

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Centre Universitaire d'EL-Oued
Institut des Sciences et de Technologies



Mémoire de Fin d'Etude
Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et de Technologies
Filière: Génie Électrique
Spécialité: Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques

Thème

**Commande d'une machine à
courant continu**

Diriger par:
Mr :Allal Abderrahim

Réaliser par:
Rezzoug Laid

Ben Amor Fathi

Soutenu le 10 Juin 2012

Dédicace

Nous consacrons CE MODESTE TRAVAIL A :
Nos chers parents
Nos sœurs et nos frères
Toute nos familles
Tous nos amis
Tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin
pour être un jour licencié d'électrotechnique

**R. Laid*

**B.A. Fathi*



COMMANDE D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU

Résumé:

Les machines électriques contiennent deux parties (types), machines à courant alternatif et machines à courant continu.

La machine à courant continu est une machine électrique tournante qui fonctionne, comme son nom l'indique, à partir de tensions et de courants continus.

Les machines électriques à courant continu tournantes sont des convertisseurs d'énergie. Lorsqu'elles transforment de l'énergie électrique en énergie mécanique, on dit qu'elles fonctionnent en moteur. En revanche, si elles transforment l'énergie mécanique apportée par une autre machine en énergie électrique, on dit qu'elles fonctionnent en génératrice.

Ce présent travail est consacré à la commande d'une machine à courant continu en cas de moteur, premièrement par un redresseur commandé puis par un hacheur.

Notations

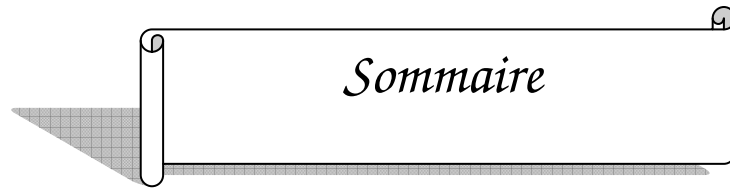
U :	Tension aux bornes de la machine (V).
E' :	Force électromotrice (f.e.m) (V).
E :	Force contre électromotrice (f.c.e.m) (V).
u :	Chute ohmique interne de la machine (V).
r_a :	Résistance interne de l'induit (Ω).
I_a :	Courant dans l'induit (A).
h_t :	Chute de tension totale dans la machine (V).
h_m :	Chute due à la réaction magnétique d'induit (Ω).
G :	Générateur
M :	Moteur à courant continu
E'_v :	f.e.m à vide (V).
E_v :	f.c.e.m à vide (V).
E_{ch} :	f.c.e.m en charge (V).
k' :	Est appelée constante interne de la machine
Ω ou w :	Vitesse de rotation (rad/s)
Φ :	Flux par pôle (tesla)
U_a :	Tension de l'induit (V).
R_a :	Résistance de l'induit (Ω).
L_a :	Inductance de l'induit (h).
C_e :	Couple électromagnétique (N.m).
C_r :	Couple résistant (N.m).
U_e :	Tension d'excitation (V).
R_e :	Résistance de l'inducteur (Ω).
L_e :	Inductance de l'inducteur (h).
J :	Moment d'inertie (kgm^2).
R_{ex} :	Résistance d'excitation (Ω).
I_M :	Courant de moteur (A).
p :	Opérateur de Laplace
C_f :	Couple de frottement (N.m).
K :	Constant
R :	Résistance (Ω).
L :	Inductance (h).



Figure I.1	Inducteur.....	2
Figure I.2	Induit.....	3
Figure I.3	La construction de la machine à courant continu.....	3
Figure I.4	Machine à courant continu à 2 pôles et 18 encoches.....	4
Figure I.5	La règle des trois doigts de la main droite et gauche.....	6
Figure I.6	Schémas équivalents de la machine à courant continu.....	7
Figure I.7	Schéma équivalent du Moteur shunt.....	8
Figure I.8	Schéma équivalent du Moteur série.....	9
Figure I.9	Moteur composé à Courte dérivation et longue dérivation.....	10
Figure I.10	Point de fonctionnement d'un groupe moteur-charge.....	12
Figure I.11	le bilan de puissance du moteur à courant continu.....	12
Figure II.1	Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée.....	14
Figure II.2	La vitesse du moteur à courant continu à vide.....	15
Figure II.3	Le couple du moteur à courant continu à vide.....	15
Figure II.4	Le courant du moteur à courant continu à vide.....	16
Figure II.5	La vitesse du moteur à courant continu en charge.....	16
Figure II.6	Le couple du moteur à courant continu en charge.....	17
Figure II.7	Le courant du moteur à courant continu en charge.....	17
Figure II.8	Vitesse du moteur à c.c avec changement de sens de rotation.....	18
Figure II.9	Le couple du moteur à c.c avec changement de sens de rotation.....	18
Figure II.10	Le courant du moteur à c.c avec changement de sens de rotation.....	19
Figure III.1	la commande en vitesse d'un MCC.....	22
Figure III.2	Pont mixte asymétrique.....	23

Figure III.3	Fonctionnement de moteur ($0 < \alpha < \pi$).....	24
Figure III.4	Pont mixte symétrique.....	24
Figure III.5	Pont PD2 tout thyristor.....	25
Figure III.6	Fonctionnement en cas moteur et génératrice.....	25
Figure III.7	Fonctionnement dans quatre quadrants.....	26
Figure III.8	Moteur à courant continue commande par un redresseur.....	27
Figure III.9	Redresseur commandé alimente une résistance.....	27
Figure III.10	Alimentation sortie redresseur commandé.....	28
Figure III.11	Vitesse de mcc de trois angles d'amorçage(k_1, k_2, k_3).....	28
Figure III.12	Couple électromagnétique de mcc de trois angles d'amorçage (k_1, k_2, k_3)...	28
Figure III.13	Moteur à courant continue commande par un hacheur.....	29
Figure III.14	Schéma réalisé d'hacheur monophasé.....	29
Figure III.15	Alimentation sortie du hacheur en variation de rapport cyclique.....	30
Figure III.16	Couple électromagnétique d'un mcc par hacheur en variation de rapport...	31

cyclique



↵ Dédicace	
↵ Remerciement	
↵ Notation	
↵ Liste des Figures	
↵ Sommaire	
↵ Résumé	1
Introduction générale	

CHAPITRE I

Généralité Sur La Machine à Courant Continu

1. Introduction	2
2. structure de la machine à courant continu	2
3. phénomène d'induction	6
3.1. loi de Laplace	6
3.2. principe de génératrice	6
4. conversion d'énergie électromécanique	6
5. caractéristiques usuelles d'un moteur a cc	8
6. les différents types de moteur a cc	8
6.1 moteur shunt	8
6.2 moteur série	9
6.3 moteur à excitation composée	10
6.4 moteur à aimant permanent	10
7. les avantages et les inconvénients du mcc	11
8. point de fonctionnement	11

9. le bilan de puissance du moteur a courant continu	12
10. Conclusion	12

CHAPITRE II

Modélisation du Moteur à Courant Continu

1. Introduction	13
2. Simulation du moteur a courant continu a excitation sépare	13
2-1-Fonction de transfert de la machine à courant continu	13
2-2-Le schéma bloc du moteur	14
2-3-Les paramètres du moteur	14
2-4-Les résultats de simulation	14
2-4-1- Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu	14
2-4-2- Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu	16
2-4-3-Avec un changement de sens de rotation	17
2-5-Interprétation	19
2-5-1-À vide	19
2-5-2-En charge	19
3- Conclusion	20

CHAPITRE III**Régulation du Moteur à Courant Continu**

1-Introduction	21
2- la commande en vitesse d'un MCC à excitation séparées	21
2. 1. Par hacheur	21
2. 1.1. Définition	21
2. 1.2. Principe de fonctionnement	21
2. 1.3. principe du hacheur	22
2. 2. Redresseur monophasé à commandé	23
2. 2.1. Définition	23
2. 2.2. Association MCC et redresseur	23
1-fonctionnement dans un quadrant	23
2. fonctionnement dans deux quadrants	25
3-fonctionnement dans quatre quadrants	26
3- Simulation d'un mcc par redresseur monophasé commandé	27
4- Simulation d'un mcc par hacheur monophasé	29
5- Conclusion	32
6- Conclusion générale	33
7- Référence	

COMMANDE D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU

Résumé:

Les machines électriques contiennent deux parties (types), machines à courant alternatif et machines à courant continu.

La machine à courant continu est une machine électrique tournante qui fonctionne, comme son nom l'indique, à partir de tensions et de courants continus.

Les machines électriques à courant continu tournantes sont des convertisseurs d'énergie. Lorsqu'elles transforment de l'énergie électrique en énergie mécanique, on dit qu'elles fonctionnent en moteur. En revanche, si elles transforment l'énergie mécanique apportée par une autre machine en énergie électrique, on dit qu'elles fonctionnent en génératrice.

Ce présent travail est consacré à la commande d'une machine à courant continu en cas de moteur, premièrement par un redresseur commandé puis par un hacheur.

Introduction générale

Le monde industriel à été dominé pendant longtemps par les machines à courant continu. Grâce à leurs avantages relatifs qu'elles présentent par rapport à d'autres types des machines (machines à courant alternatif), les machines à courant continu sont largement employées dans plusieurs domaines de l'industrie, elles sont les plus utilisées pour la réalisation d'entraînement réglé avec un niveau de performance très élevé et une normalisation quasi complète des circuits de réglage.

Ce mémoire est composé de trois chapitres. Ils sont répartis comme suite :

Le premier chapitre sera l'étude théorique de la machine à courant continu. Il constitue un rappel des généralités sur ces machines, on donnant la structure, le phénomène d'induction les différents types selon quelques critères (la puissance, le mode d'excitation).

Le deuxième chapitre sera une partie de la modélisation et de la simulation de quelques types du moteur à courant continu (moteur à courant continu à excitation séparée), dans ce chapitre on donne le modèle de ces moteurs à partir la transformation de LAPLACE des équations électriques et mécanique, on forme les schémas bloc qui nous permet d'extraire les caractéristiques de ces moteurs (la vitesse, le couple utile et le courant) on utilisant le programme MATLAB/SIMILINK .

Le troisième chapitre sera l'étude de la commande moteur à courant continu à excitation séparée par redresseur commandé et hacheur monophasé.

CHAPITRE I

*Généralité du moteur à
courant continu*

I-1. Introduction

Le premier moteur à courant continu a été réalisé en 1836. Cette technologie a été beaucoup utilisée depuis pour toutes les applications à vitesse variable, en particulier pour les véhicules électriques comme pour les machines-outils. Ils sont fabriqués dans une très large plage de puissance, de $\sim 0,1$ W à ~ 4 MW.

Les machines à courant continu sont très utilisées dans nos jours, notamment dans les applications de faible puissance utilisant des batteries (moteur de jouet) ou encore pour la traction électrique, et très utilisées comme moteur à vitesse variable dans une gamme de puissance allant de quelques milliwatts à plusieurs mégawatts.

Ce chapitre représente des généralités sur la machine à courant continu. Il traite exactement la structure de ses machines, le phénomène d'induction.

I-2. Structure de la machine a courant continu

Les machines tournantes sont constituées de deux parties principales, l'inducteur et l'induit.

★ L'inducteur

C'est l'organe producteur du champ magnétique nécessaire à la transformation électromagnétique est située sur un partie fixe de la machine. Ce champ magnétique est fixé.[1]. Il existe deux type inducteur:



Fig. I.1. Inducteur

★ L'induit

C'est l'organe subissant le champ magnétique et en même temps le siège d'une f.e.m. induites alternatives.[1].Et c'est un lieu de la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique (génératrice électrique) ou inversement, de l'énergie électrique en énergie mécanique (moteur électrique).[2]

L'inducteur et l'induit sont séparés l'une à l'autre par un entrefer.[2]

