



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT de GÉNIE ÉLECTRIQUE



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

Spécialité : Génie Electrique

Option : Informatique Industrielle.

Présenté par :

YAHIA RABAH

Sujet du mémoire

**Conception et réalisation d'un Hacheur quatre quadrants pour la
commande d'un DC moteur.**

Soutenu publiquement le 17/06/2015 devant le jury composé de :

Mr, ALLAOUI tayeb

Mr. NASRI Djilali

Mr. HASSAINE Saïd

Mr. BOUMEDIENE Hamid

Président

Examineur

Rapporteur

Rapporteur

PROMOTION : 2015

DEDICACE.

CE PROJET EST DEDIE A :

- ✓ *MES CHERS PARENTS.*
- ✓ *MES FRERES ET SŒURS.*
- ✓ *MA FAMILLES.*
- ✓ *MES AMIS (ES).*
- ✓ *MES COLLEQUES DE LA
PROMOTION.*



REMERCIEMENTS.

*Ce travail a été réalisé au sein du département de génie électrique de l'université
IBN KHALDOUN de TIARET.*

*Avant tous, je tiens à remercier ALLAH de m'avoir donné la volonté et la
capacité de réaliser ce modeste mémoire.*

*Dans un premier lieu, j'exprime mes gratitudes à mon encadreur Mr
BOUMEDIENNE ABDELHAMID et à Mr HSSAINE SAID, qui m'ont aidé de
la moindre des choses vers la grandes, en proposant cet intéressant sujet et mettant à
ma disposition tous les moyens afin d'avoir réalisé ce travail.*

*Mes profonds remerciements à Mr ALLAOUI TAYEB, Mr NASRI
DJILALI, pour l'honneur qu'ils nous faisons en acceptant d'examiner notre travail et
de participer à ce jury.*

*J'adresse mes sincères remerciements aux enseignants de l'informatique
industrielle, qui m'ont aidé de près ou de loin dans notre travail.*

*Finalement, je remercie chaque intervenant professionnel appartient du
département de génie électrique a participé dans l'accomplissement de ce travail.*

SOMMAIRE

Liste des figures

Introduction générale..... 1

Chapitre I: Généralité sur les moteurs à courant continu

I.1. Introduction 2

I.2. Symbole..... 2

I.3. Fonctionnement des MCC en génératrice ou en moteur 2

I.4. Principe de fonctionnement..... 3

I.4.1. Fonctionnement en mode génératrice 3

I.4.2. Fonctionnement en mode moteur 3

I.5. Construction d'un moteur à courant continu 3

I.6. Différents types de moteurs à courant continu..... 4

I.6.1. Les moteurs à inducteur à aimant permanent..... 4

I.6.2. Les moteurs à inducteur bobiné 5

I.6.2.1. Excitation parallèle (séparée ou shunt) 5

I.6.2.2. Excitation série..... 5

I.6.2.3. Excitation série parallèle (composée ou " compound") 5

I.7. Réglage de la vitesse d'un moteur CC..... 6

I.7.1. Action sur la tension d'alimentation..... 6

I.7.2. Action sur le flux..... 6

I.8. Bilan de l'énergie du moteur à courant continu..... 7

I.8.1. Les puissances 7

I.8.2. Les pertes..... 7

I.8.3. Couple 8

I.9. Rendement..... 9

I.10. Démarrage et freinage des moteurs à courant continu 9

I.11. Quadrants de fonctionnement..... 10

I.12. Conclusion..... 11

Chapitre II: généralité sue les hacheurs

II.1. Introduction 12

II.2. Hacheurs..... 12

Sommaire

II.2.1.	Définition	12
II.2.2.	Les interrupteurs électroniques réversibles	13
II.3.	Les différents types des hacheurs	13
II.3.1.	Convertisseur Buck	13
II.3.1.1.	Principe de Fonctionnement	14
II.3.1.2.	Formes d'ondes en conduction continue	14
II.3.1.2.1.	Les formes d'ondes du courant et tension des interrupteurs	15
II.3.1.2.2.	Tension et courant de l'inductance	15
II.3.1.3.	Relations fondamentales d'électronique de puissance	15
II.3.2.	Hacheur survolteur (ou parallèle)	16
II.3.2.1.	Principe de Fonctionnement	16
II.3.2.2.	Formes d'ondes en conduction continue	17
II.3.2.2.1.	La tension et le courant de l'inductance prennent les formes suivantes	18
II.3.3.	Le convertisseur Buck-Boost	18
II.3.3.1.	Définition	18
II.3.3.2.	Principe de Fonctionnement	19
II.3.3.3.	Relation fondamentale de l'électronique de puissance	20
II.3.4.	Hacheurs réversibles	21
II.3.4.1.	Présentation	21
II.3.4.2.	Définition	21
II.3.5.	Hacheur 2 quadrants réversible en courant	21
II.3.5.1.	Principe	21
II.3.5.2.	Structure du hacheur série réversible en courant	22
II.3.5.3.	Principe de Fonctionnement	22
II.3.5.4.	Diagramme de courant à chaque cellule	23
II.3.6.	Etude de hacheur réversible de tension	24
II.3.6.1.	Schéma du montage	24
II.3.6.2.	Principe de fonctionnement	25
II.3.6.3.	Diagramme de tension réversibilité et courant	25
II.3.6.4.	L'expression de la tension d'un hacheur réversible en tension	26
II.3.7.	Hacheur réversible en tension et en courant	26
II.3.7.1.	Stratégie de commande	26

Sommaire

II.3.7.2.	Principe de fonctionnement.....	27
II.3.7.3.	Diagramme de tension et courant.....	27
II.3.8.	Inconvénients	28
II.3.9.	Avantages.....	28
II.3.10.	Conclusion.....	28

Chapitre III : Simulation et Implantation

III.1.	Introduction.....	29
III.2.	Matériels utilisés	29
III.2.1.	Aperçu sur le logiciel " Proteus: ISIS – ARES"	29
III.2.2.	Utilisation d'un circuit intégré spécialisé	30
III.2.2.1.	Simulation pour les deux signaux MLI et MLI complémentaire.....	30
III.2.3.	Commande rapprochée	31
III.2.4.	Hacheur en pont	32
III.2.4.1.	Hacheur à base des IGBT.....	33
III.3.	Simulation du pont quatre quadrants sous ISIS	34
III.4.	Schéma globale de carte de commande	36
III.5.	Logiciel ARES	37
III.6.	Résultats pratiques	38
III.6.1.	Les signaux d'entrée de l'UC3637.....	38
III.6.2.	Les signaux de sortie de l'UC3637.....	39
III.7.	Conclusion	40
Conclusion générale.....		41

Référence et bibliographie.

ANNEXES

Résumé

Chapitre I: Généralité sur les moteurs à courant continu

Figure I. 1.: Les symboles d'un MCC. 2

Figure I. 2.: Modes de fonctionnement d'une MCC. 3

Figure I. 3.: Représentation des deux parties principales de la MCC. 4

Figure I. 4.: Rôle du collecteur. 4

Figure I. 5.: Schémas des différents types de moteurs à courant continu..... 5

Figure I. 6.: Bilan énergétique d'un MCC..... 7

Figure I. 7.: Caractéristiques mécaniques du MCC. 9

Figure I. 8.: Le point de fonctionnement d'un moteur (couple, vitesse)..... 10

Figure I. 9.: Les différents modes de fonctionnement de la machine..... 10

Figure I. 10.: Le passage d'un quadrant à un autre. 11

Chapitre II: Généralité sue les hacheurs

Figure II. 1. : Schéma de principe du hacheur..... 12

Figure II. 2.: Interrupteur réversible. 13

Figure II. 3.: Schéma de principe d'un hacheur série. 13

Figure II. 4.: Schéma principe de fonctionnement d'un hacheur série. 14

Figure II. 5.: Formes d'ondes en conduction continue. 15

Figure II. 6.: Formes d'ondes pour le calcul de l'ondulation de courant. 15

Figure II. 7.: Ondulation de courant en fonction de α 16

Figure II. 8.: Schéma de principe d'un hacheur parallèle. 16

Figure II. 9.: Schéma principe de fonctionnement d'un hacheur parallèle..... 17

Figure II. 10.: Formes d'ondes en conduction continue. 17

Figure II. 11.: Formes d'ondes pour le calcul de l'ondulation de courant. 18

Figure II. 12.: Circuit électrique de base du hacheur survolteur/dévolteur. 18

Figure II. 13 : Principe de Fonctionnement..... 19

Figure II. 14.: Forme du courant et tension en conduction continue. 20

Figure II. 15.: Tension et courant de l'inductance. 20

Figure II. 16.: La structure du hacheur série réversible en courant..... 22

Liste Des Figures

Figure II. 17. : Principe de Fonctionnement.....	22
Figure II. 18. : Courant et tension de sortie.	23
Figure II. 19. : Courant et tension pour les interrupteurs.....	24
Figure II. 20.: La structure du hacheur série réversible en courant.....	24
Figure II. 21. : Principe de Fonctionnement.....	25
Figure II. 22.: Diagramme de tension et courant du hacheur réversible de tension.	25
Figure II. 23. : Schéma de principe du hacheur réversible en tension et en courant.....	26
Figure II. 24. : Schéma de principe de fonctionnement en mode moteur.....	27
Figure II. 25.: Schéma de principe de fonctionnement en mode génératrice.	27
Figure II. 26.: Diagramme de tension et courant du hacheur réversible en tension et en courant. .	27

Chapitre III : Simulation et Implantation

Figure III. 1.: Génération analogique des signaux de commande MLI et MLI Complémentaires....	30
Figure III. 2.: Générateur des signaux.	31
Figure III. 3.: Visualisation des signaux de simulation.	31
Figure III. 4.: Circuit de simulation pour la carte de commande.....	32
Figure III. 5.: Visualisation des signaux d'entrée et de sortie par simulation.....	32
Figure III. 6.: Hacheur en pont H à base de 2 IGBT de la société Toshiba.....	33
Figure III. 7.: Circuit de simulation du pont quatre quadrants.	34
Figure III. 8.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 1$	35
Figure III. 9.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0.75$	35
Figure III. 10.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0.5$	35
Figure III. 11.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0.25$	36
Figure III. 12.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0$	36
Figure III. 13.: La carte de commande sur I/S/S.....	37
Figure III. 14.: La carte de commande sur ARES.....	37
Figure III. 15.: La carte de commande sur ARES en 3D.....	38
Figure III. 16.: Le signal triangulaire.....	38
Figure III. 17.: Les signaux des pattes 9 et 11.....	39

Liste Des Figures

Figure III. 18.: Le signal sur la patte 4.	39
Figure III. 19.: Le signal sur la patte 7.	40
Figure III. 20.: Les signaux complémentaires (Pin 4 et 7).....	40

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Les hacheurs sont des systèmes qui permettent la conversion et le contrôle de l'énergie de sa forme continue à une forme continue. Ceci est possible grâce à des interrupteurs de puissance tel que thyristors, transistor, L'évolution de la technologie dans le domaine des composants de conversion continue-continue a toujours ramené de nouvelles structures en cherchant toujours l'amélioration en permanence des puissances et l'augmentation des fréquences de commutation sans être détériorés.

L'*IGBT* apparaît en **1985**, d'abord dans le domaine des moyennes puissances (quelques dizaines de *kW*), il supprime les transistors *Darlington* et il devient dans les 10 ans qui suivent un composant utilisable en fortes puissances. Depuis les années 1990, ce sont les composants les plus utilisés pour réaliser des convertisseurs avec des commutations commandés fonctionnant avec des tensions de quelques centaines de volts à quelques *kV* et avec des courants de quelques dizaines d'Ampères à quelques *kA*.

La réalisation d'un hacheur doit d'abord passer par une phase de conception puis une phase de simulation pour confirmer son fonctionnement.

Notre projet de fin d'études vise essentiellement la conception d'une carte de commande d'un convertisseur statique (Hacheur à quatre quadrants) permettant de générer des signaux *MLI*. Cette carte est construite autour du circuit intégré spécialisé de type *UC3637* associé au driver *IR2110*.

Ainsi, ce mémoire est subdivisé en trois chapitres

- ✓ Le premier chapitre est consacré à une présentation théorique des différents types des moteurs à courant continu et leur de fonctionnement.
- ✓ Le deuxième chapitre sera réservé pour une présentation théorique des différents types des hacheurs et leurs stratégies de commande.
- ✓ Le troisième chapitre englobe la partie qui résume la simulation, la conception et la réalisation d'une carte de commande qui permet de générer des signaux *MLI* destinés au pilotage d'un hacheur à quatre quadrants. Les résultats de simulation et des expérimentations sont présentés.

Enfin nous terminons notre étude par une conclusion générale.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR

LES MCC

I.1. Introduction

Les moteurs à courant continu sont des appareils qui transforment l'énergie électrique qu'ils reçoivent en énergie mécanique. La construction des moteurs est identique à celle des génératrices, de sorte qu'une machine à courant continu peut servir indifféremment comme moteur ou comme génératrice. L'usage des moteurs à courant continu est plutôt restreint, car la distribution se fait à courant alternatif. Cependant, pour certaines applications il est parfois avantageux d'utiliser des moteurs à courant continu alimentés par des convertisseurs qui transforment le courant alternatif en courant continu. La supériorité de ces moteurs réside dans le fait qu'ils se prêtent facilement à un contrôle souple, continu et presque instantané de leur vitesse.[1]

I.2. Symbole

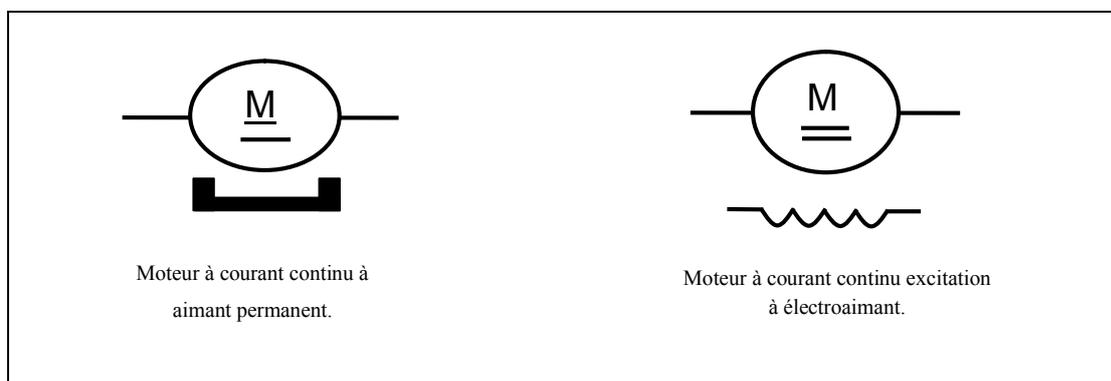


Figure I. 1.: Les symboles d'un *MCC*.

I.3. Fonctionnement des MCC en génératrice ou en moteur

La génératrice transforme une énergie mécanique en énergie électrique sous forme de courant continu. Par contre le moteur transforme une énergie électrique de forme continue en une énergie mécanique. La machine à courant continu possède la propriété de réversibilité. Elle peut en effet fonctionner indifféremment en génératrice ou en moteur.

Les moteurs *CC* sont utilisés beaucoup dans de faibles puissances (industrie automobile)et en moyennes puissances.[2]

I.4. Principe de fonctionnement

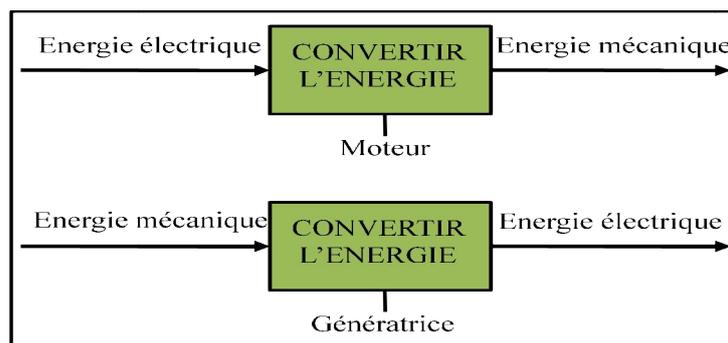


Figure I. 2.: Modes de fonctionnement d'une MCC.

I.4.1. Fonctionnement en mode génératrice

L'inducteur est alimenté par une tension continue et produit un champ magnétique constant. L'induit est entraîné en rotation par un moteur. Il est le siège de variation de flux au travers de spires qui le constituent. Il en résulte la création d'une f.é.m. alternative qui est redressée et transmise au circuit extérieur par l'ensemble collecteur-balais.

I.4.2. Fonctionnement en mode moteur

L'inducteur est alimenté par une tension continue et produit un champ magnétique constant. L'induit est alimenté par une source de courant continu. Le champ inducteur agit sur ses conducteurs en leur appliquant des forces électromagnétiques. Ces forces électromagnétiques produisent un couple moteur qui entraîne l'induit en rotation.

I.5. Construction d'un moteur à courant continu

La machine se décompose en deux parties principales:

- l'une, fixe, appelée inducteur (ou stator) est un électro-aimant, où l'induction est créée par des pôles magnétiques bobinés et alimentés en courant continu ou par des aimants permanents (figure 1.3),
- l'autre, mobile, appelée induit (ou rotor) est l'armature tournante du précédent, dont les conducteurs sont répartis régulièrement sur un cylindre soumis à une induction radiale (figure 1.3), son axe est monté sur un arbre qui est guidé en rotation.

