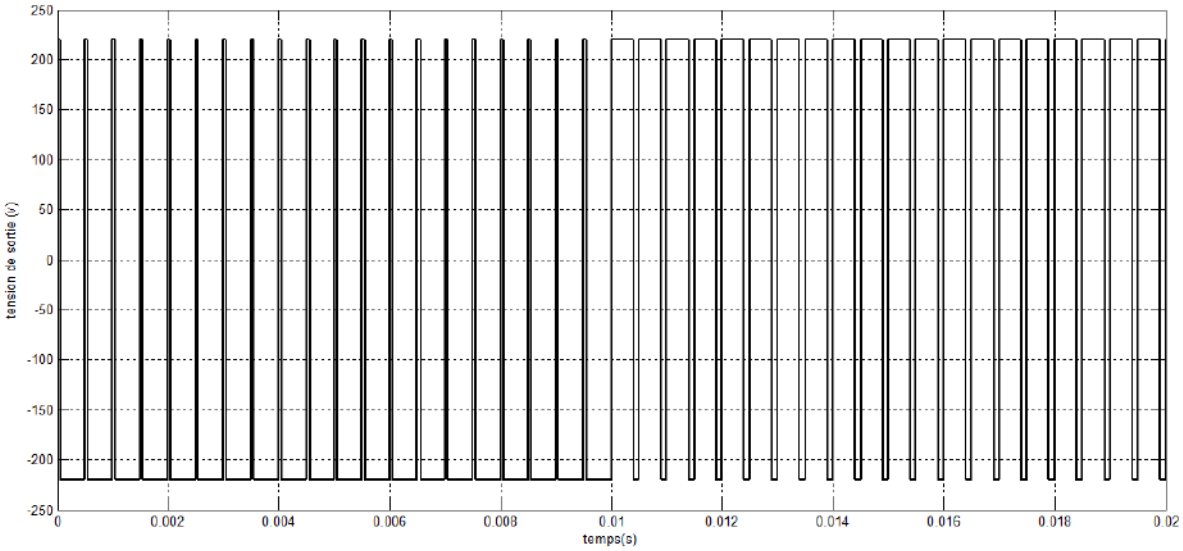
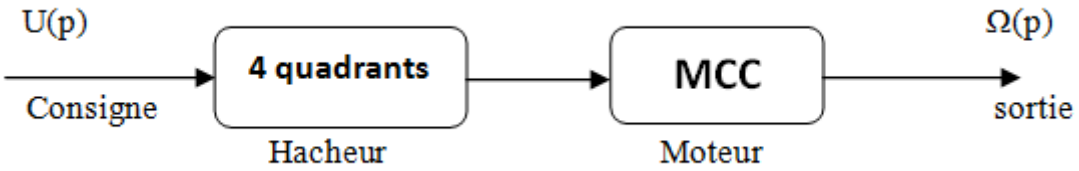


Fig (3.9) : tension de sortie.

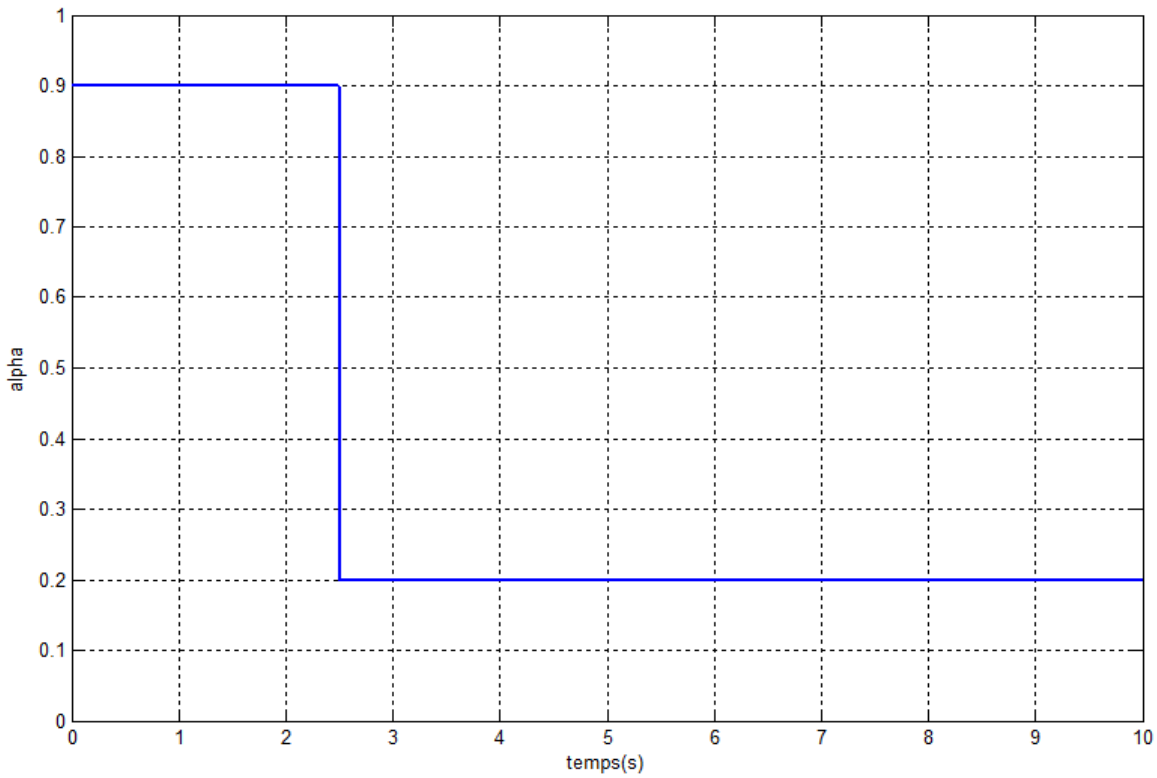
III .4. Simulation de l'association de la Mcc avec l'hacheur quatre quadrants :

L'alimentation de la Mcc par un hacheur quatre quadrants nous permet d'étudier l'influence du rapport cyclique sur le courant de l'induit, la vitesse de rotation et la réponse en position.