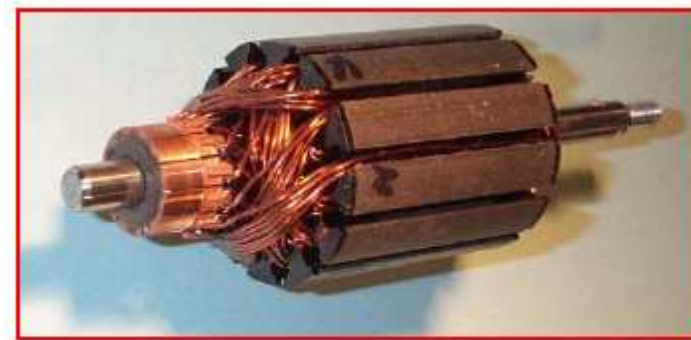


Fig. I.2. Induit

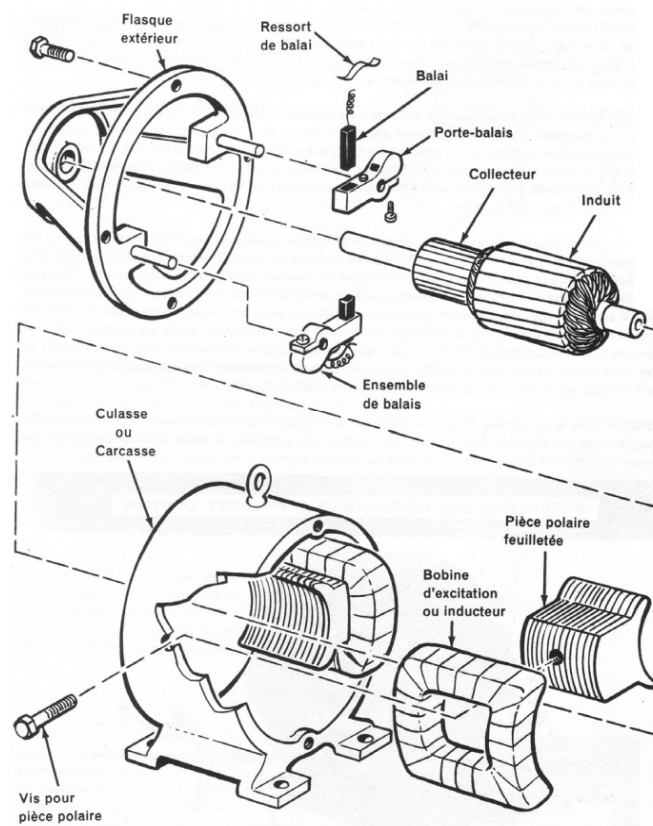


Fig. I.3. La construction de la machine à courant continu

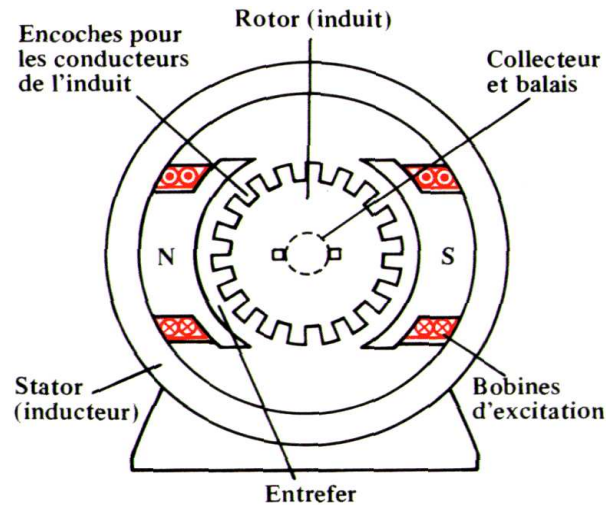


Fig. I.4. Machine à courant continu à 2 pôles et 18 encoches.

I-2.1. La construction d'inducteur

L'inducteur comprend

I-2.1.1. Les pôles principaux

Destinés à créer le flux magnétique principal, qui peuvent être constitués d'aimants permanents ou de pièces polaires associées à des enroulements d'inducteurs parcourus par un courant continu.

I-2.1.2. La carcasse

C'est à dire la partie de la machine à laquelle sont fixés les pôles principaux et à l'aide de laquelle la machine est réunie à la fondation. Une partie de la carcasse qui sert au passage du flux produit par les pôles principaux appelée culasse.[2]

I-2.1.3. Le flasque avant

★ *Sa construction*

Les matériaux utilisés soit l'aluminium ou le plastique. Le moyen d'obtention pour l'aluminium est dans la majorité des cas la fonderie et pour le plastique l'injection est utilisée.[3]

★ *Ses missions*

La principale mission est de porter le palier avant, sur ses machines les efforts mécaniques sont modérés, par contre le positionnement géométrique est très important, car le jeu entre les aimants et

Les tôles magnétiques est faible (quelques dixièmes de millimètres). La seconde mission est le contage de la carcasse, qui doit posséder une bonne concentricité avec le palier. Bien souvent le palier avant assure aussi la fixation du guide balais.

I.2.2. La construction d'induit

L'induit comprend

I-2.2.1. Une armature de l'induit (encoche)

Réalisée à l'aide de tôles empilées, montrées directement sur l'arbre par insertion chaude, soit assemblées par que d'aronde pour des grandes machines. Les encoches fermées par des becs d'encoches peuvent être de forme arrondie ou rectangulaire.

I-2.2.2. Un enroulement

Placé sur cette armature (bobinage), les conducteurs sont réalisés à partir de fils ou de barres de cuivre, les fils sont bobinées directement sur l'induit, les conducteurs sont isolés entre eux par un guipage (grande machine), ou un émail. Les faisceaux de fils ou des barres préformées sont isolés par rapport à la masse et entre eux ou avec un fil enroulé.[2]

I-2.2.3. Un collecteur commutatif rotatif

* Un collecteur commutatif rotatif est un organe permettant de créer une connexion électrique entre la partie fixe (l'inducteur) et la partie mobile (l'induit), avec une fonction de commutation pendant la rotation.

* Ce collecteur consiste en un anneau conducteur de l'électricité (généralement en cuivre), sectionné en un nombre pair de parties isolées entre elles, fixé avec une entretoise isolante sur l'axe de la machine. la connexion électrique est créée entre les parties conductrices et la partie fixée sur l'inducteur (borner), par une ou plusieurs paires de balais réalisés à base de carbone (ou des lames de métal souple pour les très petites machines) positionnées respectivement à 180 degrés. On alimente en électricité le bobinage d'induit par ces contacts (fonctionnement en moteur) ou au contraire on récupère l'électricité produite par le bobinage d'induit (fonctionnement en générateur).[3]

I-2.2.4. balais

* Faite en carbone en raison de sa bonne conductivité électrique et de son faible coefficient de frottement.

* En s'appuyant sur le collecteur, assurent un contact électrique entre l'induit et le circuit extérieur.

* Dans une machine à enroulements imbriqués, il y a autant de balais que de pôles magnétiques inducteur .[5]

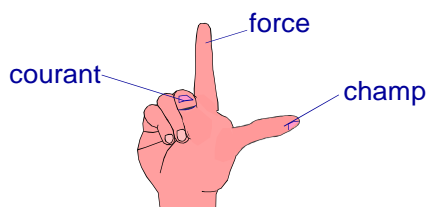
I-3. Phénomène d'induction

I-3.1. Loi de LAPLACE

Un conducteur parcouru par un courant est soumis à une force de LAPLACE dont le sens est déterminée par la règle des trois doigts de la main droite, quand il est placé dans un champ Magnétique.[3]. C'est phénomène de base à prendre en compte dans un conversion d'énergie électrique en énergie mécanique.[2]

$$F=B.I.L \quad (I.1)$$

Règle des trois doigts de la main droite



Règle des trois doigts de la main gauche

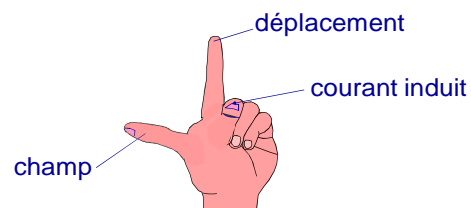


Fig. I.5. La règle des trois doigts de la main droite et gauche

I-3.2. Principe de génératrice

Un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique va être le siège d'une f.é.m. Induite il s'agit donc une conversion de sens inverse, d'énergie mécanique en énergie électrique.[2]

I-4. Conversion d'énergie électromécanique

Un appareil de conversion d'énergie électromécanique crée un lien entre un système électrique et un système mécanique.

Lorsqu'un système mécanique fournit de l'énergie à un système électrique à travers cet appareil, ce dernier est une génératrice.

Lorsqu'un système électrique fournit de l'énergie à un système mécanique à travers cet appareil, ce dernier est un moteur.

Ce processus est réversible .Toutefois, la part d'énergie convertie en chaleur est perdue, ce qui irréversible. Une machine électrique peut être conçue pour fonctionner en génératrice ou en moteur. La conversion électromécanique dépend la relation entre les éléments suivants:

- ↳ les champs électriques et magnétiques.
- ↳ les forces mécaniques et mouvement.

Dans les machines tournantes, la puissance est générée par le mouvement relatif des bobines.

Dans une génératrice, E et I circulent dans le même sens

Dans un moteur, E et I circulent direction opposée.

Dans une génératrice, la puissance est fournie par le générateur de force motrice. L'énergie électrique est produite per l'action de la génératrice, et de la puissance résulte générée en raison de friction est perdue. En revanche, dans le cas d'un moteur, la puissance est fournie par les entrées d'alimentation électrique et une légère perte se produit au niveau de la puissance mécanique résulte générée en raison de friction.[4]

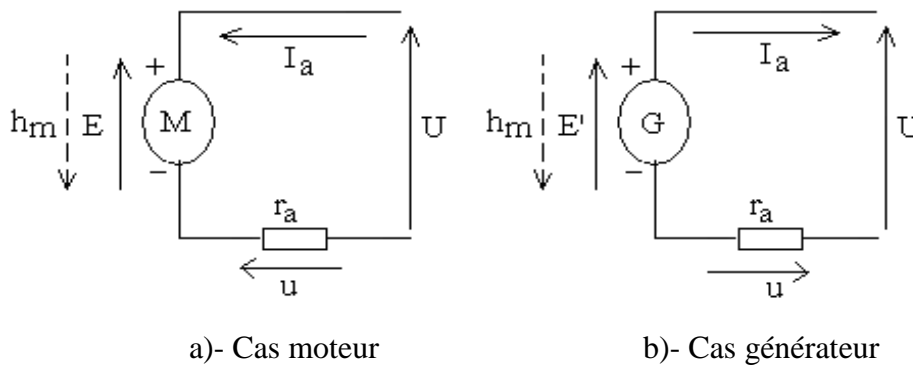


Fig. I.6. Schémas équivalents de la machine à courant continu.

- Dans le cas ou la machine est compensée $h_m \neq 0$.

On aura :

$$\text{Cas moteur} \quad U = E + r_a \cdot I_a \tag{I.2}$$

$$\text{Cas générateur} \quad U = E' - r_a \cdot I_a \tag{I.3}$$

- Dans le cas général, lorsque la machine est non compensée $h_m \neq 0$.

On aura :

$$\text{Cas moteur} \quad U = E_v + (r_a \cdot I_a - h_m) \tag{I.4}$$

$$\text{Cas générateur} \quad U = E_v' - (r_a \cdot I_a + h_m) \tag{I.5}$$

$$\text{On définit alors : } h_t = u \pm h_m \tag{I.6}$$

$$\text{En effet : } h_m = E_v - E_{ch} = k \cdot \Omega \cdot \Delta \phi \tag{I.7}$$

$\Delta \Phi$: qui doit faible lorsque la machine est munie d'enroulements de compensation. [3]

I-5. Caractéristique usuelle d'un moteur a c.c

- Le moteur à courant continu est plus coûteux que le moteur à courant alternatif usuel. Son entretien est plus exigeant, mais on peut faire varier sa vitesse de rotation.
- De plus en plus, à cause de progrès de l'électronique de puissance, la machine est alimentée sous tension variable par un « variateur électronique de vitesse », c'est par la variation de la tension U qu'on règle la vitesse Ω .
- Autrefois on envisageait surtout l'alimentation de la machine sous une tension « constante » U_{nom} fournie par un réseau continu.[4]
- Pour chaque type d'excitation « série, shunt ou compound », on rencontre trois catégories de caractéristiques
 - 1) Les caractéristiques électriques à tension constante et charge variable.
 - 2) Les caractéristiques électriques à tension et charge variables.
 - 3) Les caractéristiques mécaniques qui sont les plus importantes car elles montrent l'évolution du couple en fonction de la vitesse pour un fonctionnement donné.[3]

I.6 . Les différent types de moteur a cc

On distingue plusieurs types des moteurs à courant continu.

1-6.1. Moteur shunt :

L'enroulement d'inducteur et en parallèle à l'enroulement d'induit comme le montre la figure suivante:

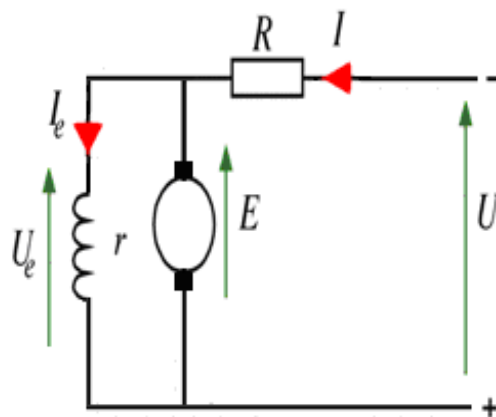


Fig. I.7. Schéma équivalent du Moteur shunt.

***Démarrage de moteur shunt :**

Si la pleine tension est appliquée à un moteur au repos, l'appel de courant est énorme. On risque alors de faire sauter les fusibles, de brûler l'induit et d'endommager le collecteur. Pour tout moteur shunt à courant continu, il faut donc prendre des précautions appropriées pour limiter le courant de démarrage à une valeur raisonnable, de l'ordre de 1.5 à 2 fois le courant nominal.

Alors pour la phase de démarrage des moteurs on doit prendre les précautions suivantes :

- ✓ Soit introduire une résistance variable ou rhéostat de démarrage en série avec l'induit, afin de réduire le courant dans ce dernier au moment du démarrage.
- ✓ Soit à l'aide d'un variateur de tension c'est-à-dire qu'on doit augmenter progressivement la tension jusqu'à ce que la machine développe une f.c.é.m. suffisante E .
- ✓ Aujourd'hui, on utilise plutôt des circuits électriques pour limiter le courant de démarrage et pour régler la vitesse.[6]

I-6.2. Moteur série :

La construction d'un moteur série est identique à celle d'un moteur shunt, sauf en ce qui concerne l'inducteur. L'inducteur est connecté en série avec l'induit.[6]

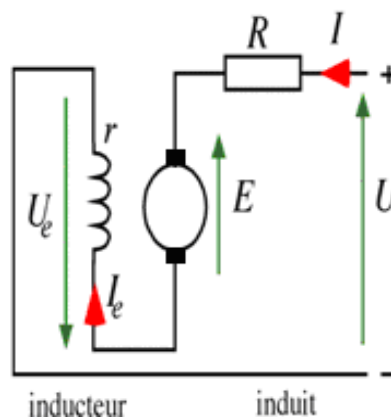


Fig. I.8. Schéma équivalent du Moteur série.