Les courants dans l'induit changent de sens départ et d'autre de la ligne neutre de telle sorte qu'ils produisent des efforts qui contribuent dans le même sens au couple électromagnétique d'où vient le rôle du collecteur, permettant ainsi aux forces d'agir dans le même sens (Figure 1.4). Le collecteur est un onduleur de courant tournant (dans le cas du moteur).[3]

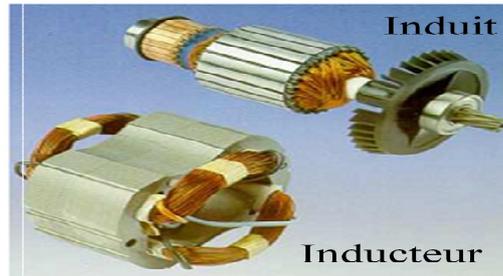


Figure I. 3.: Représentation des deux parties principales de la MCC.

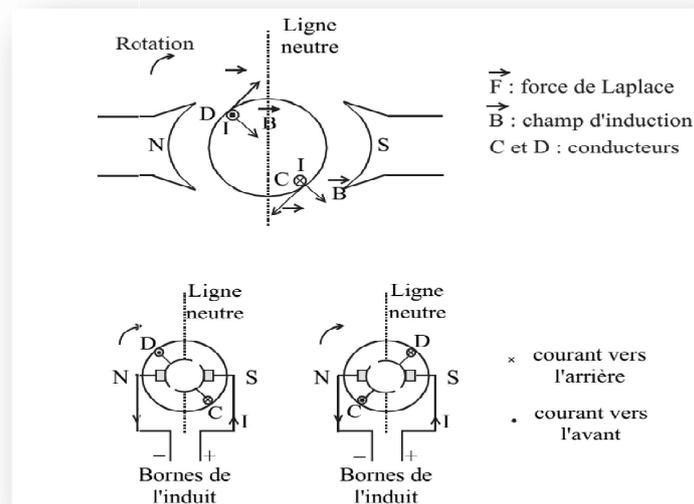


Figure I. 4.: Rôle du collecteur.

I.6. Différents types de moteurs à courant continu

On distingue deux types de moteurs à courant continu.

I.6.1. Les moteurs à inducteur à aimant permanent

- Il n'y a pas de circuit inducteur, le flux inducteur est produit par un aimant permanent,
- Tous les moteurs à courant continu de faible puissance et les micromoteurs sont des moteurs à aimant permanent,
- Ils représentent maintenant la majorité des moteurs à courant continu. Ils sont très simples d'utilisation.

I.6.2. Les moteurs à inducteur bobiné

On distingue quatre types de moteurs à courant continu par rapport à la configuration de leurs excitations:

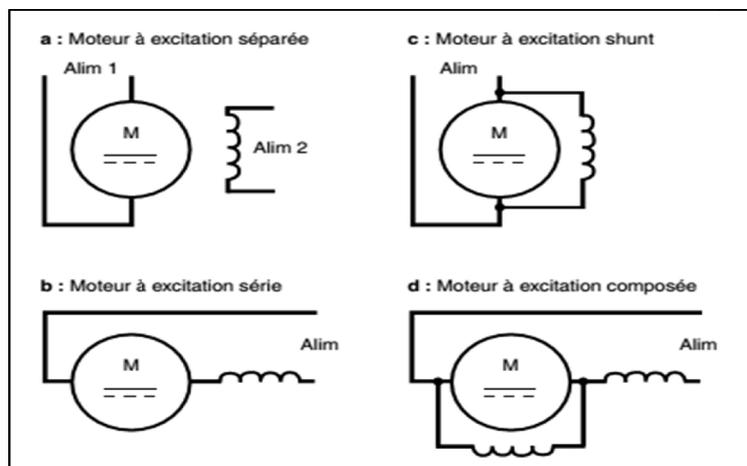


Figure I. 5.: Schémas des différents types de moteurs à courant continu.

I.6.2.1. Excitation parallèle (séparée ou shunt)

Les bobinages, induit et inducteur, sont connectés en parallèle ou alimentés par deux sources de tensions différentes pour des questions d'adaptation aux caractéristiques de la machine (ex: tension d'induit 400 volts et tension d'inducteur 180 volts).

L'inversion du sens de rotation s'obtient par l'inversion de l'un ou de l'autre des enroulements, en général par inversion de la tension d'induit en raison des constantes de temps beaucoup plus réduites.

I.6.2.2. Excitation série

Ce moteur est de construction semblable à celle du moteur à excitation séparée. Le bobinage inducteur est connecté en série avec le bobinage induit, d'où son appellation. L'inversion du sens de rotation est obtenue indifféremment par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur. Ce moteur est essentiellement utilisé en traction, en particulier sur les chariots alimentés par batteries d'accumulateurs. En traction ferroviaire les anciennes motrices du *TGV* utilisaient ce type de moteur, les plus récentes utilisent des moteurs asynchrones.

I.6.2.3. Excitation série parallèle (composée ou "compound")

Cette technologie permet de réunir les qualités du moteur à excitation série et du moteur à excitation parallèle. Ce moteur comporte deux enroulements par pôle inducteur. L'un est en parallèle avec l'induit. Il est parcouru par un faible courant au regard du courant nominal. L'autre

est en série. Le moteur est à flux additif si les ampères-tours des deux enroulements ajoutent leurs effets. Il est à flux soustractif dans le cas contraire, mais ce mode de montage est très rarement utilisé car il conduit à un fonctionnement instable pour les fortes charges.

I.7. Réglage de la vitesse d'un moteur CC

La relation de la vitesse de rotation déduite de l'expression de la force électromotrice indique les deux possibilités de réglage de la vitesse:

$$n = \frac{U - rI}{K_m \times \Phi} \quad (\text{I. 1})$$

K est une constante de construction du moteur: nombre de paires de pôles, nombre de voies d'enroulement, nombre de conducteurs par section.[4]

$$K_m = \frac{p}{a} \times N \quad (\text{I. 2})$$

I.7.1. Action sur la tension d'alimentation

La relation ci-dessus montre que la vitesse est directement proportionnelle à la tension d'alimentation (U) lorsque le flux magnétique (Φ) est constant. La variation de la tension d'alimentation est obtenue par un montage redresseur d'électronique de puissance. Ce montage sera approfondi lors de l'étude des variateurs de vitesse pour moteur courant continu.

I.7.2. Action sur le flux

Lorsque le courant inducteur diminue, le flux magnétique dans le moteur diminue. Cette diminution provoque une augmentation de la vitesse, pouvant aller jusqu'à l'emballement du moteur et sa destruction. Outre ce risque, la diminution du flux conduit aussi à une diminution du couple moteur qui est directement proportionnel au flux, selon la relation:

$$C_e = K \cdot \Phi \cdot I \quad (\text{I. 3})$$

L'action sur le flux permet une légère survitesse avec une diminution du couple utile. Son utilisation est très spécifique.[5][2]

I.8. Bilan de l'énergie du moteur à courant continu

Le moteur courant continu transforme l'énergie électrique apportée par le courant continu, en énergie mécanique:

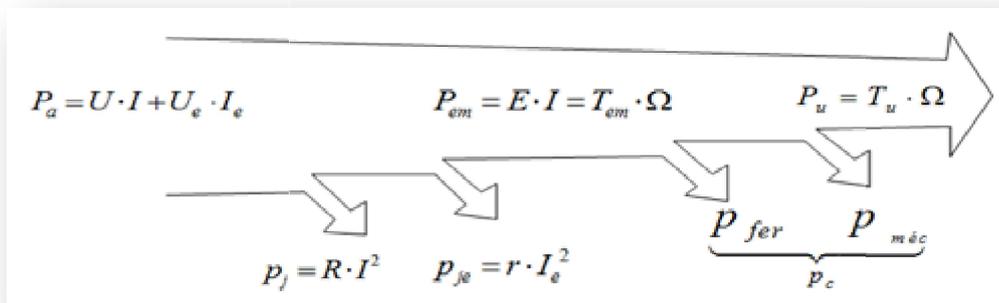


Figure I. 6.: Bilan énergétique d'un MCC.

I.8.1. Les puissances

- **Puissance électrique**

la puissance absorbée (W):

$$P_a = U \cdot I + U_e \cdot I_e \tag{I. 4}$$

- **Puissance électromagnétique**

la puissance électromagnétique(W):

$$P_{em} = E \cdot I = T_{em} \cdot \Omega \tag{I. 5}$$

- **Puissance mécanique**

la puissance utile (W):

$$P_u = T_u \cdot \Omega \tag{I. 6}$$

I.8.2. Les pertes

- **Pertes Joule**

Les pertes joules à l'induit (W): elles traduisent l'énergie dissipée dans le bobinage induit.

$$p_j = R \cdot I^2 \tag{I. 7}$$

R: étant la résistance du bobinage induit.

Les pertes joules à l'inducteur (W): elles traduisent l'énergie dissipée dans le bobinage inducteur:

$$p_{je} = r \cdot I_e^2 \quad (\text{I. 8})$$

r: étant la résistance du bobinage inducteur.

- **Pertes magnétiques et mécaniques**

D'après le diagramme des puissances; P_c est la somme des pertes mécanique (frottement) et des pertes magnétiques (Foucault et hystérésis). Ces pertes supposées constantes quelque soit le point de fonctionnement du moteur:

$$P_c = P_{fer} + P_{méca} = P_{em} - P_u \quad (\text{I. 9})$$

P_c est la différence entre la puissance électromagnétique et la puissance utile.

En effet:

$$P_c = P_{em} - P_u \quad (\text{I. 10})$$

I.8.3. Couple

- **Couple électromagnétique**

Chaque conducteur est le siège d'un effort créant un couple sur l'arbre. Leur somme génère le couple électromagnétique C_{em} (T_{em}).

- **Expression du couple électromagnétique**

Suivant la relation issue de la loi de Laplace, le couple dépend du flux sous un pôle (ϕ en Wb), du courant total d'induit (I en A) et du nombre de conducteurs (N). Le nombre de paires de pôles augmente la répétition des phénomènes, donc du couple, tandis que la mise en parallèle des conducteurs dans les voies d'enroulement y diminue le courant donc le couple. D'où la relation:

$$C_{em} = \frac{2p}{2a} \cdot N \cdot \phi \cdot \frac{1}{2\pi} \quad (\text{I. 11})$$

C_{em} (T_{em}) est le couple électromagnétique (N.m).

T_u est le couple utile en sortie d'arbre (N.m).

- **Couple de pertes TP**

$$T_p = \frac{P_C}{\Omega} = \frac{P_{em} - P_U}{\Omega} = \frac{P_{em}}{\Omega} - \frac{P_U}{\Omega} = T_{em} - T_U$$

$$T_p = \frac{P_C}{\Omega} = T_{em} - T_U \tag{I. 12}$$

I.9. Rendement

- **Mesure directe:** Cette méthode consiste à mesurer Pa et Pu.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{T_u \cdot \Omega}{U \cdot I + P_{je}} \tag{I. 13}$$

- **Méthode des pertes séparées:** Cette méthode consiste à évaluer les différentes pertes.

I.10. Démarrage et freinage des moteurs à courant continu

- **La stabilité**

Le point de fonctionnement d'un moteur (couple, vitesse) est donné par l'intersection de sa caractéristique mécanique $C_u(\Omega)$ avec celle de la charge $C_r(\Omega)$. Chaque charge mécanique est caractérisée par sa caractéristique mécanique:

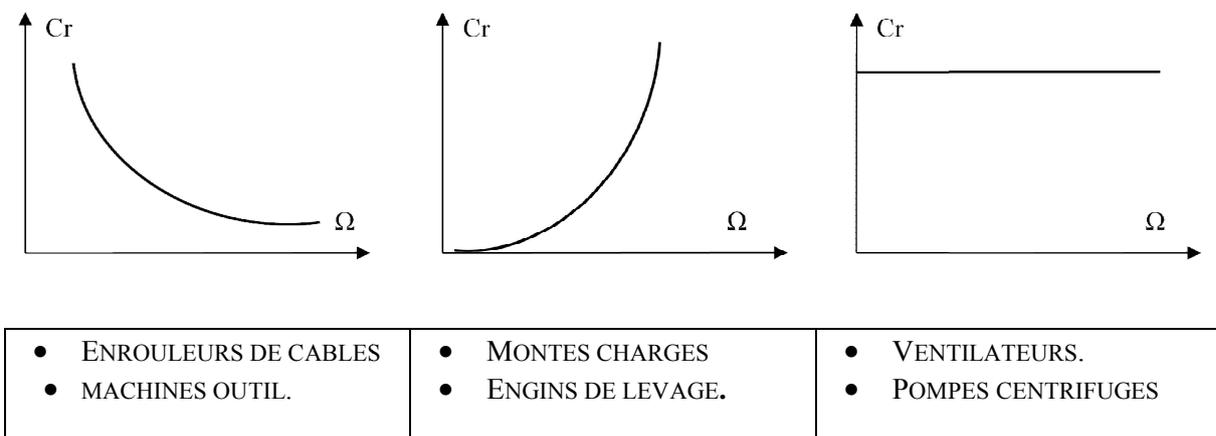
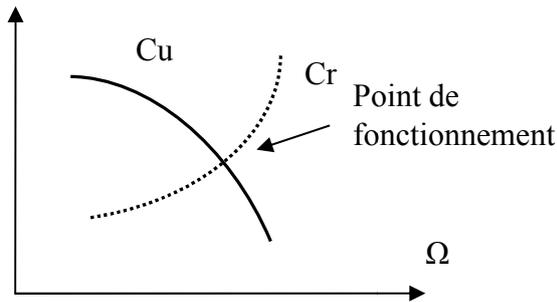


Figure I. 7.: Caractéristiques mécaniques du MCC.

Le fonctionnement d'une association moteur charge est dit stable si tout écart accidentel de vitesse se trouve rattrapé. La relation fondamentale de la dynamique de rotation s'écrit:

$$C_u - C_r = J_{\Delta} \frac{d\Omega}{dt} \tag{I. 14}$$

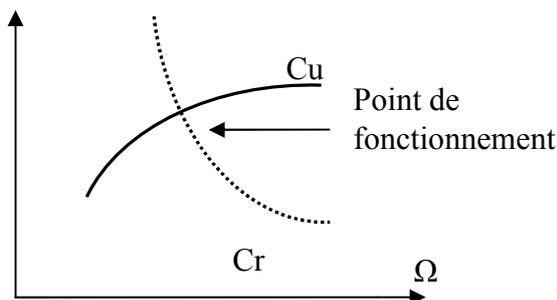


Si la vitesse Ω augmente, C_u devient $<$
 $C_r \Rightarrow C_u - C_r < 0$

$$\Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} < 0 \Rightarrow \text{la vitesse diminue.}$$

La déviation de la vitesse a été rattrapée.

Le fonctionnement est alors **stable**.



Si la vitesse Ω augmente, C_u devient $>$
 $C_r \Rightarrow C_u - C_r > 0$

$$\Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} > 0 \Rightarrow \text{la vitesse augmente.}$$

La déviation de la vitesse a été amplifiée.

Le fonctionnement est alors **instable**.

Figure I. 8.: Le point de fonctionnement d'un moteur (couple, vitesse).

I.11. Quadrants de fonctionnement

La machine à courant continu est fondamentalement réversible. Ainsi en fonction du signe de la puissance absorbée elle peut fonctionner en moteur ou en génératrice (frein). On définit

ainsi quatre quadrants de fonctionnement pour la machine. Par exemple lors d'un déplacement horizontal (cas d'un train), la machine fonctionne:

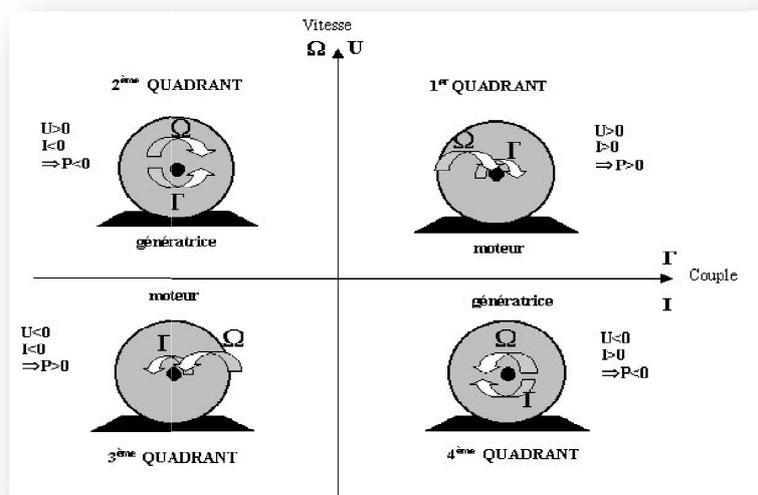


Figure I. 9.: Les différents modes de fonctionnement de la machine.

- ✓ à l'aller, en moteur dans le quadrant 1.
- ✓ puis au retour, toujours en moteur dans le quadrant 3.
- ✓ et entre ces deux cas, le ralentissement forcé jusqu'à l'arrêt s'effectue dans le deuxième quadrant pour l'aller et dans le quatrième quadrant pour le retour.

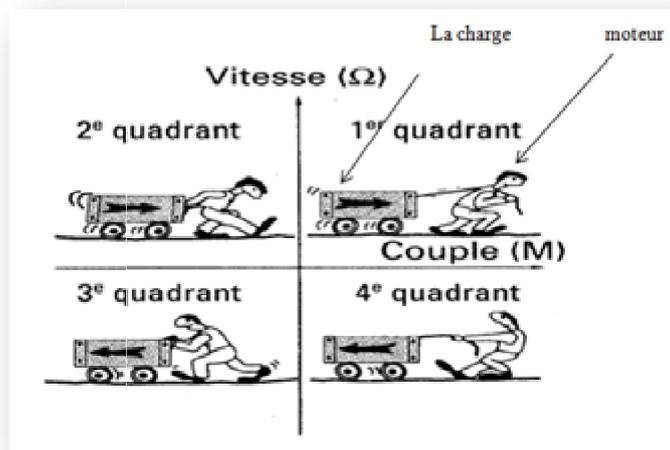


Figure I. 10.: Le passage d'un quadrant à un autre.