Le schémas de principe de cette association est donnée par la (figure3.10)

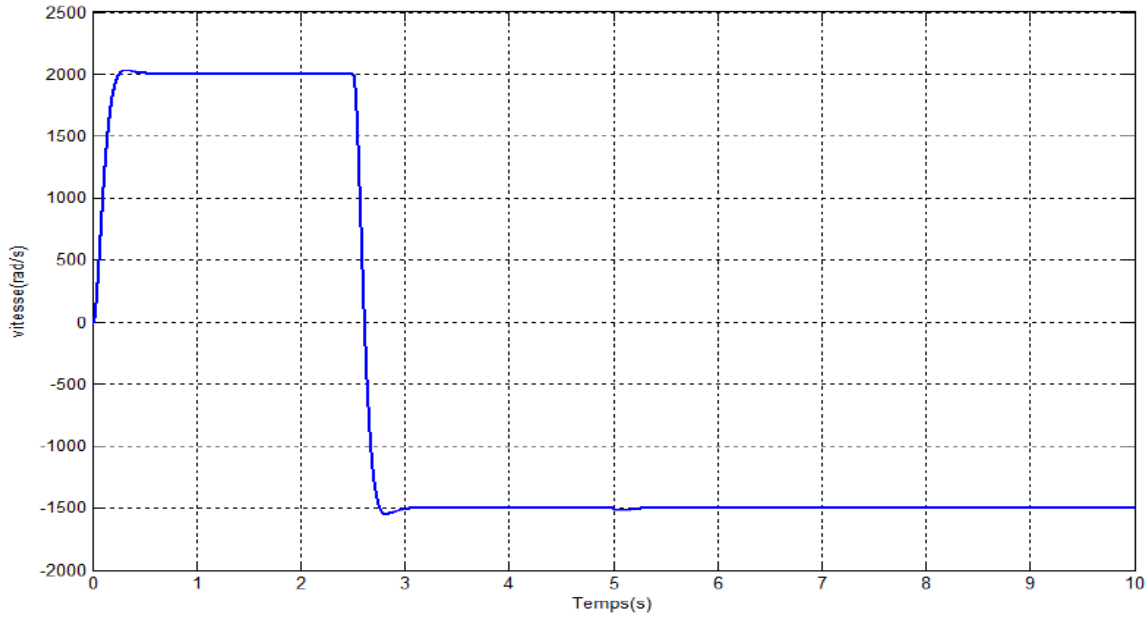


Fig(3.10) : modèle hacheur moteur en boucle ouverte



fig(3.11) : variation du rapport cyclique

Les figures (3.12) et (3.13) : représentent respectivement la variation du courant et la vitesse par rapport au changement de la valeur du rapport cyclique (figure3.11).



fig(3.12) : réponse de la vitesse

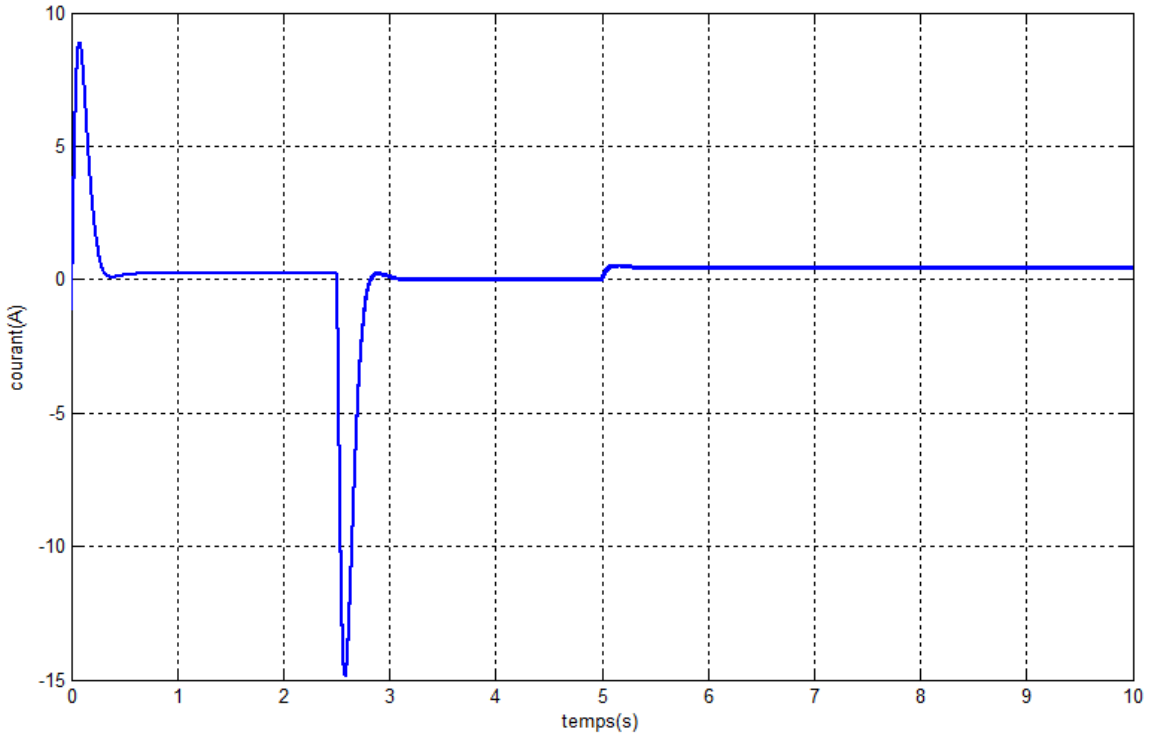


fig (3.13) : réponse du courant

III .5.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation du moteur à courant continu. L'utilisation des hacheurs est indispensable pour faire varier la vitesse de rotation. La réponse en positon du moteur n'est pas stable d'où la nécessité d'une régulation en position.

CHAPITRE IV : Résultats et discussions

IV.1.Introduction :

Dans ce chapitre, on aborde le réglage de la position du moteur à courant continu pour un axe par l'intermédiaire d'une commande en cascade. Deux grandeurs d'état sont à régler ; il s'agit du courant de l'induit dans la boucle interne et de la vitesse de rotation dans la boucle externe.

En outre, on propose un couplage sur deux axes de mouvement en faisant des interpolations linéaires et circulaires, pour finalement interpréter les résultats de la simulation.

IV.2.Régulation en position d'un axe de mouvement par boucle imbriquée :

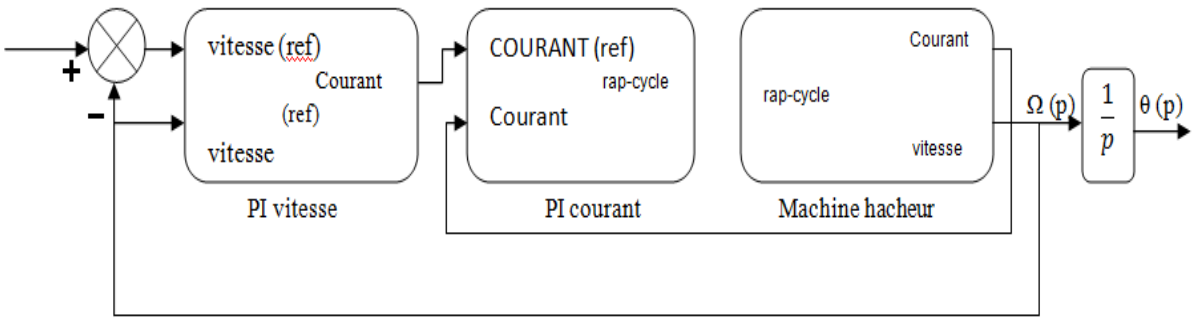
Comme stratégie en commande, on a choisis la commande par boucle imbriquée (une commande en cascade). Cette méthode nous assure une régulation de position à l'aide de deux boucles de régulation courant et vitesse [16].