Comme le nom de ce moteur l'indique, l'enroulement de champ est connecté en série avec l'enroulement d'induit dans ce type de moteur. Un courant de forte intensité circule. On a donc recours à un enroulement de champ de calibre supérieur.

Ce type de moteur est utilisé lorsque la régulation de vitesse n'est pas importante. Le principal avantage de ce moteur est que l'on peut obtenir un couple élevé, ce qui est utile pour les

applications comme les locomotives Diesel ou les grues .il est important de démarrer ce moteur sous charge, si non le moteur et les pièces environnantes peuvent être endommagés.[4]

Très bon couple de démarrage, puisque le courant est le flux sont important au démarrage, par contre le réglage de la vitesse pose problème, elle variée avec la charge.

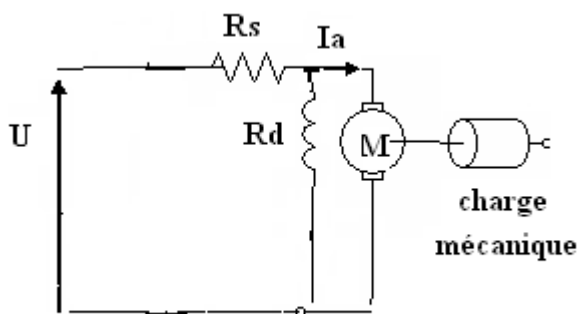
Ce type de moteur est très utilisé en traction.[3]

I-6.3. Moteur à excitation composée:

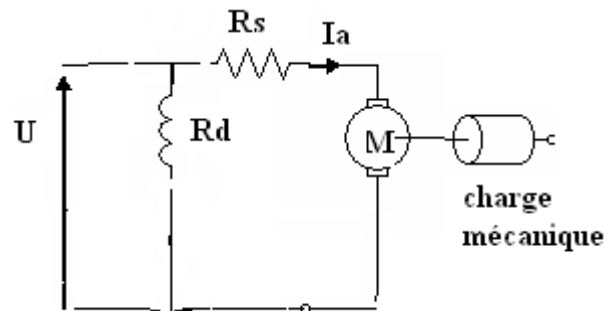
Si l'on associe un moteur série et un moteur en dérivation, on obtient un moteur à excitation composée ou moteur compound. Ce dernier présente les caractéristiques avantageuse des deux moteurs : le couple élevé d'un moteur série et la régulation de vitesse d'un moteur en dérivation.[4]

Ces types des moteurs sont plus coûteux. Par rapport les types des moteurs précédents .[3]

Il existe deux types des moteurs composés, les moteurs composée à courte dérivation et à longue dérivation .Ils est représentés comme suit :



**Fig. I.9. (a) Moteur composé à
Courte dérivation**



**Fig. I.9. (b) moteur composée à
longue dérivation**

I-6.4. Moteur à aimant permanent:

Dans un moteur shunt le champ magnétique est produit par un courant d'excitation circulant dans les bobines excitatrices. L'énergie dépensée, la chaleur dégagée et l'espace relativement important occupé par ces bobines constituent parfois inconvénients du moteur à courant continu conventionnel. On peut éviter ces inconvénients en remplaçant les bobines par des aimants permanents. Il en résulte un moteur plus petit et qui ne risque pas de s'emballer à cause d'une défaillance du champ.[6]

*** Caractéristiques de moteur à aimant permanent :**

- ❖ Les moteurs à aimant permanent sont particulièrement utiles dans la gamme des puissances inférieures à 5 kW.
- ❖ Les aimants utilisés sont en ferrite.
- ❖ Le coût relativement élevé des aimants, et l'impossibilité d'augmenter la vitesse du moteur en réduisant le champ magnétique.[6]

I-7. Les avantages et les inconvénients du mcc

- Le moteur à courant continu reste intéressant dès que la source d'énergie prévue est batterie d'accumulateurs, ou bien entendu, un réseau continu. En effet, avec ce moteur, le réglage de la vitesse est facile.[8]
- Le moteur courant continu présente toutes les qualités de fonctionner à vitesse constante ou variable dans le cas où il est alimenté par un échelon de tension ou à travers un convertisseur continu-continu (hacheur).[5]
- Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou « charbons » et le collecteur rotatif. Ainsi que le collecteur lui-même et la complexité de sa réalisation.
De plus il faut signaler que :
- plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important.

I-8. Point de fonctionnement

Lorsqu'un moteur entraîne une charge mécanique, le groupe moteur-charge accélère si le couple utile du moteur est supérieur au couple résistant de la charge, ralenti si le couple utile du moteur est inférieur au couple résistant de la charge. Par contre, si le moment du couple utile est égal au moment du couple de charge, il y a équilibre mécanique et l'ensemble tourne à vitesse constante.

Pour résoudre le problème de l'équilibre mécanique, il suffit de tracer la caractéristique du moteur et celle de la charge sur le même graphique. Le point d'intersection des deux caractéristiques s'appelle point de fonctionnement, ses coordonnées permettent de déterminer la vitesse de rotation et le moment du couple utile du moteur.

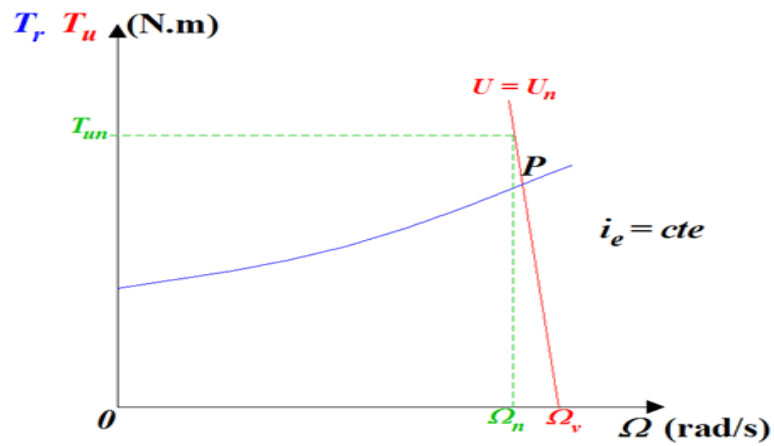


Fig. I.10. Point de fonctionnement d'un groupe moteur-charge.

I-9. Le bilan de puissance du moteur a courant continu

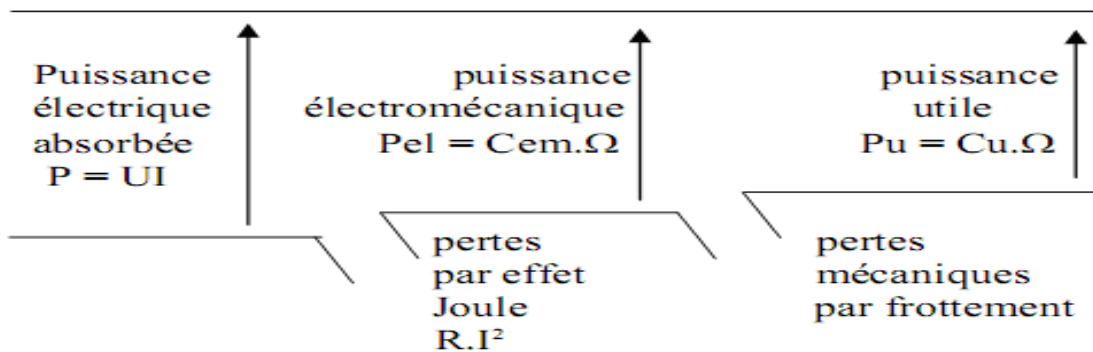


Fig. I.11. le bilan de puissance du moteur à courant continu

I-10. Conclusion

Aujourd'hui malgré la prépondérance de ces applications des machines à courant alternatif notamment dans les systèmes de traction, les machines à courant continu occupe toujours une place de choix en raison de ses caractéristiques unique.

Dans ce chapitre, on a étudié la machine à courant continu sous forme générale (l'étude de la structure de ses machines, la conversion d'énergie électromécanique).

Dans le chapitre suivant on va faire la modélisation de la MCC et on va avoir les résultats de la simulation pour juger notre modèle.

CHAPITRE II

Modélisation du Moteur à Courant Continu

II-1. Introduction

La simulation qui se fait avec le programme MATLAB/SIMILINK est nécessaire pour comprendre le comportement de la machine électrique avant leur utilisation.

Dans ce chapitre, on a fait la transformation de LAPLACE de l'équation électrique et mécanique pour déduire le modèle du moteur à courant continu (à excitation séparée et shunt et moteur série et composée). A partir ce modèle, on trace le schéma bloc qu'il permet d'obtenir les caractéristiques de ces machines (le courant, le couple utile, la vitesse de rotation

II-2. Simulation du moteur a courant continu a excitation sépare

II-2.1. Fonction de transfert de la machine à courant continu

Le circuit de l'induit d'une machine à courant continu à excitation séparée est représenté par sa f.é.m., sa résistance et l'inductance par la formule suivante:

$$U_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (\text{II.1})$$

Après la transformation de Laplace

$$U_a(p) = E(p) + (R_a + L_a \cdot p) \cdot I_a(p) \quad (\text{II.2})$$

$$I_a(p) = \frac{U_a(p) - E(p)}{R_a + L_a \cdot p} \quad (\text{II.3})$$

L'équation de tension de l'inducteur est

$$U_e = R_e \cdot I_e + L_e \cdot \frac{dI_e}{dt} \quad (\text{II.4})$$

Le couple électromagnétique est donné par

$$C_e = k \cdot \phi \cdot I_a \quad (\text{II.5})$$

Le couple de frottement visqueux est exprimé par

$$C_f = f \cdot w \quad (\text{II.6})$$

D'où l'interaction entre le couple électromagnétique et la partie mécanique est représentée par l'équation suivante commune pour toutes les machines

$$J \cdot \frac{dw}{dt} + f \cdot w = C_e - C_r \quad (\text{II.7})$$

Après la transformation de Laplace

$$C_e(p) - C_r(p) = J \cdot p \cdot w(p) \tag{II.8}$$

$$w(p) = \frac{C_e(p) - C_r(p)}{J \cdot p + f} \tag{II.9}$$

Et d'autre par

$$C_e = k \cdot \phi \cdot I_a = k' \cdot I_a \tag{II.10}$$

$$E = k \cdot \phi \cdot w = k' \cdot w \tag{II.11}$$

$$k' = k \cdot \Phi$$

II-2.2. Le schéma bloc du moteur

A partir les transformations de LAPLACE d'équation électrique et mécanique on obtient le schéma bloc suivant :

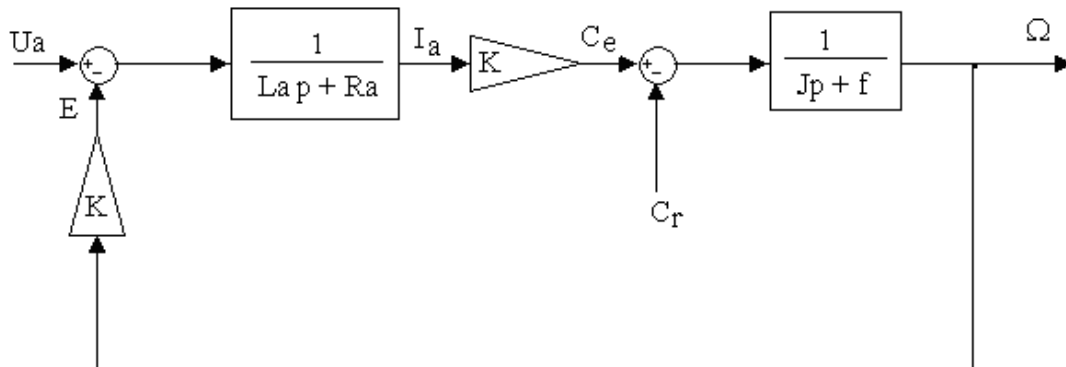


Fig. II.1. Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée.

