



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Commandes électriques

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
MOKHTARA Salim

Le : **lundi 25 juin 2018**

**ETUDE ET REALISATION D'UN VARIATEUR DE VITESSE
COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU**

Jury :

Mr	SERAIRI Kamel	Professeur	Université Mohamed Khider de Biskra	Président
Melle	GUERGAZI Aicha	MCA	Université Mohamed Khider de Biskra	Encadreur
Mr	BENMEDDOUR Mostafa	MCA	Université Mohamed Khider de Biskra	Examineur

Année universitaire : **2017/2018**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Commandes électriques

Thème :

ETUDE ET REALISATION D'UN VARIATEUR DE VITESSE COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU

Proposé par : MOKHTARA Salim

Dirigé par : M^{elle} GUERGAZI Aicha

RESUMES (Français et Arabe)

Résumé

L'évolution des technologies conduit à utiliser des machines nécessitant des vitesses de rotation précises et variables pour l'entraînement de TGV par exemple, l'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation ainsi que leur raccordement direct à une source d'énergie (batterie d'accumulateur, piles, etc..). Malgré leur principal problème qui se pose au niveau de la liaison entre les balais (charbons) et le collecteur rotatif, le moteur à courant continu continue d'exister à travers de nombreuses applications. Dans ce travail, on présente plusieurs cas que ce soit l'étude du moteur à courant continu, puis la technique de variation de vitesse, et enfin la simulation de notre modèle sur logiciel de simulation MATLAB et réalisation d'un circuit de commande.

Mot clé : Machine à courant continu, hacheur à quatre quadrants, Simulation, expérimental

ملخص

يقود تطور التقنيات الحديثة إلى استخدام ماكينات هذه الماكينات بدورها تحتاج سرعات متغيرة و دقيقة تكمن الميزة الأساسية لألات التيار المستمر في بساطة و سهولة التحكم أو التغيير في سرعتها و كذا عزمها كما نستطيع التحكم في اتجاه دورانها كما نستطيع توصيل الماكينات ذات التيار المستمر مباشرة بمصدر الطاقة الكهربائية كالبطاريات مثلا بالرغم من استعمالها الواسع و كثرة ايجابياتها إلا أن لها سلبيات و أبرزها الاحتكاك الذي ينشأ بين الفرش (balais) و المجمع (collecteur) مما يؤدي إلى الصيانة المتواصلة و الدورية .

الماكينات ذات التيار المستمر لها مجالات استخدام واسعة و اخترنا في هذا العمل تقديم عدة تطبيقات تتعلق بالماكينات ذات التيار المستمر بداية دراسة نظرية لهذه الماكينة و تقنيات التحكم في سرعتها و كذا محاكاة هذا بالاستعانة ببرنامج (MATLAB-SIMILINK) و في الأخير تحقيق دائرة التحكم من خلال الأعمال التطبيقية

الكلمات المفتاحية : ماكينات ذات التيار المستمر , برنامج المحاكاة , التحكم , الأعمال التطبيقية , السرعة

Remerciement

*On remercie **dieu** le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire*

*Nous pensons en particulier de notre encadreur **GUERGAZI Aicha**, d'avoir nous bien suivi et dirigée notre travail et de faire profitées de sons avoir, ainsi de ses conseils, et pour toute l'aide, les remarque constructive qui nous avons d'améliorer ce travail, et qui grâce a lui nous pouvons réaliser notre objectif.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur le professeur **SERAIRI Kamel**, pour l'honneur qui nous a fait en acceptant d'être président du jury.*

*J'adresse aussi mes remerciements à **Mr BENMEDDOUR Mostafa** membre du jury pour l'honneur de bien vouloir apporter leur jugement à notre travail .*

Je souhaite également remercie, l'ensemble des enseignant de département d'électrotechnique de Biskra et particulièrement ceux qui ont participé à notre formation.