Le passage d'un quadrant à un autre sans changement du signe de la vitesse sera imposé par la charge. Tandis que les transitions horizontales entre quadrants seront obtenues par une inversion de l'excitation.

I.12. Conclusion

Le but de ce chapitre est d'avoir une connaissance sur le moteur à courant continu et ces paramètres. Au début, nous avons vu les différentes parties du moteur ainsi que le principe de son fonctionnement. Le travail qui suit ce chapitre a pour but de construire une commande de vitesse du moteur à courant continu à travers un convertisseur statique de type DC/DC. Cette commande nécessite de savoir son comportement: schéma équivalent et paramètres.

Chapitre II

généralité sue les hacheurs

II.1. Introduction

Nous avons choisi d'étudier un variateur de vitesse pour un moteur à courant continu. Il s'agit alors de réaliser un hacheur quatre quadrants pour alimenter un moteur à courant continu. Notre travail est d'améliorer les projets déjà réalisés les années précédentes. Pour cela, il faut adopter une démarche de concepteur. Après avoir étudié les documents de notre pré-étude, notre nouvel objectif est de concevoir la carte réalisant le hacheur quatre quadrants. Il faut donc dissocier la partie puissance de la partie commande du hacheur.

Cette étude sera organisée autour de quatre parties. Tout d'abord, nous décrirons le cahier des charges, puis nous résumerons le principe de fonctionnement du hacheur quatre quadrants et nous proposerons la solution technologique à développer. Dans une troisième partie, nous nous sommes attachés à la conception de la partie puissance du hacheur quatre quadrants. Enfin, nous nous intéresserons à sa partie commande.

II.2. Hacheurs

II.2.1. Définition

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu (Figure 1.1) permettant de fabriquer une source de 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 [6].

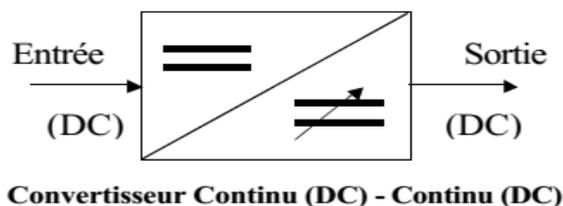


Figure II. 1. : Schéma de principe du hacheur.

II.2.2. Les interrupteurs électroniques réversibles

Cette fois, l'interrupteur, réversible en courant, est formé de deux composants. Le premier est un composant commandable à l'amorçage et au blocage transistor, IGBT, GTO, alors que le second est une diode. Ils sont montés en antiparallèle. Le schéma de l'interrupteur réversible en courant est donné par la figure II.2.

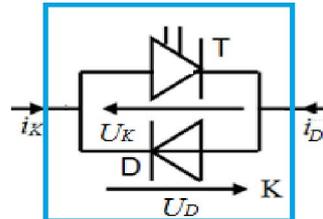


Figure II. 2.: Interrupteur réversible.

II.3. Les différents types des hacheurs

Il existe deux types:

- hacheurs non réversibles (Hacheurs dévolteurs (*BUCK* ou série), hacheurs survolteurs (*BOOST* ou parallèle), hacheur dévolteur-survolteur (*BUCK-BOOST*),
- hacheurs réversibles (Hacheur réversible en courant, Hacheur réversible en tension, Hacheur réversible en tension et en courant).

II.3.1. Convertisseur Buck

Le hacheur série est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant. Il comporte un interrupteur à amorçage et blocage commandable "transistor bipolaire, transistor MOS ou IGBT". et un interrupteur à blocage et amorçage spontanés 'diode'. Le schéma du hacheur série est donné par la figure II.3[7].

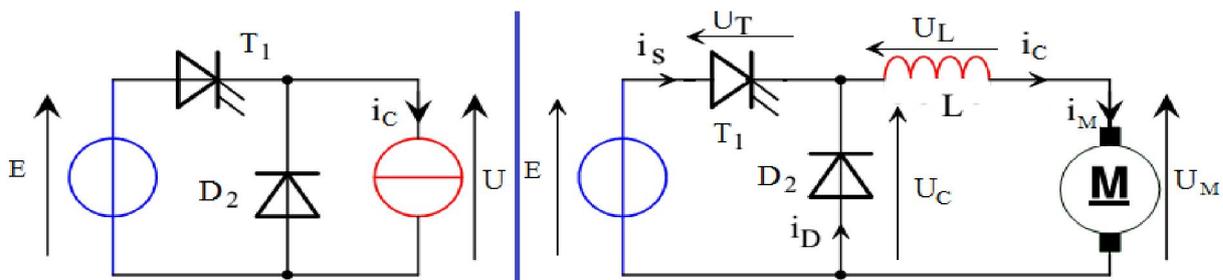


Figure II. 3.: Schéma de principe d'un hacheur série.

La charge est constituée par un moteur. Pour améliorer la qualité du courant c'est-à-dire limiter l'ondulation résultante du découpage sur le courant de sortie, on insère une inductance en série avec le moteur. On néglige l'ondulation résiduelle [8].

II.3.1.1.Principe de Fonctionnement

Le cycle de fonctionnement, de période de hachage $T = 1/f$, comporte deux étapes:

- Lors de la première étape, on rend le transistor passant et la diode polarisée en inverse, est bloquée, la source d'entrée fournit l'énergie à la charge R à travers l'inductance L. Cette phase dure de $0 < t < \alpha T$, ou α est comprise entre 0 et 1, α est appelée rapport cyclique.
- Lors de la seconde étape, on bloque le transistor, la diode assure la continuité du courant dans l'inductance. L'énergie emmagasinée dans cette inductance est alors déchargée dans le condensateur et la résistance de charge. Cette phase dure de $\alpha T < t < T$. [8]

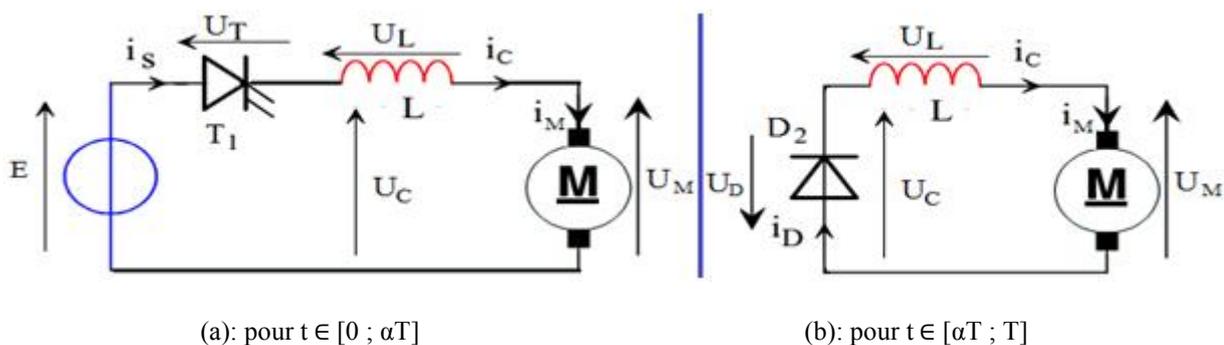


Figure II. 4.: Schéma principe de fonctionnement d'un hacheur série.

II.3.1.2.Formes d'ondes en conduction continue

En cas de conduction continue, le courant de sortie est suffisamment fort de telle sorte que le courant dans l'inductance ne s'annule jamais même avec l'ondulation due au découpage.

- La valeur moyenne de la tension de sortie est $V_S = \alpha V_E$ (la tension moyenne aux bornes d'une bobine est nulle).
- Le courant I_L ondule autour de sa valeur moyenne I_S (la valeur moyenne du courant dans le condensateur est nulle). Son ondulation crête à crête est donnée par:

$\Delta I_L = \frac{V_E}{L f} \alpha (1 - \alpha)$. On constate que l'ondulation de courant sera d'autant plus faible que l'inductance sera importante (appelée inductance de lissage). De plus, en augmentant la fréquence de découpage, on diminuera encore cette ondulation. Il faut cependant garder à l'esprit que les pertes par commutation dans l'interrupteur augmentent avec la fréquence (penser à adapter le radiateur à la fréquence de découpage)[9].

II.3.1.2.1. Les formes d'ondes du courant et tension des interrupteurs

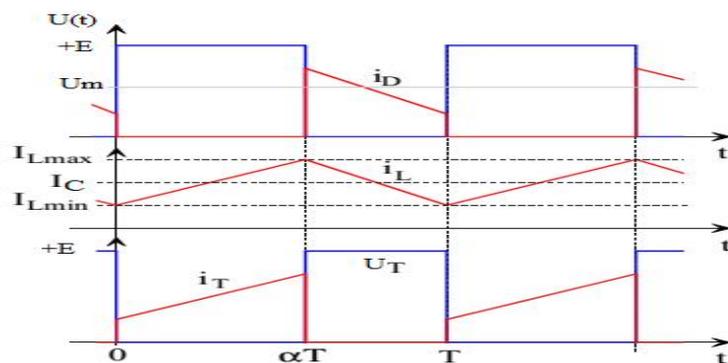


Figure II. 5.: Formes d'ondes en conduction continue.

II.3.1.2.2. Tension et courant de l'inductance

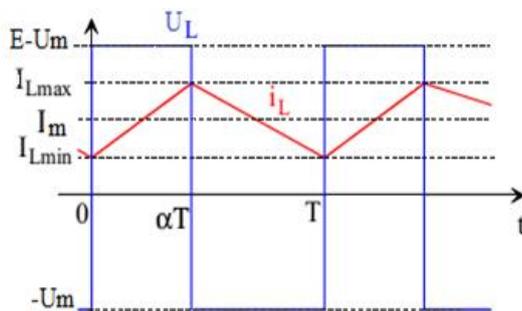


Figure II. 6.: Formes d'ondes pour le calcul de l'ondulation de courant.

II.3.1.3. Relations fondamentales d'électronique de puissance

La valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance est nulle en régime permanent. En

effet, $U_{Lmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T U_L(t).dt = \frac{1}{T} [(E - U_c) \times \alpha T + (-U_c) \times (T - \alpha T)] = -U_c + \alpha E$

On trouve en régime permanent: $U_c = \alpha E$ (II.1)

Pour $t \in [0; \alpha T]$

$$I_L(t) = \frac{E - U_m}{L} t + I_{Lmin}$$
 (II.2)

Pour $t \in [\alpha T; T]$, l'inductance se charge sous $E - U_m$ ($E > U_m$)

$$I_L = I_{Lmax} = \frac{E - U_m}{L} \alpha T + I_{Lmin},$$
 (II.3)

D'où: $\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{E - U_m}{L} \alpha T = \frac{\alpha(1 - \alpha)E}{LF}$ (II.4)

Cette ondulation de courant est maximale pour $\alpha = \frac{1}{2}$ et vaut $(\Delta I_L)_{\max} = \frac{E}{4LF}$; La forme de $\Delta I_L(\alpha)$ est représentée par la figure qui suit:

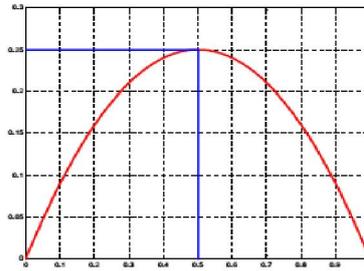


Figure II. 7.: Ondulation de courant en fonction de α .

II.3.2. Hacheur survolteur (ou parallèle)

Dans ce hacheur, la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée, d'où son nom. La source d'entrée est de type courant continu et la charge de sortie continue de type source de tension. Cette structure demande un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage (bipolaire, MOS, IGBT...) et une diode (amorçage et blocage spontanés).

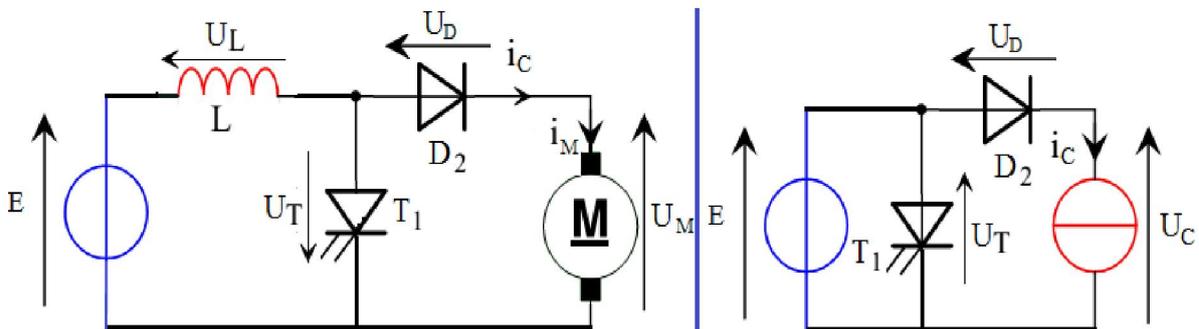


Figure II. 8.: Schéma de principe d'un hacheur parallèle.

II.3.2.1.Principe de Fonctionnement

Le cycle de fonctionnement, de période de hachage $T = 1/f$, comporte deux étapes:

- Lors de la première étape, la source d'entrée fournit l'énergie à l'inductance L. Cette phase dure de $0 < t < \alpha T$, avec α compris entre 0 et 1, α est appelée rapport cyclique.
- Lors de la seconde étape, on bloque le transistor, la diode assure la continuité du courant dans l'inductance. L'énergie emmagasinée dans cette inductance est alors déchargée dans la charge. Cette phase dure de $\alpha T < t < T$.

II.3.2.2.1. La tension et le courant de l'inductance prennent les formes suivantes

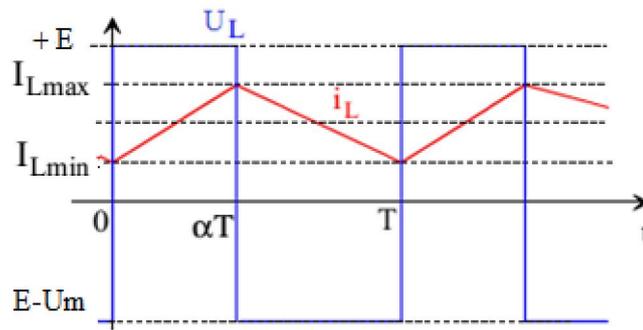


Figure II. 11.: Formes d'ondes pour le calcul de l'ondulation de courant.

II.3.3. Le convertisseur Buck-Boost

II.3.3.1. Définition

Le hacheur inverseur est un convertisseur indirect DC-DC à stockage inductif. La source d'entrée est de type tension continue (filtrage capacitif en parallèle avec une source de tension) et la charge de sortie continue de type source de tension (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K_I peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage).

Le circuit électrique de base du hacheur dévolteur-survolteur, et les caractéristiques du courant et de la tension de charge sont données par la figure qui suit.

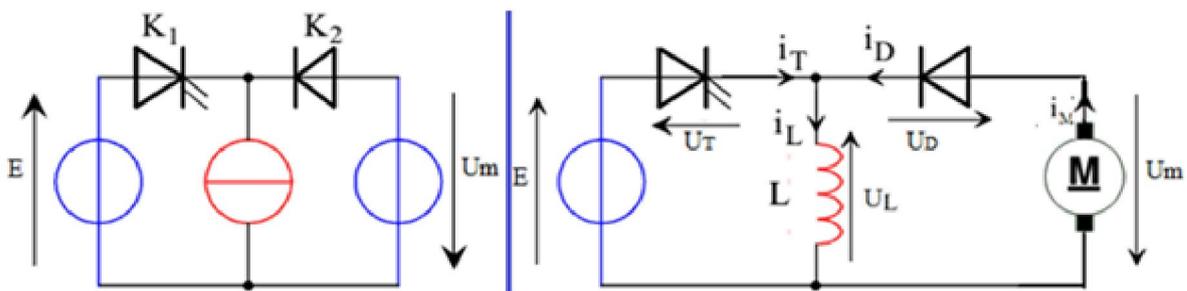


Figure II. 12.: Circuit électrique de base du hacheur survolteur/dévolteur.

Lorsque la source et le récepteur sont capacitifs (source et récepteur de tension), on utilise une self comme élément de stockage.

II.3.3.2.Principe de Fonctionnement

Lorsque le transistor est sur la position (*ON*) le courant dans l'inductance augmente, l'énergie est stockée, et quand le commutateur tourne sur la position (*OFF*). La tension à travers l'inductance est renversée et l'énergie stockée se transfère vers la charge via la diode. Dans ce cas, l'équation de la tension aux bornes de la charge décrivant le fonctionnement en conduction continue est donnée comme suit:

$$U_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} E \quad (\text{II. 7})$$

Durant chaque période T , l'interupteur commandé K conduit pendant αT , la diode D pendant $(1-\alpha)T$. Quand K est passant, le courant I dans l'inductance L augmente (charge); quand D est passante, I diminue (décharge).