IV.2.1 Principe de commande

La commande en cascade consiste à contrôler séparément le courant d'induit et la vitesse de rotation de la machine. On limite la sortie de régulateur externe de vitesse, on limite donc la référence de régulateur de courant.

La boucle extérieure est déterminée de façon à être deux fois moins rapide que la boucle que lui est immédiatement intérieure ce le conduit à une séparation dynamique de deux boucles [16].

Le schéma de principe de ce régulateur est donné par la (figure 4.1).



Fig(4.1) : réglage en cascade de Mcc

IV.2.2.Les caractéristiques de régulation à boucle multiple :

1. Il y a un régulateur séparé pour chacune des variables contrôlées
2. On ajuste successivement les caractéristiques (statique est dynamique des différentes boucles) on part de plus interne
3. Le calcul est la mise en route sont simple
4. On peut avoir une réponse assez lente de la boucle la plus externe si elle enveloppe trop de la boucle interne ou la séparation dynamique des boucles exige un rapport minimal de deux boucles adjacentes [16].

IV.2.2.Asservissement de courant :

Les dépassements de courant observes précédemment (simulation en boucle ouvert) constituent un véritable problème, la régulation proportionnel intégral a pour effet :

1. d'asservir le courant pour avoir la maitrise des dépassements.
2. de limiter le courant maximum pour protéger le moteur dans tous les cas [17].

L'étude de l'asservissement de courant du MCC peut se faire par l'approche suivante :

- La force électromotrice étant une grandeur proportionnelle à la vitesse de rotation, ses variations sont lentes devant celles du courant d'induit. On peut donc la considérer comme une perturbation dans le transfert tension-courant, Sous ces hypothèses la fonction de transfert $G_i(s)$ se résume à:

$$G_i(s) = \frac{1}{R + Ls}$$

- La fonction de transfert étant celle d'un premier ordre une simple correction PI :

$$G_i(s) + K_p + \frac{K_i}{s}$$

Pour tirer les coefficients du régulateur PI on utilise la méthode des pole imposées qui nous permet d'obtenir un système rapide en boucle fermée qui possède un coefficient d'amortissement égale à (ζ=**0.7**)

On prend :

$$P_1 = -\rho + J\rho \quad , \quad P_2 = \rho - J\rho$$

Le dominateur s'écrit: den**(s)** $= (s - P_1)(s - P_2)$

Par comparaison avec le système électrique en boucle fermée on tire les coefficients du régulateur PI.

$$k_p = (2L\rho - R)$$

$$k_i = 2P^2L$$

IV.2.3.Asservissement de vitesse :

L'asservissement de vitesse du MCC est réalise une fois réglée la boucle de courant. On a donc un asservissement avec boucles imbriquées ou asservissement cascade, répondant au schéma de principe présent précédemment. Pour réaliser l'asservissement de la vitesse du rotor d'un MCC, la tension image de la vitesse mesurée est comparée a une tension de référence Vr, image de la vitesse désirée qui est assimile à un simple gain k.

Si la boucle de courant est réglée comme suggère précédemment, elle a alors une fonction de transfert du premier ordre et il est facile de régler la boucle de vitesse. En toute rigueur, il faudrait réécrire les équations dynamiques du MCC asservi en courant. Ceci étant, on peut considérer que le bloc de fonction de transfert de la figure Ceci étant, on peut considérer que le bloc de fonction de transfert figure (5.1) est simplement remplacé par la fonction de transfert en boucle fermée $G_iBF(s)$[17]

$$G_i(s) = \frac{1}{R + Ls}$$

Dans ce cas, la constante de temps de la boucle de courant étant très petite devant la constante de temps électromécanique du système, on obtient un modèle d'ordre deux très proche d'un système du premier ordre. On peut donc à nouveau effectuer une correction PI.

On utilise la méthode des pôles imposés pour tirer les coefficients :

$$k_i = 2 * P^2 * L$$

$$k_p = 2 * P - K\,f$$

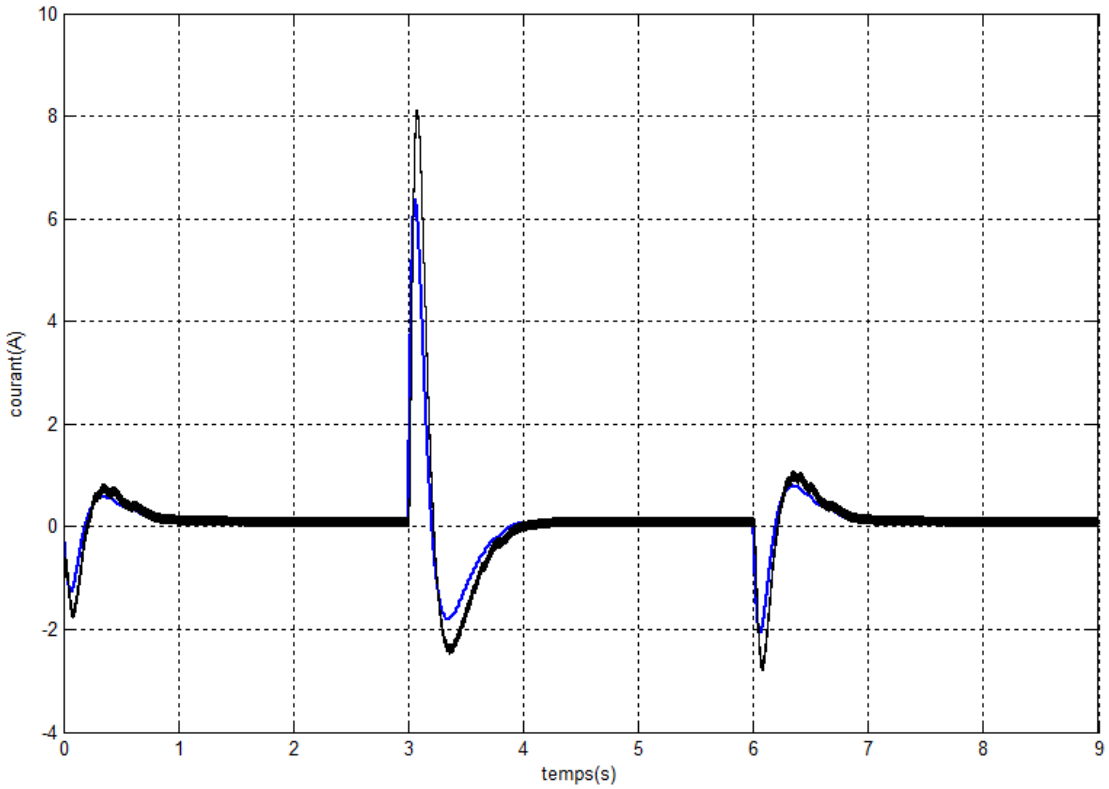
IV.2.3.Asservissement de position :

