

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA  
BADJI MOKHTAR– ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : D'électronique

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : AUTOMATIQUE

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**MODELISATION ET COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT  
CONTINU PAR HACHEUR**

Présenté par : ● *BENKHARRAT Ishak*

*(automatique et informatique industrielle)*

et ● *BOUAKAZ Iheb*

*(automatique et système)*

**Encadrant :** *KHERFANE Hamid* **Grade :** Professeur **Université :** Badji  
Mokhtar-Annaba

### Jury de Soutenance :

SAIDI Mohamed Larbi	Professeur	Badji Mokhtar Annaba	Président
KHERFANE Hamid	Professeur	Badji Mokhtar Annaba	Encadrant
ARBAOUI Fayçal	Professeur	Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

# Remerciements

Au début de ce mémoire, nous remercions Dieu de nous avoir aidé et nous avoir accordé patience et courage durant ces longues années d'études.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements au Professeur Kherfane Hamid, en tant que directeur de mémoire, qui a toujours été très à l'écoute et disponible tout au long de la réalisation de cette mémoire.

Nous remercions Le Professeur Saidi Mohamed Larbi d'avoir présider la soutenance du mémoire .

Nous remercions Le Professeur Arbaoui Fayçal d'avoir examiner le travail .

Nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements aux personnes qui nous ont aidé et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire .

Enfin, nous remercions sincèrement tous nos parents et amis qui nous ont toujours soutenus et encouragés durant l'accomplissement de ce travail.

# Sommaire

Introduction général .....	05
<b>Chapitre1 : les moteurs à courant continu .....</b>	<b>07</b>
1-Généralités sur les moteurs à courant continu .....	07
1-1-introduction .....	08
1-2-Description générale du système étudié .....	08
1-3-Avantages et inconvénients de MCC .....	08
1-4 -Domaine d'utilisation de moteur à courant continu ..	10
1-5-Symbole de la machine à courant continu .....	11
2-Constitution et principe de fonctionnement du MCC .....	11
2-1- Constitution de la machine à courant continu .....	12
2-2-Différentes parties de la machine à courant continu...	12
3- Fonctionnement d'un moteur .....	13
4- Les différents types de moteurs à courant continu .....	14
4-1-Les moteurs à inducteur à aimant permanent .....	14
4-2- Les moteurs à inducteur bobiné .....	15
5-Modélisation .....	16
6- modélisation de la machine électrique .....	16
7- Schéma fonctionnel d'un moteur à courant continu à excitation séparée .....	17
7-1-Modèle du moteur à courant continu en Boucle ouvert.....	18



7-1-1 Conclusion	21
7-1-2 Caractéristique statique électromécanique naturelle	21
8- Conclusion	24
<b>Chapitre 2 : le hacheur</b>	<b>25</b>
1- Généralité sur les convertisseurs	26
2-Hacheur	26
2-1 – introduction	26
2-2 -définition	26
2-3-le rapport cyclique	27
2-4-différents types de hacheur	27
2-5- les domaines d'utilisation	27
2-6-Avantages et les Inconvénients	28
3-Le principe de fonctionnement nt du hacheur 4 quadrants	29
3-1-Tension moyenne en sortie du convertisseur	30
3-2-Courant moyen en entrée du convertisseur	31
3-3-Ondulation du courant de sortie	33
4-Fonctionnement dans les quatre quadrants	37
5- conclusion	39
<b>Chapitre 3 : L'association du moteur à courant continu avec</b>	
le hacheur à quatre quadrants	41
1- Introduction	42
2- Partie de simulation	42
2-1 La simulation de moteur à vide	43
2-2 Interprétation	47
2-3 fonctionnement en mode générateur	47



3- Conclusion	.....47
<b>Conclusion générale</b>	.....50
<b>Bibliographie</b>	.....50
<b>Résumé</b>	.....51

## **Introduction général :**



Les machines à courant continu sont largement utilisées dans l'industrie et dans les applications domestiques en raison de leur fiabilité, de leur efficacité et de leur facilité de contrôle. Elles sont fréquemment utilisées dans les industries automobile, aérospatiale et ferroviaire, ainsi que dans les éoliennes et les générateurs. Elles sont également présentes dans les objets du quotidien, tels que les aspirateurs, les mixeurs, les perceuses et les ventilateurs.

Le fonctionnement d'une machine à courant continu repose sur l'interaction entre un champ magnétique et un courant électrique. Elle est composée d'un stator, qui génère un champ magnétique constant, et d'un rotor, qui contient des bobines conductrices. Lorsque le courant est appliqué aux bobines du rotor, un champ magnétique est créé et interagit avec le champ magnétique du stator pour produire un couple qui entraîne la rotation du rotor.

Les machines à courant continu sont également appréciées pour leur capacité à être contrôlées avec précision et efficacité. Les techniques modernes de contrôle, telle que la commande P.W.M. (MLI) avec hacheur et boucle de régulation en cascade, permettent de réguler avec précision le couple et la vitesse de la machine à courant continu.

## **Moteur à courant continu à excitation indépendante**

### **1-Généralités sur les moteurs à courant continu**

#### **1-1-introduction :**

électrique en énergie mécanique ou vice versa de manière totalement réversible. Cela signifie que la machine peut fonctionner comme un moteur en

transformant l'énergie électrique en énergie mécanique ou comme une génératrice en convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique.

Les La machine électrique à courant continu est un dispositif qui permet de convertir l'énergie moteurs à courant continu sont particulièrement utiles dans les systèmes de contrôle où il est nécessaire de réguler la vitesse, le couple, le moment et le sens de rotation. Grâce à leur capacité à offrir une grande flexibilité dans la régulation de ces paramètres, ils peuvent être facilement intégrés dans les applications industrielles.

Dans ce chapitre, nous allons explorer les différents composants qui constituent la machine électrique à courant continu, ainsi que son principe de fonctionnement. Nous étudierons également les techniques de commande et de régulation de la vitesse qui permettent d'optimiser son utilisation dans les différents contextes industriels.

### **1-2-Description générale du système étudié :**

La section suivante traite de la description globale du système éducatif. Ce système électrique est conçu pour les activités industrielles liées à la production, au transport et à la distribution de l'électricité aux consommateurs. En d'autres termes, il s'agit d'un convertisseur électromécanique qui permet la conversion bidirectionnelle de l'énergie entre une source électrique et un dispositif mécanique, produisant ainsi un continuum de courant électrique et d'énergie mécanique.

Un système de commande est également présent pour transformer l'électricité en énergie mécanique contrôlable. Ce système est constitué de quatre parties interconnectées, à savoir la :

- source triphasée
- les convertisseurs statiques (redresseurs et hacheurs)
- le moteur à courant continu
- le régulateur.

Ensemble, ces quatre systèmes permettent la conversion efficace de l'énergie électrique en énergie mécanique dans les applications industrielles.

### **1-3-Avantages et inconvénients de MCC :**

### 1-3-1-Avantages :

Un moteur à courant continu (ou moteur CC) présente plusieurs avantages, notamment :

- **Contrôle de la vitesse** : les moteurs à courant continu offrent un contrôle précis de la vitesse et de la position, ce qui les rend utiles pour une grande variété d'applications industrielles et de machines-outils.
- **Démarrage progressif** : les moteurs à courant continu peuvent être démarrés lentement, ce qui les rend idéaux pour les applications qui nécessitent un démarrage en douceur, comme les convoyeurs et les grues.
- **Puissance constante** : les moteurs à courant continu peuvent fournir une puissance constante, ce qui est important pour les applications qui nécessitent un couple constant à des vitesses de rotation variables.
- **Efficacité** : les moteurs à courant continu sont très efficaces en termes de conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, ce qui les rend économiques à utiliser.
- **Longue durée de vie** : les moteurs à courant continu ont une longue durée de vie et peuvent fonctionner pendant des années sans nécessiter de maintenance importante.
- **Faible bruit** : les moteurs à courant continu sont relativement silencieux et ne produisent pas beaucoup de bruit lorsqu'ils sont en fonctionnement.
- **Taille compacte** : les moteurs à courant continu sont souvent plus petits et plus légers que les autres types de moteurs, ce qui les rend utiles pour les applications où l'espace est limité.

### 1-3-2- inconvénients :

- Bien que les moteurs à courant continu (CC) présentent de nombreux avantages, ils ont également quelques inconvénients, notamment :
- **Coût initial élevé** : Les moteurs à courant continu ont un coût initial plus élevé que les moteurs à induction et les autres types de moteurs électriques.
- **Maintenance requise** : Les moteurs à courant continu nécessitent une maintenance régulière, comme le remplacement des balais et du commutateur, afin de maintenir leur performance optimale.

- Bruit électrique : Les moteurs à courant continu peuvent générer du bruit électrique, qui peut interférer avec d'autres équipements électroniques.
- Sensibilité aux variations de tension : Les moteurs à courant continu peuvent être sensibles aux variations de tension, ce qui peut affecter leur performance.
  - Perte de rendement : Les moteurs à courant continu peuvent perdre de l'efficacité à mesure que leur charge diminue, ce qui peut entraîner une perte de rendement et une augmentation de la consommation d'énergie.
  - Complexité de commande : Les moteurs à courant continu nécessitent une commande complexe pour contrôler leur vitesse et leur couple, ce qui peut rendre leur installation et leur utilisation plus difficiles.

#### **1-4 -Domaine d'utilisation de moteur à courant continu :**

- Les moteurs à courant continu ont une large gamme d'applications dans de nombreux domaines, notamment :
- L'industrie manufacturière : les moteurs à courant continu sont utilisés pour entraîner des machines-outils telles que les fraiseuses, les tours, les perceuses, les presses et les machines de découpe.
- L'automobile : les moteurs à courant continu sont utilisés pour alimenter les lève-vitres, les essuie-glaces, les ventilateurs et les pompes à carburant.
- L'aéronautique : les moteurs à courant continu sont utilisés pour faire fonctionner les systèmes hydrauliques, les générateurs électriques, les pompes à carburant et les actionneurs de volets et de gouvernes.
- Les appareils électroménagers : les moteurs à courant continu sont utilisés dans les aspirateurs, les machines à laver, les mixeurs et les batteurs.
- Les applications de contrôle de mouvement : les moteurs à courant continu sont utilisés dans les robots, les machines de mesure, les imprimantes, les scanners et les équipements de production de semi-conducteurs.

- En somme, les moteurs à courant continu sont très polyvalents et peuvent être utilisés dans une variété d'applications où une vitesse constante, une réponse rapide et un couple de démarrage élevé sont nécessaires

### 1-5-Symbole de la machine à courant continu :

Le symbole de la machine à courant continu sont représentés par la figure suivants

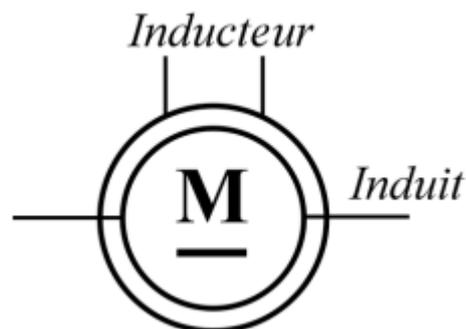


Figure 1-1: Le symbole de la machine à courant continu

## 2- Constitution et principe de fonctionnement du MCC :

La machine à courant continu est réversible ; c'est-à-dire que la constitution d'une génératrice est identique à celle d'un moteur.

### 2-1- Constitution de la machine à courant continu :

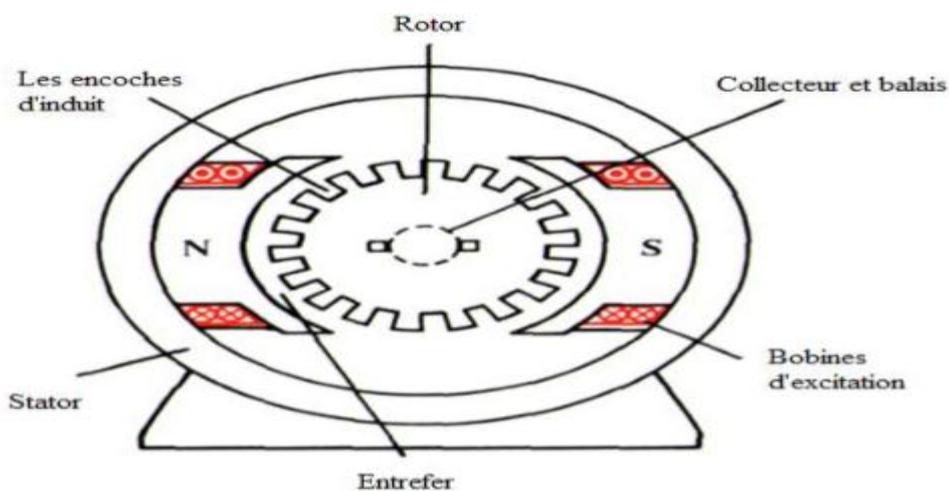


Figure 1-2 : Constitution de la machine à courant continu

## 2-2-Différentes parties de la machine à courant continu :

Le moteur électrique à courant continu se compose de trois parties :  
**partie fixe (stator)** : un électricien qui produit un champ électrique,  
partie rotatif (rotor) : Il se compose de plusieurs bobines de fil qui produisent un champ magnétique opposé au champ magnétique produit par l'élément fixe, ce qui provoque le déplacement de l'élément rotatif.  
**conducteur** : un échangeur électrique qui fonctionne pour faire passer le courant dans les bobines de l'élément tournante

### Parties fixe (inducteur) :

La partie inductrice (ou fixe) est composée de aimants permanents en ferrite ou de bobines enroulées autour des noyaux polaires. Lorsqu'un courant électrique circule à travers les bobines, un champ magnétique est créé dans le circuit magnétique de la machine, en particulier dans l'entrefer qui sépare la partie fixe de la partie mobile

Les composants de la partie fixe de la machine comprennent :

- La carcasse (ou culasse), qui forme la partie externe de la machine et supporte les différents éléments. Elle contient également le champ magnétique.
- Les pièces polaires, qui sont constituées de tôles feuilletées pour réduire les pertes dues aux courants de Foucault. Elles supportent les bobines d'excitation de la machine et permettent de générer un champ magnétique.
- L'enroulement d'excitation, qui est utilisé pour créer le champ magnétique dans la machine à courant continu

### b. Partie mobile (induit) :

**La partie rotative de la machine est appelée l'induit.** Son noyau est constitué de fer pour guider les lignes de champ magnétique, et les conducteurs sont placés dans des encoches sur le rotor. Deux conducteurs adjacents forment une spire

La partie mobile se comporte des éléments suivants

**Le collecteur** : est constitué de lamelles de cuivre isolées les unes des autres, sur lesquelles sont connectées les extrémités du bobinage de l'induit. Les balais :

sont des tiges conductrices en graphite ou en charbon qui frottent sur la surface du collecteur.