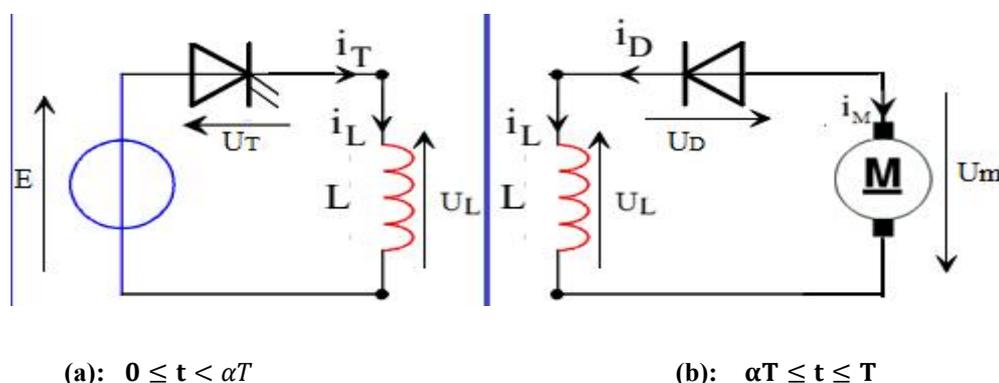


Figure II. 13 : Principe de Fonctionnement.

Pour $0 < t < \alpha T$: K conduit, D est bloquée: l'nductance se charge sous $+ U_S > 0$.

$$i(t) = I_K = I_L ; I_C = 0.$$

$$U_S = U_L = L \frac{di(t)}{dt} \Rightarrow i(t) = i(0) + \frac{U_S}{L} t \Rightarrow i(t) \uparrow \text{linéairement: } \frac{di(t)}{dt} > 0 ; U_K = 0;$$

$$\text{pour } t = \alpha T : \quad i(0) = I_{L\min} \quad \text{donc:} \quad I_L(t) = I_{L\min} + \frac{U_S}{L} t. \quad (\text{II. 8})$$

pour $\alpha T < t < T$: K bloqué, D conduit : l'nductance se charge sous $- U_C (U_C < 0)$.

$$i(t) = I_C = I_D ; I_S = 0.$$

$$U_C = -U_L = -L \frac{di(t)}{dt} \Rightarrow i(t) = i(\alpha T) - \frac{U_C}{L} (t - \alpha T) \Rightarrow i(t) \downarrow \text{linéairement: } \frac{di(t)}{dt} < 0 ; U_D = 0;$$

pour $t = T$: $i(\alpha T) = I_{Lmax}$ donc: $I_L(t) = I_{Lmax} - \frac{U_C}{L} (1 - \alpha)T$. (II. 9)

En remarquant qu'en régime établi $i(T) = i(0)$, on obtient:

$$U_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} U_S \tag{II. 10}$$

Si α varie de 0 à 1 théoriquement de 0 à l'infini.[10]

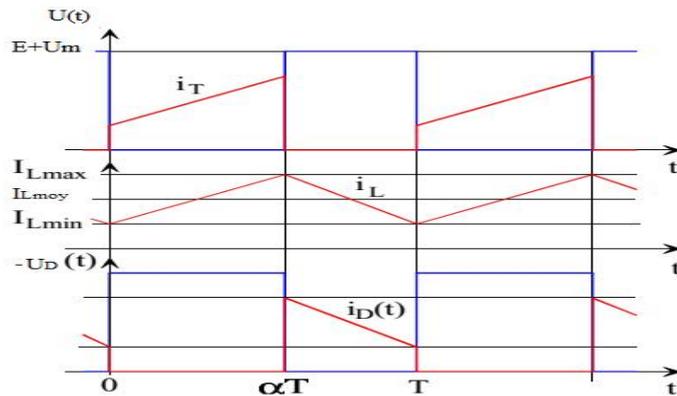


Figure II. 14.: Forme du courant et tension en conduction continue.

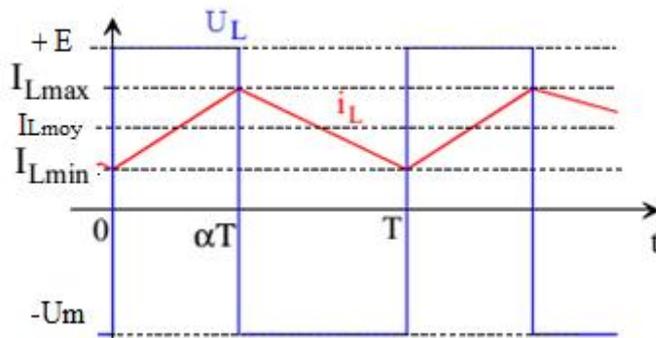


Figure II. 15.: Tension et courant de l'inductance.

II.3.3.3.Relation fondamentale de l'électronique de puissance

La valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance est nulle en régime permanent.

$$U_{Lmoy} = 0 :$$

$$U_{Lmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T U_L(t) \cdot dt = \frac{1}{T} [(+U_S) \times T + (-U_S) \times (T - \alpha T)] = +U_E \cdot \alpha - U_S(1 - \alpha)$$

Donc en régime permanent: $U_S = \frac{\alpha}{1-\alpha} U_E$. (II. 11)

II.3.4.Hacheurs réversibles

II.3.4.1.Présentation

Les structures des hacheurs précédentes ne sont pas réversibles et ne permettaient pas de faire remonter de l'énergie depuis la sortie vers l'entrée, L'énergie va donc toujours de la source vers la charge. Il est possible de modifier ces dispositifs pour inverser le sens de parcours de l'énergie. Ainsi, une source peut devenir une charge et inversement. Ce type de comportement se rencontre usuellement dans les systèmes électriques. Ainsi, un moteur en sortie d'un hacheur représente une charge. Cependant, si on veut réaliser un freinage, le moteur va devenir une génératrice, ce qui va entraîner un renvoi d'énergie à la source qui est plus astucieux qu'un simple freinage mécanique. Ceci à cause de la non réversibilité des interrupteurs utilisés. En remplaçant K et D par des cellules de commutation réversibles, le hacheur permet d'avoir un courant de sortie positif ou négatif. Dans ce système, le changement du sens de parcours de l'énergie est lié au changement de signe du courant alors que la tension reste de signe constant.

II.3.4.2.Définition

Un hacheur est réversible s'il permet de commander le transfert d'énergie dans les deux sens. D'après la nature des sources entre lesquelles il est placé et là ou les grandeurs qu'il permet d'inverser, il existe plusieurs types de hacheurs réversibles:

- hacheur 2 quadrants réversible en courant.
- hacheur 2 quadrants réversible en tension.
- hacheur 4 quadrants réversible courant et tension.

II.3.5.Hacheur 2 quadrants réversible en courant

II.3.5.1.Principe

Un hacheur deux quadrants associe un hacheur série et un hacheur parallèle. Il est réversible en courant mais pas en tension; l'énergie est transférée de la source de tension continue vers la source de courant continu si $I_S > 0$, et réciproquement si $I_S < 0$. L'alimentation ($U_E > 0$) doit être réversible en courant.

Cette fois, I_T peut être positif ou négatif. Il n'y aura plus de phénomène de conduction discontinue et de l'impossibilité pour le courant de changer de signe. Simplement, suivant le sens du courant, l'un ou l'autre des composants assurera la conduction [8].

II.3.5.2. Structure du hacheur série réversible en courant

C'est la structure du hacheur série classique par des interrupteurs réversibles en courant avec modification de la charge. En prenant une MCC qui peut, sous tension constante, fonctionner en génératrice ou en moteur est donné par la figure II.16.

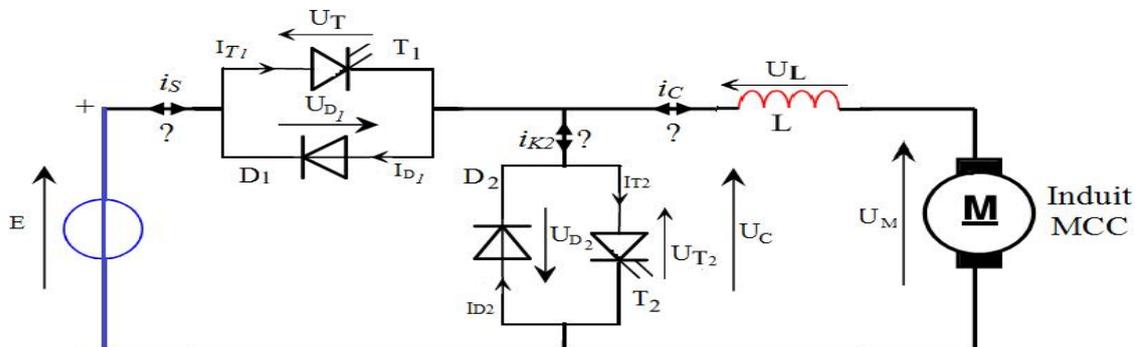


Figure II. 16.: La structure du hacheur série réversible en courant.

II.3.5.3. Principe de Fonctionnement

On effectue une commande complémentaire des interrupteurs électroniques de telle manière que l'on ait:

- T_1 fermé ou D_2 passante, et T_2 ouvert et D_1 bloquée, pendant αT , puis
- T_1 ouvert et D_2 bloquée, et T_2 fermé ou D_1 passante, pendant $(1 - \alpha)T$.

On obtient alors le schéma équivalent suivant Figure II.17.

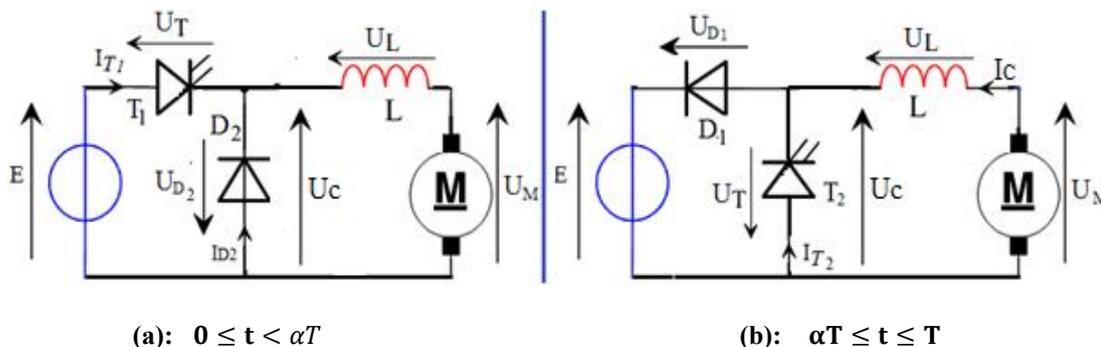


Figure II. 17. : Principe de Fonctionnement.

a): $0 \leq t < \alpha T$:

T_1 est fermé et T_2 ouvert. On a : $U_C = E$ et $I_T = I_C$.

b): $\alpha T \leq t \leq T$

T_1 est ouvert et T_2 fermé. On a : $U_C = 0$ et $I_T = 0$.

D'où :

$$U_{Cmoy} = \alpha E \text{ et } I_{Tmoy} = \alpha I_C$$

$$P_{Emoy} = E \cdot I_{Tmoy} = \alpha E \cdot I_C = U_{Cmoy} \cdot I_C = P_{Cmoy}$$

Deux quadrants ($E > 0$)	$I_C > 0$	$I_C < 0$
$0 < \alpha < 1 \Rightarrow U_{Cmoy} > 0$	$P_{Emoy} = P_{Cmoy} > 0$	$P_{Emoy} = P_{Cmoy} < 0$

Si $P_{Emoy} = P_{Cmoy} > 0$, alors la source de tension fournit de l'énergie à la source de courant, et réciproquement si $P_{Emoy} = P_{Cmoy} < 0$.

Remarques

- On pourrait envisager des commandes séparées du hacheur série et du hacheur parallèle, mais seule la commande complémentaire décrite ici assure la continuité du réglage de U_{Cmoy} quel que soient le sens et la valeur de I_C
- On obtient les mêmes formules que pour le hacheur série, mais le courant I_C peut être positif ou négatif avec le hacheur deux quadrants, alors qu'il ne peut être que positif avec le hacheur série[6].

II.3.5.4. Diagramme de courant à chaque cellule

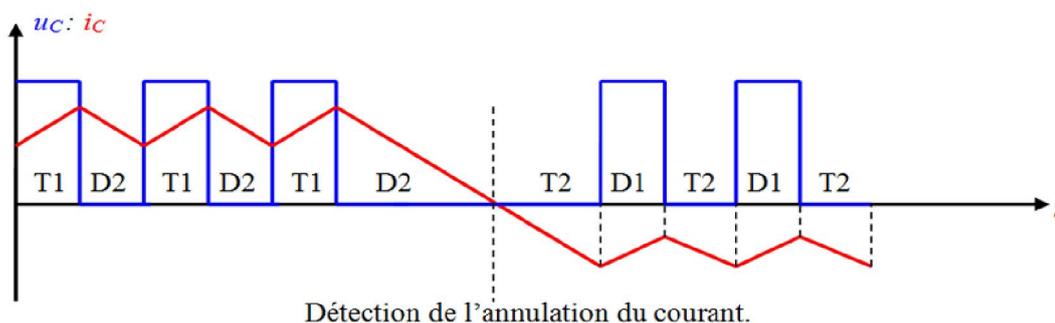
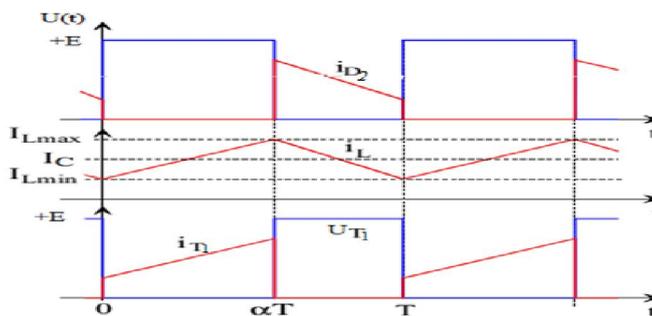


Figure II. 18. : Courant et tension de sortie.

(a): T_1 fermé et D_2 passant:



(b): T_2 fermé et D_1 passant:

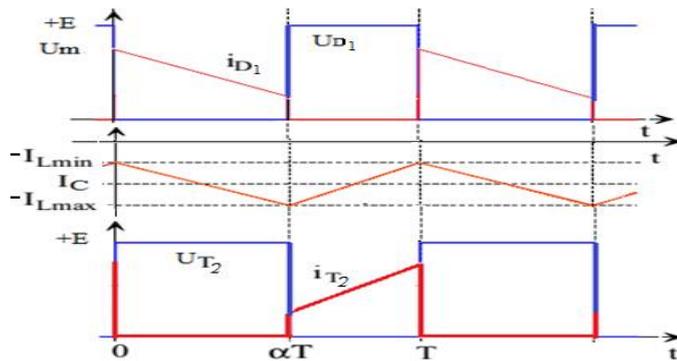


Figure II. 19. : Courant et tension pour les interrupteurs.

II.3.6. Etude de hacheur réversible de tension

La structure d'un hacheur réversible de tension est sous forme d'un pont H contient deux interrupteurs électroniques et deux diodes, chaque interrupteur est en série à une diode et la charge met entre les deux interrupteurs [7].

La tension appliquée à la charge peut prendre les valeurs $+E$ ou $-E$, ce qui permet, suivant la valeur du rapport cyclique de donner une valeur moyenne de tension de sortie positive ou négative. En revanche, le courant doit rester de signe constant dans la charge, car les interrupteurs ne sont pas réversibles.

II.3.6.1. Schéma du montage

La charge est formée par une machine à courant continu en série avec une inductance, destinée à limiter l'ondulation de courant dans la machine. La machine fonctionne sous un courant toujours de même signe.

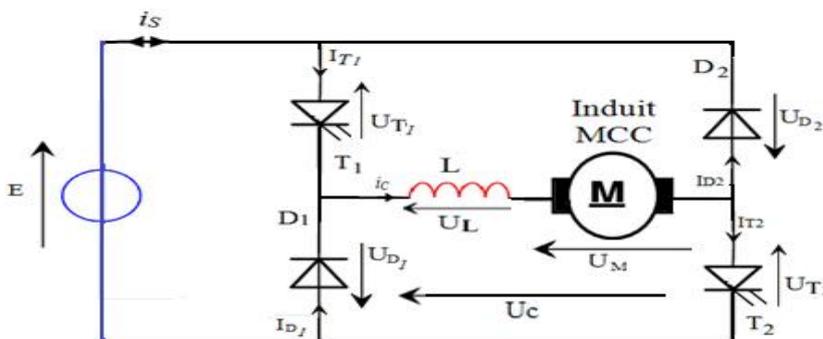


Figure II. 20.: La structure du hacheur série réversible en courant.

- T_1 et T_2 : fonctionnement de hacheur même commutation.
- D_1 et D_2 : fonctionnement de hacheur l'absence de commutation.

II.3.6.2.Principe de fonctionnement

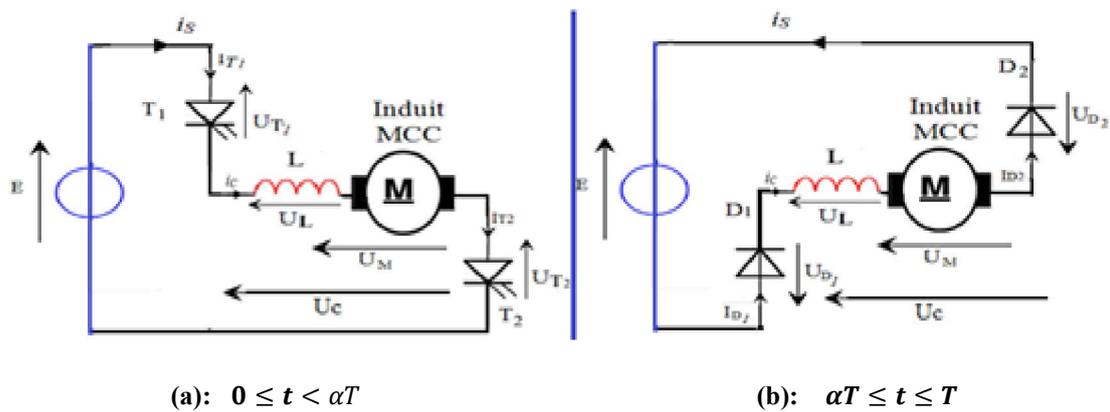


Figure II. 21. : Principe de Fonctionnement.