Il est le plus souvent possible d'utiliser les variateurs de vitesse en mode asservissement de position, que la fonction soit intégrée ou que l'on réalise l'asservissement à partir du système asservi en courant. Du fait de l'intégration au passage vitesse position, la classe du système augmente et un correcteur proportionnel pourra convenir. Par ailleurs, certaines fonctions avancées pour l'asservissement de la position de l'axe moteur peuvent

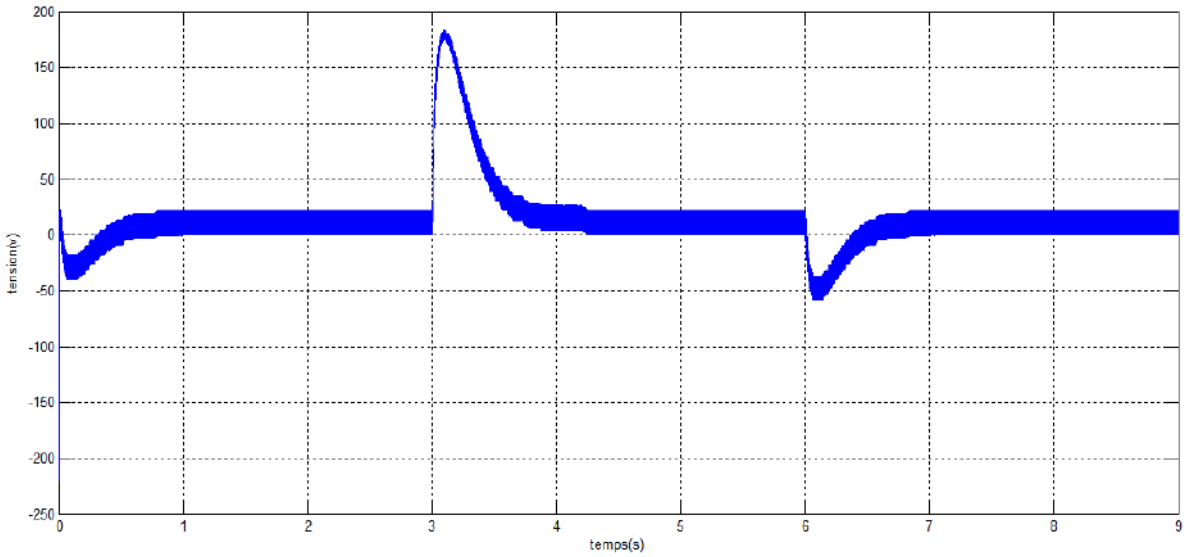
venir s'ajouter. Il s'agit en particulier de la génération de profils d'accélération en trapèze [17].

IV.3.résultats de la simulation en boucle fermée :

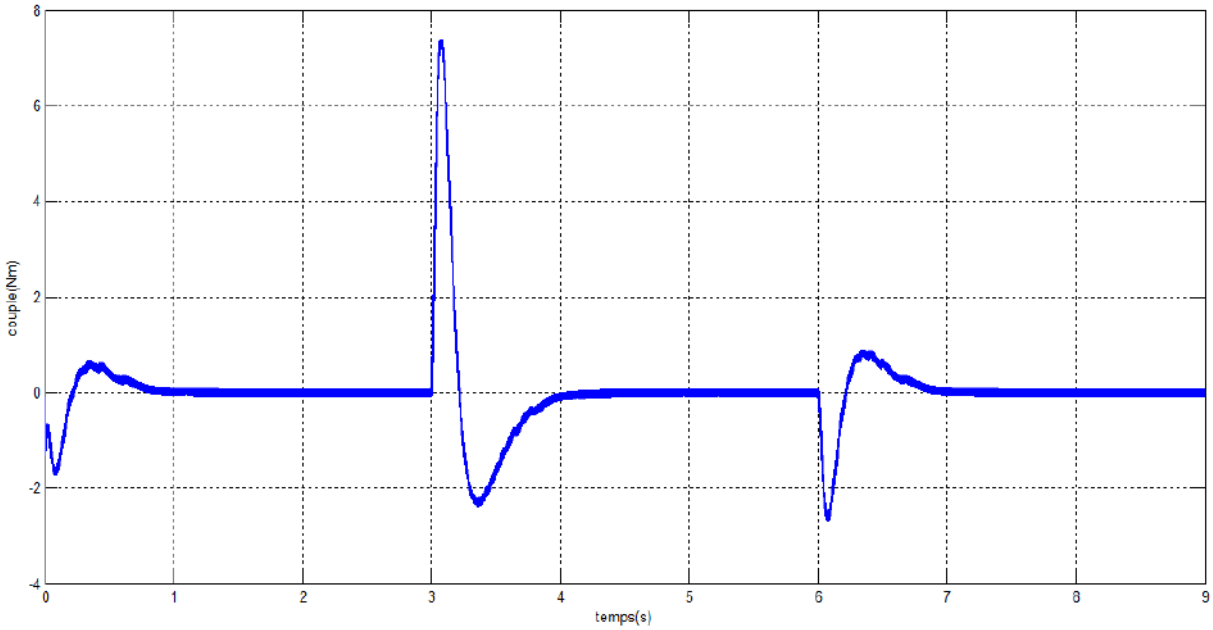
Dans cette partie on observe la variation de courant, tension, couple, vitesse et position pour une consigne en position donnée.