En fin, Merci à tous

Dédicace

Avant tout, je tien à remercie le bon dieu, et l'unique qui
m'offre le courage et

la volonté nécessaire pour affronter les différentes de la
vie,

Je dédie ce modeste travail

A ma mère. A mon père (عليه رحمة الله).

A mes frères Moussa....Hansi

A mes sœurs

et tous les familles

MOKHTARA et **TiBANI** et **IBRAHIMI**

MES AMIES : Nadjib , Hani , imad , Na3om , Aymen,
Madjid , Ilyess , lkayd , Adel , Brahim (R-L-J) , Hamza ,
Fadlo, Amine , Housseem , Khawla , Med tayeb , Hakim

Et tous mes amies dans le traveille

Table des matières

INTRODUCTION GENERAL.....	1
---------------------------	---

Chapitre I : MACHINE A COURANT CONTINU

I.1 INTRODUCTION:.....	3
I.2 DEFINITION :.....	3
I.3 CONSTRUCTION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU.....	Error! Bookmark not defined.
I.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :.....	4
I.4.1 Moteur :.....	4
I.4.2 Génératrice :.....	5
I.5 FORCE CONTRE ELECTROMOTRICE :.....	6
I.6 LES DIFFERENTS TYPES DE MOTEURS A COURANT CONTINU:.....	6
I.6.1. Les moteurs à inducteur à aimant permanent :.....	6
I.6.2. Les moteurs à inducteur bobiné :.....	7
I.7 Avantages et les inconvénients :.....	9
I.7.1 Les Avantages :.....	9
I.7.2 Les Inconvénients :.....	9
I.8 BILAN DE LA PUISSANCE :.....	9
I.9 LE RENDEMENT :.....	10
I.10 UTILISATION DE LA MACHINE A COURANT CONTINU :.....	10
I.11. CONCLUSION:.....	11

Chapitre II : LES CONVERTISSEURS STATIQUES

II.1. INTRODUCTION :.....	12
II.2. ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE.....	12
II.2.1. Électronique de puissance et la conversion électrique :.....	13
II.2.2. Convertisseurs électriques :.....	13
II.3. LES REDRESSEURS :.....	14
II.3.1 les redresseurs non commandé.....	14
II.3.2. les redresseurs commandés :.....	15
II.4. L'ONDULEUR :.....	15
II.4.1. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone.....	16
II.4.2. Alimentation de secours.....	16
II.4.3 Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes.....	16

II.5. LE GRADATEUR :	17
II.6. LES HACHEURS :	17
II.6.1. Principe de fonctionnement :	18
II.6.2. Le rapport cyclique α :	18
II.6.3. Différents types d'hacheurs :	18
II.6.3.1. Convertisseur Buck :	18
II.6.3.2. Convertisseur Boost :	20
II.6.3.3. Hacheur Buck-Boost :	22
II.6.3.4. Hacheur à quatre quadrants :	23
II.7. TECHNIQUE DE COMMANDE MLI:	27
II.7.1. Structure de commande.....	28
II.7.2 Principe de la commande MLI	28
II.9. CONCLUSION.....	29

Chapitre III : SIMULATION D'UN VARIATEUR DE VITESSE

III.1. INTRODUCTION :	30
III.2. MATLAB- SIMULINK :	30
III.3. SIMULATION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU A EXCITATION SEPARÉE :	30
III.3.1. Modélisation d'une machine à courant continu	31
III.3.2. Les Equations de la machine courant continu :	31
III.3.2.1. Equation mécanique :	31
III.3.2.2. Equation électrique :	31
III.4. SIMULATION DE LA MOTEUR A COURANT CONTINU A EXCITATION INDEPENDANTE SOUS MATLAB-SIMILUNK :	32
III.5. SIMULATION LE DEMARRAGE DE M CC A EXCITATION SEPARÉE :	33
III.5.1. Schéma bloc de la simulation	33
III.5.2. Les courbes de la simulation le démarrage d'un MCC:	33
III.5.3. Interprétation :	34
III.6. SIMULATION LA COMMANDE MLI:	34
III.7. SIMULATION D'UN HACHEUR QUATRE QUADRANTS	35
III.7.1. Schéma bloc de la simulation d'un hacheur quatre quadrants:	35
III.7.2. Les courbes et résultats de simulation d'un hacheur quatre quadrants	35
III.8. SIMULATION D'UN HACHEUR QUATRE QUADRANTS COMMANDE UN MCC A EXCITATION SEPARÉE :	36
III.8.1. Schéma bloc de la simulation :	36
III.8.2. résultats de simulation	37