Manière de fonctionnement du pont est complémentaire c'est-à-dire en présence de commutation les interrupteurs conduisent et les diodes sont bloquées, pendant l'absence de la commutation les interrupteurs seront bloqués et les diodes conduisent.

- La variation de tension commutation par le rapport cyclique produit une réversibilité de tension de la façon suivant:
 - Si $(\alpha > 1/2)$ on aura une tension positive,
 - Si $(\alpha < 1/2)$ on aura une tension négative,
 - Si $(\alpha = 1/2)$ la tension obtenue est nulle.

II.3.6.3.Diagramme de tension réversibilité et courant

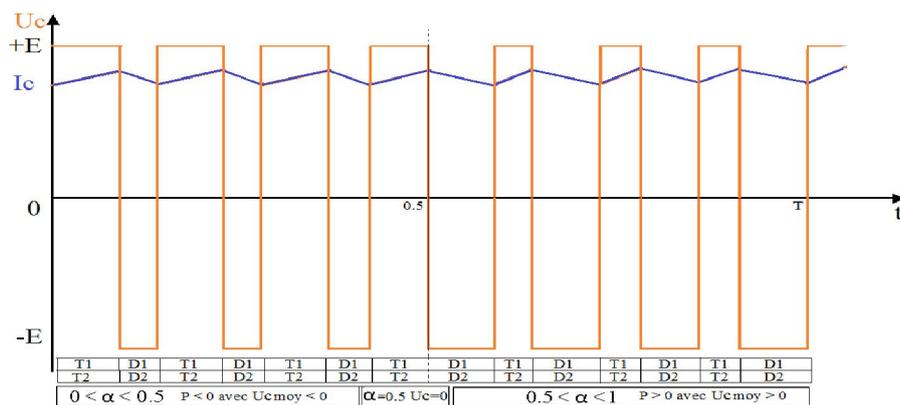


Figure II. 22.: Diagramme de tension et courant du hacheur réversible de tension.

II.3.6.4.L'expression de la tension d'un hacheur réversible en tension

Calculons la valeur moyenne de:

$$U_{C\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T E(t) dt = \frac{1}{T} \cdot (\alpha T \times E + (1 - \alpha) T \times (-E)) = (2\alpha - 1)E. \quad (\text{II. 12})$$

La loi des mailles donne par ailleurs:

$$U_C = U_L + U_M \quad U_{C\text{moy}} = U_{L\text{moy}} + U_{M\text{moy}}$$

La valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine étant toujours nulle en régime périodique ($U_{L\text{moy}} = 0$), en identifiant les résultats nous avons:

$$U_{C\text{moy}} = U_{M\text{moy}} = (2\alpha - 1)E \quad (\text{II. 13})$$

II.3.7.Hacheur réversible en tension et en courant

On reprend la structure du hacheur réversible en tension que nous venons de donner en remplaçant les interrupteurs par des interrupteurs réversibles en courant. Dans ce cas, le courant dans la charge peut changer de signe. Comme pour le hacheur simplement réversible en courant, ce sera la diode ou le transistor qui sera passant, suivant le signe du courant dans l'interrupteur. On obtient donc la structure représentée dans la figure suivante.

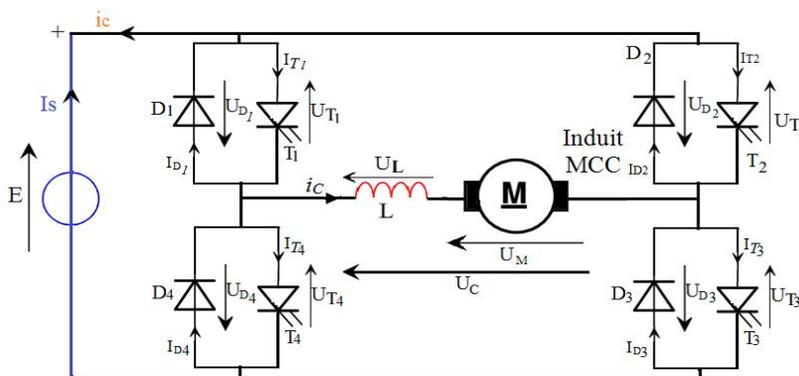


Figure II. 23. : Schéma de principe du hacheur réversible en tension et en courant.

Cette fois, la tension moyenne de sortie et le courant moyen de sortie peuvent être positifs ou négatifs. La source et charge peuvent avoir leurs régimes inversés suivant le signe de ces grandeurs.

II.3.7.1.Stratégie de commande

- Les interrupteurs T_1 et T_3 sont commandés simultanément avec la période T . Ils sont commandés à la fermeture pour $t \in [0; \alpha T]$ et ouverts le reste de la période.
- Les interrupteurs T_2 et T_4 sont commandés simultanément avec la période T . Ils sont commandés à la fermeture pour $t \in [\alpha T; T]$ et ouverts le reste de la période.

c) En jouant sur la fréquence de commutation des transistors, il est possible de faire varier la vitesse et le sens de rotation du moteur en limitant plus ou moins la puissance fournie au moteur. La commande des interrupteurs est du type complémentaire.

II.3.7.2.Principe de fonctionnement

Deux modes de fonctionnements:

a) fonctionnement moteur (sens positif ou négatif)

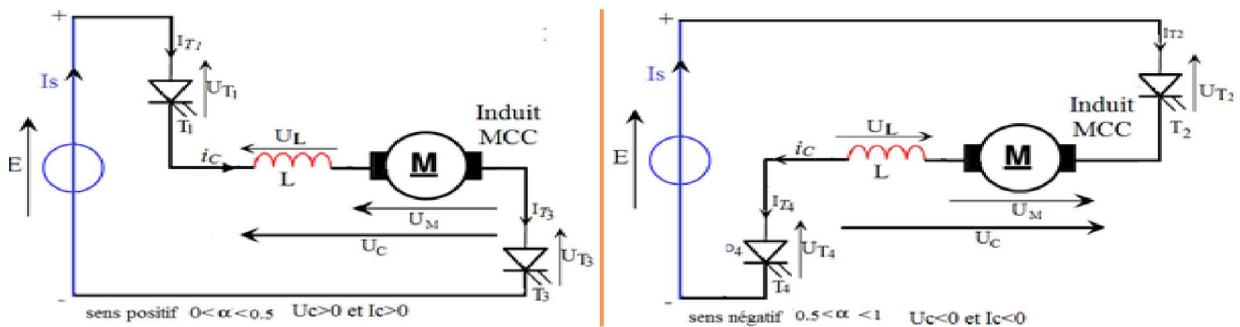


Figure II. 24. : Schéma de principe de fonctionnement en mode moteur.

b) fonctionnement génératrice (sens positif ou négatif)

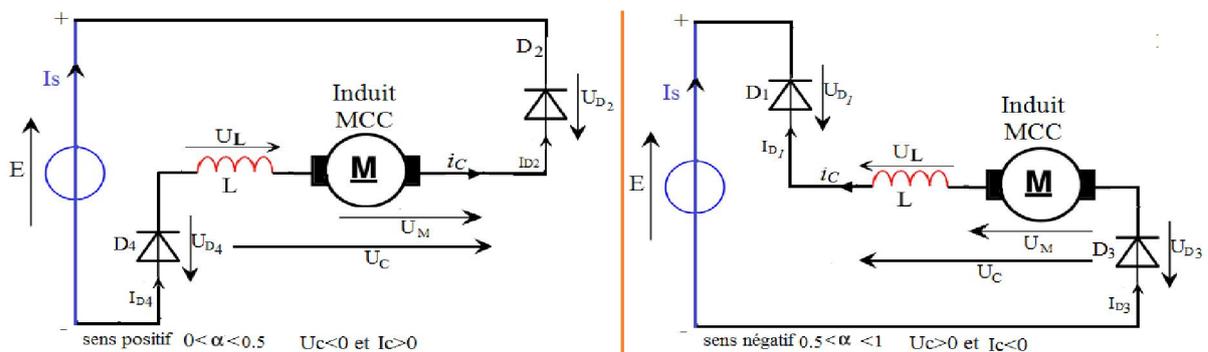


Figure II. 25.: Schéma de principe de fonctionnement en mode génératrice.

II.3.7.3.Diagramme de tension et courant

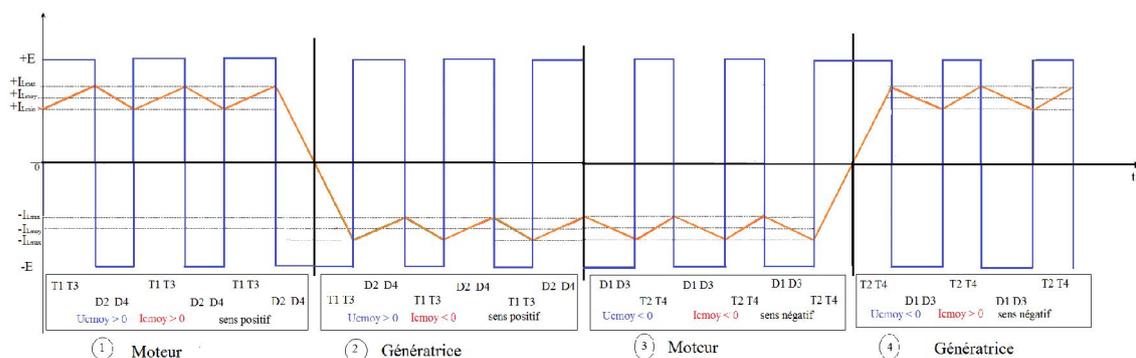


Figure II. 26.: Diagramme de tension et courant du hacheur réversible en tension et en courant.

La valeur moyenne de tension U_{Cmoy} aux bornes de la charge:

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T E dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\alpha T} E dt + \int_{\alpha T}^T -E dt \right]$$

On trouve donc $U_{Cmoy} = (2 \cdot \alpha - 1) \cdot E$ (II. 14)

Quand α varie de 0 à 1; U_{Cmoy} varie de $+E$ à $-E$.

En fonction de la relation suivante : $P_E = P_{Cmoy} \rightarrow E \cdot I_S = U_{Cmoy} \cdot I_{Cmoy}$

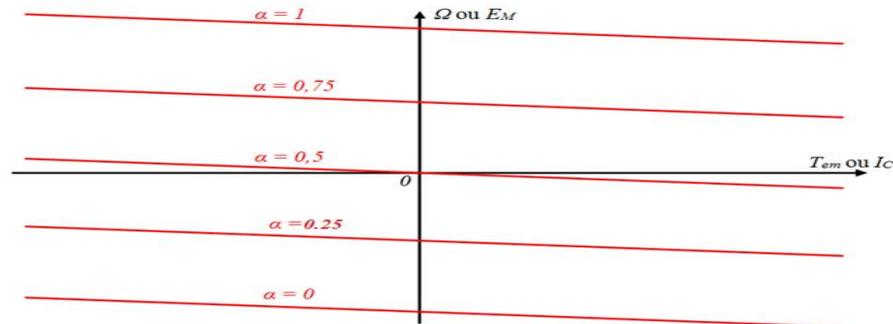
On trouve $I_{Cmoy} = \frac{1}{(2 \cdot \alpha - 1)} I_S$ (II. 15)

II.3.8. Inconvénients

- deux fois plus de commutations par période.
- variation de la tension de sortie U_C deux fois plus grande, ce qui augmente l'ondulation du courant I_C .

II.3.9. Avantages

- ✓ inversion rapides de la tension et du courant \Rightarrow la figure ci-dessous montre comment α déplace les caractéristiques $E = f(I)$ ou $\Omega = f(\Gamma)$.



II.3.10. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les différents types d'hacheurs les plus répandus, en détaillant leurs différentes équations qui les régissent. A partir de l'étude théorique une illustration du fonctionnement de chacun d'eux dans les différents quadrants a été faite. Sachant que l'hacheur quatre quadrants est le plus complet du point de vue régimes fonctionnement et flexibilité, notre étude sera plus consacrée pour ce type d'hacheur dans les prochains chapitre de point de vue réalisation et test expérimentaux pour hacheur quatre quadrant .

Chapitre III

simulation et implantation

III.1. Introduction

Dans Cette partie, on a fait la réalisation finale d'une maquette avec validation expérimentale. La réalisation finale constitue la partie cruciale permettant rédaction d'un rapport du projet. Les pré-requis nécessaires sont la connaissance du fonctionnement des différentes structures de l'hacheur, les notions de réversibilité et les caractéristiques de fonctionnement dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse.

Le but du projet est d'élaborer la commande éloignée, la commande rapprochée et la structure de puissance d'un hacheur à quatre quadrants ayant la possibilité d'asservir le système. Notre démarche débute par la construction des signaux élémentaires de *MLI* analogiques employant un circuit spécialisé (*UC 3637*), qui est dédié à la commande des *DC* moteur.

Cette réalisation pratique est destinée à mettre en évidence une commande *MLI* pour la variation de vitesse d'un moteur à courant continu à travers un hacheur quatre quadrants. Ce prototype sera utilisé à des fins de travaux pratiques pour la matière commande des machines.

Dans ce chapitre, nous allons réaliser les circuits des différents blocs et les étapes suivies nous a permis de mener à finaliser ce prototype. Tous les circuits ont été testés par simulation sur "*ISIS PROTEUS*" avant d'être concrétisés pratiquement.

III.2. Matériels utilisés

III.2.1. Aperçu sur le logiciel " *Protéus* : *ISIS – ARES* "

Le *Proteus* est une suite de logiciel destiné à l'électronique développée par la société labo center électronique. Les logiciels inclus dans "*Protéus*" permettent la *CAO* dans le domaine d'électronique. Outre la popularité de l'outil *Protéus* , ce dernier possède d'autres avantages.

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et à utiliser,
- Le support technique est performant,

Les deux logiciels principaux qui nous intéressent sont:

- Le logiciel «*ISIS*» est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui nous permet de déceler certains erreurs dès l'étape de conception.

Indirectement, les circuits conçus en employant ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car il permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

- Le logiciel «*ARES*» est un outil d'édition et de routage qui, à partir du circuit simulé sur «*ISIS*», permet de placer les composants et de réaliser le routage automatiquement. Ce circuit imprimé est plus performant s'il est réalisé en sélectionnant, dans l'outil «*ARES* », le mode manuel. Cette partie du travail est la plus importante car elle demande de la concentration et un savoir-faire qui est obtenu avec le temps et surtout avec la pratique [13].

III.2.2. Utilisation d'un circuit intégré spécialisé

Ces circuits conçus par des spécialistes et produits en grande série tiennent dans un volume minimal, présentent une fiabilité éprouvée et un prix souvent très faible en raison de la concurrence sévère du marché. Ils demandent tous l'ajout de composants discrets extérieurs pour fixer les paramètres de fonctionnement. La tâche la plus difficile reste le choix du composant qui convient le mieux à notre application parmi l'ensemble des circuits présents dans les documentations de nombreux fabricants. Le premier critère de choix est la topologie de convertisseurs visée, ensuite le mode de fonctionnement du circuit. Dans notre cas le choix s'est porté sur un circuit spécialisé pour la commande de moteur à courant continu (switched mode Controller for *DC* motor drive) de chez Unitrode le *UC3637*. Sa fréquence de commande est fixe et le rapport cyclique $\alpha = t_{on}/T$ variable et évolue en fonction du signal d'erreur.

III.2.2.1. Simulation pour les deux signaux MLI et MLI complémentaire

Le câblage de cette fonction est illustré sur la figure suivant.

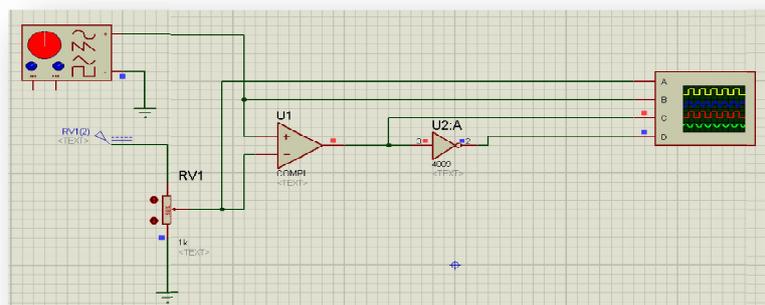


Figure III. 1.: Génération analogique des signaux de commande MLI et MLI Complémentaires.

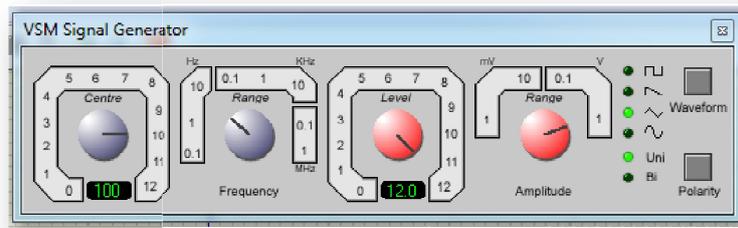


Figure III. 2.: Générateur des signaux.