Fig(4.2) : réponse du courant en boucle fermée

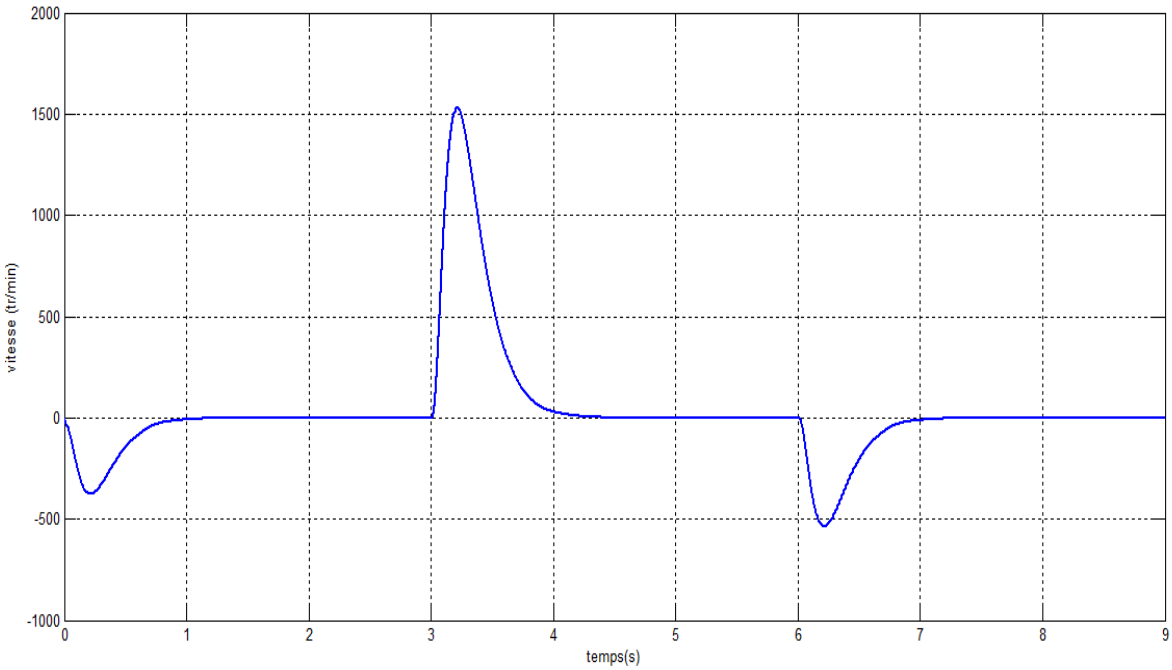


Fig(4.3) : réponse de la tension d'entrée en boucle fermée

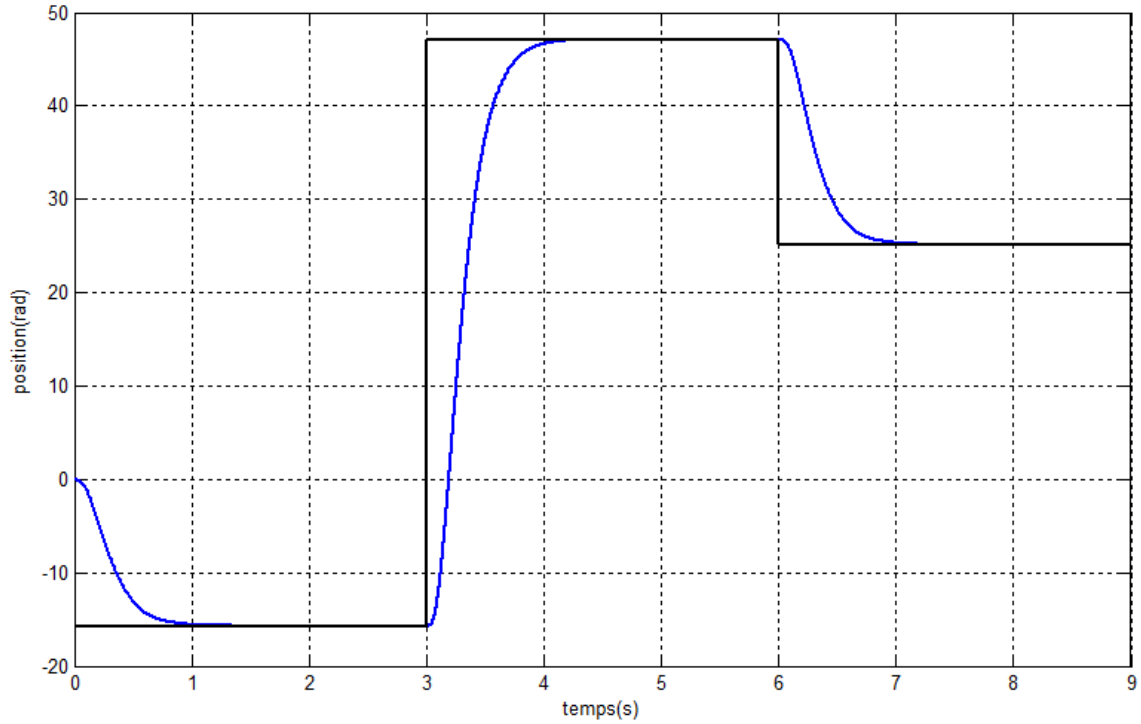


Fig(4.4) : réponse du couple en boucle fermée

Les figures (4.2), (4.3), (4.4) représentent respectivement les réponses de courant, tension et couple en boucle fermée.



Fig(4.5) : réponse de vitesse en boucle fermée



Fig(4.6) : réponse de position en boucle fermée

Interprétations :

Dans les figures (4.5) et (4.6) on remarque clairement que la sortie suit la référence pour n'importe quelle valeur donnée ce qui nous assure la stabilité de la réponse en position.

Le temps de réponse relativement long, on remarque aussi que le dépassement est pratiquement éliminé.

IV.4.Couplage de mouvement de deux axes :

On peut réaliser une synchronisation de mouvement entre les deux axes X, Y avec plusieurs méthodes on cite.

IV.4.1.Contrôle de la vitesse :

Pour donner un aspect dynamique au mouvement nous désirons que le point initialement immobile accélère progressivement puis ralentisse avant d'atteindre sa destination, il nous faut donc contrôler la distance d parcourue en fonction du temps.

Dans le cas de trajectoires courbes il peut être complique d'imposer une vitesse, même constante, échantillonnage régulier du temps (axe1) correspond un échantillonnage irrégulier des positions (axe 2), ce qui va générer une dynamique du mouvement pas forcement souhaite, pour cela il faut introduire des paramètres intermédiaires.

IV.4.2. Contournage point par point :

C'est une méthode qui consiste à suivre une trajectoire linéaire ou circulaire point par point, la précision de cette méthodes et proportionnel au pas choisie. La (figure4.7) nous montre le modèle élaboré pour le couplage de mouvement sur deux axes X, Y.