Le dispositif collecteur/balais permet de faire circuler un courant électrique dans l'induit.

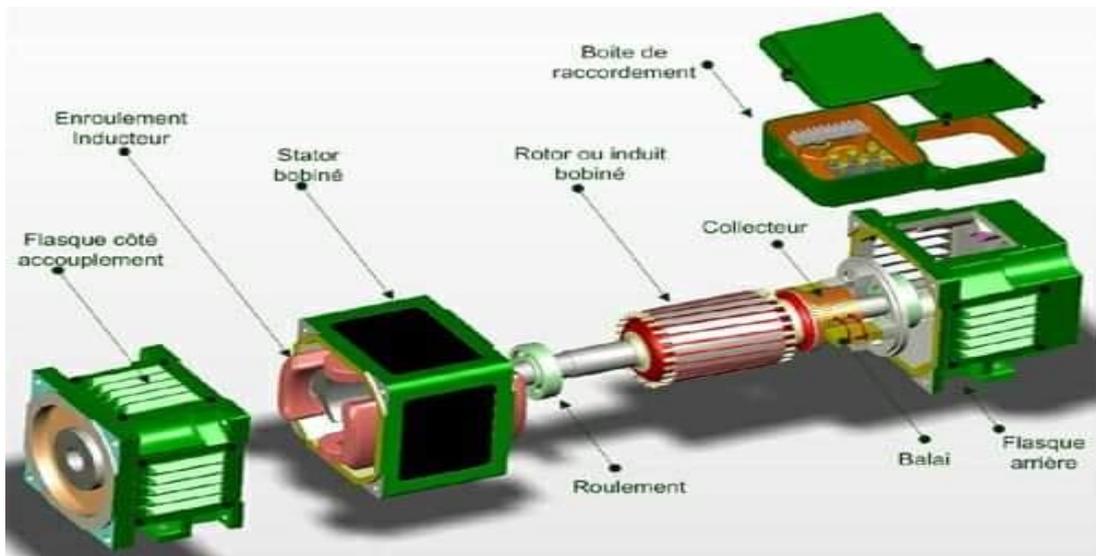


Figure 1-3: représente les différentes parties de la machine à courant continu

### 3- Fonctionnement d'un moteur :

Le principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu est basé sur l'interaction entre un champ magnétique créé par la partie fixe de la machine et un courant électrique qui circule dans la partie rotative de la machine.

La partie fixe, également appelée stator, est constituée d'un aimant permanent ou d'un électroaimant, qui génère un champ magnétique fixe. La partie rotative, appelée rotor, est composée d'un ensemble de conducteurs électriques disposés autour d'un noyau en fer doux, et placés dans un champ magnétique créé par la partie fixe.

Lorsque l'on applique une tension électrique aux bornes du moteur, un courant électrique circule dans les conducteurs du rotor, créant ainsi un champ courant qui interagit avec le champ magnétique fixe de la partie fixe. Cette interaction crée un couple moteur qui met le rotor en rotation.

Le collecteur et les balais permettent de maintenir le courant électrique dans le rotor et de garantir un fonctionnement stable du moteur.

Ainsi, en modulant l'intensité du courant électrique et la direction de ce courant dans les conducteurs du rotor, il est possible de contrôler la vitesse et le sens de rotation du moteur à courant continu

En vertu du principe de Laplace

$$f = I * L * B$$

F= force de la place

I = courant continu

B= champ magnétique

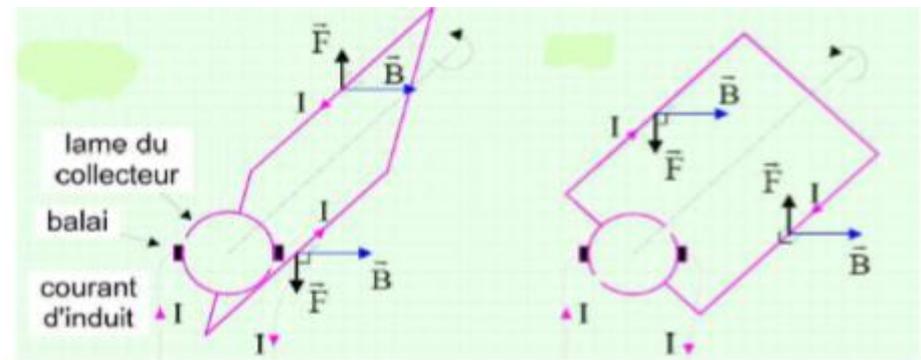


Figure 1-4 : Principe physique du moteur à courant continu

## 4- Les différents types de moteurs à courant continu :

On distingue deux types de moteurs à courant continu :

### 4-1-Les moteurs à inducteur à aimant permanent :

Le moteur à inducteur à aimant permanent est un type de moteur électrique qui utilise des aimants permanents pour créer le champ magnétique de la partie fixe de la machine. Le rotor, quant à lui, contient des conducteurs électriques qui interagissent avec le champ magnétique créé par la partie fixe pour produire un couple moteur.

Ce type de moteur présente plusieurs avantages par rapport aux moteurs traditionnels à courant continu ou synchrone, tels qu'une efficacité énergétique supérieure et une précision de vitesse plus élevée. En raison de ces avantages, il est largement utilisé dans diverses applications industrielles, notamment dans les véhicules électriques, les éoliennes et les pompes.

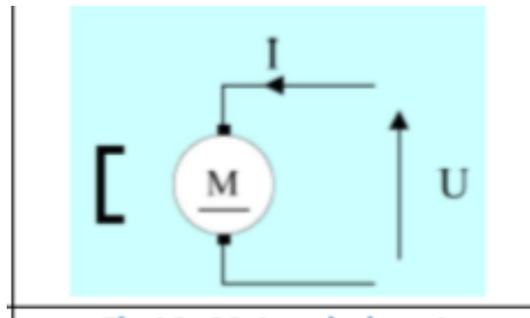


Figure 1-5: Moteur à aimant permanent

#### 4-2- Les moteurs à inducteur bobiné :

Il existe 4 types différents de moteurs électriques qui sont classés en fonction du type d'excitation qui est employé, qui sont :

- a. Le moteur à excitation séparée
- c. Le moteur à excitation shunt.
- b. Le moteur à excitation série.
- d. Le moteur à excitation composée

#### Le moteur à excitation séparée :

Le moteur à excitation séparée est constitué de deux enroulements indépendants, le premier dit « inducteur » génère un champ magnétique permanent, le second dit « induit » est bobiné sur le rotor, le schéma électrique équivalent de l'induit est un réseau RLE f<sub>cem</sub> série, la force contre électromotrice E<sub>f<sub>cem</sub></sub> est donnée par :

$$E_{f_{cem}} = K \cdot \Phi \cdot \Omega$$

Où  $\Phi$  est le flux généré par l'excitation et  $\Omega$  la vitesse de rotation

$R_e$  : résistance de l'inducteur

$R_a$  : résistance de l'induit.

E : f.é.m. de l'induit.

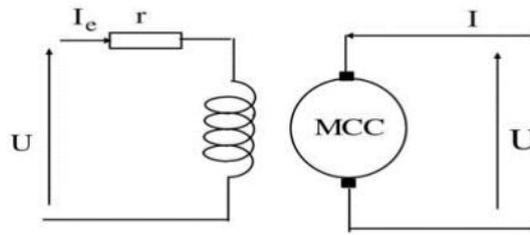


Figure 1-6 : schéma le moteur à excitation séparée

## 5-Modélisation :

La modélisation consiste à trouver les équations dynamiques ou un algorithme qui décrivent le comportement du système. On sait qu'il y a la modélisation de type boîte blanche (modèle de connaissance),

La modélisation de type boîte noire (modèle de représentation) où

La modélisation de type boîte grise (ici il y a la combinaison du modèle de la boîte blanche et de la boîte noire).

Une fois le modèle établi il doit être validé de préférence par la réalisation pratique ou dans le cas échéant par les résultats que se trouvent dans la bibliographie.

A la fin généralement les performances dynamiques et statiques du système sont mauvaises on réalise une commande de type classique ou de type intelligente.

Nous allons présenter le modèle mathématique en schéma bloc du moteur à excitation séparée. A partir des équations dynamiques et par l'utilisation de la transformation de Laplace nous pouvons avoir le modèle de moteur.

## 6-Modélisation de la machine électrique :

Notre projet consiste à utiliser une machine à Courant Continu qui entraîne une charge. Cette machine est régie par un ensemble d'équations à savoir :

**-L'équation électrique :**

$$U(t) = R.i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (1)$$

R : La résistance de l'induit du MCC. L : Inductance d'induit du MCC.

e(t) : f.c.e.m, est proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor.

**-L'équation de la force contre électromotrice E fcem :**

$$e(t) = K. \Phi. \Omega(t) = K'. \Omega(t) \quad (2)$$

D'où K : constante de force électromotrice ( $K' = K. \Phi$ )

Ici le flux  $\Phi$  est constant

**-L'équation de couplage :**

$$C_m = K. \Phi. I_{\text{nduit}} \quad (I_{\text{nduit}} : \text{courant d'induit}) \quad (3)$$

**-L'équation mécanique :**

$$J. \frac{d\Omega(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f.\Omega(t)$$

Où  $C_m(t)$  est le couple moteur appliqué par la machine,  $C_r(t)$  est le couple résistant (charge et perturbations), J le moment d'inertie du rotor,  $\Omega(t)$  : la vitesse angulaire de rotation,

$\frac{d\Omega(t)}{dt}$ : Accélération angulaire, et  $f$  le coefficient de frottement visqueux

## **7- Schéma fonctionnel d'un moteur à courant continu à excitation séparée :**

L'application de la transformation de LAPLACE aux équations dynamiques 1, 2, 3, 4 et la nomination des entrées et sorties nous donne le diagramme fonctionnel du moteur dans le domaine fréquentiel, dont le schéma est représenté par la figure suivante :

Les paramètres de la machine utilisée :