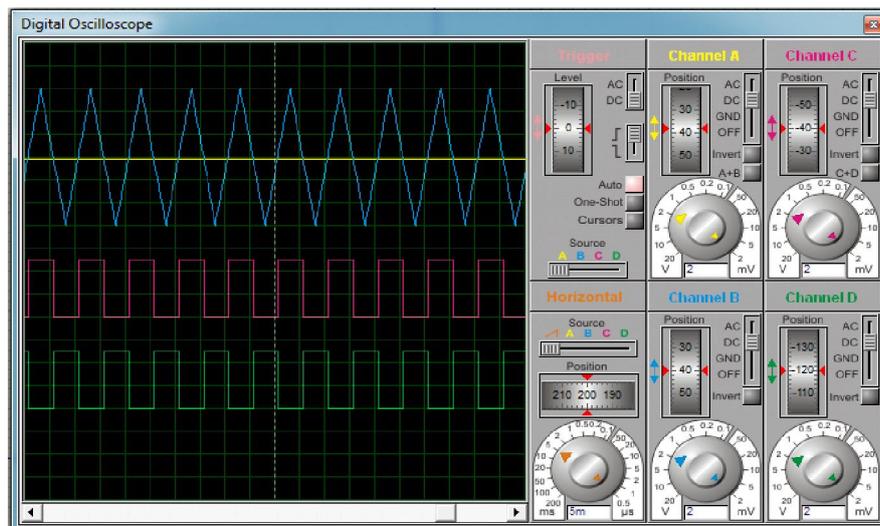


Figure III. 3.: Visualisation des signaux de simulation.

III.2.3. Commande rapprochée

Cette partie joue le rôle d'interface entre la commande éloignée et les interrupteurs de puissance afin d'assurer l'isolation galvanique ou une adaptation en tension, une amplification en courant, le tout avec un retard à la transmission du signal de commande le plus faible possible. Le critère de choix essentiel pour ces circuits d'interfaces est le type d'isolations effectuées:

- Par transformateurs d'impulsions fonctionnant en haute fréquence (exemple: modules de la société *Semikron* série *SKIxx*),
- Par opto-coupleurs (exemple: circuits intégrés de la société Hewlett Packard: HCPL 3100,..)
- Par transfert de potentiel ou pseudo-isolée (exemple : circuits intégrés de la société International Rectifier dans la série *IR21xx*).

C'est cette dernière solution qui est mise en œuvre dans notre réalisation à l'aide du circuit intégré *IR2110*.

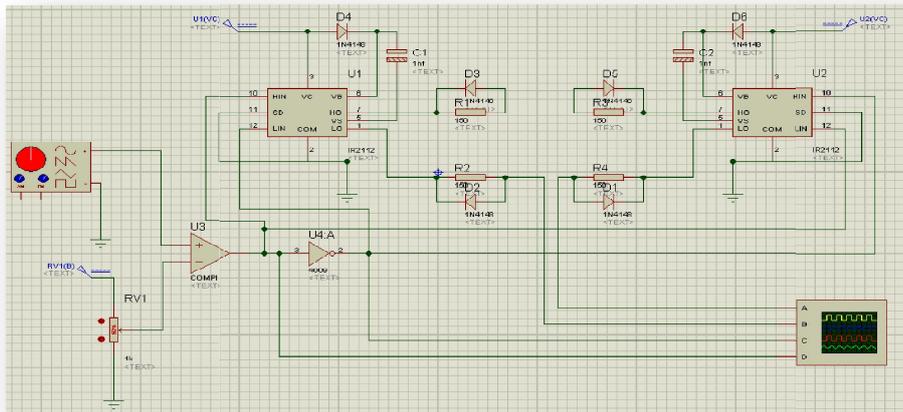


Figure III. 4.: Circuit de simulation pour la carte de commande.

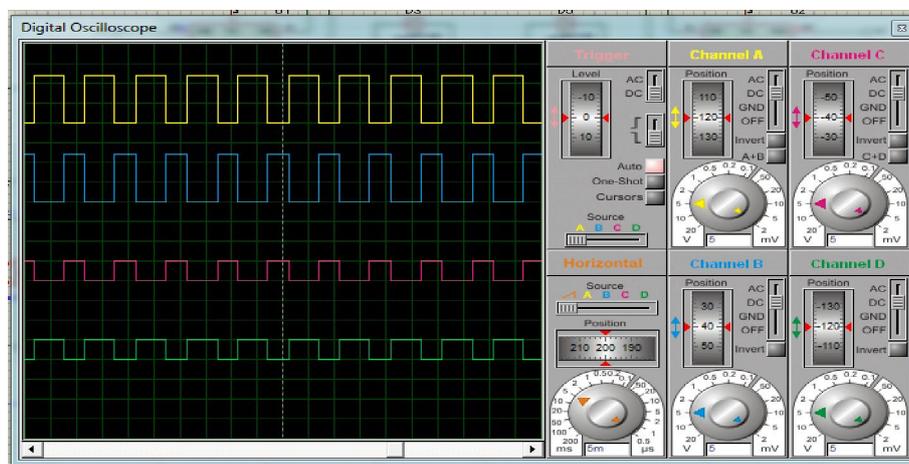


Figure III. 5.: Visualisation des signaux d'entrée et de sortie par simulation.

III.2.4. Hacheur en pont

Si la puissance et la tension d'utilisation sont faibles en sortie il est possible d'utiliser des ponts complets intégrés tel que les composants *L620X* de chez *STMicro Electronics* ou la série *UC3770X* chez Unitrode. Dans tous ces cas, la tension d'alimentation de la puissance n'excède pas $50V$ pour un courant de sortie maximal de l'ordre de $5A$. Pour notre application pédagogique, ces grandeurs sont insuffisantes. Nous avons choisi d'utiliser des modules à base de 2 IGBTs de la société *Toshiba* chacun d'eux constitue un bras complet, référencé *MG50J2YS50*, avec pour caractéristiques principales:

$$V_{ces} = 600V, I_c = 50A, t_{on} = 0.4\mu s \text{ et } t_{off} = 0.5\mu s.$$

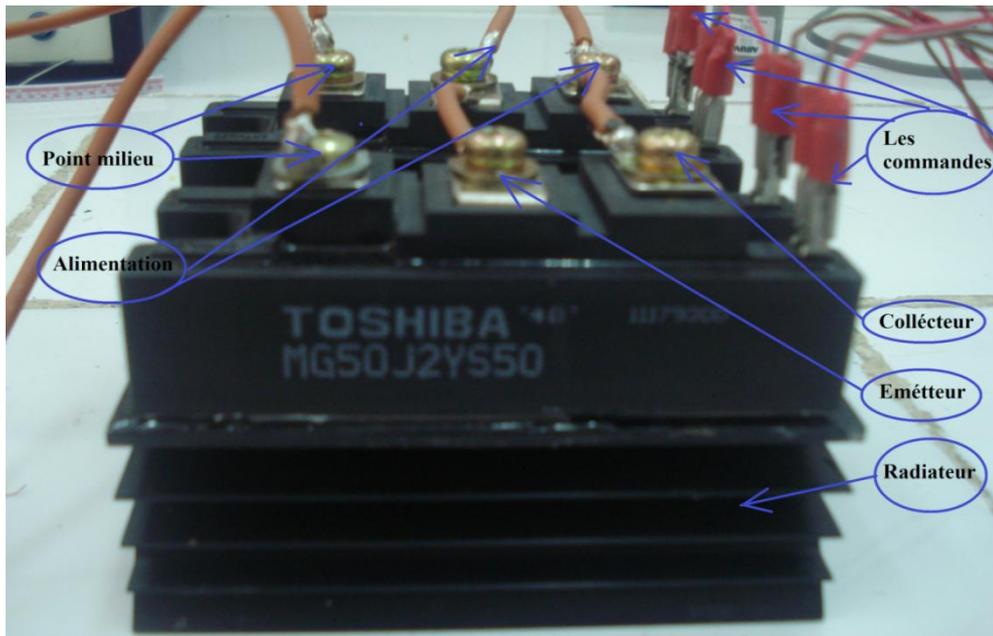


Figure III. 6.: Hacheur en pont H à base de 2 IGBT de la société Toshiba.

III.2.4.1. Hacheur à base des IGBT

Le transistor bipolaire à grille isolée (*I.G.B.T.*) est un nouveau composant semi conducteur de puissance, qui est né dans les années **1985**, suite à la recherche des électroniciens de puissance pour développer sur la même structure un composant qui rassemble les avantages du transistor bipolaire (chute de tension faible en conduction, tension blocable élevée, rapport coût / puissance commutée convenable) et ceux du transistor *MOSFET* (commande en tension et vitesse élevée de commutation). Il en résulte un transistor commandable en tension, avec une chute de tension en conduction inférieure à celle du *MOSFET* mais supérieure à celle du bipolaire et une vitesse de commutation moins élevée que pour le *MOSFET*, mais plus élevée que pour le bipolaire.

L'amélioration des performances (calibres, chute de tension, vitesse de commutation) de l'*IGBT* a été spectaculaire. Nous sommes déjà à la troisième génération des IGBT. Par exemple si la première génération d'*IGBT* lancée sur la marché par *TOSHIBA* Electronique en **1985** a eu les caractéristiques $V_{CES}=1000V$, $V_{CE-sat}=3V$ et $t_f=0,45ms$, les générations suivantes représentent un progrès évident. La deuxième génération est structurée sur deux types d'*IGBT*: les uns à vitesse élevée de commutation et tension de saturation plus grande et les autres à basse tension de saturation mais plus lents. Généralement les *IGBT* individuels ou les modules *IGBT* à vitesse élevée de commutation sont construits pour les calibres:

$V_{CES} = 600V$ ou $1200V$; I_C dans l'intervalle (15-800) A et ceux à basse tension de saturation pour: $V_{CES} = 600V$ ou $1200V$; I_C dans l'intervalle (25-500) A. On s'aperçoit que la troisième génération, grâce aux nouvelles technologies (*NPT*-non-punth trough technologie – dit "homogène") a réussi à donner des *IGBT* qui ont les deux qualités en même temps. On doit souligner qu'actuellement les tendances du développement des *IGBTs* sont dans les directions de:

- l'augmentation de la puissance commutée,
- la réduction de la tension de saturation $V_{CE sat}$,
- la croissance de la vitesse de commutation,
- la création des commandes intelligentes intégrées.

Avec l'augmentation de sa tenue en tension et de la puissance commutée, l'*IGBT* commence à remplacer le thyristor et le *GTO*. Les avantages de tels convertisseurs sont la fréquence plus élevée de fonctionnement, donc de dimensions plus réduites et la possibilité de commande en tension. Il en résulte le schéma électrique plus simple et plus fiable et coût total du convertisseur moindre.

III.3. Simulation du pont quatre quadrants sous ISIS

La simulation sous *ISIS* ne demande pas de programmation mais elle demande plutôt de connaître les composants électroniques qui se trouvent dans une bibliothèque organisée selon leur types, constructeurs et les normes de support des tensions et courants.

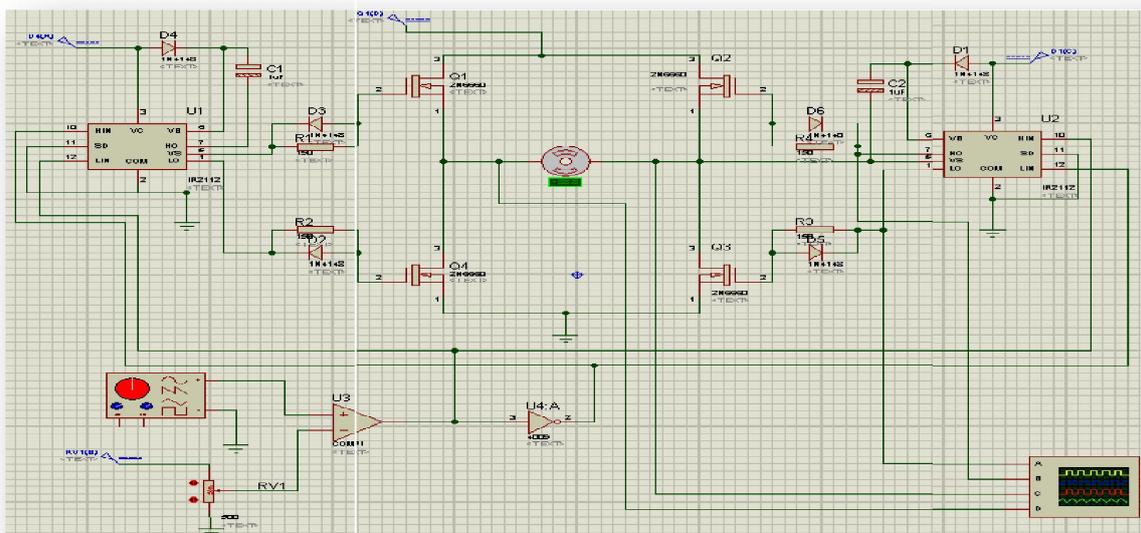


Figure III. 7.: Circuit de simulation du pont quatre quadrants.

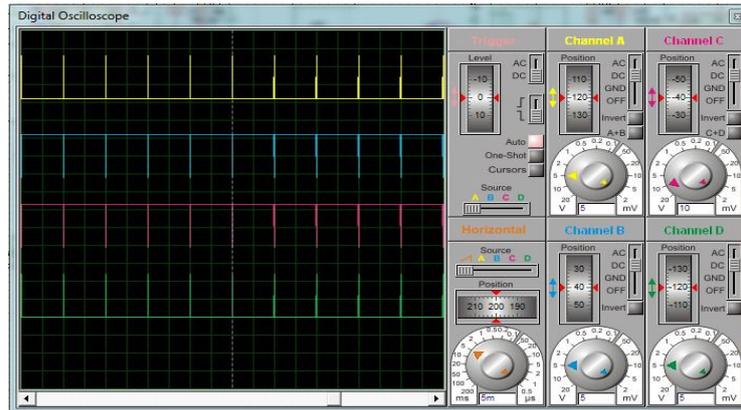


Figure III. 8.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 1$.

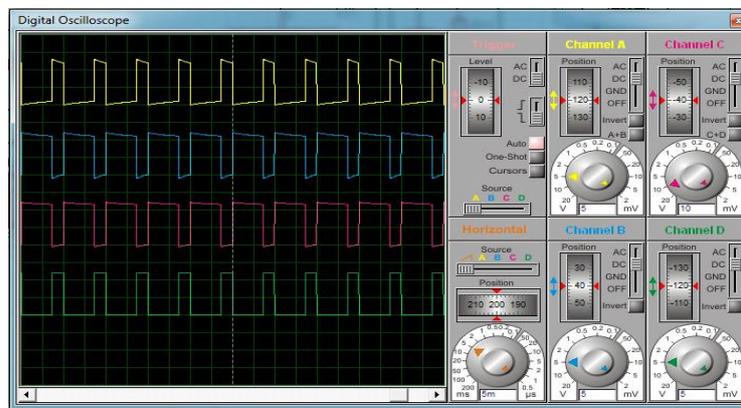


Figure III. 9.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0.75$.

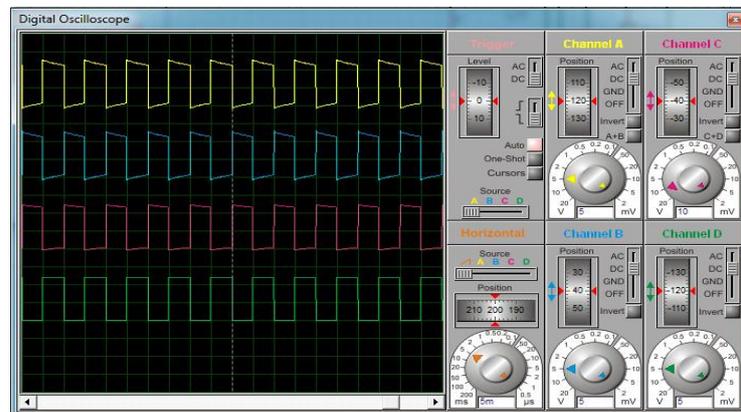
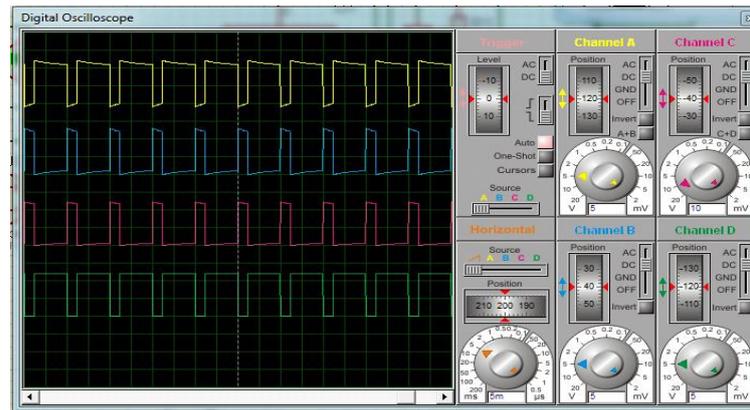
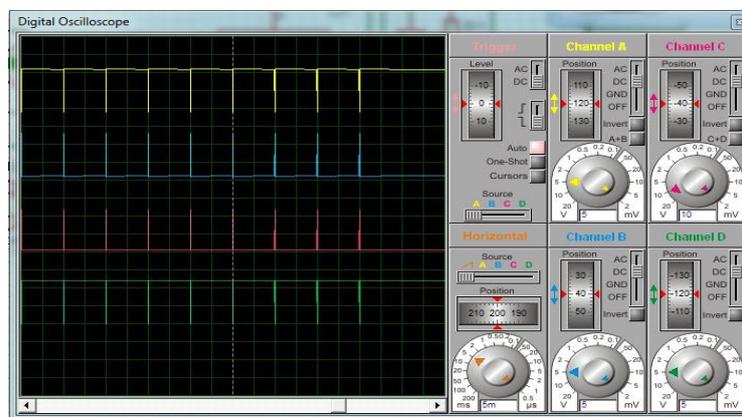


Figure III. 10.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0.5$.