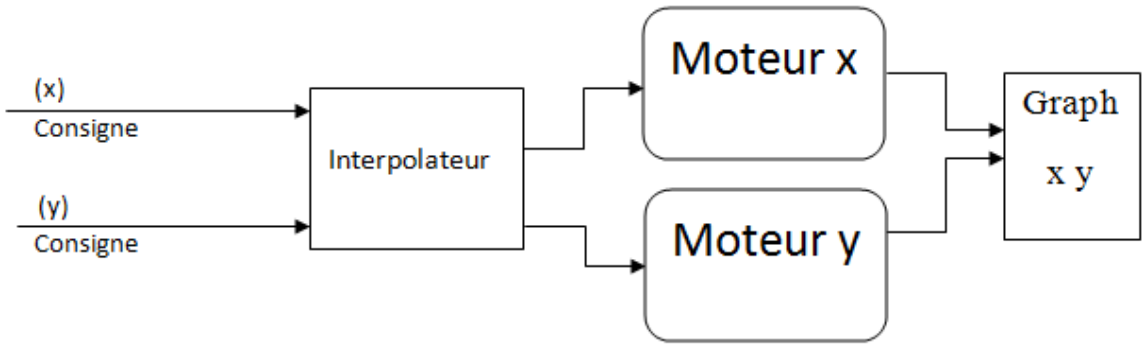
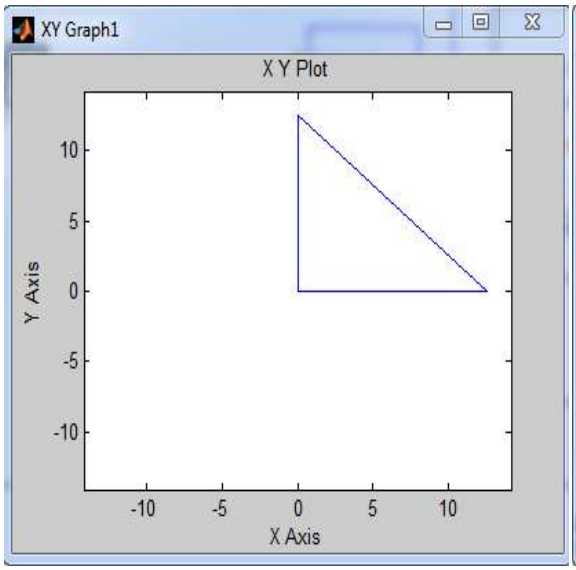


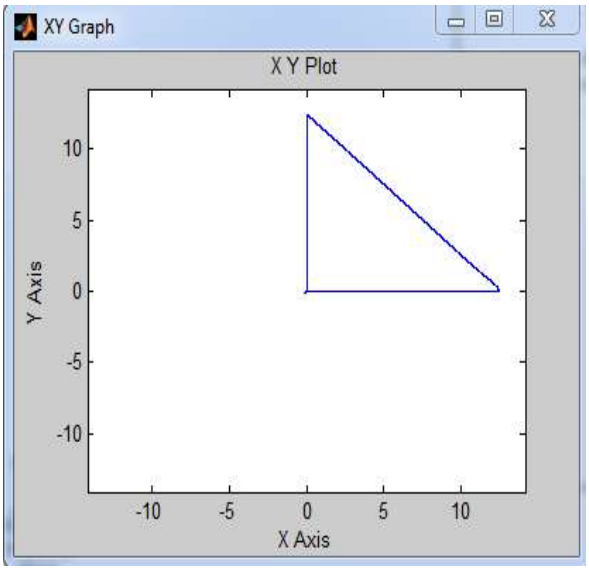
Fig (4.7) : couplage de mouvement en x,y

IV.4.3. simulation du couplage du mouvement sur deux axes :

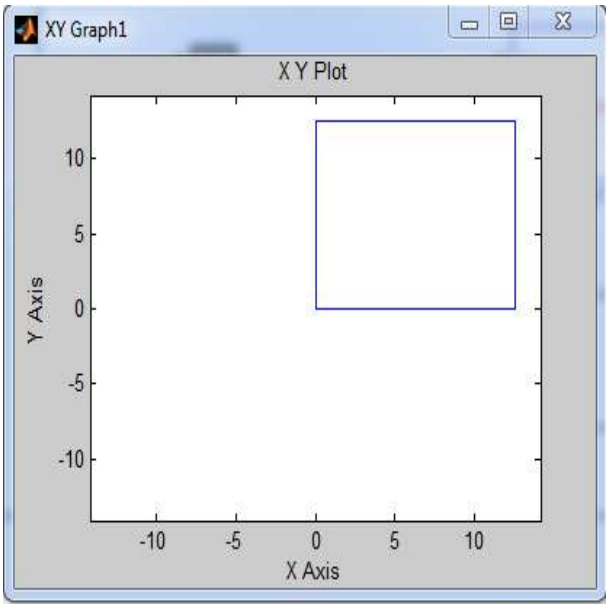
La reproduction des images a été faite à l'aide d'une fonction de reconnaissance d'image sous logiciel MatLab.



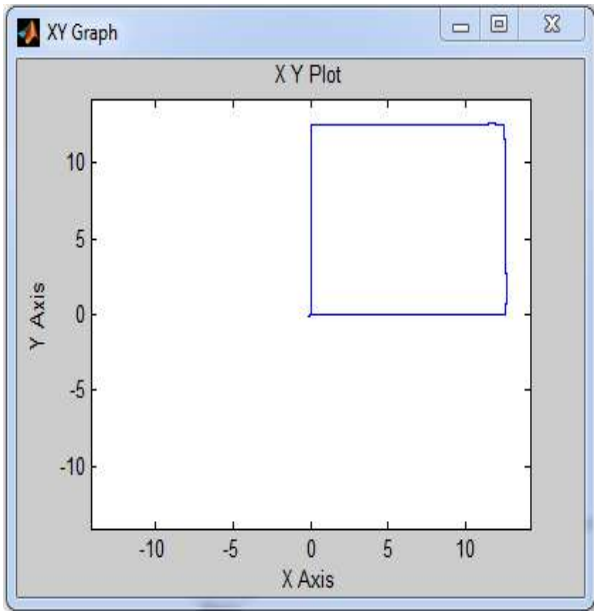
Fig(4.8)a : forme triangulaire de référence