III.8.2.2 Le courant de moteur	37
III.8.2.2. Interprétation :	38
III.9. CONCLUSION :	38

Chapitre IV : REALISATION DE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

IV.1. INTRODUCTION.....	39
IV.2. PRESENTATION DU BANC D’ESSAI	39
IV.2.1. Alimentation :	40
IV.2.1.1. Alimentation de 15 V :	40
IV.2.1.2. Alimentation de 5 V :	41
IV.2.2. Circuit de commande	41
IV.2.2.1. Signal carrée	42
IV.2.2.2 Signal inversé	42
IV.2.3. Gestion du temps mort:	43
IV.2.4. OPTOCOUPLEUR 4N25.....	44
IV.2.5. Circuit de puissance hacheur à 4 quadrants:.....	45
IV.5.2.1. Dissipateur de chaleur.....	45
IV.5.2.2. Protection de la carte de puissance:	46
IV.6. SIMULATION DU SCHEMA GLOBAL D’UN VARIATEUR DE VITESSE SOUS L’ENVIRONNEMENT PROTEUS	46
IV.6.1. Tests pratiques du système réalisé	47
IV.7. Conclusion:	48
CONCLISION GENERAL.....	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	50

ANNEX A

ANNEX B

Liste des figures

Chapitre I : Machine à courant continu

Figure I.1 : Fonctionnement de machine courant continu	3
Figure I.2: Constitution d'une machine à courant continu.	4
Figure (I.3): Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu	5
Figure (1.4) : Principe de fonctionnement d'un générateur à courant continu	5
Figure (I.6) : Schéma équivalent d'un moteur à excitation shunt.....	7
Figure (I.7) : Schéma équivalent d'un moteur à excitation série.....	8
Figure (1.8): Schéma équivalent d'un moteur à excitation séparé.....	8
Figure (I.9) : Schéma équivalent d'un moteur à excitation composé	8
Figure (I.10) : Bilan de la puissance	10

Chapitre II : Les convertisseurs statiques

Figure(II.1): Diagramme des divers types de convertisseurs statiques en électronique de puissance	13
Figure (II.2): Les convertisseurs statiques	14
Figure (II.3) : Le redresseur	14
Figure (II.4) : Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC).....	15
Figure (II.5) : Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone.....	16
Figure (II.6) : Alimentation de secours.....	16
Figure (II.7) : Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes.....	16
Figure (II.8) Schéma de principe de la conversion Alternative - Alternative (AC – AC).....	17
Figure(II.9) : Schéma de principe de la conversion Continu - Continu (DC – DC).....	18
Figure II.10 – Schéma électrique d'un hacheur Buck.....	19
Figure (II.11) : Le signal de commande pour un hacheur série	19
Figure (II.12) : La tension et le courant aux bornes de la charge avec un hacheur série.....	20
Figure (II.13) : Schéma électrique d'un hacheur Boost.....	20
Figure (II.14) : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost	22
Figure (II.15) : Schéma électrique d'un hacheur Buck- Boost	22
Figure (II.16) : Chronogrammes de courant et de tension d'un hacheur Buck-Boost.....	23
Figure (II.17) : Zones de fonctionnement d'un hacheur à 4 quadrants.....	24
Figure (II.18) : Schéma électrique d'un hacheur à 4 quadrants.....	24