Figure III. 11.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0.25$.Figure III. 12.: Les signaux de sortie pour $\alpha = 0$.

III.4. Schéma globale de carte de commande

Après la réalisation et l'assemblage des différentes cartes de l'hacheur et son dispositif de commande, nous allons maintenant voir les résultats obtenus par des essais pratiques. Chaque application était simulée sur micro ordinateur par le logiciel *PROTEUS* puis vérifiée pratiquement. Les résultats obtenus seront donc illustrés et comparés.

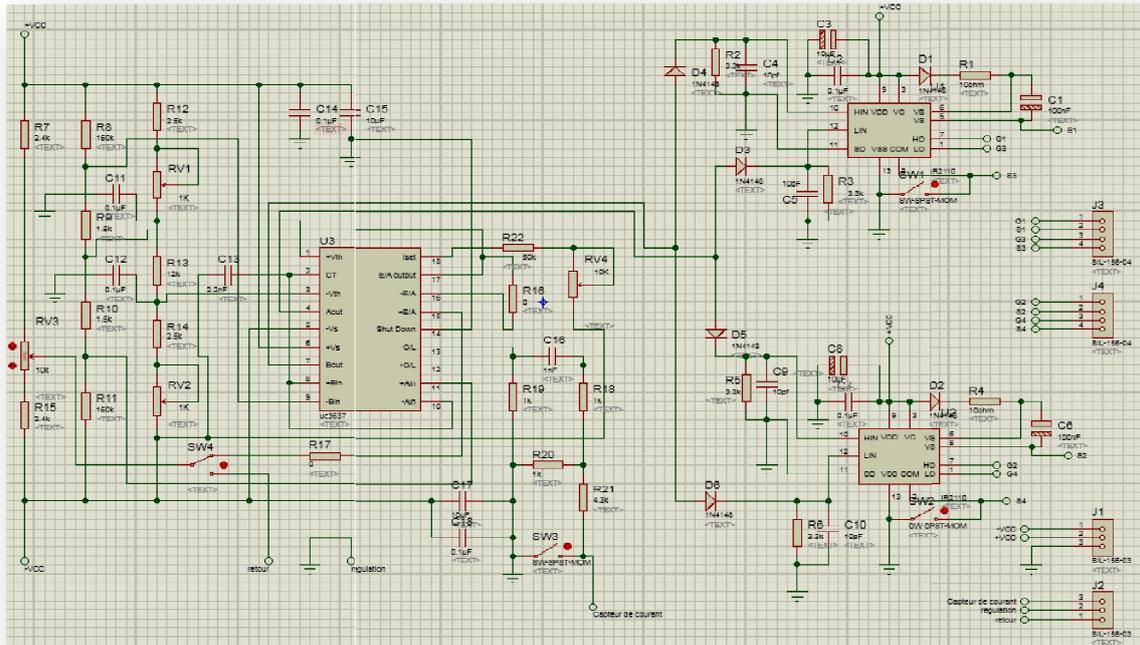


Figure III. 13.: La carte de commande sur ISIS.

III.5. Logiciel ARES

Pour mettre en évidence nos études, nous allons réaliser la carte de commande sur une carte imprimée, et implanter tous les composants. La conception de la carte imprimé nécessite un logiciel spécifié pour l'impression des cartes. Nous avons utilisé le logiciel **ARES** (version 7.6). Il permet de faciliter la mise en place des composants de la carte de commande sur deux méthodes, automatique et manuelle et par la suite, il permet d'afficher la carte de circuit en 3D.

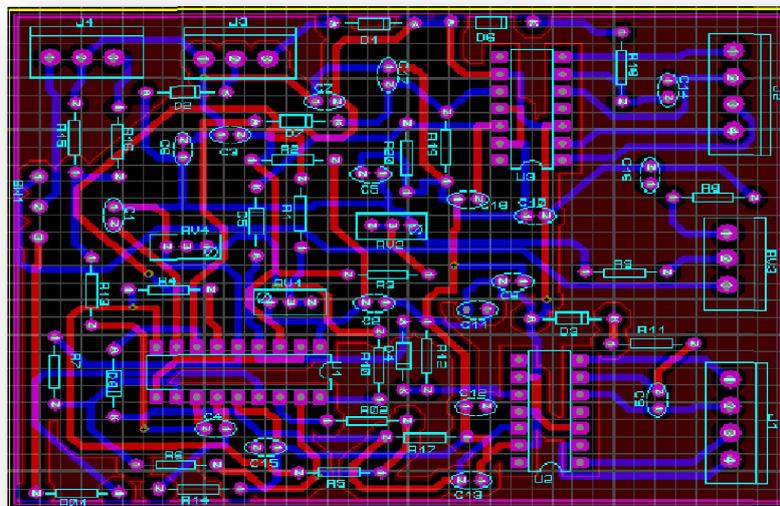


Figure III. 14.: La carte de commande sur ARES.

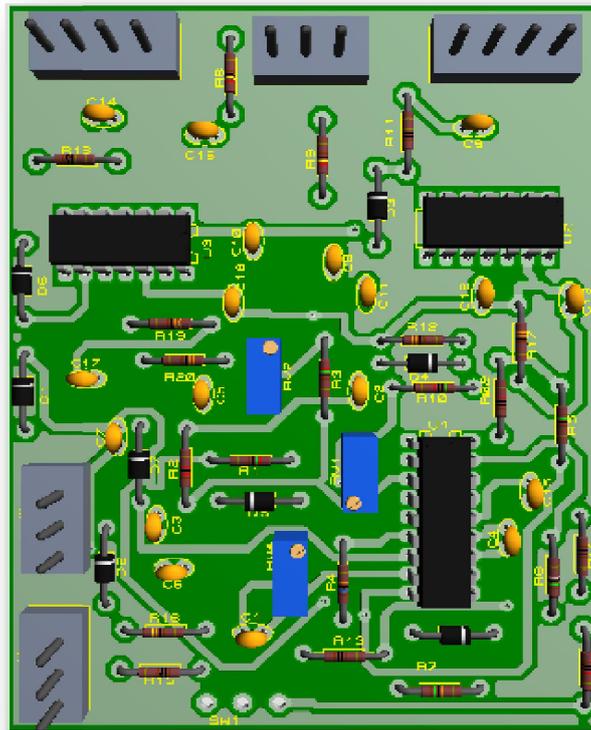


Figure III. 15.: La carte de commande sur ARES en 3D.

III.6. Résultats pratiques

III.6.1. Les signaux d'entrée de l'UC3637

Le signal triangulaire sur les pattes 8 et 10 et aux bornes de la capacité C_T est montré par la figure suivante:

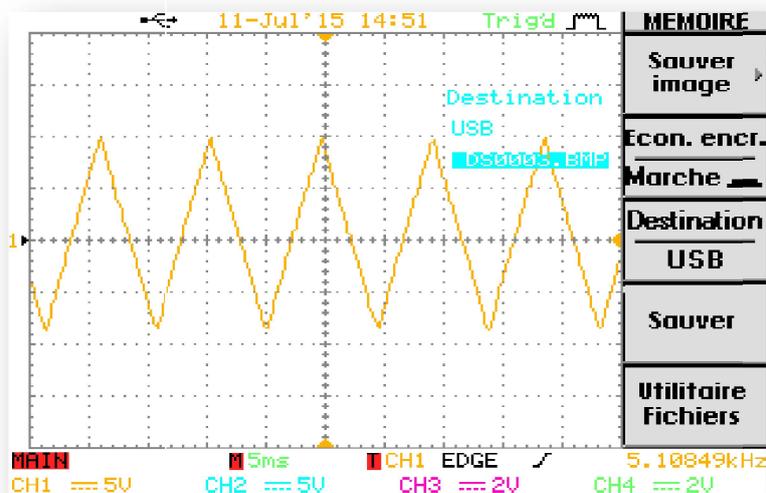


Figure III. 16.: Le signal triangulaire.

Les deux signaux sur les pattes 9 et 11 qui fait la comparaisant avec le signal triangulaire sont montrés par la figure suivante:

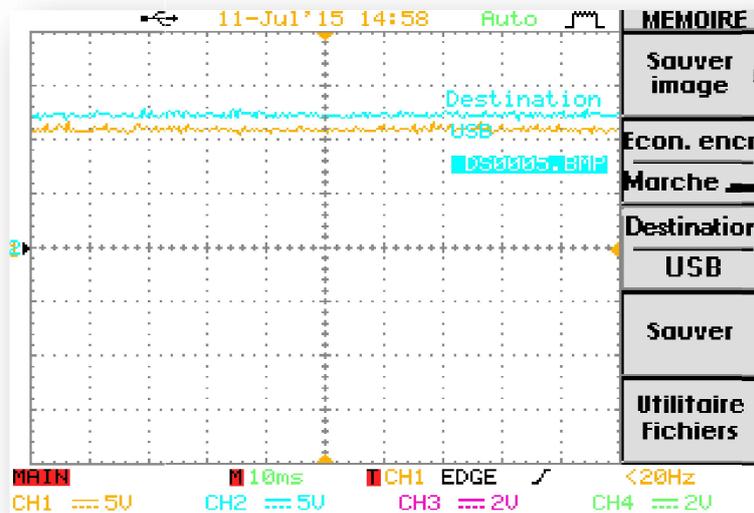


Figure III. 17.: Les signaux des pattes 9 et11.

III.6.2. Les signaux de sortie de l'UC3637

On a trouvé les signaux de sortie de l'UC3637 sur les pattes 7 et 4. Ils sont de forme *MLI* et ils sont décalés l'un par rapport à l'autre de façon à ce qu'aucun danger ne pourra se présenté au niveau du hacheur.

Les figures suivantes illustres les deux signaux.

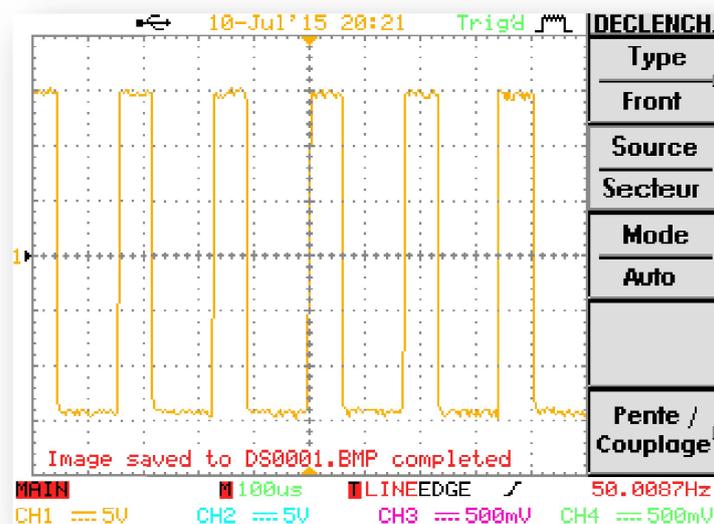


Figure III. 18.: Le signal sur la patte 4.

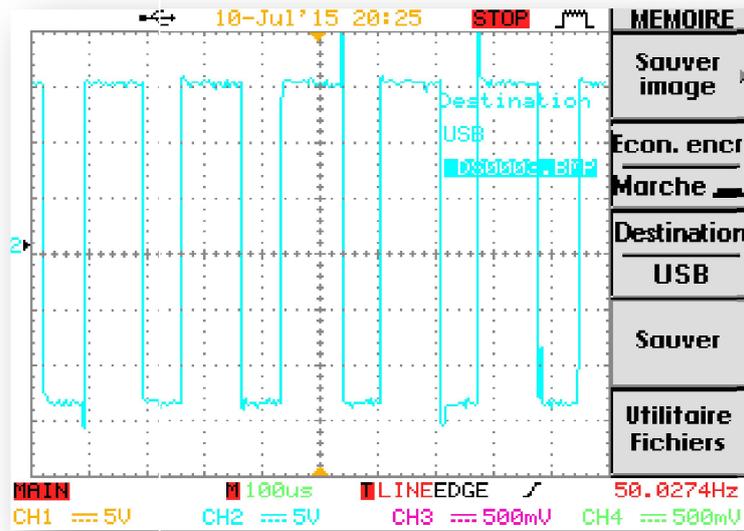


Figure III. 19.: Le signal sur la patte 7.

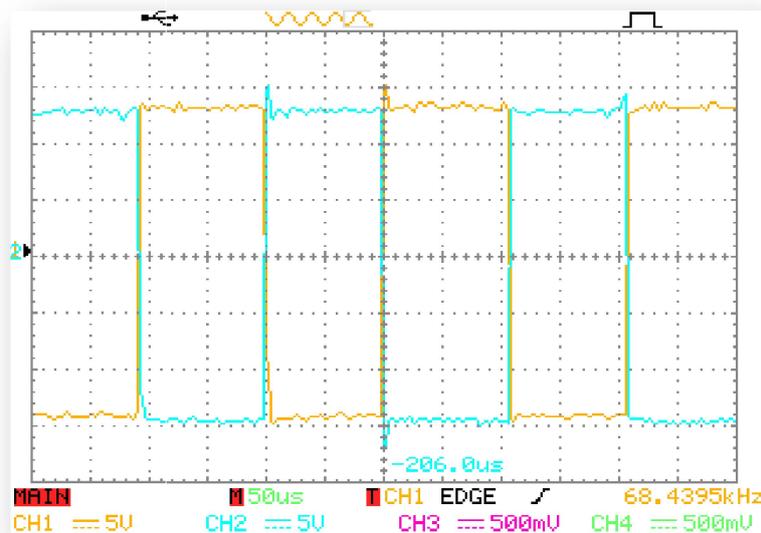


Figure III. 20.: Les signaux complémentaires (Pin 4 et 7).

III.7. Conclusion

Après avoir effectué les différents essais sur notre carte de commande, nous avons vu que tous les résultats pratiques confirment ceux de la simulation, on peut dire que les résultats sont acceptables et ne nous reste d'effectuer que des tests sur la commande d'un DC moteur en quatre quadrants.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'étude présentée dans ce mémoire de fin d'études concerne la réalisation et la mise en place d'une carte de commande dédiée au pilotage d'un hacheur à quatre quadrants permettant de commander les **DC** machines.

une brève description des ces derniers et de leur comportement est effectuée après avoir discuter leur principe de fonctionnement. En effet, des simulations du fonctionnement des Hacheurs à quatre quadrants commandés par la stratégie de modulation de largeur d'impulsion (**MLI**) ont été effectuées dans l'environnement employant le logiciel **ISIS PROTEUS**.

Dans une étape suivante, on a passé à la réalisation de la carte de commande de l'hacheur quatre quadrants qui permet de générer un signal **MLI** associé à son complément logique dans le but de confirmer les résultats obtenus par voies de simulation. Cette carte de commande utilise un circuit spécialisé dédié principalement au pilotage des **DC** moteurs. Ce circuit étant le **UC3637**.

On peut dire que ce projet nous a donné la possibilité d'étudier et de développer des carte électronique qui fonctionne bien, il nous permis également de savoir sélectionnés les composants, de comprendre leur branchement et de les assemblés pour former un environnement fonctionnel.

Les carte développée permet d'obtenir les impulsions de commandes (**MLI** et son complément) allant de 11 à 15V avec des temps morts de quelques micro-secondes.

Les résultats expérimentaux sont très encourageants, ce qui permet de dire que notre objectif a été atteint et elles peuvent être utilisées pour le pilotage des hacheurs quatre quadrants afin d'effectuer des essais d'entrainements électriques à courant continu.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. S. Théodore Wildi, *ÉLECTROTECHNIQUE*. .
- [2] mémoire de fin d'étude Mast.GEE 2014 Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen: B. Bayala, *Machine à courant continu*. 2010.
- [3] Guy Chateigner, Michel Boës, Daniel Bouix, and Jacques Vaillant, *MANUEL DE GÉNIE ÉLECTRIQUE*, © Dunod, Paris. 2006.
- [4] Freddy Ledoux and Patrick Tirf oin, *Electrotechnique*, Bertrand-Lacoste. 2005.
- [5] Etienne Gaucheron, *Les moteurs électriques ... pour mieux les piloter et les protéger*, Schneider Electric. 2004.
- [6] mémoire de fin d'étude Mast.GEE 2014 Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen: S.M. Meliani, *Electronique du puissance*. 2009.
- [7] P. B. A. Rufer, *Cours d'électronique de puissance Conversion DC/DC*, EPFL., vol. 90 pages. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2001.
- [8] B. L. Maatar Nadir, "Conception d'une carte de commande de la machine à courant continu par un microcontrôleur pic 16F877A." 2009.
- [9] Béni Mellal, *Electronique de puissance*, vol. chapitre 4. ESA2/ISTA.
- [10] Thierry LEQUEU, "Thierry LEQUEU." EDP, Mar-2005.
- [11] M. B. GUY Chateigner .ALL, D. B. Jacques Vaillant, and Daniel Verkindère, *Manuel de génie électrique*, Dunod, paris, 2007. 2006.
- [12] Adama F. SANGARE, "Initiation à MATLAB SIMULINK," 2005.
- [13] <http://LabcenterElectronique.com>., "Labcenter Electronique. « Logiciel Proteus »."