II-2.3. Les paramètres du moteur

$U=180v$, $La=0.00652H$, $K=0.1$, $J=15^{e-4}$, $f=1^{e-3} \text{ HZ}$, $C_r = 0.1916Nm$

II-2.4. Les résultats de simulation

2-4.1. Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu :

($U=180v$, $Cr=0N/m$)

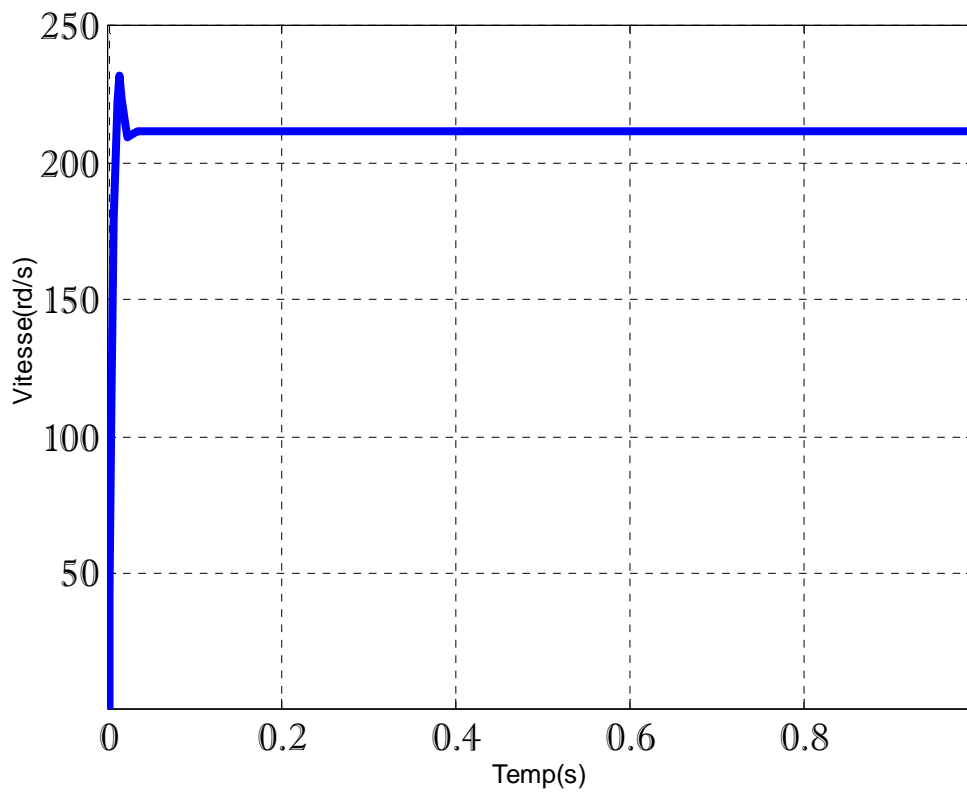


Fig . II.2. La vitesse du moteur à courant continu

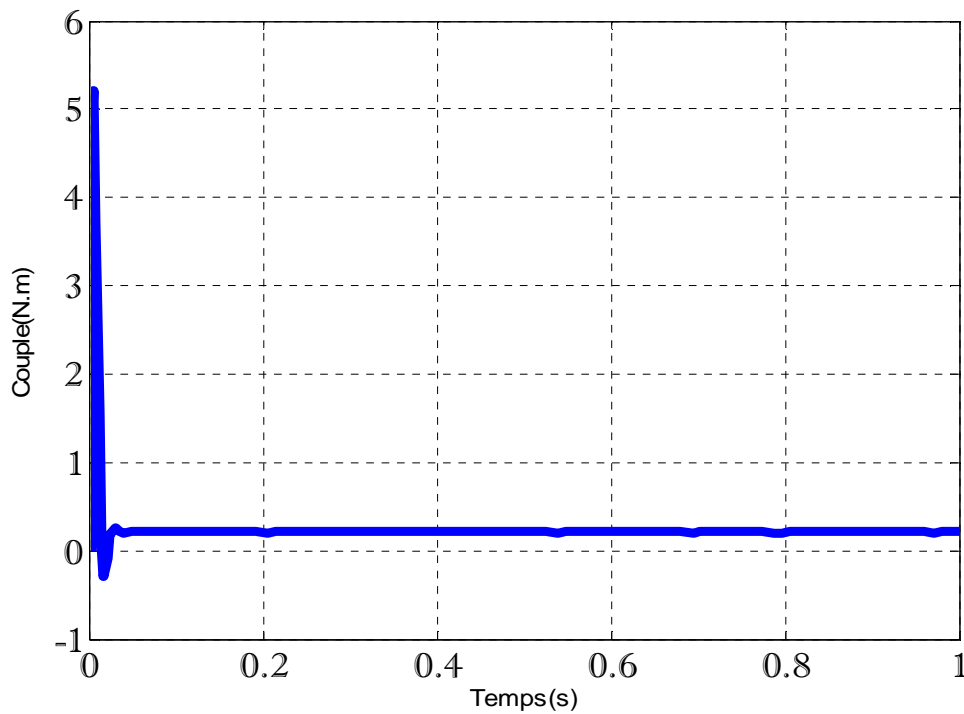


Fig . II.3. Le couple du moteur à courant continu

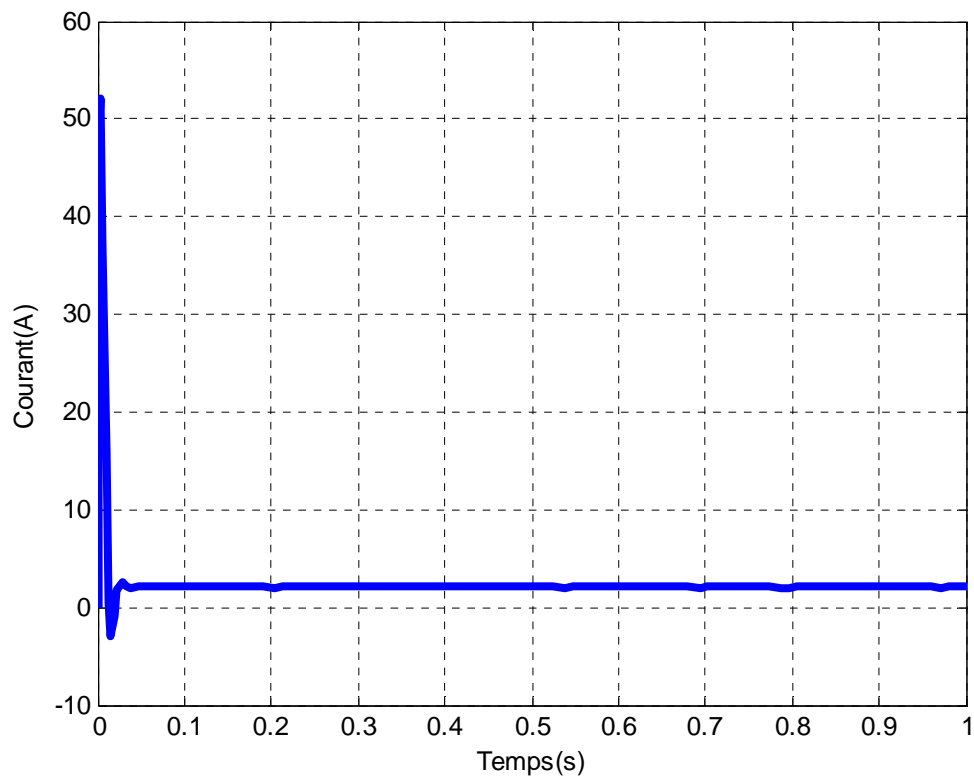


Fig. II.4. Le courant du moteur à courant continu

2-4-2. Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu :

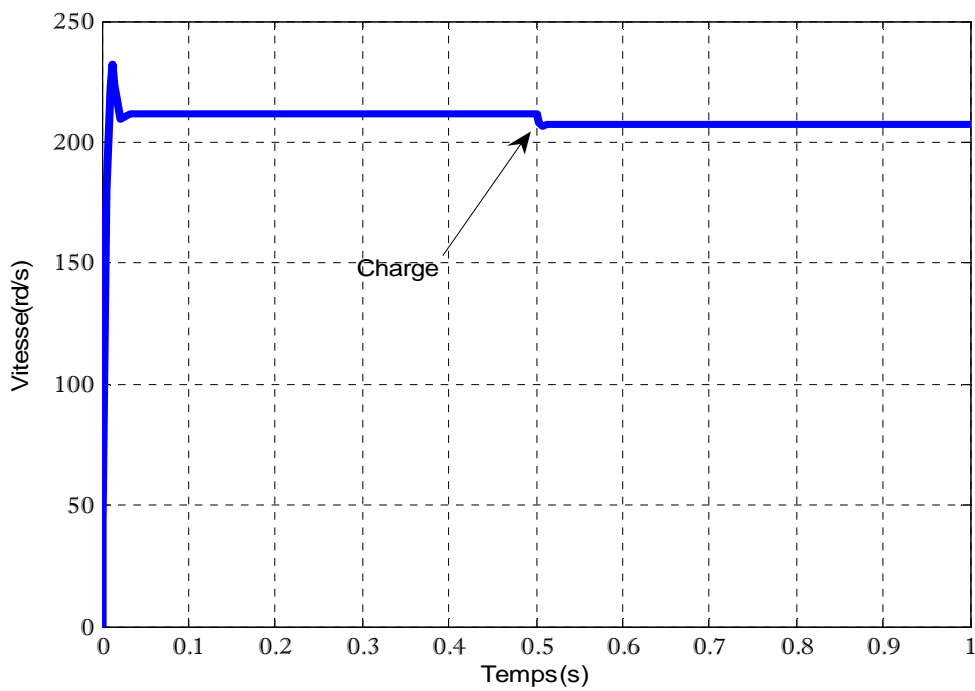


Fig. II.5. La vitesse du moteur à courant continu

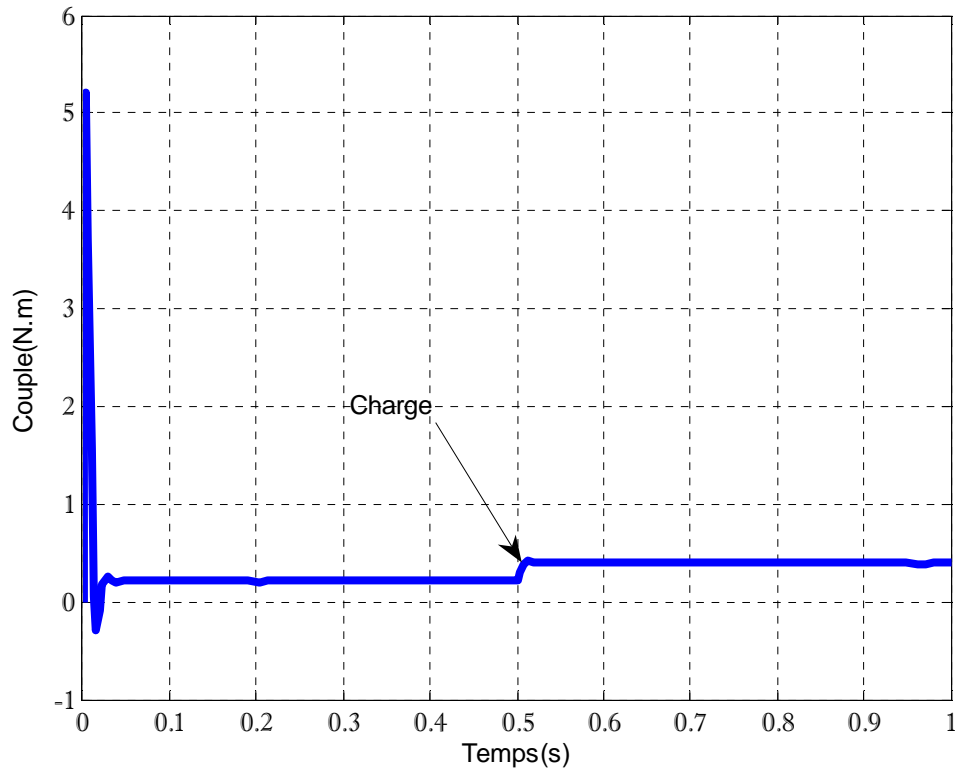


Fig . II.6. Le couple du moteur à courant continu

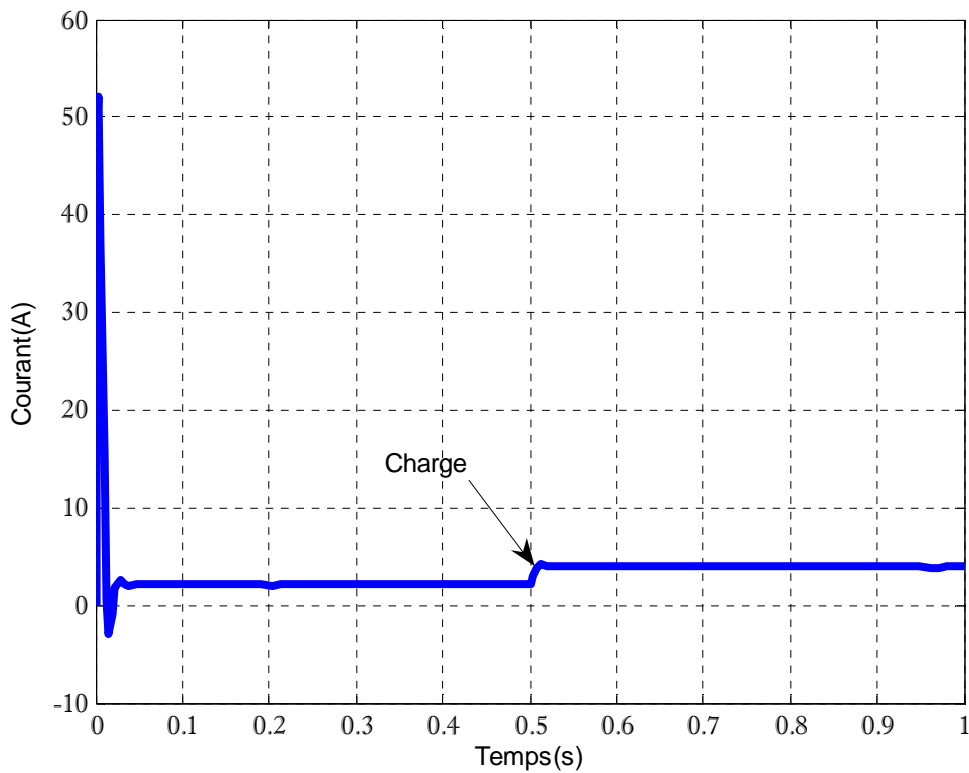


Fig. II.7. Le courant du moteur à courant continu

2-4-3. Avec un changement de sens de rotation :

Marche à vide ($U=180V$, $C_r=0 N.m$) avec changement de sens de rotation à $t= 0.5s$.