$$k_{\phi} = 0.284$$

$$R = 1.2$$

$$T_e = 0.15$$

$$f = 0.6e-2$$

$T_m=0.4$   
 $K=60./(2*\pi).$

**7-1-modele du moteur à courant continu en boucle ouverte :**

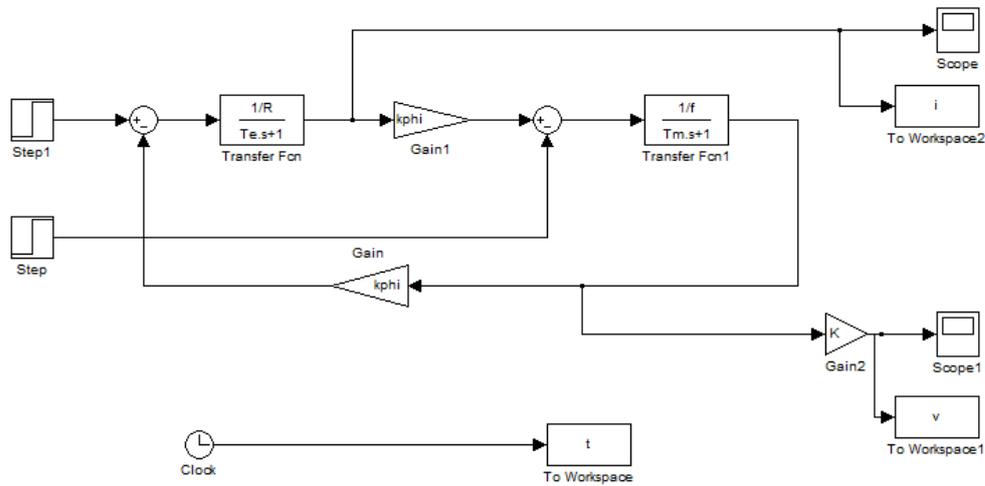


Figure 1-7 : Schéma bloc d'un moteur à continu à excitation séparée

**Simulation dynamique dans les 4 quadrants**

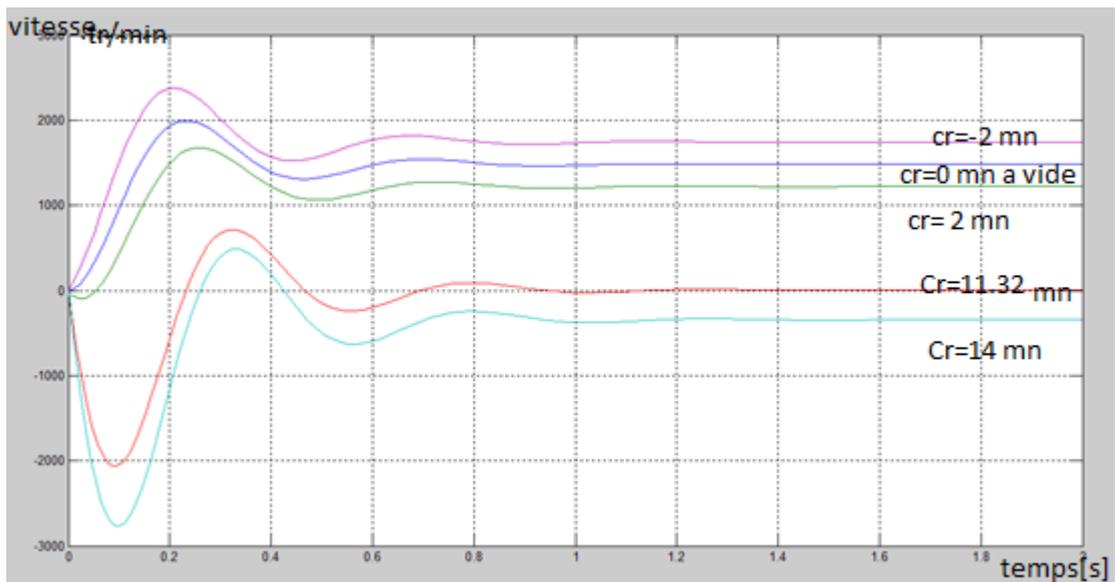


Figure 1-8 : vitesses en fonction du temps pour plusieurs couples des charges (Cr). [MARCHE AVANT quadrant 1]

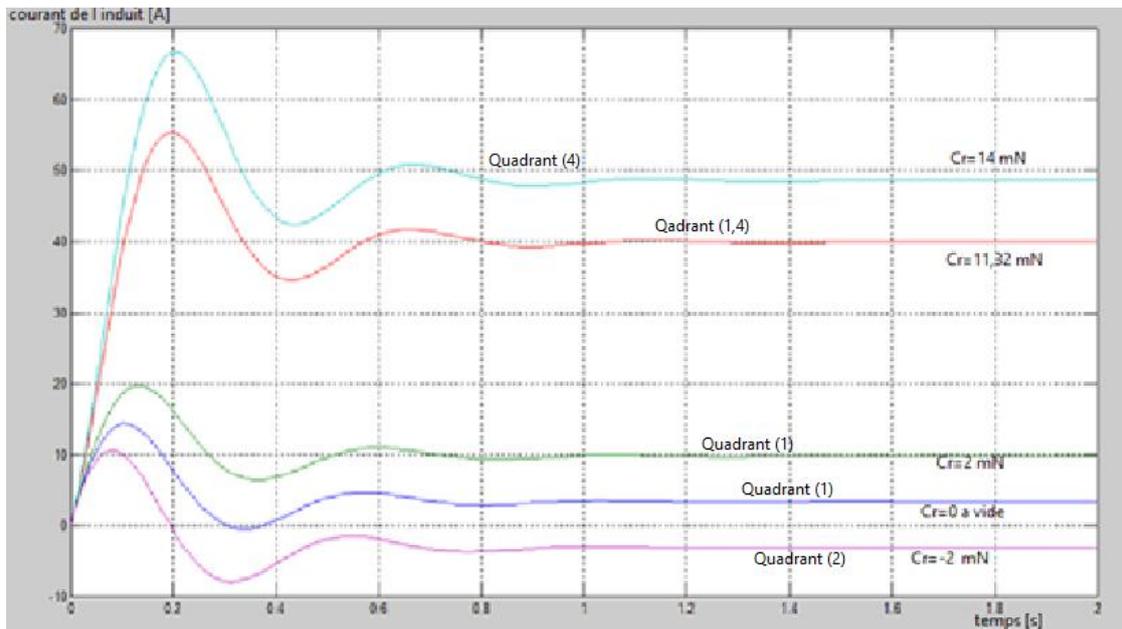


Figure 1-9 : courant d l induit en fonction du temps pour plusieurs couples de charges (Cr).[MARCHE AVANT quadrant 1]

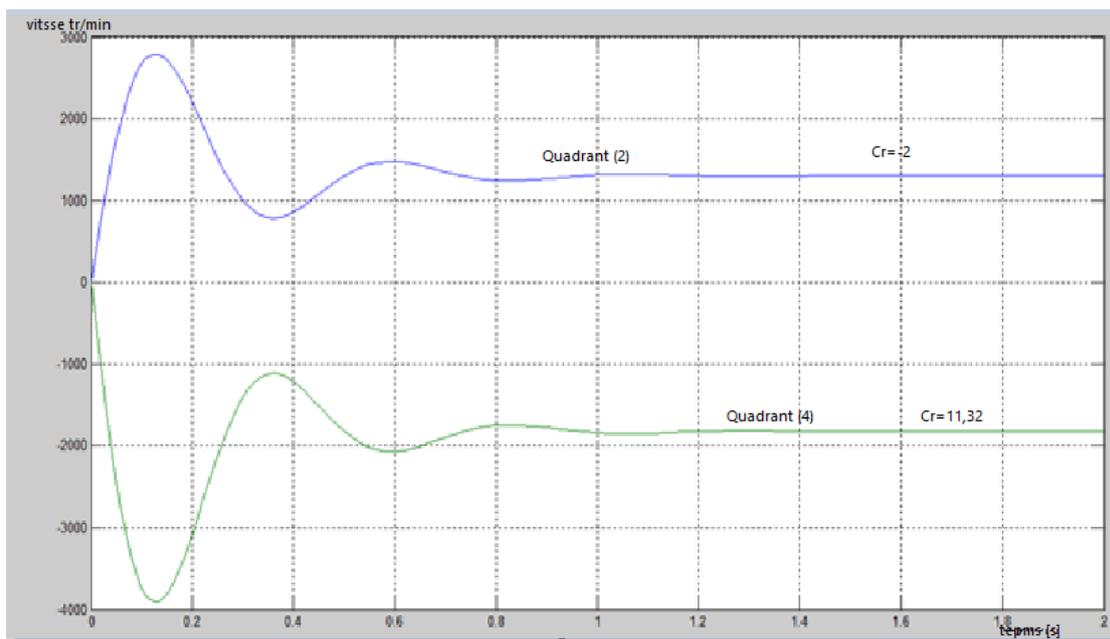


Figure 1-10 : vitesses en fonction du temps pour plusieurs couples des charges (Cr). [FRIENAGE DYNAMIQUE]

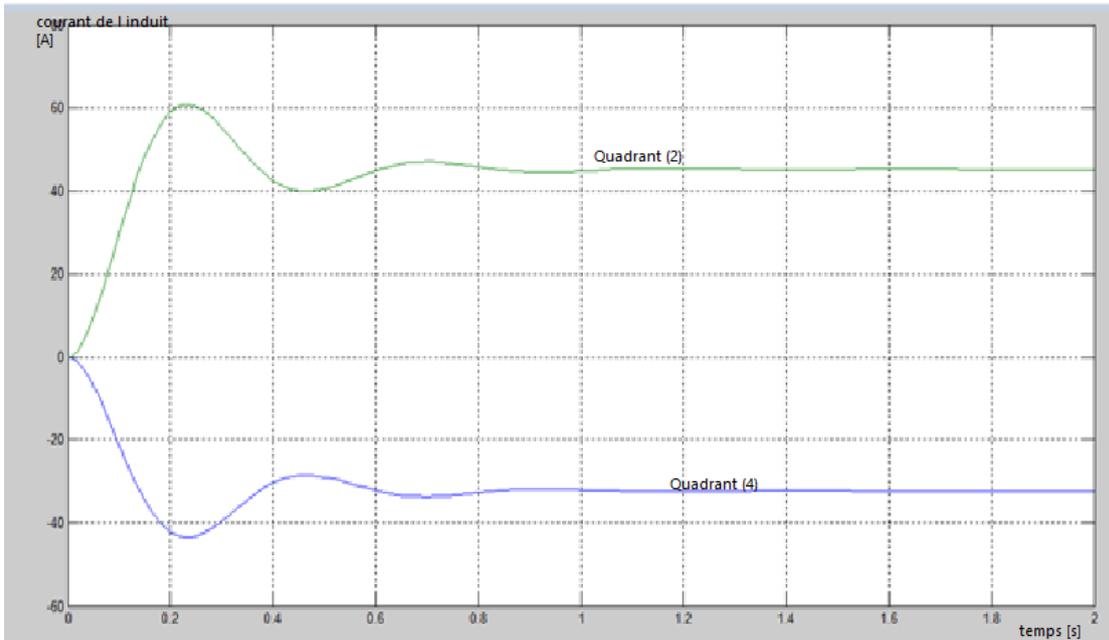


Figure 1-11: courant d l induit en fonction du temps pour plusieurs couples de charges (Cr). [FRIENAGE DYNAMIQUE]

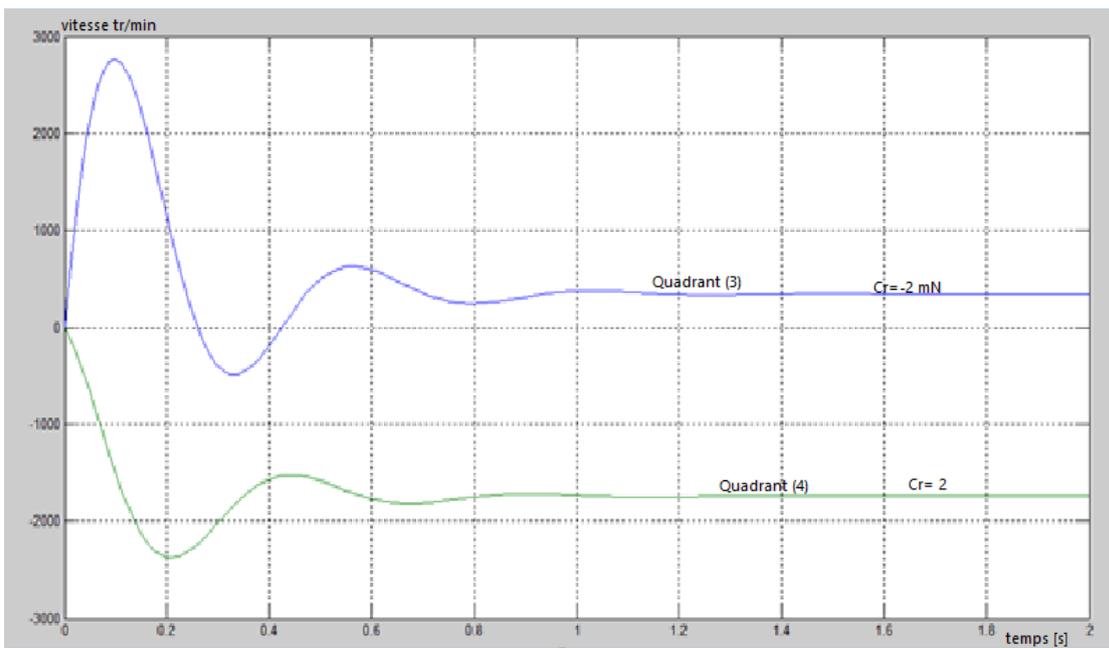


Figure 1-12: vitesses en fonction du temps pour plusieurs couples des charges (Cr) [MARCHE A ARRIERE QUADRANT 3]

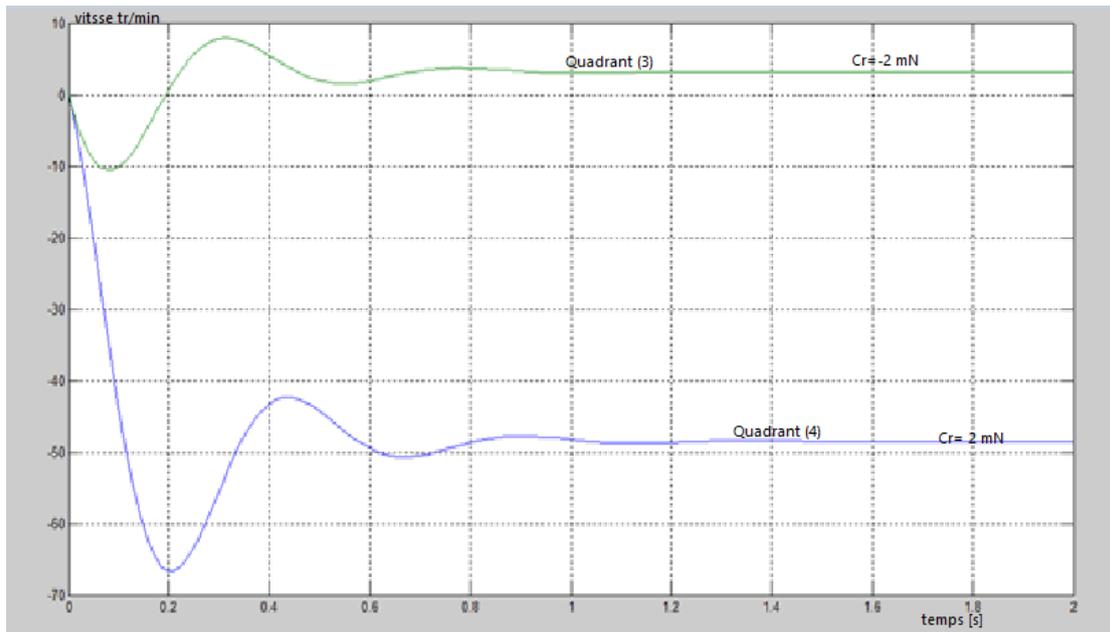


Figure 1-13 : courant d l induit en fonction du temps pour plusieurs couples de charges (Cr). [MARCHE A ARRIERE QUDRANT 3]

### 7-1-1 Conclusion :

On peut dire qu'on a su faire fonctionner le moteur à courant contenu dans les quatre quadrants à sa avoir la marche avant, la marche arrière, le freinage à contre courant par la charge, le freinage à contre courant par l'inversion de la tension et le freinage dynamique, de ce faite on a montré que le moteur et réversible il peut fonctionne en génératrice (frein).