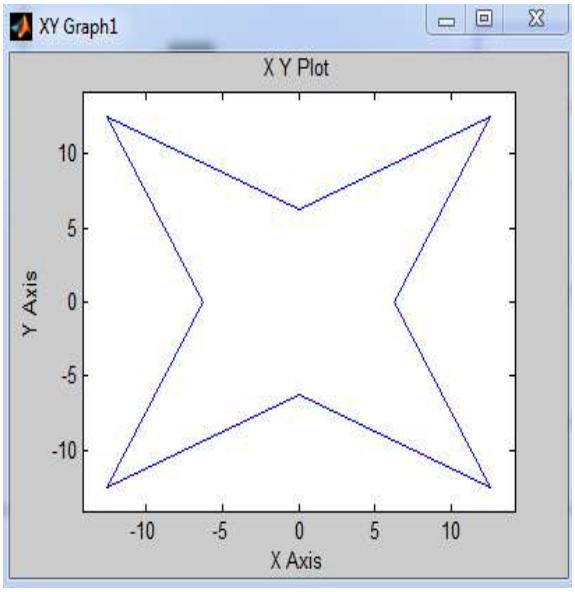
Fig(4.8)b : forme triangulaire reproduit



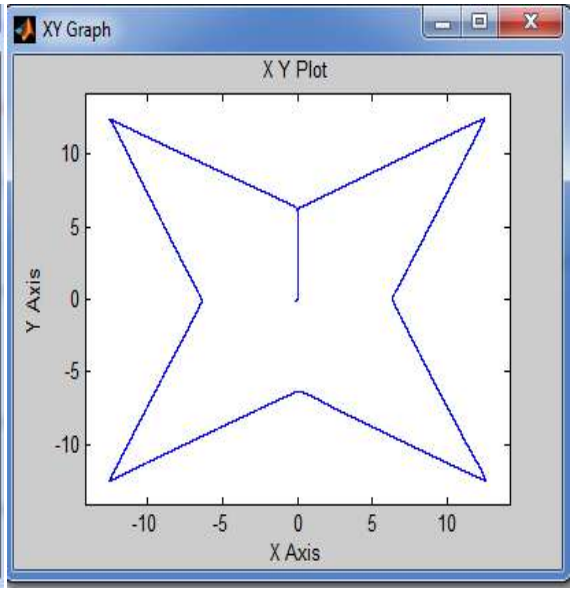
Fig(4.9)a : forme carrée de référence



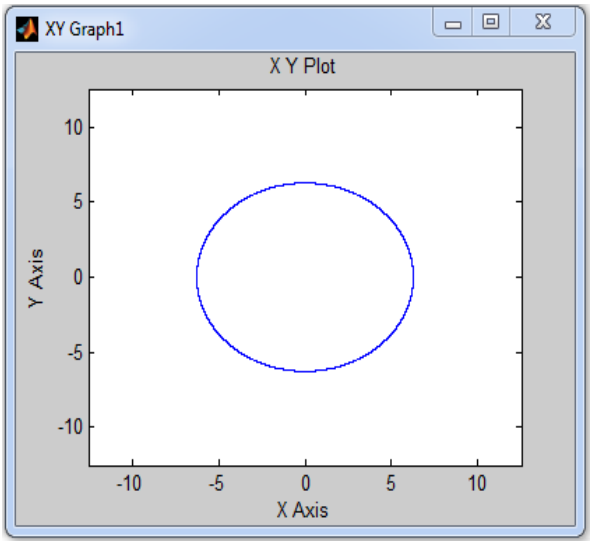
Fig(4.9)b : forme carrée reproduit



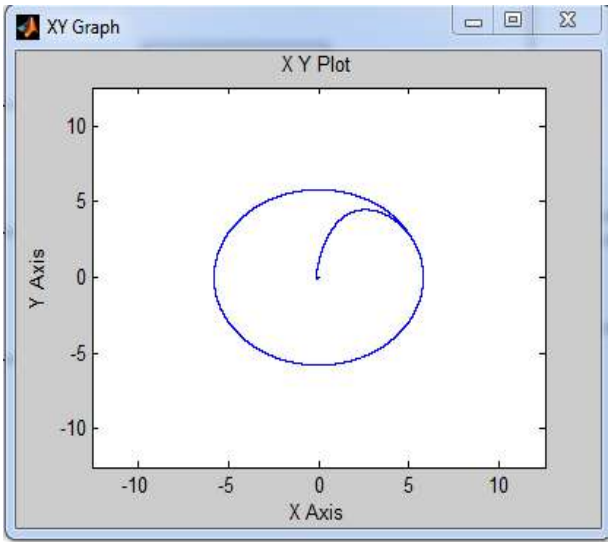
Fig(4.10)a : forme étoile de référence



Fig(4.10)b : forme étoile reproduit



Fig(4.11)a : forme circulaire de référence



Fig(4.11)b : forme circulaire reproduit

Les figures (4.8) a, (4.9) a, (4.10) a et (4.11) a : représentent les images de références

Les figures (4.8) b, (4.9) b, (4.10) b et (4.11) b : représentent les images reproduit lors de la simulation en x,y.

Remarques et interprétations :

On remarque un problème dans le démarrage du traçage c'est-à-dire au point (0,0) du au temps de réponse.

On remarque aussi que le traçage commandé par le point de référence d'où la nécessite d'un troisième axe Z.

Les résultats obtenus dans les formes linéaire son satisfaisantes par contre on note des erreurs dans les formes circulaires.

IV .5.Proposition d'un modèle de couplage X, Y, Z :

On propose l'ajout d'un troisième axe de mouvement (fugure4.12) électrique, ou un axe tout ou rien (électropneumatique ou hydraulique) pour pouvoir commencer le traçage de n'importe quelle point de la table.

Cet axe étant indépendant prend la valeur nulle ou une valeur donnée.

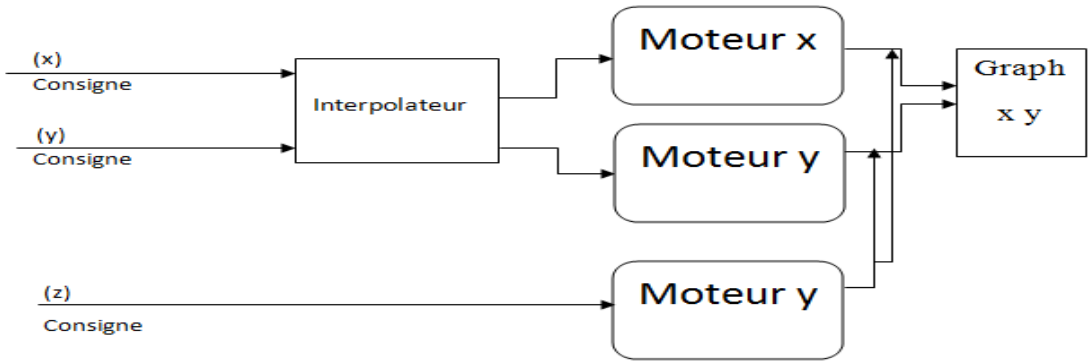


Fig (4.12) a : modèle de couplage en x,y,z.