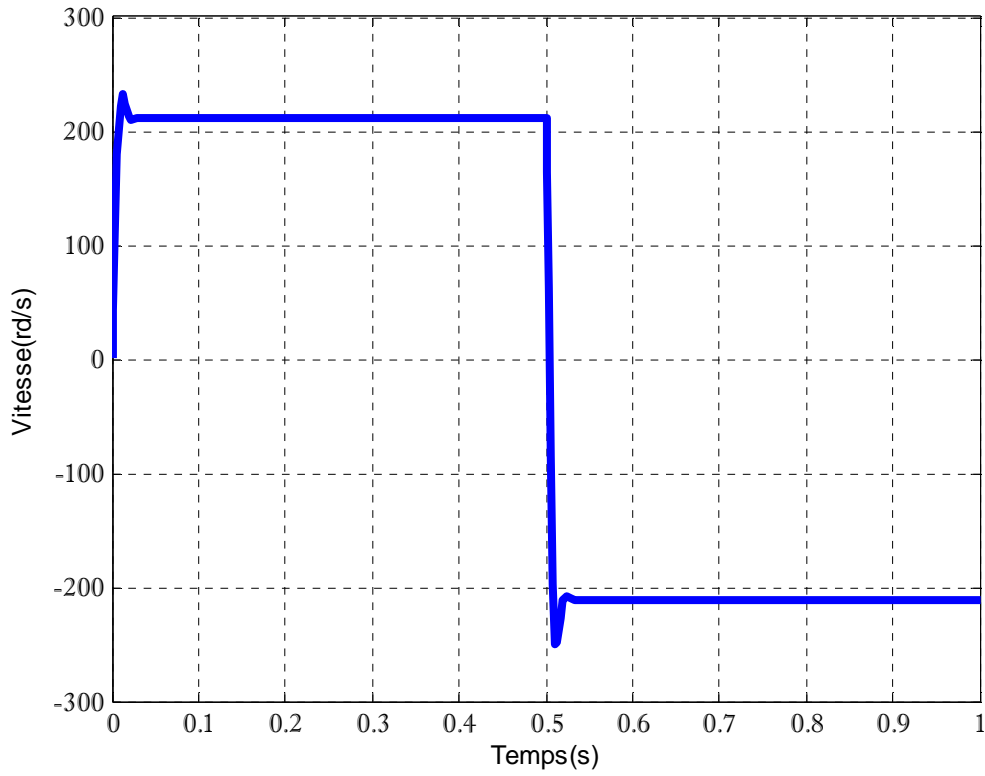


Fig. II.8. Vitesse du moteur à c.c avec changement de sens de rotation

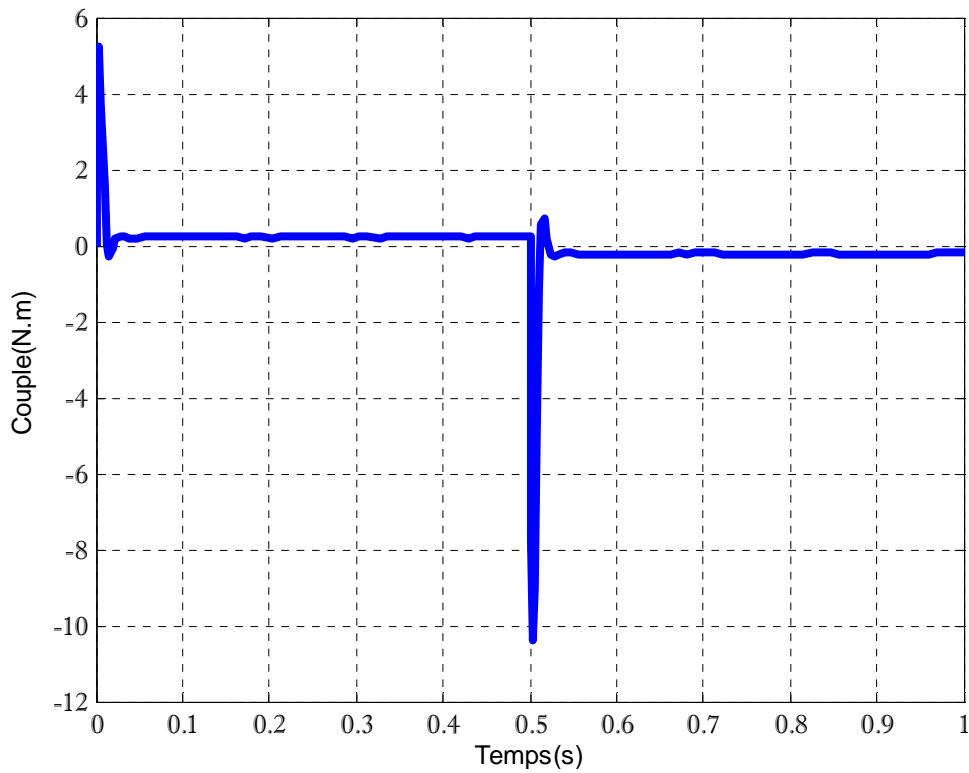


Fig. II.9. Le couple du moteur à c.c avec changement de sens de rotation

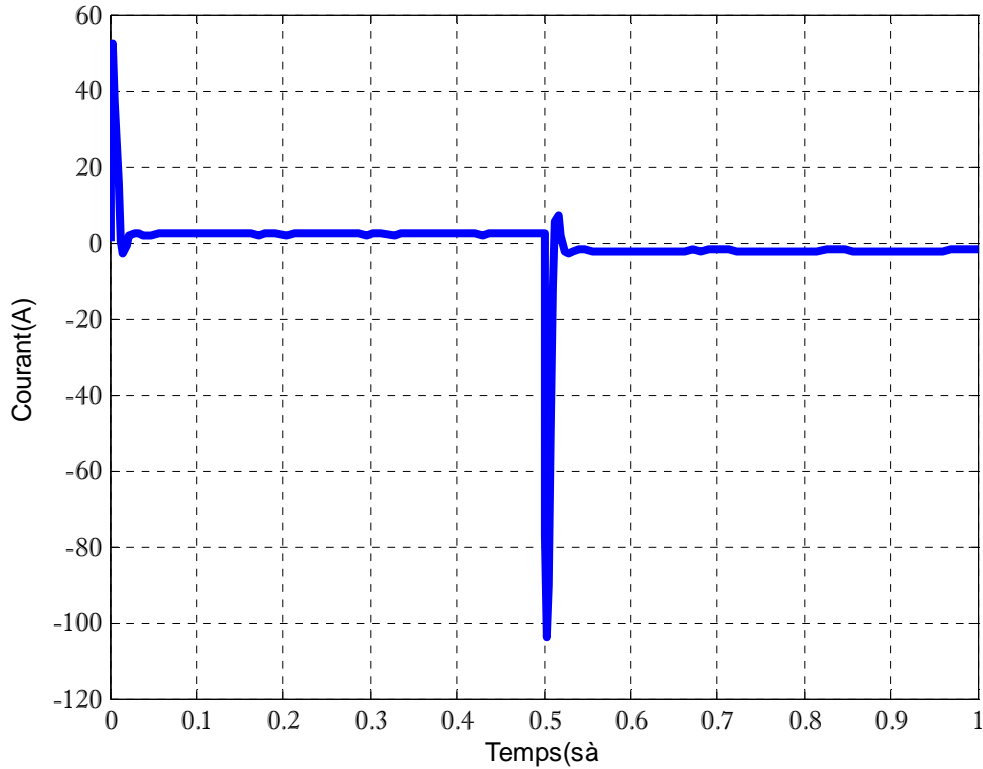


Fig. II.10. Le courant du moteur à c.c avec changement de sens de rotation

II-2-5. Interprétation

II-2-5.1. A vide:

C'est-à-dire le couple résistant est nul.

Les figures (II.2), (II.3) et (II.4) montrent qu'il y a un fort appel du courant pendant t puis il revient à zéro. $I_m = 52A$ démarrage atteint jusqu'à

La forme du couple qui dépend du courant pendant le démarrage, sa valeur atteinte puis elle revient à zéro (couple à vide), jusqu'à ($C_{max} = 5.2 \text{ N.m}$)

La vitesse angulaire augmente d'une façon presque linéaire puis se stabilise à ($\omega = 220 \text{ rad/s}$) qui correspond à la vitesse de la marche à vide idéal.

II-2-5.2. En charge:

$$(C_r = 0.1916 \text{ Nm})$$

Les figures [(II.5), (II.6) et (II.7)] met en évidence les conséquences d'un comportement d'un moteur entraînant une charge. On peut remarquer sur la caractéristique du moteur à courant continu, une demande du courant d'induit atteint à $0.4A$.

Par contre la vitesse charge de valeur en régime permanent ($\omega=220\text{rad/s}$) .

La valeur ($k \cdot \Phi$) reste constante, ce qui explique la diminution de la vitesse en charge. Pour le couple électromagnétique il prend le même comportement que le courant

II-3. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la modélisation du fonctionnement de la machine à courant continu.

On conclut que les caractéristiques des machines à courant continu qui dépendent du couple résistant (marche à vide- marche en charge), et du fonctionnement (moteur). Pour cela, la machine à courant continu nécessite l'insertion de convertisseur statique hacheur ou redresseur commandé pour une meilleure commande de la vitesse.

CHAPITRE III

La régulation

III-1. Introduction

Les régulateurs d'une part ont la tâche de comparer la valeur réelle avec la valeur de consigne et d'autre part doivent stabiliser le circuit de réglage. Dans ce but, on utilise, dans le domaine des réglages industriels.

III-2. la commande en vitesse d'un MCC à excitation séparées

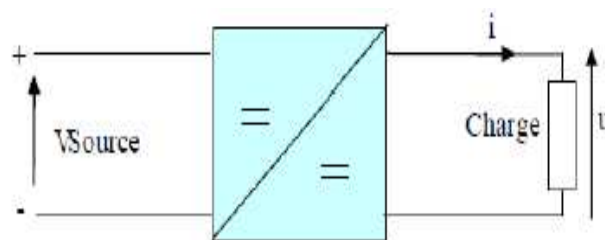
III-2. 1. Par hacheur:

On a vu que la vitesse de MCC à excitation séparée est proportionnel avec la tension d'alimentation et indépendante de la charge, il est utile de commander le moteur en vitesse par variation de la tension moyenne aux bornes de l'induit. Pour cela le hacheur est le convertisseur statique adéquat pour cette commande.

Les convertisseurs statiques sont utilisés dans des domaines très variés de la conversion d'énergie électrique. L'évolution importante des semi-conducteurs de puissance et la variété des techniques de conception des circuits de commande et de réglage apportent des solutions très avantageuses concernant l'encombrement, la fiabilité, le rendement et l'entretien des convertisseurs.[10]

III-2. 1.1. Définition :

Un hacheur est un convertisseur statique permettant d'alimenter une charge (moteur à courant continu) sous tension de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension constante (réseau alternatif redressé et filtré, (batterie d'accumulateurs, alimentation stabilisée...), avec un très bon rendement.[11]



III-2. 1.2. Principe de fonctionnement :

- Interrupteur électronique

Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source-charge à l'aide d'un interrupteur électronique. Celui ci doit pouvoir être fermé ou ouvert à volonté, ce sera un thyristor ou un transistor de puissance fonctionnant en régime de commutation.

Le transistor fonctionne en commutation (tout ou rien), il est donc :

- soit **bloqué**
- soit **saturé**

La tension de commande du transistor (reliée à la base) est une tension crêteaux, de fréquence et rapport cyclique variables indépendamment l'une de l'autre. Lorsque cette tension de commande est positive.

Elle rend le transistor passant et saturé. Lorsque cette tension est nulle (ou de préférence faiblement négative), elle bloque le transistor.

T : est la période de fonctionnement.

α : est le rapport cyclique. Il est défini comme le temps t_{ON} pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage **T**, soit :

$$\alpha = \frac{t_{on}}{T}$$

On définit également le temps pendant lequel l'interrupteur est fermé par :

$$T_{Off} = T - t_{ON}$$

- suivant la position de l'hacheur par rapport à la charge, on distingue soit :
 - ✓ Hacheur série
 - ✓ Hacheur parallèle
- Et suivant le mode de fonctionnement, on trouve :
 - ✓ Hacheur 4 quadrant ou réversible (n'est valable que si la charge est un moteur à cc)

III-2. 1.3. principe du hacheur:

***Application au moteur :**

Pour un bon fonctionnement du moteur, il est préférable que le courant soit le plus régulier possible, d'où la présence d'une bobine de lissage.