### 7-1-2 Caractéristique statique électromécanique Naturelle :

Pour avoir ces caractéristiques la méthode consiste à faire fonctionner le système en régime dynamique et puis attendre de façon que les exponentielles qui sont responsables de régime transitoire disparaissent à ce moment on a le régime permanent .il faut faire le relevé expérimental. On montre par simulation que l'équation de réglage (équation d'une droite).

$$W = \frac{V}{K\phi} - \frac{(R_{induit} + R_{add})}{K\phi} * I_{induit}. \quad \text{est vérifiée.} \quad (5)$$



A partir de cette équation on peut changer la vitesse de rotation en agissant sur la tension ou sur la résistance additionnelle ou sur le flux.

Si on veut aller au-delà de la vitesse de marche à vide idéale le réglage de la vitesse se fait en deux zones. De zéros à  $W$  nominale on utilise la variation de la tension ( $U < U$  nominale) ce réglage est dit réglage à couple constant, et de  $W$  nominale à trois fois la vitesse nominale le réglage se fait par l'affaiblissement du flux de l'inducteur ce réglage est dit à puissance constante.

Un programme Matlab a été établi et trace automatiquement les caractéristiques statiques du moteur dans les quatre quadrants.

●tableau de variables :

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tension (U)	48	48	48	48	48	0	0	-48	-48
Couple (Cr)	0	2	11.3 2	14	-2	-2	+2	-2	+2
Vitesse (mN)	150 0	120 0	0	500	180 0	250	- 250	- 1200	180 0
Courant (i)	3	10	40	48	-3	-6.5	6.5	-9.5	3

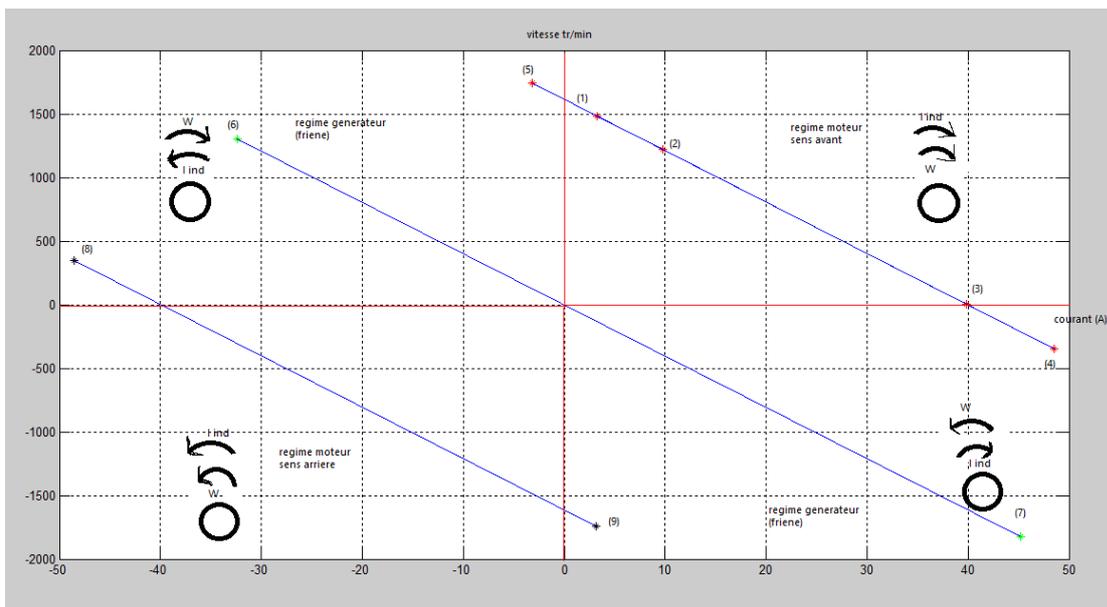


Figure 1-14 : Caractéristique statique électromécanique pour les différents régimes de fonctionnement.



## **8- Conclusion :**

Dans ce chapitre on a présenté les constituants et le principe de fonctionnement de moteur à courant continu et les divers types de ce moteur .On a procédé à la mise en équation du moteur à C.C. . Nous terminons ce chapitre par la modélisation de la machine dans les quatre quadrants sans régulation. Pour valider le modèle, une simulation dynamique a été réalisée est justifie le modèle.



## **LE HACHEUR**

# 1-GENERALITE SUR LES CONVERTISSEURS :

Les convertisseurs statiques sont des dispositifs électroniques qui permettent de convertir une forme d'énergie électrique en une autre forme d'énergie électrique, tout en maintenant une tension ou un courant constant.

Ils sont utilisés dans de nombreuses applications telles que l'alimentation électrique de systèmes électroniques, les éoliennes, les panneaux solaires, les machines industrielles, les véhicules électriques, etc.

Les types de convertisseurs statiques courants incluent les convertisseurs CC-CC, les convertisseurs CC-CA, les onduleurs, les redresseurs, les régulateurs de tension, les hacheurs, etc. Chacun de ces types de convertisseurs a ses propres caractéristiques et avantages, et ils sont utilisés en fonction des exigences spécifiques de l'application.

Les convertisseurs statiques sont essentiels pour la conversion, la distribution et la régulation de l'énergie électrique, ce qui les rend indispensables pour de nombreuses industries et domaines de recherche.

## 2- HACHEUR :

### 2-1 – introduction :

Les moteurs à courant continu sont très utilisés dans les systèmes automatiques qui nécessitent une régulation précise. Une bonne commande du moteur consiste à choisir le bon convertisseur, qui est un hacheur, avec sa commande adéquate, « la commande MLI » et le bon dimensionnement des régulateurs.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la description des différents hacheurs et leur fonctionnement, et ensuite au dimensionnement des paramètres des régulateurs utilisés.

### 2-2 -définition :

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu (DC - DC) permettant de fournir une tension continue variable à partir d'une source de tension continue constante. Pour varier la tension, il suffit de varier la valeur moyenne de la tension de sortie en découpant la tension de source. Cela est possible en commandant l'ouverture et la fermeture des interrupteurs électroniques.

## Symbole hacheur :

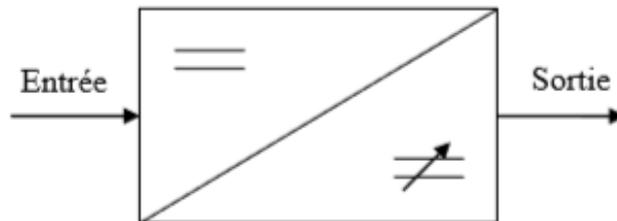


Figure 2-1 : Symbole d'hacheur

### 2-3-le rapport cyclique :

C'est la fraction de période pendant lequel le transistor conduit. On le note  $\alpha$ . Exemple : si le transistor conduit pendant  $\frac{1}{4}$  de la période,  $\alpha = 0,25$ . Pour déterminer le rapport cyclique on utilise la relation :

$$\text{le rapport cyclique} = \frac{\text{duree de fermeture}}{T}$$

$$\alpha T = \text{durée de fermeture}$$

### 2-4-différents types d'hacheur :

On distingue

- L'hacheur série (Buck)
- L'hacheur parallèle (Boost)
- Les hacheurs 2 et 4 quadrants
- Les alimentations à découpage

### 2-5- les domaines d'utilisation :

- Les hacheurs, également appelés convertisseurs continu-continu (CCC), sont des dispositifs électroniques qui convertissent une tension d'entrée continue de valeur variable en une tension de sortie continue de valeur variable. Les hacheurs sont largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles et domestiques, notamment :
- L'alimentation électrique des ordinateurs et des équipements de communication.
- Les systèmes de commande de moteurs électriques, notamment dans les applications automobiles.

- Les énergies renouvelables, tels que les panneaux solaires et les éoliennes, pour contrôler la tension et le courant des batteries de stockage.
- Les convertisseurs de puissance pour les applications industrielles et les équipements de soudage.
- Les applications médicales telles que les équipements de scanner et d'imagerie.
- Les applications militaires telles que les radars et les systèmes de communication.
- Les systèmes de contrôle de climatisation et de chauffage dans les bâtiments.
- Les systèmes de conversion de tension pour les véhicules électriques.

En général, les hacheurs sont utilisés dans toute application où une tension de sortie variable doit être obtenue à partir d'une tension d'entrée continue.

Ses applications dans l'industrie :

Principalement est utilisé pour :

- La variation de vitesse d'un moteur à courant continu
- Le freinage par récupération
- Alimentation d'appareil électronique grand public (PC, ...)

## **2-6-Avantages et les Inconvénients :**

Voici un résumé des avantages des hacheurs :

Contrôle précis de la tension de sortie

- Efficacité élevée
- Taille compacte
- Durabilité
- Faible coût

Et leurs inconvénients :

- Génération de bruit électromagnétique
- Nécessité de filtres de sortie pour réduire le bruit
- Peut causer des perturbations dans le réseau électrique
- Besoin d'un circuit de commande sophistiqué pour un fonctionnement optimal

En somme, les hacheurs sont une solution efficace et économique pour la conversion de tension dans une grande variété d'applications, offrant un contrôle précis de la tension de sortie, une efficacité élevée, une taille compacte et une grande durabilité. Cependant, ils peuvent générer du bruit électromagnétique et causer des perturbations dans le réseau électrique, ce qui nécessite l'utilisation de filtres de sortie et un circuit de commande sophistiqué pour un fonctionnement optimal.

### 3-Le principe de fonctionnement de l'hacheur 4 quadrants :

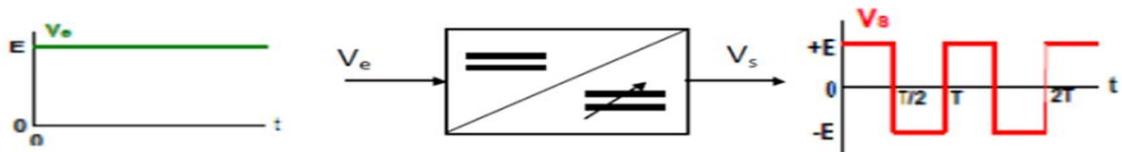


Figure 2-2 : Un schéma de principe d'un hacheur

#### Le principe de fonctionnement de l'hacheur repose sur :

- Il génère une tension alternativement positive et négative aux bornes de la charge.
- Il utilise des interrupteurs bidirectionnels constitués d'un transistor et d'une diode montée en antiparallèle.
- Il est contrôlé par un système de commande qui gère les interrupteurs. Pour un hacheur 4 quadrants, le rapport cyclique peut être positif ou négatif, ce qui permet de contrôler le sens de rotation du moteur.

Le schéma de la figure présente la commande de la charge par interrupteurs.

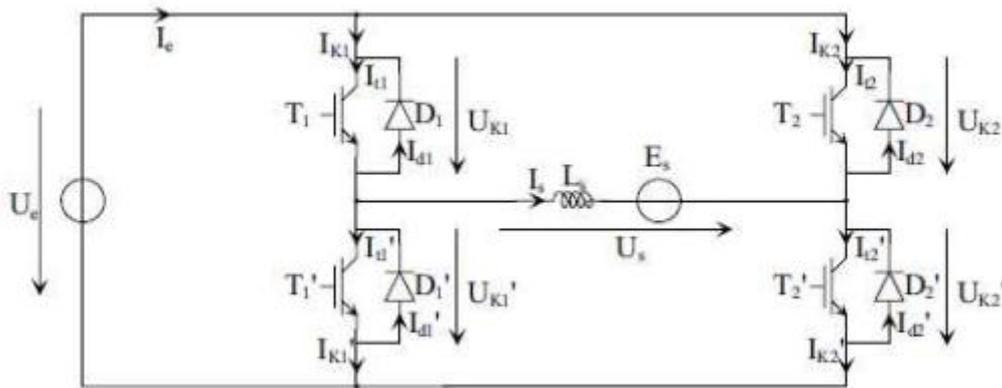


Figure 2-3 : Un schéma d'un hacheur à quatre quadrants

Un Pont en H est un circuit électronique qui permet d'appliquer un voltage à une charge dans directions différentes. Ce circuit est couramment utilisé en robotique et d'autres applications pour permettre aux moteurs DC de tourner dans deux sens. Le nom " pont en H " est vient de la position des éléments de commutation dans le circuit, placées dans les quatre branches d'un H.