Annexes

Les figures ici représentent datasheet d'IR2110.:

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

Packages

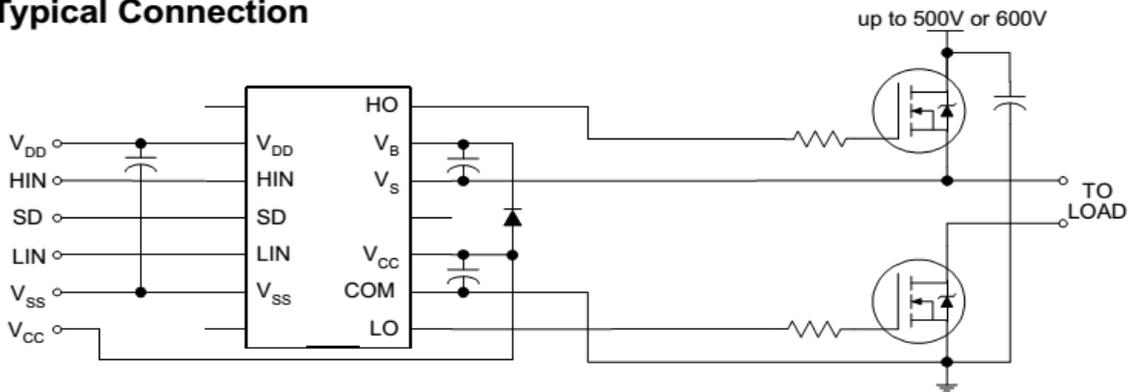


14-Lead PDIP
IR2110/IR2113



16-Lead SOIC
IR2110S/IR2113S

Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and Design Tips for proper circuit board layout.

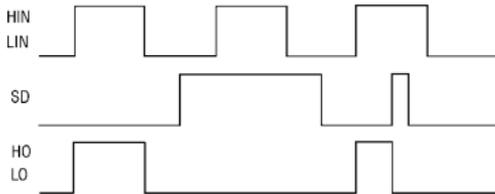


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

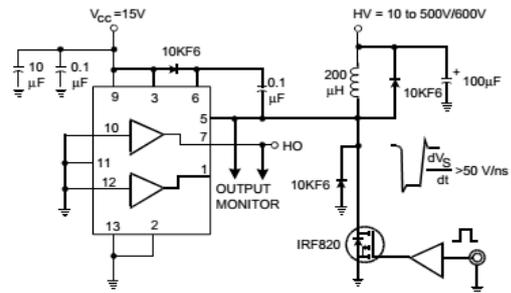
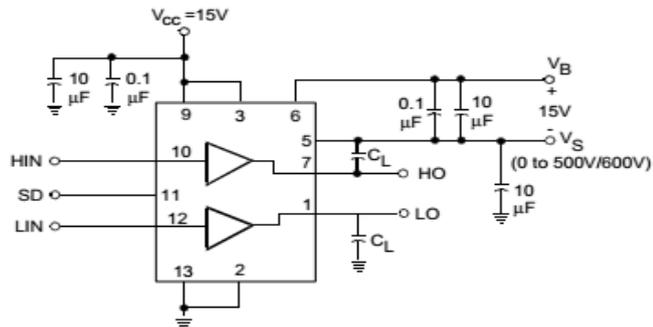
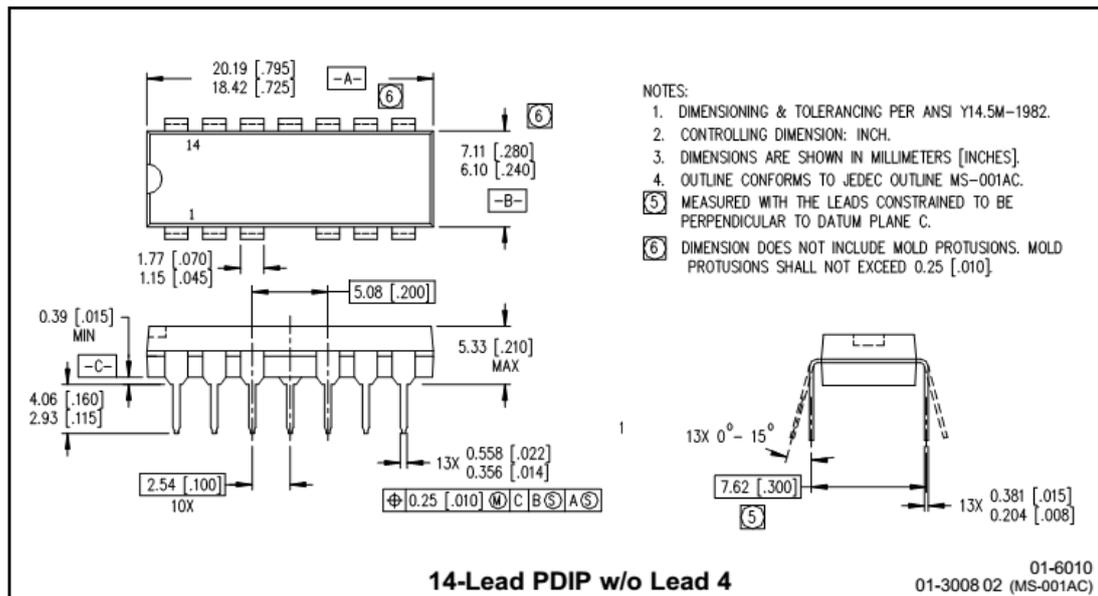
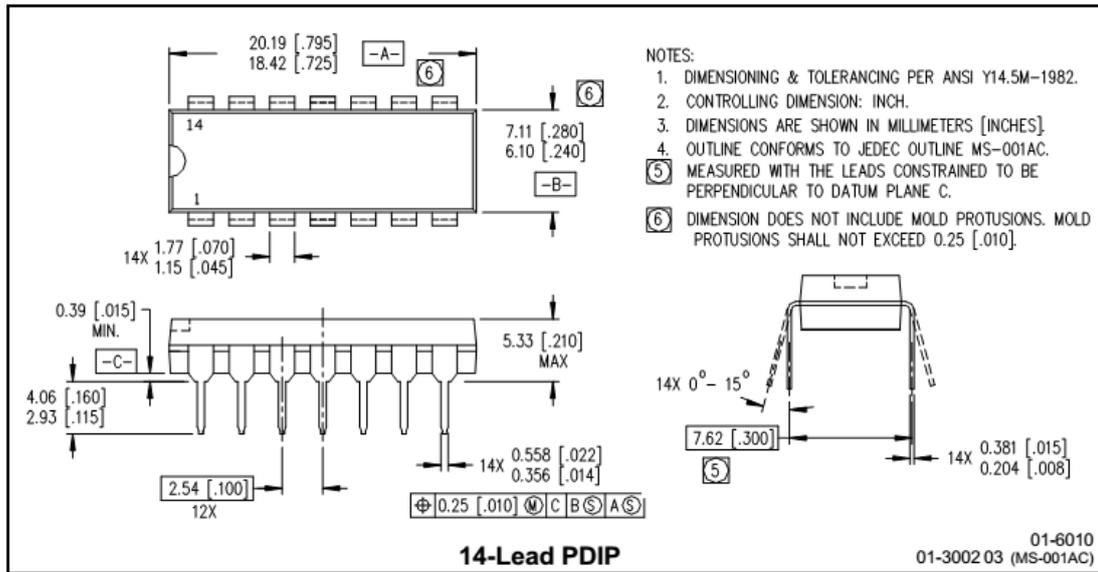


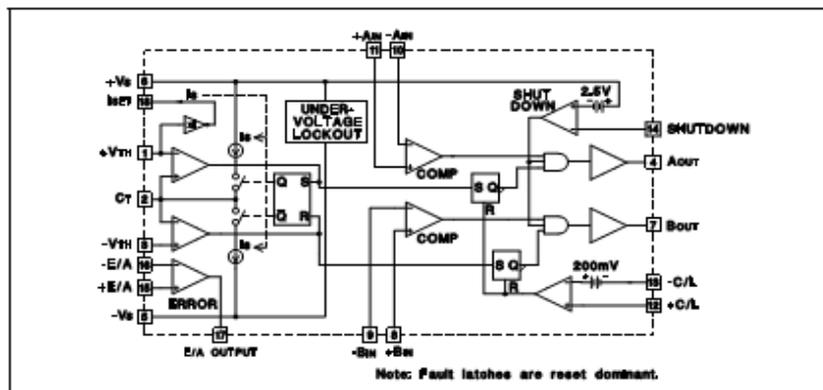
Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit



Case Outlines



Les figures ici représentent datasheet d'UC3637.:



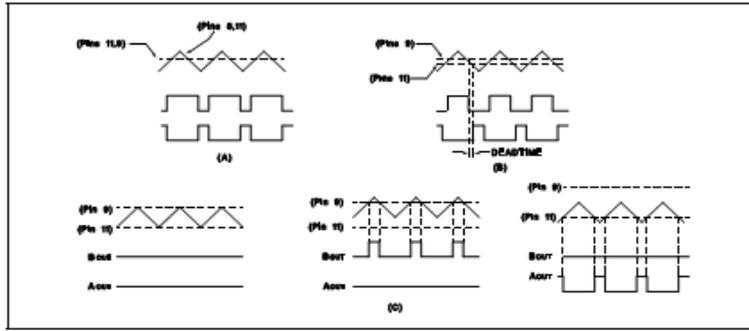


Figure 3. Modulation Schemes Showing (A) Zero Deadtime (B) Deadtime and (C) Deadband Configurations

Shutdown Comparator

The shutdown terminal may be used for implementing various shutdown and protection schemes. By pulling the terminal more than 2.5V below V_{IN} , the output drivers will be enabled. This can be realized using an open collector gate or NPN transistor biased to either ground or the negative supply. Since the threshold is temperature stabilized, the comparator can be used as an accurate low voltage lockout (Figure 4) and/or delayed start as in Figure 5. In the shutdown mode the outputs are held in the low state.

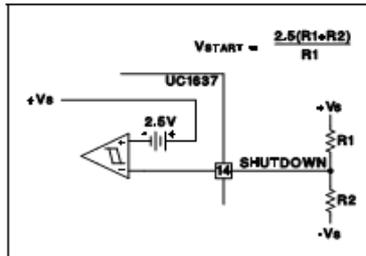


Figure 4. External Under-Voltage Lockout

Current Limit

A latched current limit amplifier with an internal 200mV offset is provided to allow pulse-by-pulse current limiting. Differential inputs will accept common mode signals from

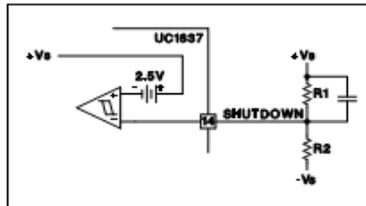


Figure 5. Delayed Start-Up

$-V_S$ to within 3V of the $+V_S$ supply while providing excellent noise rejection. Figure 6 shows a typical current sense circuit.

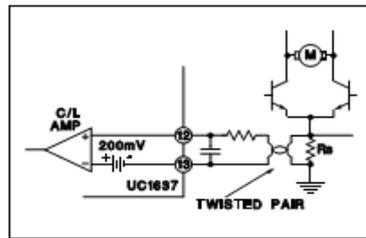


Figure 6. Current Limit Sensing

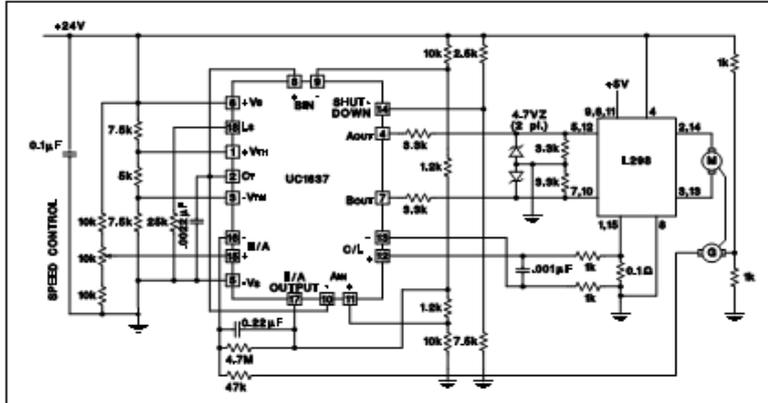


Figure 7. Bi-Directional Motor Drive with Speed Control Power-Amplifier

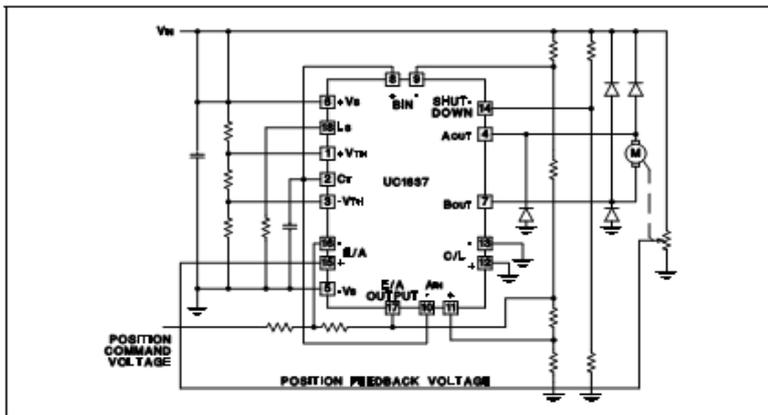
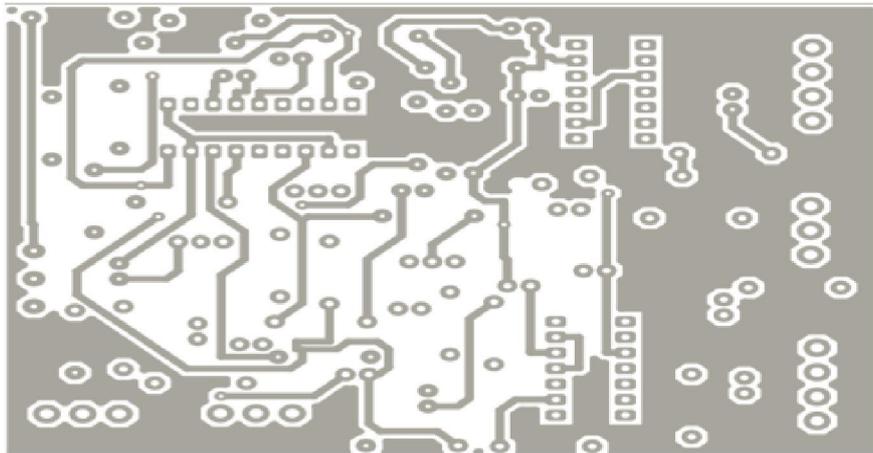
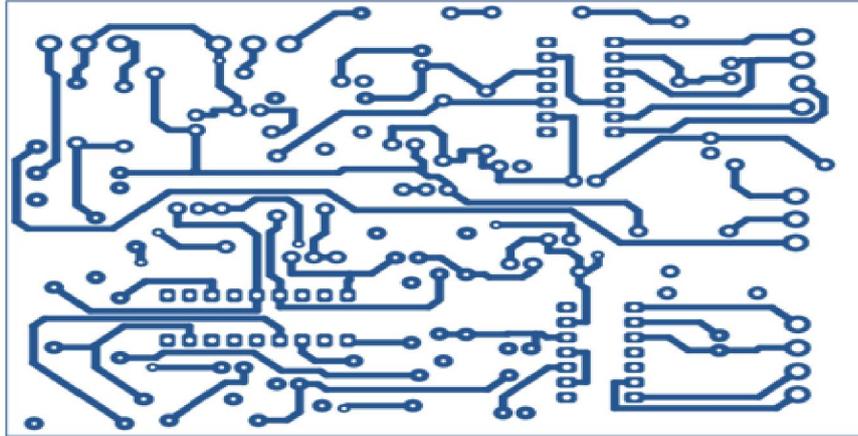


Figure 8. Single Supply Position Servo Motor Drive

3-Les cartes réalisées

- **Circuit imprimé**



المخلص

الهدف من هذا المشروع هو تطوير جهاز التحكم عن بعد للمحركات ذو تيار مستمر، و الجهاز العازل بين الدارنتين ذو توتر العالي و المنخفض .

هذا المشروع يعتمد على توليد إشارات التحكم و ذلك عن طريق المقارنة بين الإشارتين الثابتة و المتثلثة (أسنان المنشار). دون أن ننسى فارق الإشارة لإنشاء وقت مهلة التنفيذ وذلك باستخدام الدوائر المتكاملة التي تلبى جميع هذه الوظائف و هذا بعد استعمال نظام مكبر العمليات التقليدي استعملنا برنامج بروتيز ازيز للمحاكاة و التطبيق. و تكون المقارنة بين الحل المنفصل و الحل المتكامل الذي هو نهج صناعي أكثر من ذلك.

الكلمات المفتاحية : محرك ذو تيار مستمر; IR2110; UC3637.

Abstract

The project's goal is to develop remote control, the close control and the power structure of a four-quadrant chopper with the ability to enslave the system. Our approach begins with the construction of the basic PWM signal that is generating a triangular signal for comparison to a reference signal as well a shift of a signal to create a time out. The implementation of this part begins with the use of classical pattern-based operational amplifier before relying on an integrated circuit that meets all of these functions. PROTEUS ISIS is used for simulation and implementation The interest is to compare a discrete solution and an integrated solution that is a more industrial.

Keywords: UC3637 ; IR2110 ; converter ; DC Motor.

Résumé

Le but du projet est d'élaborer la commande éloignée, la commande rapprochée et la structure de puissance d'un hacheur quatre quadrants avec la possibilité d'asservir le système. Notre démarche débute par la construction des signaux élémentaires de MLI à savoir générer un signal triangulaire afin de le comparer à un signal de référence sans oublier un décalage d'un des signaux pour créer un temps mort. La mise en œuvre de cette partie commence par l'utilisation de schéma classique à base d'amplificateur opérationnel avant de s'appuyer sur un circuit intégré qui accomplit l'ensemble de ces fonctions. nous avons utilisé PROTEUS ISIS pour la simulation et la réalisation L'intérêt est de comparer une solution discrète et une solution intégrée qui est une démarche plus industrielle.

Mots clés: UC3637 ; IR2110 ; Hacheur ; MCC.