Si son inductance est suffisamment grande, on pourra considérer le courant comme constant ($\Delta i \approx 0$),[12]

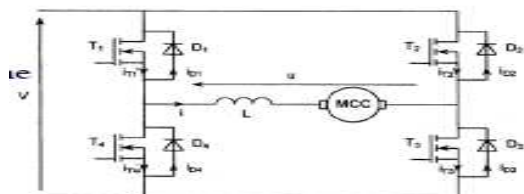


Fig. III.1. la commande en vitesse d'un MCC

Loi des mailles : $v = u_M + u_L$

On passe aux valeurs moyennes : $\bar{v} = \bar{u}_M + \bar{u}_L$

Et comme pour un signal périodique : $\bar{u}_L = 0$

Nous obtenons pour le moteur : $u_M = E = \bar{v} = \alpha U$

On définit la vitesse maximum pour $\alpha = 1$; $E = U = K' n_M$

(On néglige les résistances de l'induit et de la bobine)

Pour une valeur de α quelconque : $E = \alpha U = \alpha K' n_M$

et $E = K' n$

D'où la vitesse en fonction de α : $n = \alpha n_M$

III-2. 2. Redresseur monophasé à commandé:

III-2. 2.1. Définition

Un montage redresseur commandé permet d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension alternative sinusoïdale. L'utilisation de composants tels que les thyristors permet de réaliser des redresseurs dont la tension moyenne de sortie peut varier en fonction de l'angle de retard à l'amorçage.

III-2. 2.2. Association MCC et redresseur

1-fonctionnement dans un quadrant :

a-Pont mixte asymétrique:

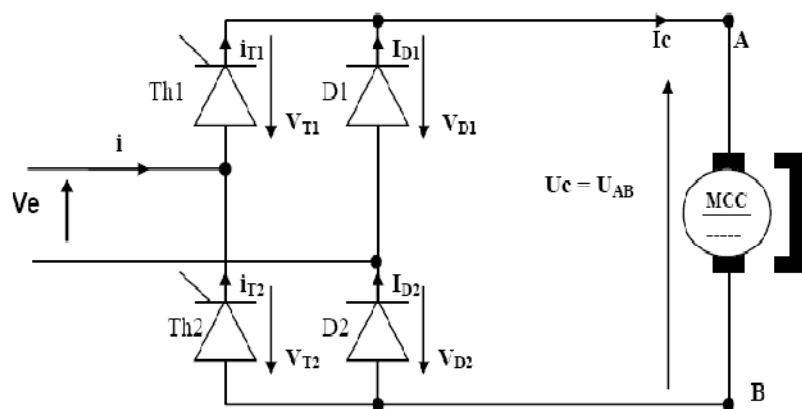


Fig. III.2. Pont mixte asymétrique

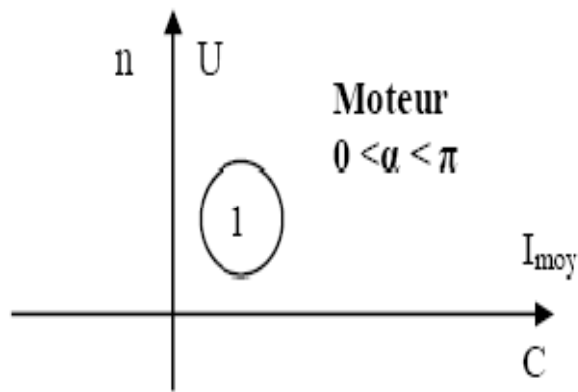


Fig. III.3. Fonctionnement de moteur ($0 < \alpha < \pi$)

Remarque :

le pont asymétrique n'a pas besoin de diode de roue libre dans le cas d'une charge inductive (R,L ou R,L,E) car quand la tension U_c veut devenir négative, les diodes D1 et D2 deviennent conductrices et assurent la roue libre.

b-Pont mixte symétrique:

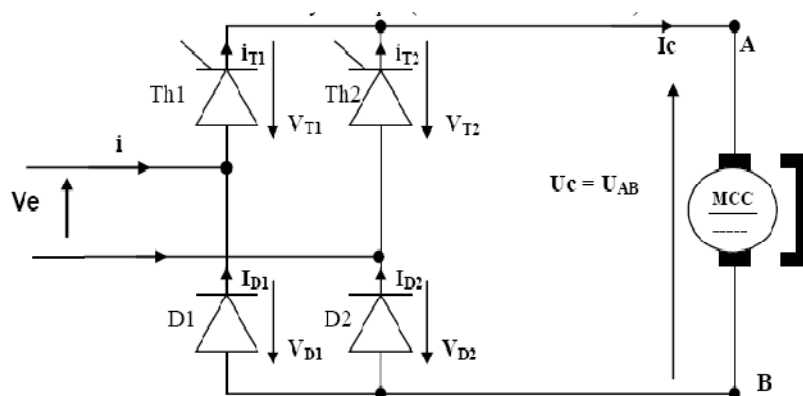


Fig. III.4. Pont mixte symétrique

Remarque :

Ce pont a les 2 cathodes réunies, donc la même commande pour les deux thyristors.

2. fonctionnement dans deux quadrants :

*Pont PD2 tout thyristor :

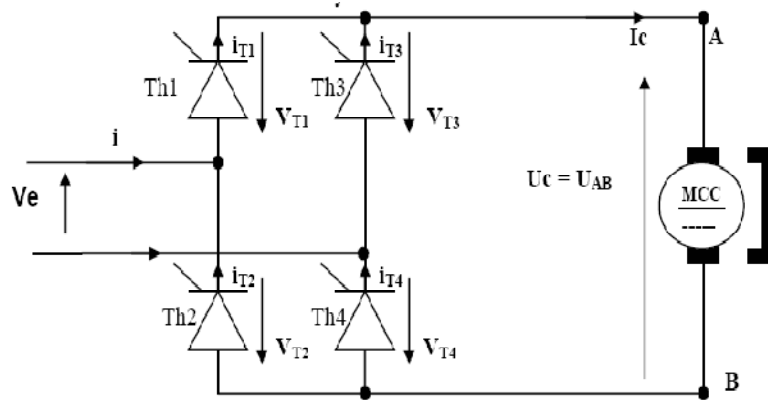
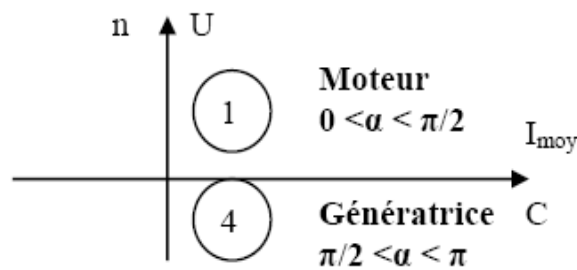


Fig. III.5. Pont PD2 tout thyristor



Si $0 < \alpha < \pi/2$: le PD2 fonctionne en redresseur et la MCC fonctionne en moteur (**quadrant 1**).

Si $\pi/2 < \alpha < \pi$: le PD2 fonctionne en onduleur et la MCC en génératrice (**quadrant 4**).

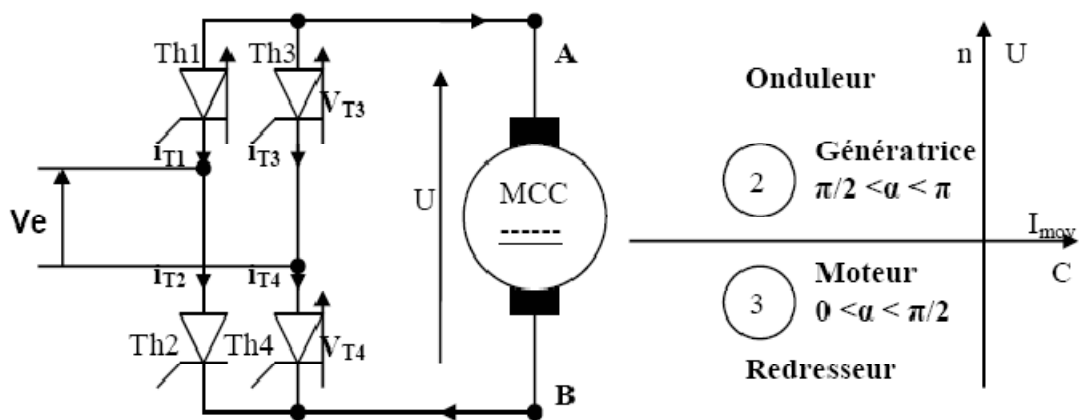


Fig. III.6. Fonctionnement en cas moteur et génératrice

3-fonctionnement dans quatre quadrants :

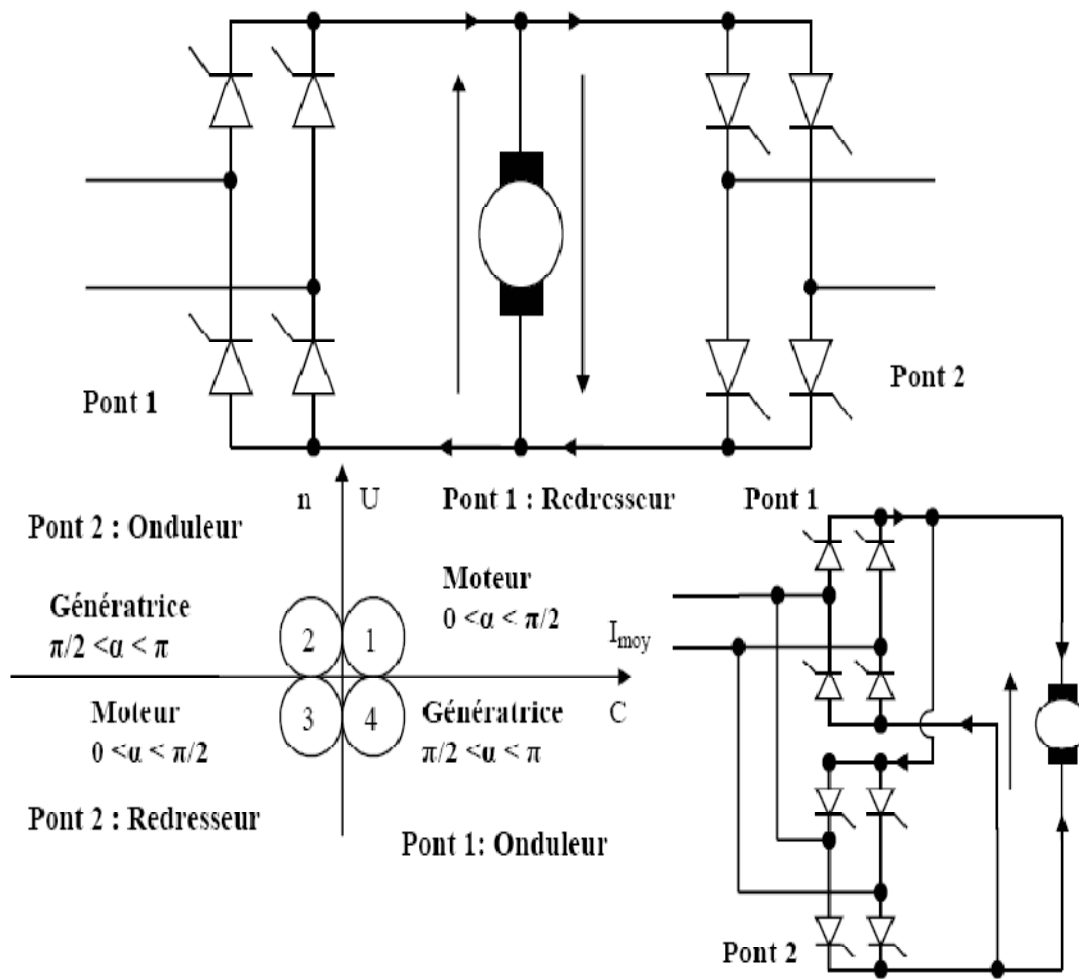


Fig. III.7. Fonctionnement dans quatre quadrants

III-3. Simulation d'un MCC par redresseur monophasé commandé

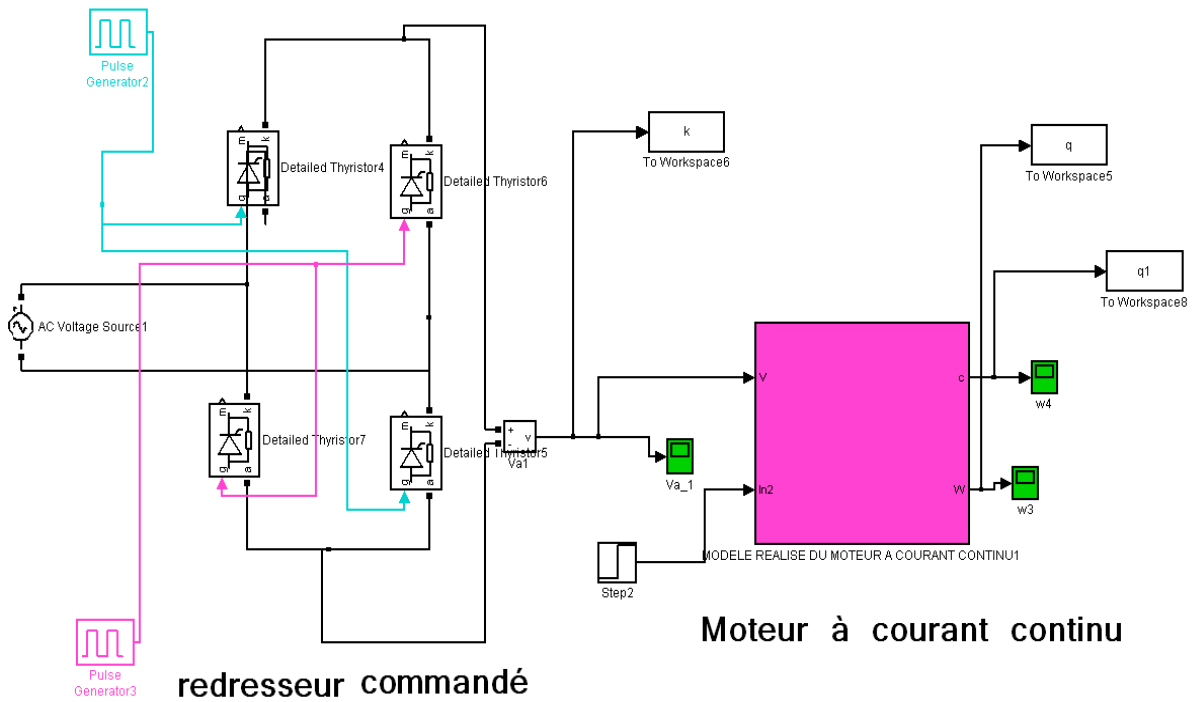


Fig. III.8. Moteur à courant continue commandé par un redresseur

❖ Les résultats de simulation:

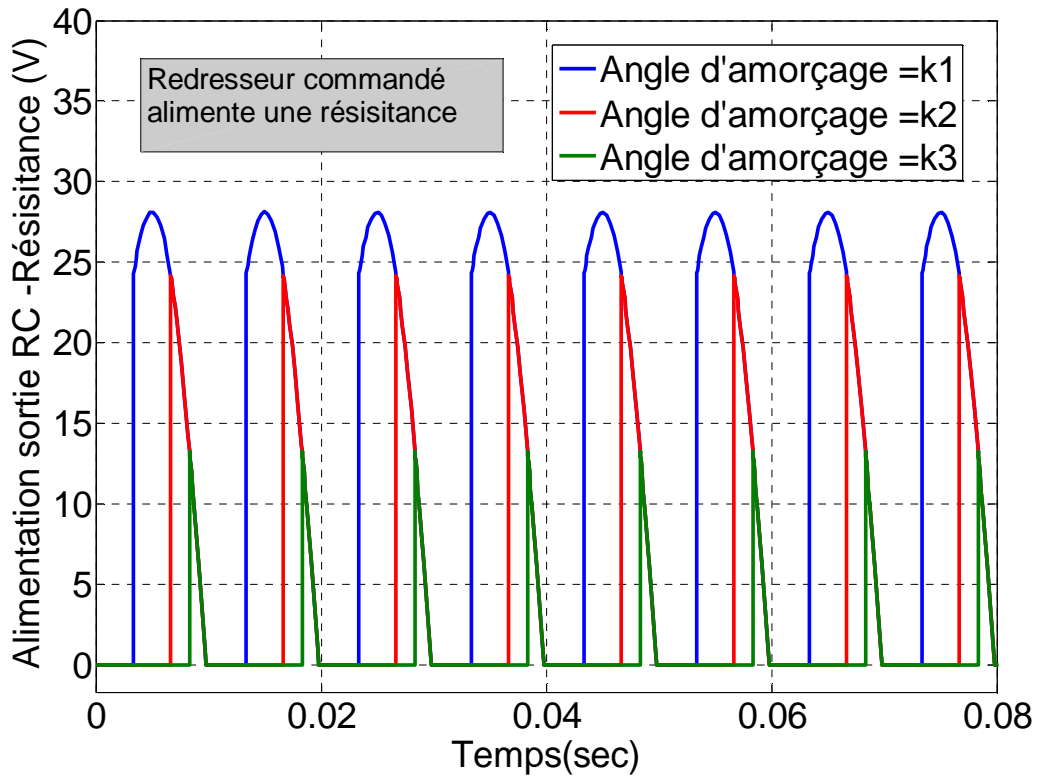


Fig. III.9. Redresseur commandé qui alimente une résistance

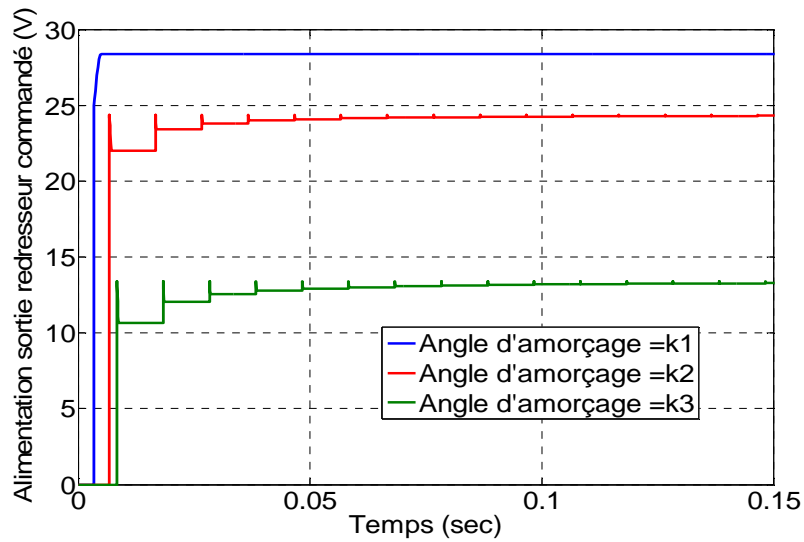


Fig. III.10. Alimentation sortie redresseur commandé (entrée MCC)

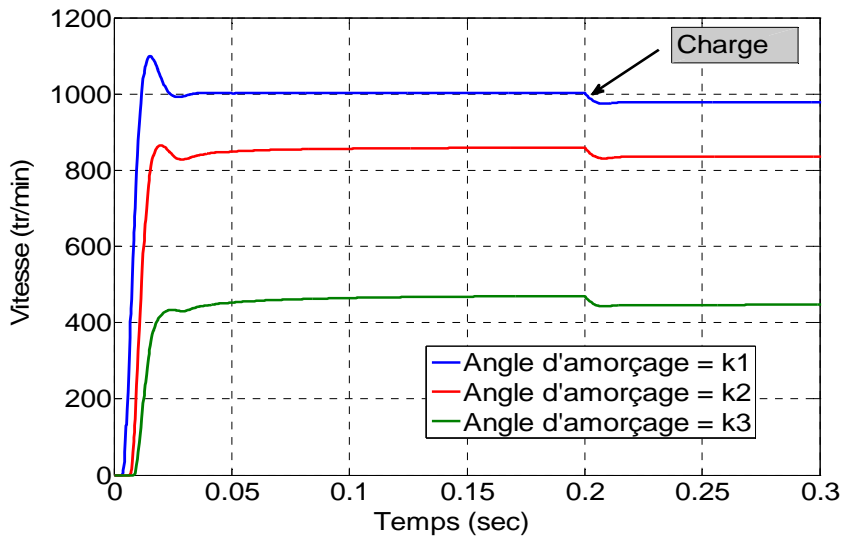


Fig. III.11. Vitesse du MCC pour les trois angles d'amorçage (k_1, k_2, k_3)

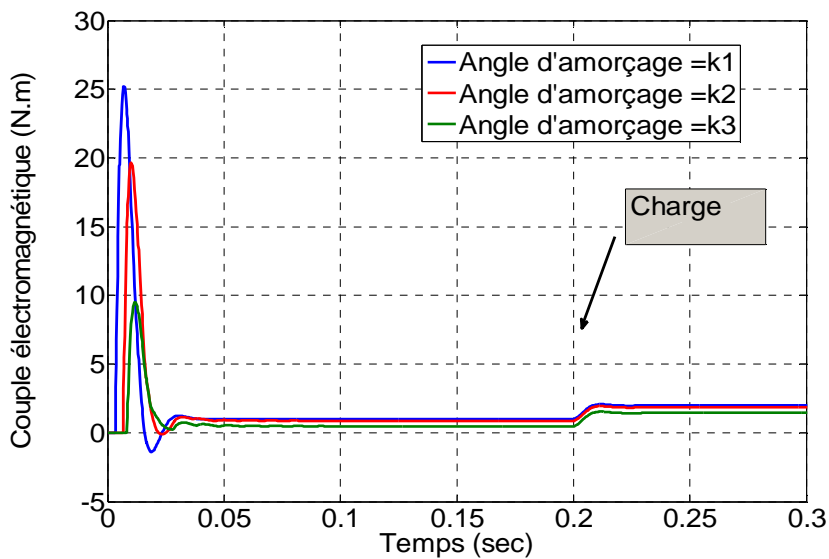


Fig. III.12. Couple électromagnétique du MCC pour les trois angles d'amorçage (k_1, k_2, k_3)