### 3-1-Tension moyenne en sortie du convertisseur :

Pour déterminer la relation qui lie la tension  $U_e$  en entrée du convertisseur à la tension moyenne  $\langle U_s \rangle$  imposée aux bornes de la source de courant  $L_s/E_s$ , nous nous référons au trace la Figure qui donne l'évolution de la tension  $U_s$ , suivant la valeur du rapport cyclique  $\alpha$ .

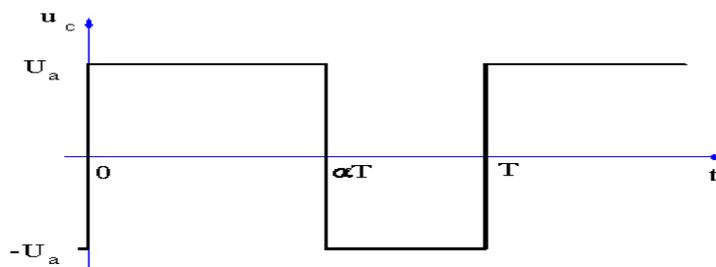


Figure 2-4: Tension  $U_s$  aux bornes de la source de courant

### 3-2-Courant moyen en entrée du convertisseur :

Nous pouvons également établir une corrélation entre les valeurs moyennes du courant en entrée ( $I_e$ ) et du courant en sortie ( $I_s$ ). Afin de rendre notre raisonnement plus clair, nous considérons à nouveau la Figure qui représente la topologie étudiée. Nous utilisons le symbole  $K_i$  pour désigner les interrupteurs qui sont constitués d'un transistor  $T_i$  et d'une diode en antiparallèle  $D_i$ . Il n'est pas nécessaire, dans ce paragraphe, de savoir si le transistor ou la diode conduit

lorsque l'interrupteur est en position active.

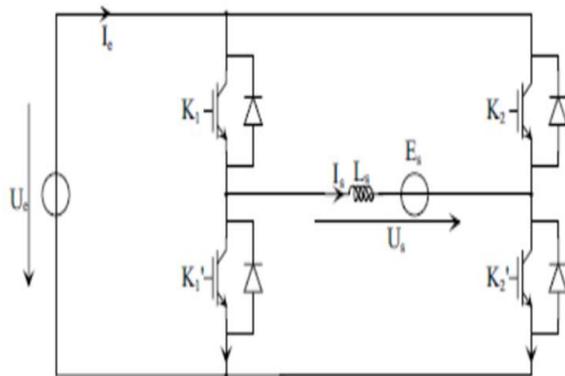


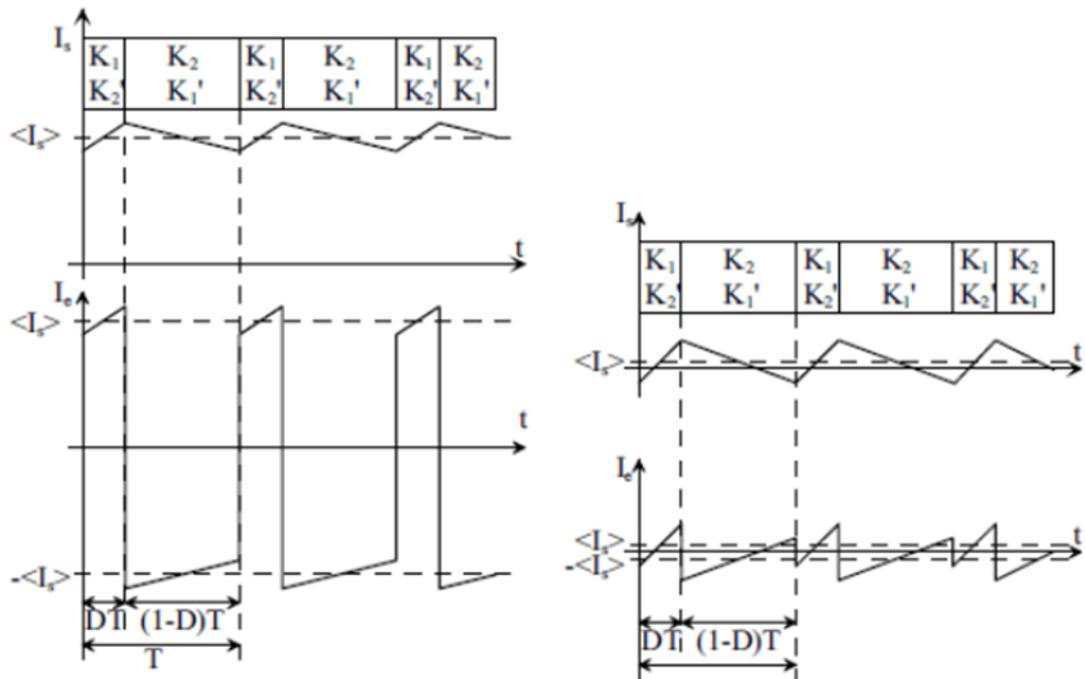
Figure 2-5 : schéma du convertisseur DC/DC réversible en courant et en tension

En outre, dans la Figure (2-6), nous présentons les formes d'onde typiques du courant en sortie ( $I_s$ ) et du courant en entrée du convertisseur ( $I_e$ ).

Deux cas sont illustrés :

Figure (2-6) : Le courant en sortie du convertisseur a un signe constant à l'échelle de la fréquence de commutation du convertisseur. Étant donné que le convertisseur statique est réversible en courant, ce courant peut être positif ou négatif. Dans la représentation donnée, le courant est positif.

Quant au courant en entrée ( $I_e$ ), il présente des discontinuités marquées, qui sont liées aux commutations des interrupteurs :



Courant  $I_s$  de signe fixe

Courant  $I_s$  de signe variable

Figure 2-6 : Courant  $I_e$  en entrée du convertisseur

$$D = \alpha$$

- Pendant une durée  $DT$ , les interrupteurs  $K_1$  et  $K_2'$  sont passants. On a donc la relation :  $I_e = I_s$ , Le courant  $I_s$  étant positif, le courant  $I_e$  l'est également. De plus cette phase de fonctionnement correspond à une croissance linéaire du courant  $I_s$  : le courant  $I_s$  croît donc de la même manière.

- pendant une durée  $(1 - D)T$ , les interrupteurs  $K_1$  et  $K_2'$  sont passants. On a donc la relation :  $I_e = -I_s$ .

Le courant  $I_s$  étant positif, le courant  $I_e$  est donc de signe opposé, ce qui explique la discontinuité de courant lors de la commutation. D'autre part, cette phase de fonctionnement correspond à une décroissance linéaire du courant  $I_s$  : Le courant  $I_e$  étant de signe contraire, ce dernier croît donc linéairement en même proportion Le courant  $I_e$  en entrée du convertisseur est donc constitué de créneaux, d'amplitude.

Source de courant  $s I$  : représente généralement la charge du convertisseur. Lorsque le produit  $\langle I_s \rangle \langle U_s \rangle$  est positif, la puissance est absorbée par cette source que l'on considère ainsi selon des conventions réceptrices

Ainsi, plusieurs cas de figures sont possibles :

- $\alpha < 1/2$ : la tension moyenne en sortie du convertisseur  $\langle U_s \rangle$  est négative.

Si  $\langle I_s \rangle < 0$ , alors  $\langle I_e \rangle > 0$ . La puissance fournie par la source de tension et celle absorbée par la source de courant sont positives. La fluence d'énergie se fait de la source de tension vers la source de courant.

- si  $\langle I_s \rangle > 0$ , alors  $\langle I_e \rangle < 0$ . La puissance fournie par la source de tension et celle absorbée par la source de courant sont négatives. La fluence d'énergie se fait de la source de courant vers la source de tension

$D > 1/2$  : la tension moyenne en sortie du convertisseur est positive

- si  $\langle I_s \rangle > 0$ , alors  $\langle I_e \rangle > 0$ . La puissance fournie par la source de tension et celle absorbée par la source de courant sont positives. La fluence d'énergie se fait de la source de tension vers la source de courant.

- si  $\langle I_s \rangle < 0$ , alors  $\langle I_e \rangle < 0$ . La puissance fournie par la source de tension et celle absorbée par la source de courant sont négatives. La fluence d'énergie se fait de la source de courant vers la source de tension.

### 3-3-Ondulation du courant de sortie :

L'ondulation du courant  $I_c$  est donnée par la relation :

$$\Delta I_c = \frac{E \cdot T \cdot (1 - a^2)}{2 \cdot L}$$
 L étant la somme de l'inductance propre de l'induit et de l'inductance de lissage  $I_c$

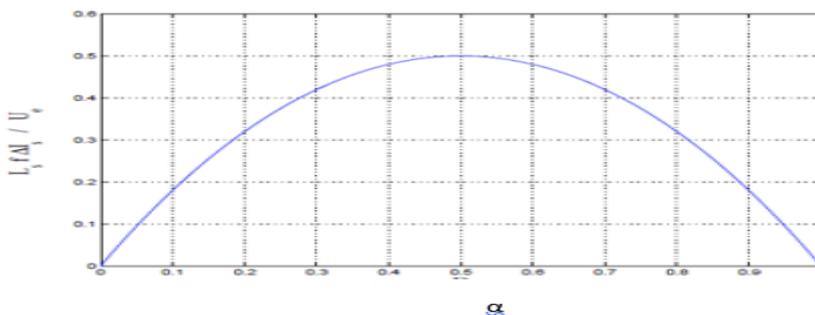


Figure : 2-7 Ondulation du courant de sortie

## 4-Fonctionnement dans les quatre quadrants :

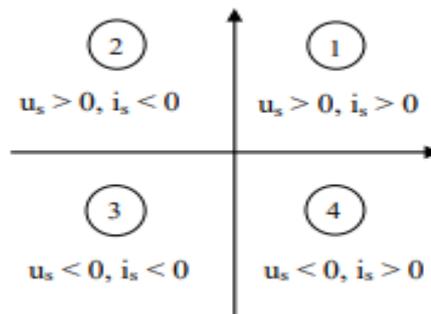


Figure 2-8 : Quadrants de fonctionnement

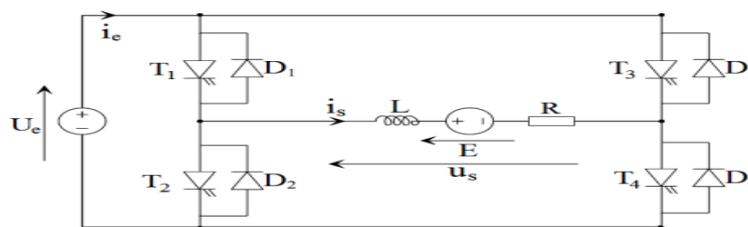


Figure 2-9 :Structured'hacheur

Et d'après cette structured'hacheur

### a) Quadrant 1 : ( $U_{smoy} > 0$ , $I_{smoy} > 0$ )

Dans ce cas la tension de sortie est positive, donc on peut par exemple commander en permanence la fermeture de T4. Le courant est positif (fonctionnement moteur) et on hache par T1 :

- Pour  $0 \leq t < \alpha T$  : T1 et T4 fermés (phase d'alimentation) :

On obtient les équations suivantes :

$$U_s = U_e \quad , \quad i_e = i_s$$

$$\text{Avec : } U_s = R i_s + V_L + E \quad , \quad V_L = L \frac{di_s}{dt}$$

En négligeant la résistance R :

Donc :  $U_e = L \frac{di}{dt} + E$        $i_s(t) = \frac{U_e - E}{L} t + I_{smin}$       avec  $I_{smin} = I_s(t=0)$

Donc le courant  $i_s$  croît linéairement.

- Pour  $\alpha T \leq t < T$  : T4 fermé et D2 passant (phase de roue libre) :

On obtient les équations suivantes :  $U_s = 0, i_e = 0$

$$U_s = R i_s + V_L + E$$

En négligeant la résistance R :

$$\text{Donc : } L \frac{di}{dt} + E = 0 \quad i_s(t) = -\frac{E}{L} (t - \alpha T) + I_{smax}, \quad I_{smax} = I_{smax} = i_s(t = \alpha T)$$

Donc le courant  $i_s$  décroît linéairement.

**b) Quadrant 2 : ( $U_{smoy} > 0, I_{smoy} > 0$ )**

Pour une tension positive, et un courant négatif (fonctionnement en génératrice), on hache par T2 :

-pour  $0 \leq t \leq \alpha T$  : T2 fermé et D4 passant :

On obtient les équations suivantes :

$$U_s = 0, \quad i_e = 0$$

$$\text{Avec : } U_s = R i_s + V_L + E, \quad V_L = L \frac{di}{dt}$$

En négligeant la résistance R

$$\text{Donc : } L \frac{di_s}{dt} + E = 0 \quad i_s(t) = \frac{-E}{L} t - I_{smin} = i_s(t = 0)$$

Donc le courant  $i_s$  décroît linéairement.

Pour  $\alpha T \leq t \leq T$  : D1 et D4 passants (phase de récupération) :

On obtient les équations suivantes :

$$U_s = U_e, \quad i_e = -i_s$$

$$\text{Donc } U_e = R i_s + V_L + E$$

En négligeant la résistance R :

$$\text{Donc : } L \frac{di_s}{dt} + E = U_e \quad i_s(t) = \frac{U_e - E}{L} (t - \alpha T) - I_{\max}, \text{ avec } I_{\max} = i_s(t = \alpha T)$$

Donc le courant  $i_s$  croit linéairement.