IV.4.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons traité un réglage en cascade pour améliorer les performances du moteur en position.

Nous avons obtenu des résultats satisfaisants dans la simulation sur deux axes de mouvement.

La reproduction des formes complexes nécessite un pas d'échantillonnage très petit ce qu'on n'a pas pu réaliser.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet par tous les détailles de ses blocs, exige une recherche vaste dans plusieurs domaines de l'électroniques, mécanique et l'informatique dans l'asservissement, l'électroniques générales, les moteurs a courant continue et la programmation, cette recherche nous a permis d'enrichir nos connaissances et de développer notre base théorique.

Dans ce travail nous avons essayé d'apporter d'utiliser et d'employer les possibilités offertes par les machines à courants continu dans le domaine des machine outils. Notre objectif principal était donc d'étudier la possibilité d'intégration de la MCC comme un générateur de mouvement dans les tables multiaxes.

Le première thème de cet objective était de faire une descriptive générale sur les machine outils, les organes mécanique qui entrent en jeux pour la génération de mouvement dans une table multiaxes.

Le deuxième thème de cette étude est de faire une étude sur les paramètres du moteur à courant continue, distingué les avantage qui nous offre ce moteur optimiser la gestion énergétique ce qui nous a amené a utilisé un hacheur quatre quadrants qui nous offre le changement de sens de rotation et un farinage par récupération d'énergie.

Pour le troisième thème on a proposé une simplification du modèle moteur, hacheur.

Pour finalement réaliser une simulation en boucle ouverte de l'ensemble moteur hacheur, sous l'environnement matlab simulink.

Le but du quatrième thème était de développé un modèle précis pour la régulation du moteur en position par l'intermédiaire d'une stratégie de régulation PI imbriquée en courant et en vitesse qui nous a permis l'amélioration des performances d'un axe de mouvement.

Les résultats de la simulation sur deux axes X, Y a donné des résultats satisfaisants pour la reproduction des formes géométriques.

Mais avec tous ces avantages, on peut faire une complémentation de ce travail avec des améliorations spécifiques par exemple introduire des méthodes de correction des trajectoires de contournage en X, Y.

Suggestion et perspective :

On propose une méthode de correction de trajectoires sur deux axes de mouvement c'est contrôle de couplage croisée (cross coupled Controller)

On suggère aux futures promoteurs d'implanter le système de régulation de la MCC dans le domaine industrielle comme :

- La table traçante
- Les tables routers
- Les positionneurs
- Les ascenseurs

BIBLIOGRAPHIE

[1] WECK, Etat de l'art des machines-outils et des mécanismes parallèles Paris : dunad, 6500444340 (1995**)**.

[2] : Gilles Prod d'homme-Commande numérique des machines-outils : Technique de l'ingénieur Doc. B7131 2

[3] :Gerard - les actionneur électrique pour la robotique et les asservissements :paris ,technique et documentation , 285206784(1994).

[4] : Xiang,Goud -formulaire de mécanique : transmission de puissance : paris :groupe eglolles,2212119186(2006).

[5] : Roland Fargas-Poulies et courroies de transmission Entraînement par adhérence Techniques de l'ingénieur Doc. B 5 683 1

[8] : Bernard Kohler Edgard Sztrygler -Chaînes mécaniques Technique de l'ingénieur Doc. B 5 650 3

[9] :H. Longeot L. Jourdan -livre-calcul-construction-industrielle-mécanique: paris, dunod, 2040150870(1984).

[10] : Agati, Pierre -Aide mémoire : électricité de commande de puissance : électrotechnique, formation technologique t professionnelle. Paris : dunad, 2100484141(2006).

[11] : :Djaoui ,Zoura et Abdelaziz Bouamra- asservissement de vitesse d'un moteur à courant continue : Médéa :(SE),1994.

[12] : Mayé Pierre-moteur électrique pour la robotique : paris, dunod ,2100045792(2000).

[13] :Gue séguier l'electronique de puissance :paris dunod,204010811(1983).

[14] : Pinard Michel-Commande électronique des moteurs électriques : paris, dunod, 9782100511150(2007).

[15] :Paul Jouis Jean- Modèle pour la commande des actionneurs électriques :paris :hermès science publications :[S.I] lavoisie r,2746209179(2004) ;

[16] : Ostertag .Eric -système asservissement continue : paris ellips, 27299820132(2004).

[17) : Boukrouche Adelhami-asservissement et régulation des systèmes linéaires : Alger : direction de la publication universitaire Guelma 996195484X

Annexes bibliographique :

Paramètre des différentes méthodes de transmission de mouvement

	Engrenages	Vis écrou	Roues et chaîne	Poulies et courroie			
				Crantée (Synchrone)	Striée (Poly-V)	Trapézoïdale (en V)	Plate
Couple transmissible	Très élevé	Elevé	Elevé	Assez élevé	Modéré	Moyen	Faible
Vitesse limite (m/s)	80 à 100	60 à 80	13 à 20	60	60 à 80	40	80 à 100
Rapport de transmission maxi	8		9	10	40	15	20
Rendement (%)	98	98	< 97	< 98	< 98	70 à 96	98
Tension initiale	-	-	Faible	<Faible	Assez élevée	Peu élevée	Faible
Durée de vie	Elevée	Elevée	Assez élevée	Limitée	Limitée	Limitée	Limitée
Lubrification	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire	Inutile	Inutile	Inutile	Inutile
Avantages	- Synchronisme - Précision - Couple élevé - Bon rendement	- silencieux - Précision - Bon rendement	- Assez bon synchronisme - Supportent des tensions élevées et des basses vitesses	- Entretien réduit - Vitesses angulaires constantes	- Flexibilité. - Silencieuse - Faibles diamètres d'enroulement	- Economique. - Encombrement réduit	- Grandes vitesses - Bon rendement - Silencieuses
Inconvénients	- Lubrification - Entraxe précis	Frottement important	- Bruyantes - lubrification	- Synchronisme non parfait	- Moins économique	- Rendement faible	- Faible couple

Tableau des paramètres moteur utilisé dans la simulation

Résistance aux bornes	R=14.3Ω
Constante de couple	Kc=0.9223 $mNm.A-1$
Constance de vitesse	Ke=0.9223 $mNm.A-1$
Inductance	L=0.33 mH
Moment d'inertie rapporté au rotor	j=0.0054 $kg.m2$
Coefficient de frottement visqueux	f=0.0005271;
Ki courant	35
Kp courant	0.4
Ki vitesse	1
Kp vitesse	0.11

Programme pour la reconnaissance de forme sur matlab

Im=imread ('nom de l'image**.** extension de l'image') ;

Imshow(im) ;

[xi,yi,p]=impixel(im)