III-4. Simulation d'un MCC par hacheur monophasé

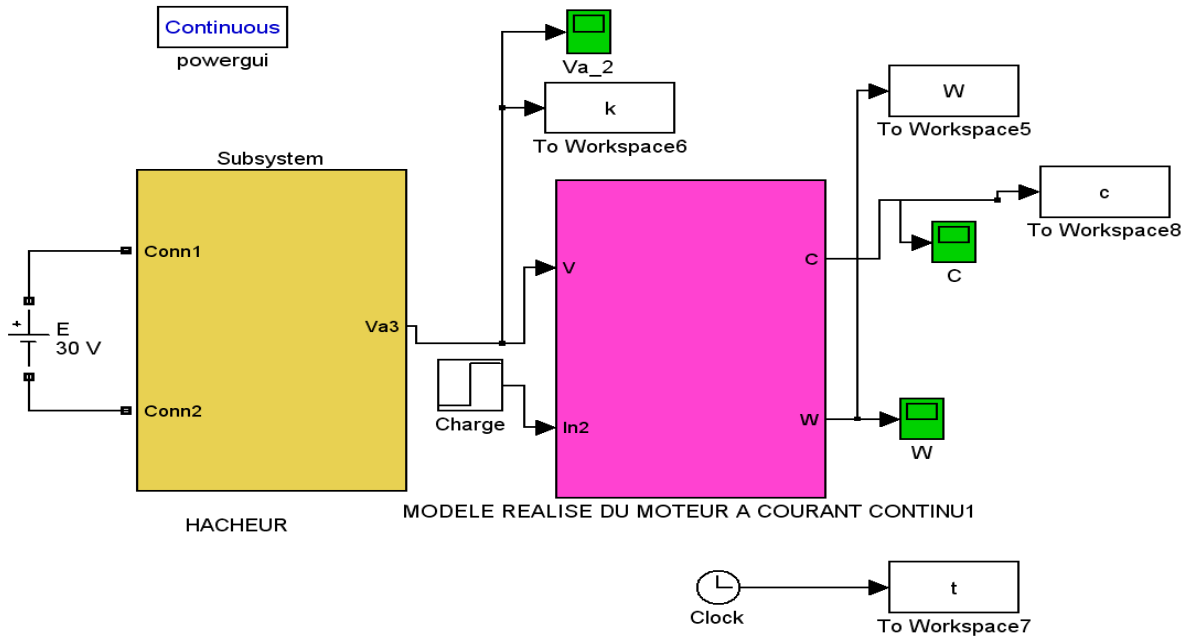


Fig. III.13. Moteur à courant continu commandé par un hacheur

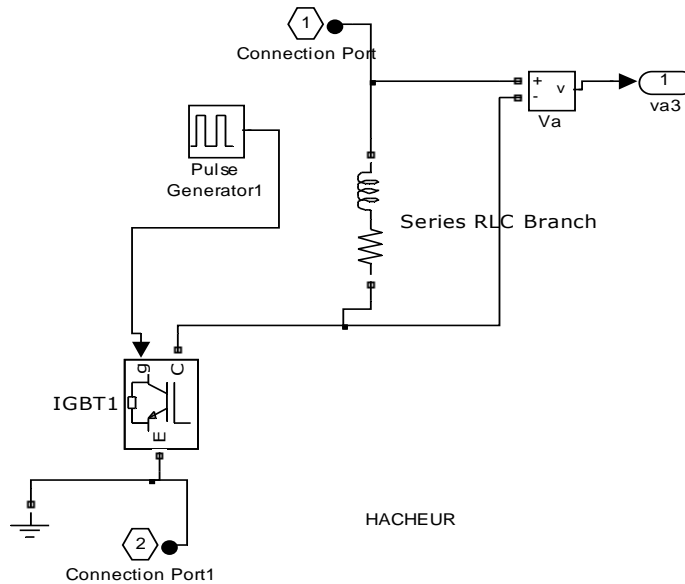


Fig. III.14. Schéma réalisé d'un hacheur monophasé

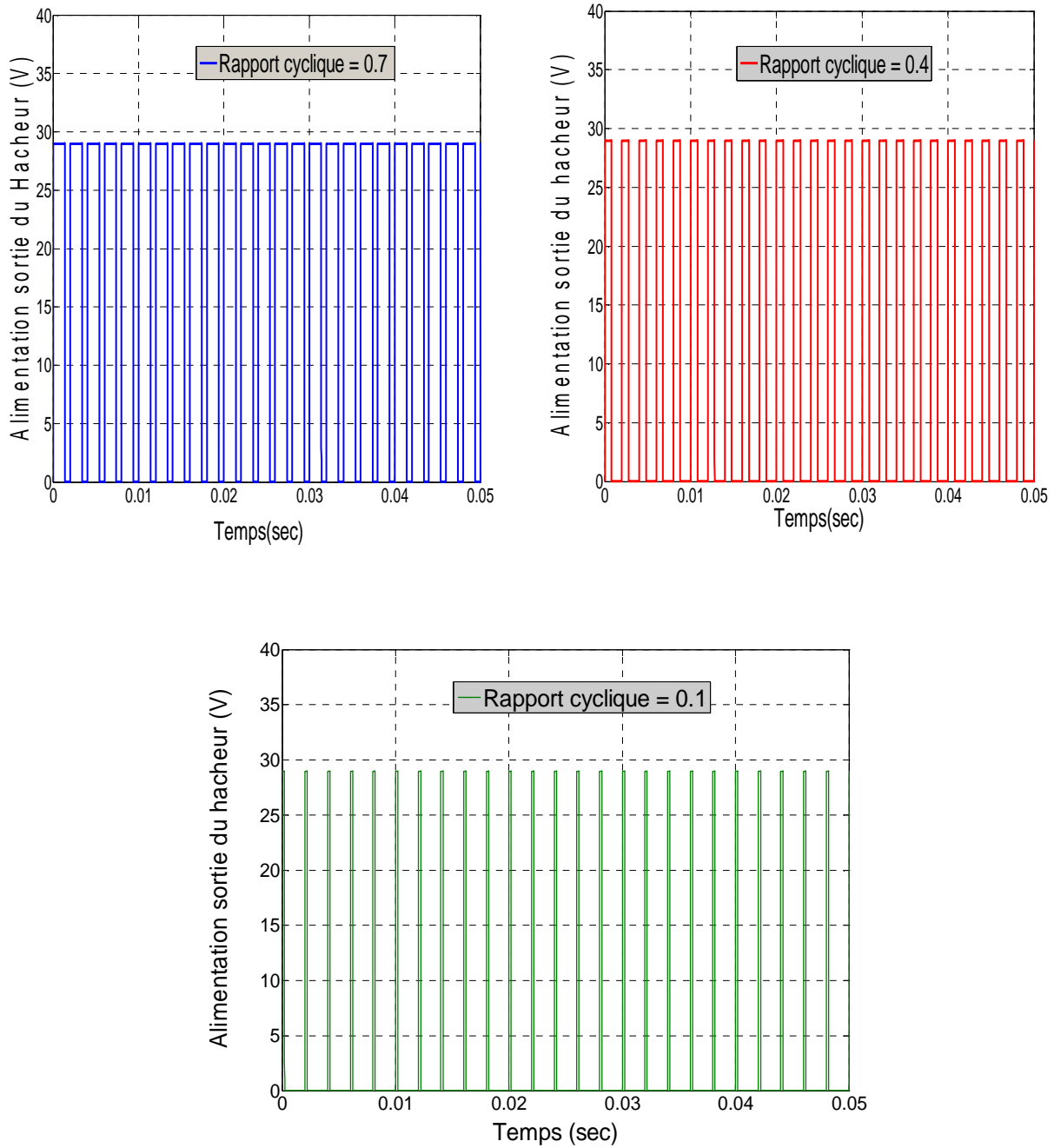


Fig. III.15. Alimentation sortie du hacheur en variation du rapport cyclique

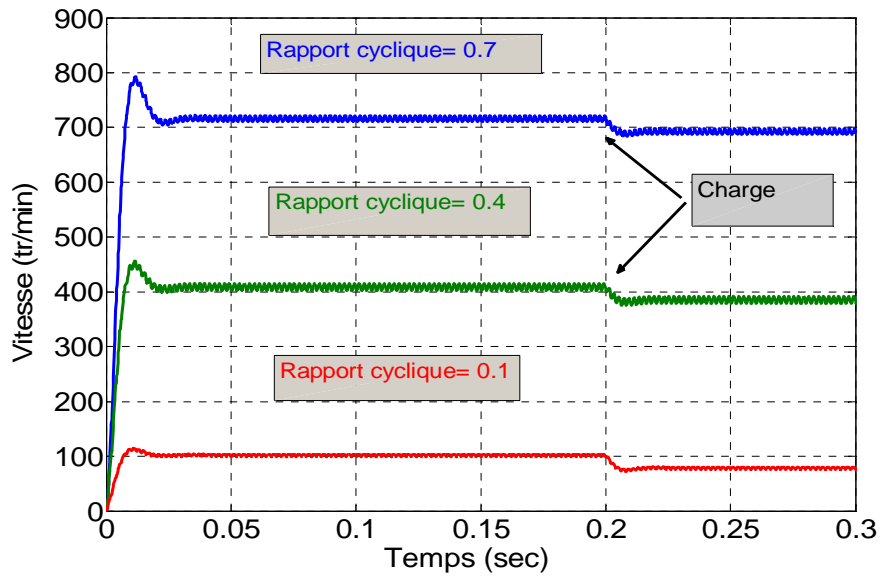


Fig. III.16. Vitesse d'un mcc par hacheur en variation de rapport cyclique

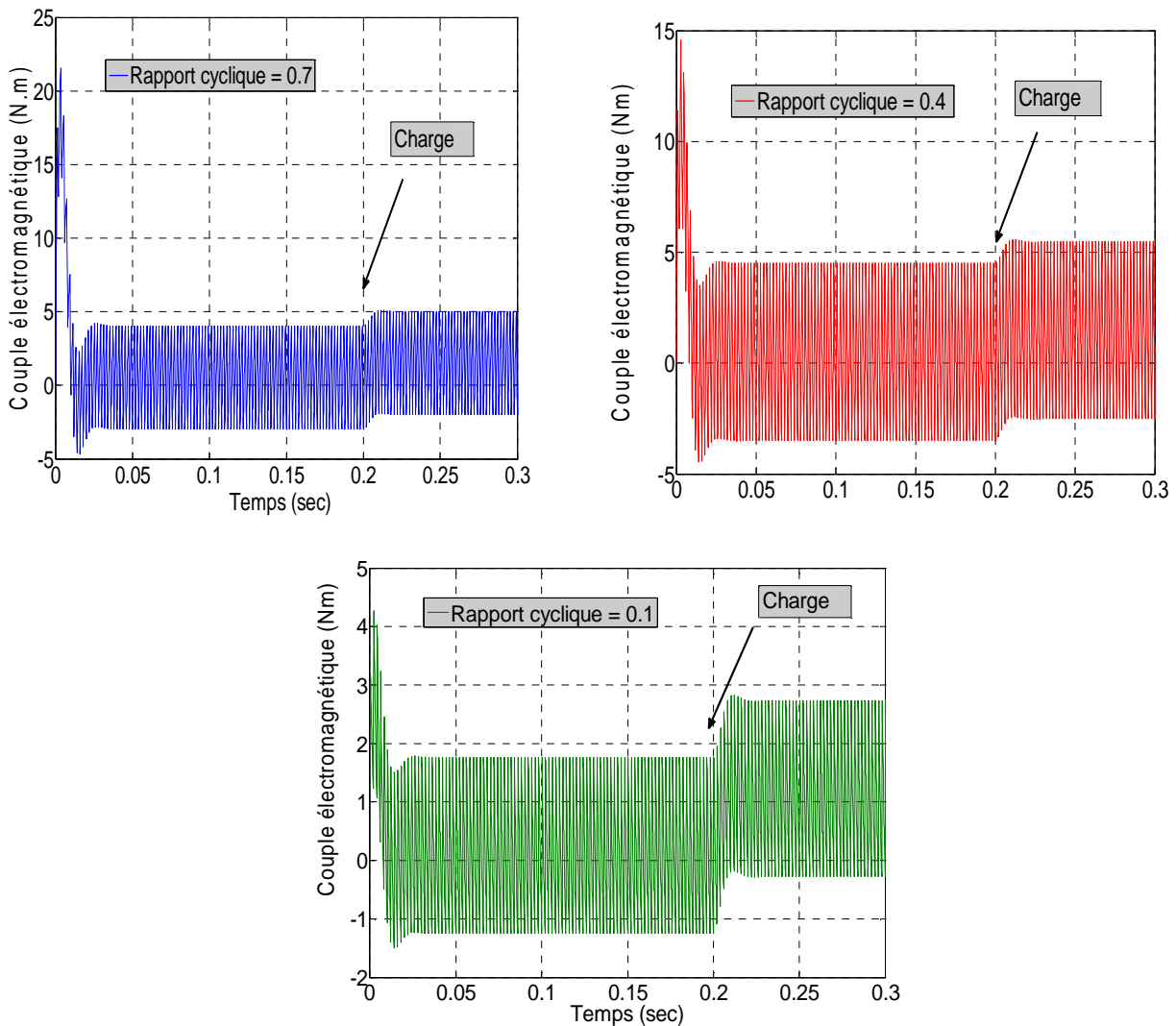


Fig. III.17. Couple électromagnétique d'un MCC par hacheur en variation de rapport cyclique

Les figures (III.8) jusqu' à (III.17) montrent bien que les simulations faites ont une bonne concordance avec des résultats pratiques réalisés dans des travaux de recherche récents.

Bour cela ce travail jouit d'une simulation proche à des courbes obtenues dans les laboratoires d'électrotechniques.

Grace à ce type de commande, comme nous avons vu nous pouvons tout simplement de commander notre moteur à différentes valeurs de vitesses.

III-5. Conclusion

Ce chapitre est l'étude de la commande moteur à courant continu à excitation séparée par redresseur commandé et hacheur monophasé.

Nous avons présenté les différents types de régulateur avec la moteur à courant continu à excitation séparée par redresseur commandé et hacheur monophasé.

Un hacheur ou en redresseur monophasé complet à deux thyristors modulant une tension appliquée aux bornes de la MCC et modulant également le courant issu du circuit d'induit de la machine (i) en un courant . Une machine à courant continu délivrant un couple de forces moteur (C. moteur) ainsi qu'une force électromotrice (e) alors la masse totale ramenée sur l'arbre du moteur, ce dernier tournant à la vitesse et recevant un couple résistant (Cr. moteur).

Conclusion générale

Malgré la dispersion d'utilisation l'étude et d'utilisation des machines asynchrone, l'étude et l'utilisation des machines à courant continu restent indispensable grâce à leurs caractéristiques uniques.

Ce mémoire est composé de trois chapitres qui sont résumés comme suit:

Le premier chapitre contient des généralités sur la machine à courant continu c'est-à-dire que ce chapitre traite (la structure interne de la machine à courant continu, le principe de fonctionnement de ces machines avec ces deux cas (fonctionne comme génératrice et comme moteur), la conversion d'énergie électromécanique, leurs classification selon différents critères.

Le deuxième chapitre contient la transformation de LAPLACE des équations électriques et mécaniques, les schémas blocs et les caractéristiques de la vitesse, du couple utile et de la courant de charge; on a choisis la machine à flux constant c'est-à-dire à excitation séparé. On a extrait les caractéristiques précédents dans les cas: à vide, en charge et inversement de vitesse.

Le troisième chapitre aborde l'étude de l'association hacheur puis un redresseur commandé, un moteur à courant continu.

Après la représentation des généralités sur la machine à courant continu, nous avons établi le modèle mathématique du moteur à courant continu et la simulation de sa commande de vitesse par un redresseur commandé puis un hacheur. Les résultats obtenus montrent clairement que les performances obtenues, avec les régulateurs de (vitesse, courant et de couple) par dans les différentes modes de marche, à vide ou en charge suivent les performances et les réponses souhaitées.

Les perspectives qu'on peut envisagé comme suite à ce travail se traduisent par l'ajout des régulateurs (P, PI, PID) au boucle pour des performances de vitesse, du couple du courant exigé par le système asservi.

Les références

- [1] BENNOUDJIT.A, Octobre1995, Introduction_aux machines électriques à courant continu 1, Presses de l'université de Batna.
- [2] BEN AMOR Afaf, BOUGHAZALA MOHAMMED Messouda, mémoire de la fin étude«commande linéaire d'un moteur à courant continu à flux constant (synthèse et régulateurs», Centre Universitaire d'EL-OUED, promotion 2008
- [3] BENOIST Carmen, benoist 1 @ multimania.com.
continu ,7 Janvier 2009. http://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_courant [4]
- [5] WILDI, Ecole de technologie supérieur.
- [6] MAYE Pierre, Avril 2006, Moteur électrique pour la robotique, Paris, France.
- [7] BROWN Mark, RAWATNI Jawaher, PATIL Dinesh, Juillet 2006, Maintenance \ électrotechnique, DUNOD, Toulouse, France.
- [8] mintautomatisme @ free.fr.
- [9] Machine_à_courant_continu.htm , 21 mai 2009.
- [10] R.mérat et R. moreau ; « *physique appliquée* » ; livre édition NATHAN TECHNIQUE ; 1994
- [11] J. C. CABANEL ; « *l'utilisation des logiciels de simulation d'électrotechnique en cours de synthèse* » ; mémoire professionnel ; Lycée Technologique Régional Dhuoda de Nîmes ; 2003.
- [12] S. Chemanedji et A. Sadoud ; « *Conception d'un Hacheur à deux Thyristors Auxiliaires Destiné à la Poursuite du Point de Puissance Maximale d'un Générateur Photovoltaïque* » ; revue des énergies renouvelables. : Valorisation ; 1999.