### c) Quadrant 3 : ( $U_{\text{moy}} < 0, I_{\text{moy}} < 0$ )

La tension de sortie est négative, donc on commande en permanence la fermeture de T3. Le courant est négatif (fonctionnement moteur), on hache par T2 :

- Pour  $0 \leq t < \alpha T$  : T2 et T3 fermés (phase d'alimentation) :

On obtient les équations suivant :

$$U_s = -U_e, \quad i_e = -i_s$$

$$\text{Avec : } U_s = R i_s + V_L + E$$

$$\text{Donc : } -U_e = L \frac{di_s}{dt} + E \quad i_s(t) = \frac{-(U_e + E)}{L} t - I_{\min}, \text{ avec : } -I_{\min} = i_s(t=0)$$

Donc le courant  $i_s$  décroît linéairement.

- pour  $\alpha T \leq t < T$  : T3 fermé et D1 passant (phase de roue libre) :

On obtient les équations suivantes :

$$U_s = 0, \quad i_e = 0$$

$$U_s = R i_s + V_L + E$$

En négligeant la résistance R :

$$\text{Donc : } L \frac{di_s}{dt} + E = 0 \quad i_s(t) = -\frac{E}{L} (t - \alpha T) - I_{\max}, \text{ avec : } -I_{\max} = i_s(t = \alpha T)$$

Donc le courant  $i_s$  croit linéairement.

### d) Quadrant 4: ( $U_{\text{moy}} < 0, I_{\text{moy}} > 0$ )

Pour une tension de sortie négative et un courant positif (fonctionnement génératrice), on hache par T1 :

- Pour  $0 \leq t < \alpha T$  : T1 fermés et D3 passant :

On obtient les équations suivantes :

$$U_s = 0, i_e = 0$$

$$\text{Avec : } U_s = R i_s + V_L + E, \quad V_L = L \frac{di_s}{dt}$$

En négligeant la résistance R :

$$\text{donc } L \frac{di_s}{dt} + E = 0 \quad i_s(t) = -\frac{E}{L} t + I_{s \text{ min}}, \quad \text{avec : } I_{s \text{ min}} = i_s(t=0)$$

Donc le courant  $i_s$  croît linéairement.

- Pour  $\alpha T \leq t < T$  : D3 et D2 passants (phase de récupération) :

On obtient les équations suivantes :

$$U_s = -U_e, i_e = -i_s$$

$$U_s = R i_s + V_L + E$$

En négligeant la résistance R :

Donc :

$$L \frac{di_s}{dt} + E = -U_e \quad i_s(t) = \frac{-(U_e + E)}{L} (t - \alpha T) + I_{s \text{ max}}, \quad \text{avec : } I_{s \text{ max}} = i_s(t = \alpha T)$$

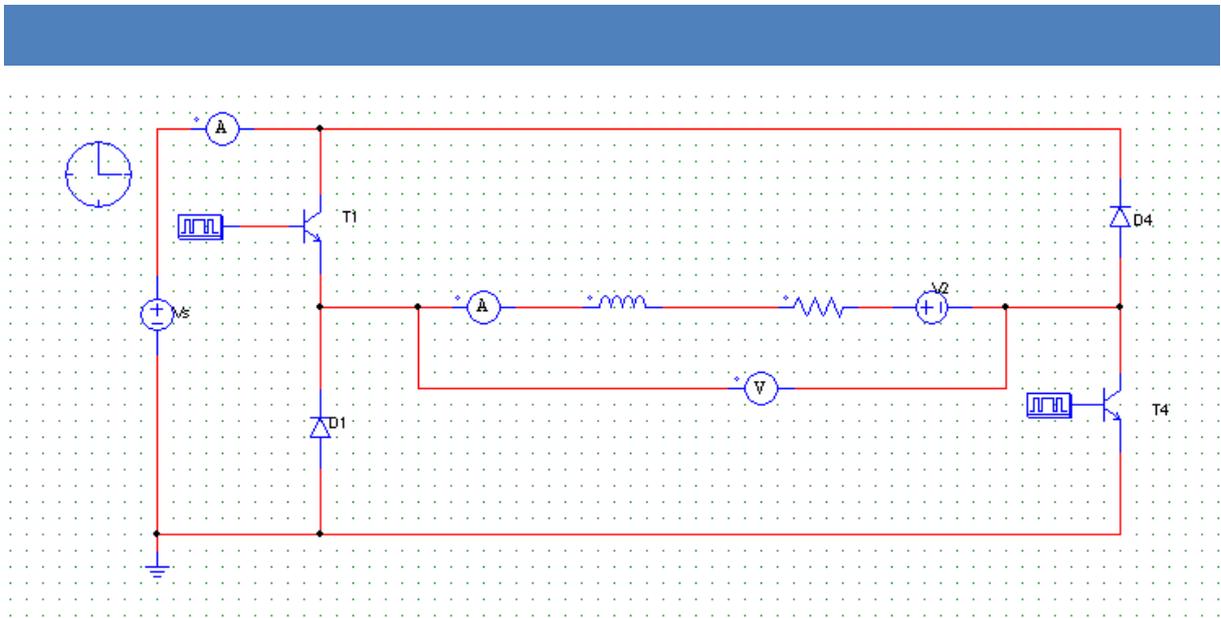
Donc le courant  $i_s$  décroît linéairement.

## Application :

Pour illustrer la théorie du hacheur en va utiliser un hacheur de tension réversible en tension puis faire la simulation en utilisant le langage de programmation PSIM . Il est à noter que le principe de simulation est le même si on veut simuler le hacheur quatre quadrants réversible en tension ou en courant , il suffit de connaître le schéma électrique de puissance et le séquencement des signaux de commandes( leurs chronogrammes) .

### Simulation du hacheur réversible en tension deux quadrants avec Psim (quadrant 1 et quadrants 4) :

$$V_s = 100 \text{ V}, L = 0.02 \text{ H}, R = 12 \text{ } \Omega, \text{ fréquence} = 2500 \text{ Hz}, \alpha = 0.75$$

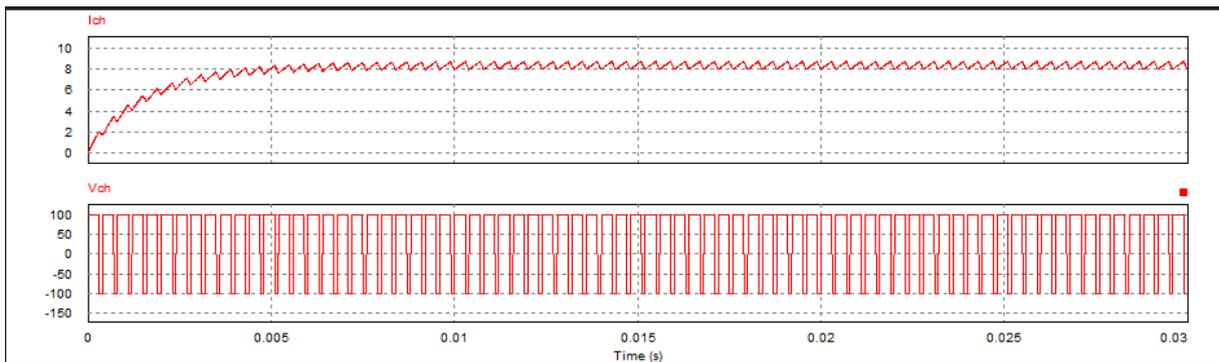


Montage du hacheur réversible en tension deux quadrants avec Psim

### Pour les quadrants (quadrants 1) :

Pour  $V_c$  positive et  $i_{ch}$  positive :

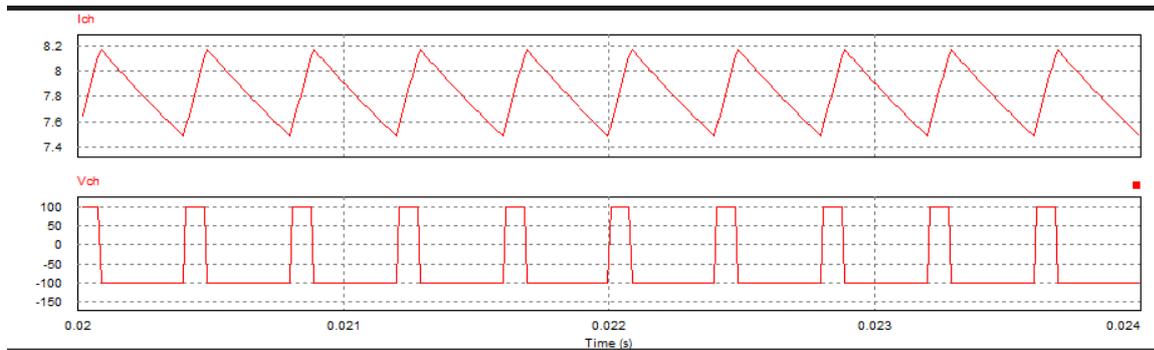
$V_2 = 50 \text{ V}$  et  $\alpha = 0.75$ .



### Pour les quadrants (quadrants 4) :

$V_c$  positive et  $I_{ch}$  négative :

$V_2 = 150 \text{ V}$  et  $\alpha = 0.22$



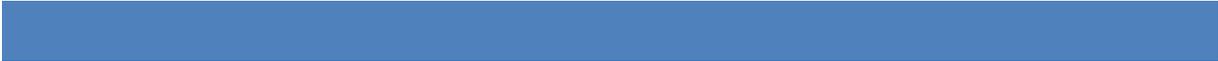
## 5- conclusion :

Ce chapitre concerne l'étude du hacheur quatre quadrants et son application à la commande des machines à courant continu. Nous avons examiné les différents cas de figure, en fonction du nombre de quadrants requis pour entraîner la machine. Il est possible d'opérer dans deux quadrants ou dans les quatre quadrants du plan courant-tension (ou couple-vitesse).

Le fonctionnement dans les quadrants de la machine à courant continu correspond à l'utilisation d'un convertisseur hacheur réversible en tension et en courant. Ce choix dépend de la séquence de commutation des interrupteurs du hacheur quatre quadrants. Il est essentiel de sélectionner la séquence de commutation appropriée pour garantir le bon fonctionnement de la machine et atteindre les performances souhaitées.

L'utilisation du hacheur quatre quadrants offre une flexibilité de contrôle accrue, permettant des flux d'énergie bidirectionnels. Cela permet d'optimiser l'efficacité énergétique et de réaliser des opérations de régénération d'énergie. De plus, le hacheur quatre quadrants offre des solutions efficaces pour contrôler la vitesse et le couple des machines à courant continu.

En conclusion, ce chapitre nous a permis de comprendre le fonctionnement du hacheur quatre quadrants et son application à la commande des machines à



courant continu. En choisissant judicieusement la séquence de commutation, il est possible de tirer parti de ses avantages pour optimiser les performances du système. La maîtrise de cette technologie ouvre la voie à des solutions plus efficaces et plus flexibles dans le domaine des systèmes de conversion d'énergie.



**L'association du moteur à courant continu avec le hacheur à quatre quadrants**



Pour montrer l'importance de la commande de cette association sur la variation de la vitesse et le courant on prend plusieurs cas différents .

### 2-1 La simulation de moteur à vide :

Exemple d'une commande PWM pour moteur à vide :

(Couple résistant) $C_r = 0$  , (tension de commande)  $V_c = 0.7$

La figure suivante montre et les autres figures qui la suivent montrent

Le signal PWM qui est l'intersection entre signal de commande constant qui varie entre  $[1 \sim -1]$  et qui correspondre  $\alpha [1 \sim 0]$  et un signal en dent de Cie.

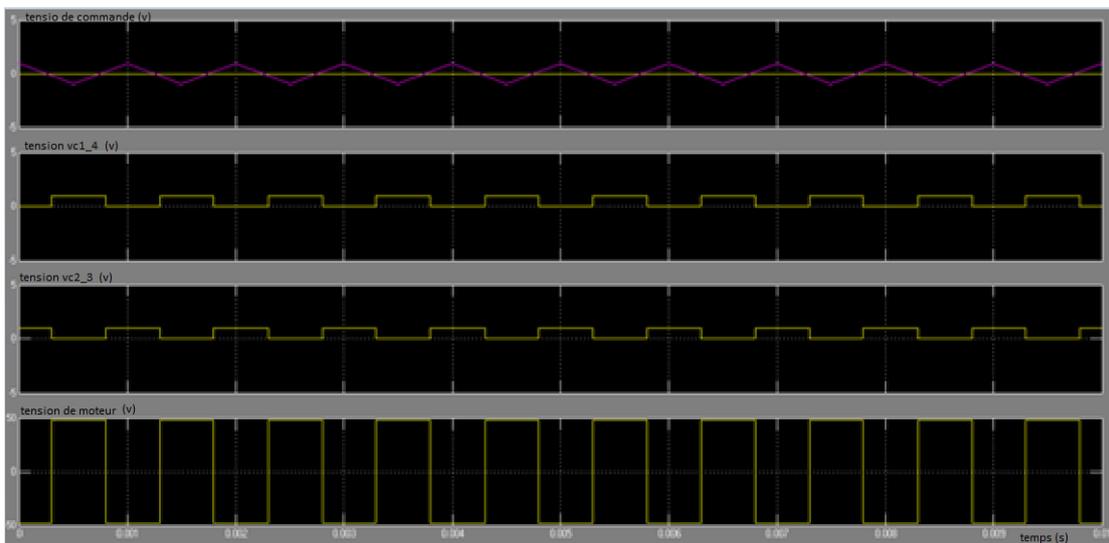


Figure 3-2 : Commande PWM pour MCC à vide

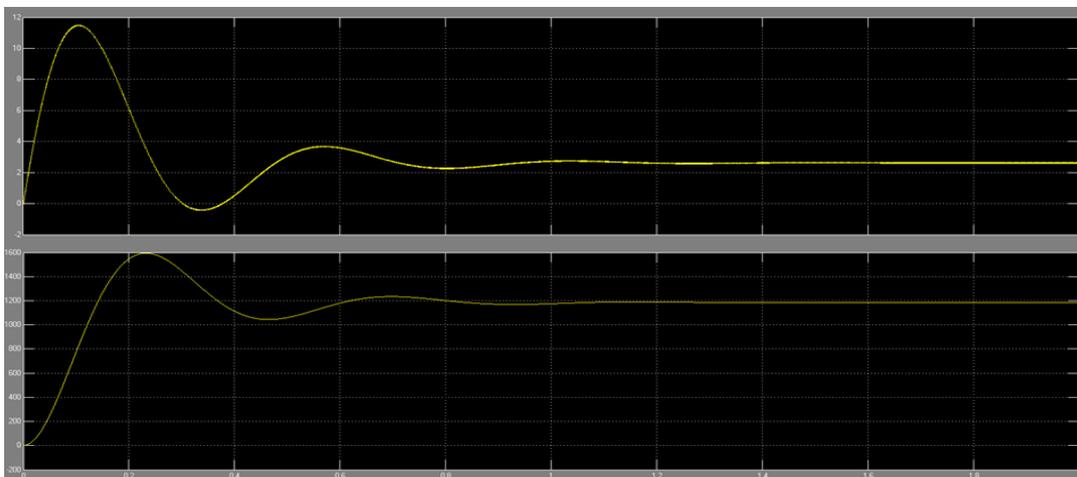


Figure 3-3 : Fonctionnement de courant et vitesse pour MCC à vide

### A ) Fonctionnement dans le 1er quadrant (1) : ( $U_{moy} > 0$ , $I_{moy} > 0$ )

Pour  $V_c=0.7\text{ v}$  ,  $C_r= 2$

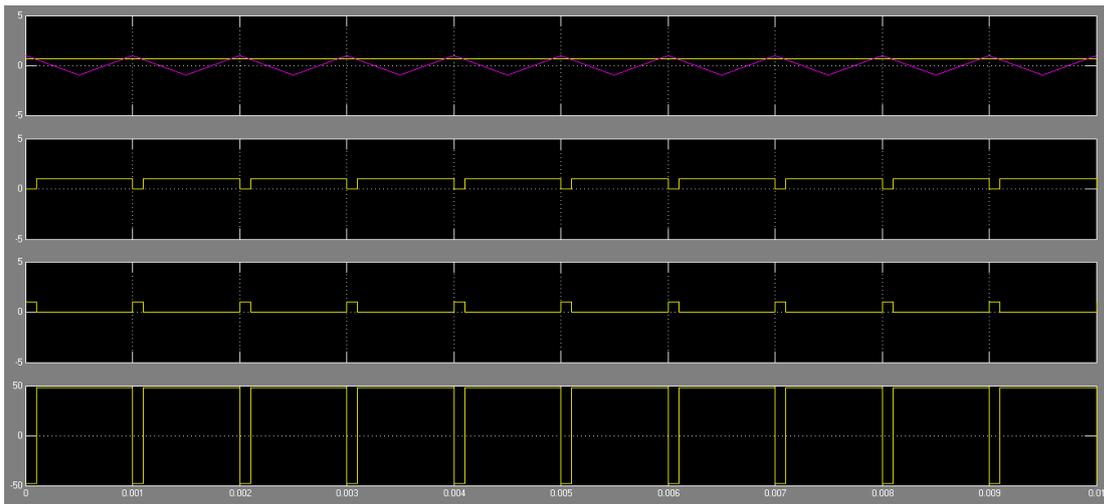


Figure 3-4 : La commande PWM pour Q1

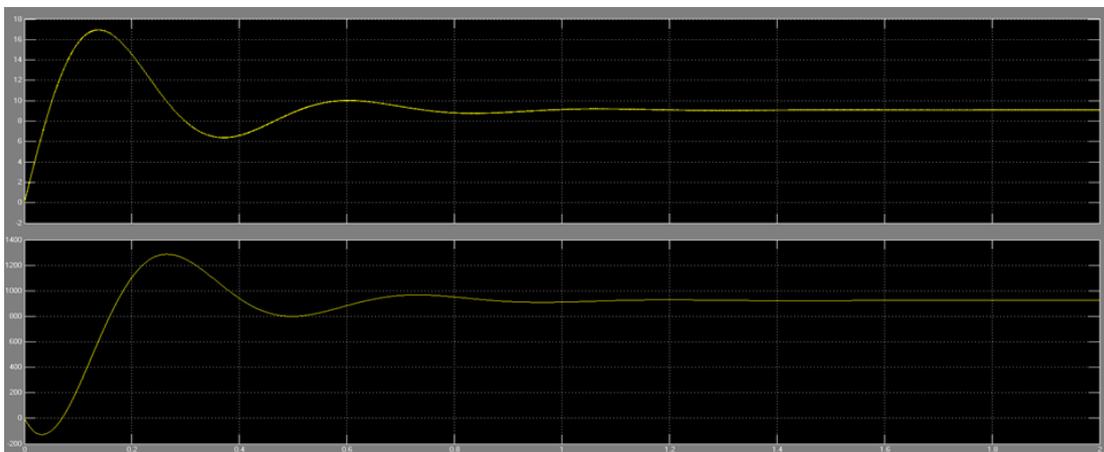


Figure 3-5 : Fonctionnement de courant et vitesse pour MCC dans le 1<sup>er</sup> quadrant

**b) Fonctionnement dans le 2<sup>ème</sup> quadrant (2) : ( $U_{moy}>0$  ,  $I_{moy}<0$ )**

$V_c=0.7\text{ v}$  ,  $C_r=-2$

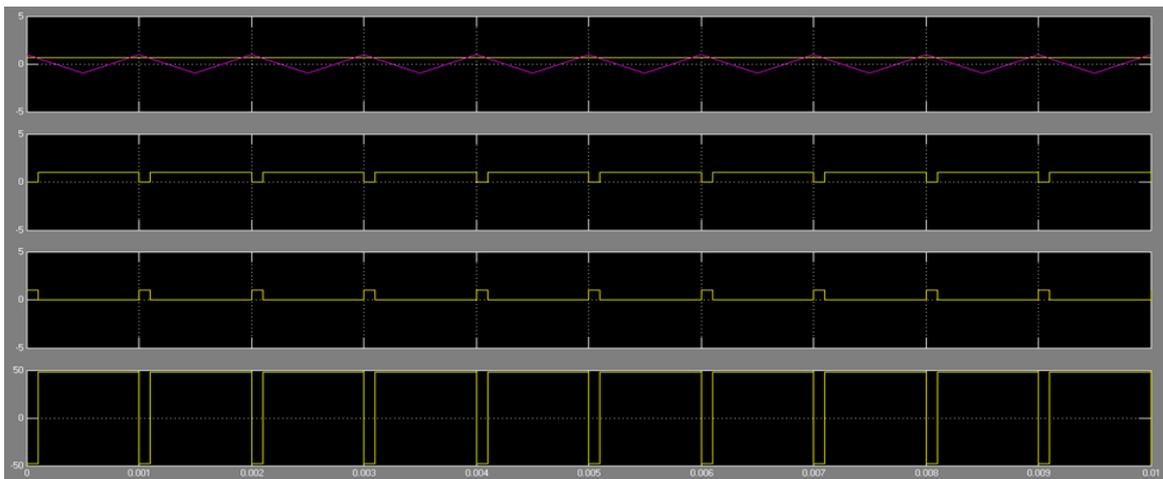


Figure 3-6 : La commande PWM pour Q2

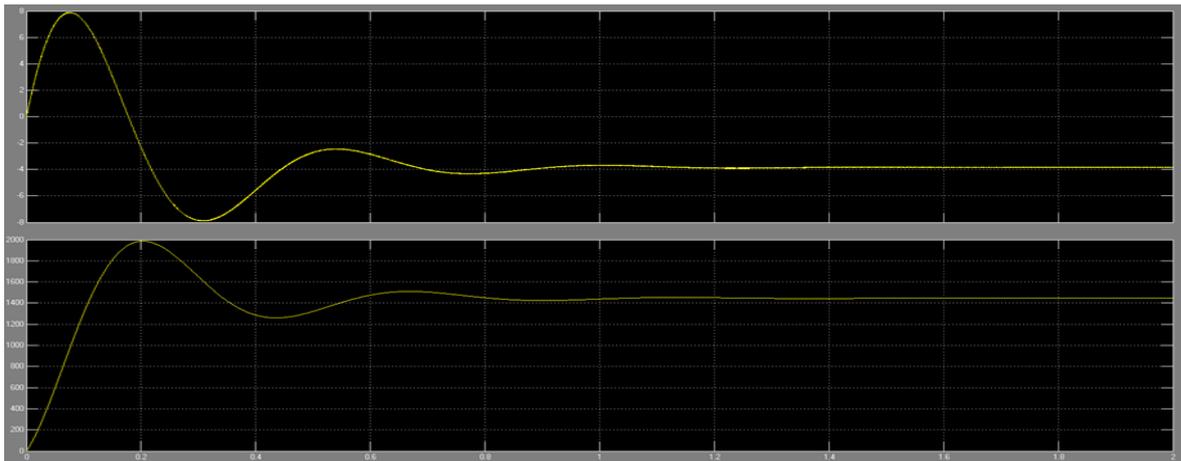


Figure 3-7 : Fonctionnement de courant et vitesse pour MCC dans le 2eme quadrant

**C ) Fonctionnement dans le 3ème quadrant (3) : ( $U_{moy} < 0$  ,  $I_{moy} < 0$  )**

$V_c = -0.7$  ,  $C_r = -2$

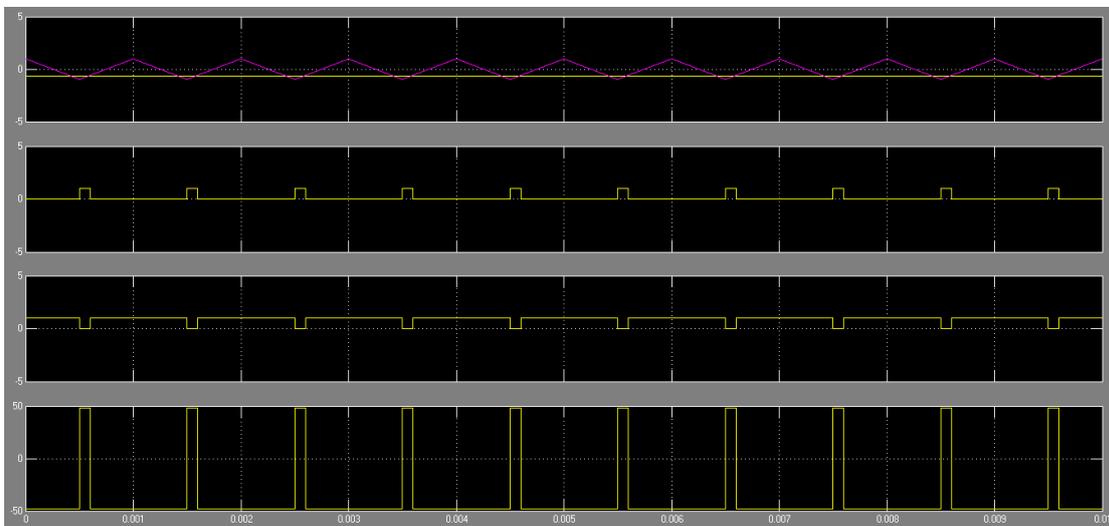


Figure 3-8 : La commande PWM pour Q3

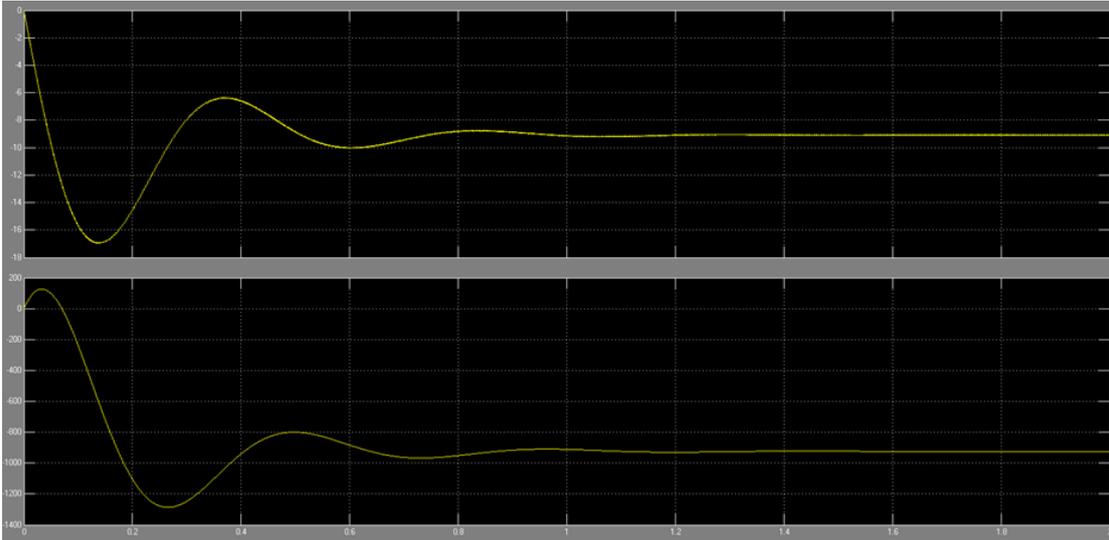


Figure 3-9 : Fonctionnement de courant et vitesse pour MCC dans le 3eme quadrant

**D ) Fonctionnement dans le 4ème quadrant (4) : ( $U_{moy} < 0$  ,  $I_{moy} > 0$ )**

$V_c = -0.7$  ,  $C_r = 2$

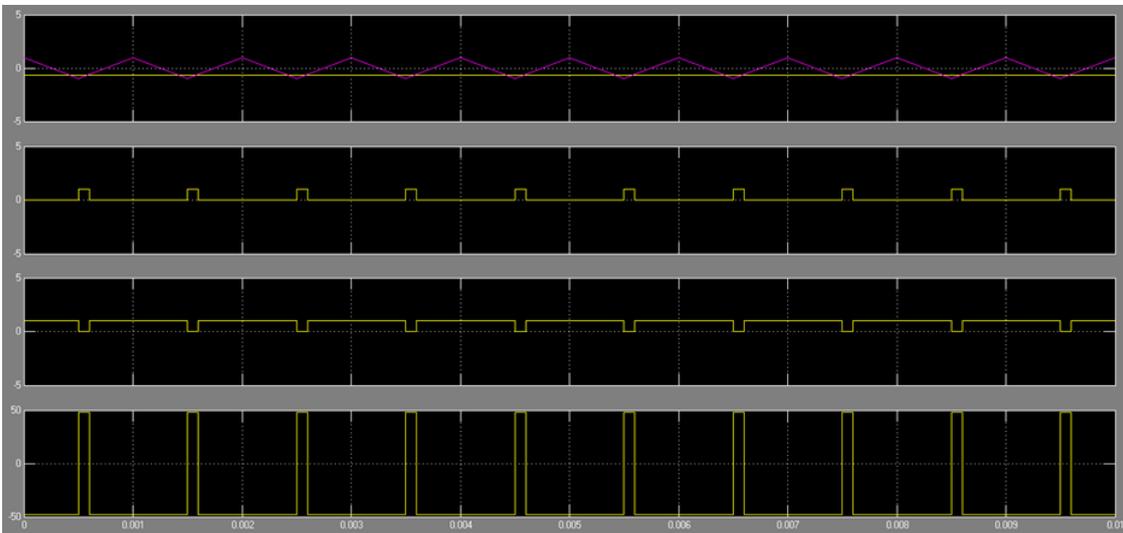


Figure 3-10 : La commande PWM pour Q4

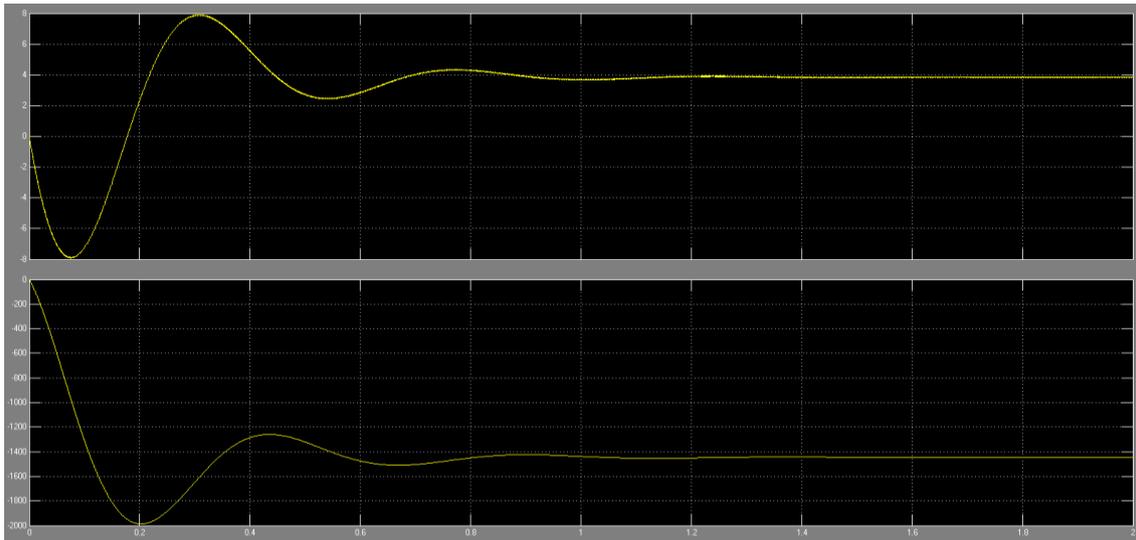


Figure : 3-11 Fonctionnement de courant et vitesse pour MCC dans le 4eme quadrant

## 2-2 Interprétation :

(la tension de la commande  $[-1, 1]$  est égale le rapport cyclique  $\alpha [0, 1]$  )

A partir les résultats de simulation précédente on peut remarquer que la tension de la commande  $>0$ ,  $[1 > Cr > 0]$ , et l'alimentation de moteur est positive, donc le moteur sa tourne a le sens direct mais que la tension de la commande  $<0$ ,  $[0 > Cr > -1]$ , et l'alimentation de moteur est négative, donc le moteur sa tourne a le sens inverse. (Lesquadrants Q1 et Q3)

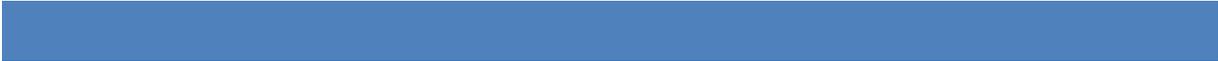
## 2-3 FONCTIONNEMENT EN MODE GENERATEUR :

En fonctionnement en mode générateur l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (elle peut se comporter comme un frein) dans ce cas elle est aussi appelée augmente de la valeur de couple résistant ou inverse le sens de couple résistants (les quadrants Q2 et Q4).

## 3- CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation pour L'association du moteur à courant continu avec l'hacheur à quatre quadrants qui est en pont en H avec logiciel MATLAB SIMULINK.

Cette dernière montre que la commande de rotation d'un moteur à courant continu dépend de sa tension d'alimentation donc il travaille dans les deux quadrants et nous passons aux autres quadrants pour une commande comme générateur d'après l'inversion de la tension de commande par l'hacheur qui



modifie le rapport cyclique au la machine et joue sur la vitesse, c'est un réglage à couple constant.

## **Conclusion générale :**

En conclusion, ce projet de fin d'études a porté sur l'étude de la commande d'un moteur à courant continu utilisant un hacheur quatre quadrants. À travers trois chapitres distincts.

Le premier chapitre a été consacré à l'étude du moteur à courant continu lui-même, en examinant ses caractéristiques et son fonctionnement. Nous avons également utilisé des simulations Matlab/Simulink pour modéliser le comportement du moteur dans différentes conditions, ce qui nous a permis de vérifier son fonctionnement.

Le deuxième chapitre s'est focalisé sur le hacheur quatre quadrants et son fonctionnement. Nous avons étudié les principes de commutation et les techniques de modulation de largeur d'impulsion (PWM) utilisées pour contrôler la vitesse et la direction du moteur. Des simulations Simulink ont été effectuées pour valider les concepts abordés.

Dans le troisième chapitre, nous avons réalisé l'association entre le moteur à courant continu et le hacheur quatre quadrants avec une commande PWM.

Un programme Matlab Simulink est fait et les courbes obtenues montre la validité du travail.

En conclusion, ce projet n'est qu'une étape pour l'association des convertisseurs statiques et des moteurs électriques et leurs commandes.

## Bibliographie:

- [1] Bennoura. A et Djabri .K <> Mémoire de master Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent, 2018.
- [2] TIR Zouheir « Modélisation et Simulation de la Machine à Courant Continu », Mémoire Magister en électrotechnique, 2008.
- [3] M. Kostenko et L. Petrovski, « Machines à courant continu et transformateurs », Edition Mir Moscou, 1979. Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU, septembre 2015.
- [4] T.P D`ELECTROTECHNIQUE PAR SIMULATION « préparation , manipulation et solution avec PSIM DEMO » 2002
- [5] V Chassilian; cours « distribuer l'énergie électrique vers un mcc : changement de sens & variation de vitesse », ST JO AVIGNON France.
- [6] B. Cosson & M. Gorse  
Variation de vitesse pour Machine à Courant Continu (MCC) par hacheur quatre quadrants, Département GEII - IUT de Châteauroux 2014 .
- [7].I Yousfi Régulation de vitesse d'un moteur à courant continu alimenté par hacheur quatre quadrants, Mémoire de DEUA, Institut d'Electrotechnique, Centre Universitaire Larbi Ben M'hidi d'Oum El-Bouaghi, 2006 (encadré par Mr A. Barkat).
- [8] Guy SEGUIER Les convertisseurs de l'électronique de puissance « La conversion continu – continu », Livre, 1997.
- [9] Romain Bichet, Julie Estivie, Etienne Molto et Flavia Tovo, Article : "Étude de cas Rose 2010 PWM et ponts en H", 30 mars 2010
- [10] A. Rufer & P. Barrade Cours d'électronique de puissance « Conversion DC/DC », Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [11] électronique du signal , électronique de puissance et électrotechnique , automatique par Christophe François mars 2004 .

## **Résumé :**

Après avoir rappeler les généralités et le principe de fonctionnement des moteurs à courant continu. Le mémoire traite la commande d'un moteur à courant continu à excitation indépendante par hacheur dans les quatre quadrants

Le travail dans ce mémoire est divisé en trois étapes

La première étape consiste à modéliser la machine en boucle ouverte. Une simulation en Matlab Simulink est réalisée de façon à faire fonctionner la machine dans les quatre quadrants. La validation du modèle est faite par comparaison avec la bibliographie.

La deuxième étape est consacrée à l'étude du hacheur quatre quadrants réversibles en tension et en courant, à la fin un exemple illustratif en langage PSIM est utilisé.

La troisième étape est dédiée à l'association du hacheur et du moteur, dans ce cas précis une commande PWM (LMI) en boucle ouverte est réalisée.

La simulation est réalisée en utilisant le Langage Matlab Simulink. Le fonctionnement de l'ensemble est imposé pour les quatre quadrants (vitesse ; angulaire et tension ; courant).

## **Mots clé :**

Machines à courant continu à excitation indépendante, Hacheur réversible en courant et en tension, Commande PWM, Association moteur hacheur, Régime dynamique, Régime statique.

## **Abstract :**

After recalling the generalities and the operating principle of DC motors. The memory deals with the control of a DC motor with independent excitation by a chopper in the four quadrants .

The work in this thesis is divided into three stages.

The first step is to model the machine in open loop. A simulation in Matlab Simulink is carried out in order to operate the machine in the four quadrants. The validation of the model is made by comparison with the bibliography.

The second step is devoted to the study of the four-quadrant chopper

reversible in voltage and current, at the end an illustrative example in PSIM language is used.

The third step is dedicated to the association of the chopper and the motor, in this specific case an open loop PWM (LMI) control is carried out.

The simulation is carried out using the Matlab Simulink language. The operation of the assembly is imposed for the four quadrants (speed; angular and voltage; current)

### **Keyword:**

DC machines with independent excitation, Reversible current and voltage chopper, PWM control, Chopper motor combination, Dynamic regime, Static regime.

### **خلاصة:**

DC بعد استدعاء العموميات ومبدأ التشغيل لمحركات التيار المستمر. تتعامل الذاكرة مع التحكم في مح مع إثارة مستقلة بواسطة مروحية في الأرباع الأربعة

ينقسم العمل في هذه الأطروحة إلى ثلاث مراحل :

تتمثل الخطوة الأولى في تصميم الآلة في حلقة مفتوحة. تم إجراء محاكاة في Matlab Simulink من تشغيل الجهاز في الأرباع الأربعة. يتم التحقق من صحة النموذج بالمقارنة مع البليوغرافيا

الخطوة الثانية مخصصة لدراسة المروحية ذات الأرباع أرباع .

قابل للانعكاس في الجهد والتيار ، في النهاية يتم استخدام مثال توضيحي PSIM

الخطوة الثالثة مخصصة لربط المروحية بالمحرك ، وفي هذه الحالة بالذات ، يتم تنفيذ التحكم في الحلقة PWM (LMI) المفتوحة.

يتم فرض عملية التجميع للأرباع الأربعة. Matlab Simulink. يتم تنفيذ المحاكاة باستخدام لغة (السرعة ، الزاوي والجهد ، التيار) .

### **المفاتيح :**

، PWM آلات التيار المستمر ذات الإثارة المستقلة ، ومروحية التيار والجهد العكسي ، والتحكم في ومجموعة محرك المروحية ، والنظام الديناميكي ، والنظام الثابت