Figure (II.19) : Chronogramme de la machine à courant continu fonctionne en moteur : quadrant 1 avec $\alpha > 0.5$	26
Figure (II.20) : La structure de commande	28
Figure (II.21) : Un signal MLI (PWM)	28

Chapitre III : SIMULATION D'UN VARIATEUR DE VITESSE

Figure III.1 : Modèle électrique de la machine à courant continu à excitation indépendante	31
Figure(III.2) : Schéma-bloc de la résolution de l'équation de l'inducteur	32
Figure (III.3) : Schéma-bloc simulant une MCC à excitation indépendante	32
Figure (III.4) : Schéma block du démarrage d'un MCC.....	33
Figure (III.5) : La vitesse de démarrage d'un MCC	33
Figure (III.6) : Le courant de démarrage d'un MCC	33
Figure III.7 : Schéma block de commande MLI.....	34
Figure (III.8) : Chronogramme de la commande MLI intersective	34
Figure (III.9) : Schéma bloc de la simulation d'un hacheur quatre quadrants.....	35
Figure (III.10) Tension d'entrée (source)	35
Figure(III.11) : Tension de charge pour $\alpha=0.7$	35
Figure (III.12) : courant de charge pour $\alpha=0.7$	36
Figure III.13 : Schéma bloc de la simulation d'un hacheur quatre quadrants commande un MCC	36
Figure (III.14) : Tension aux bornes de moteur a courant continu	37
Figure (III.15) : Courant de moteur Pour $\alpha=0.7$	37
Figure (III.16) : Vitesse de moteur pour $\alpha=0.7$	37

Chapitre IV : REALISATION DE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Figure IV.1: Schéma synoptique de fonctionnement d'un hacheur à quatre quadrants.....	39
Figure IV.2 : Banc d'essai expérimental global.....	40
Figure IV.3 : Schéma électrique de l'alimentation 15V.....	40
Figure IV.4 : Schéma électrique de l'alimentation 5V.....	41
Figure IV.5 : Schéma électrique de la partie de commande avec PROTEUS.....	41
Figure IV .6 : Signal d'entrée de circuit de commande.....	42
Figure IV.7 : Circuit intégré 74LS04.....	42
Figure IV.8 : Signal d'entrée et le signal inversé du circuit de commande.....	42

Figure IV.9 : Signal de la charge d'un condensateur.....	43
Figure IV.11: Schéma du circuit intégré 4N25.....	44
Figure IV.12: Montage isolation galvanique et amplification.....	44
des signaux de commandes	
Figure IV.13 : Le semi-conducteur IRFP460.....	45
Figure IV.14: Montage de hacheur à 4 quadrants.....	45
Figure IV.15 : Radiateur.....	45
Figure IV.16 : Protection de la carte de puissance.....	46
Figure IV.16 : Schéma électrique globale de banc d'essai.....	46
Figure IV.17 : Les allures de tension à la borne d'un moteur à courant continu.....	47

Notation

<u>Symbole</u>	<u>Signification</u>
MCC	: machine à courant continu
f.é.m (E)	: force électromotrice
p	: le nombre de paires de pôles
a	: le nombre de paires de voies d'enroulement
N	: le nombre de conducteurs (ou de brins - deux par spires)
Φ	: flux maximum à Travers les spires
Ω	: vitesse de rotation (en rad.s ⁻¹)
I	: l'intensité
I_e	: courant d'excitation
$U_{c_{moy}}$: valeur moyenne de tension aux bornes de la charge
N	: la fréquence de rotation
P_a	: puissance absorbée
P_u	: puissance utile
P_{ém}	: puissance électromagnétique
P_{J_S}	: pertes par effet joule dans l'inducteur
P_{J_R}	: pertes par effet joule dans l'induit
P_c	: pertes constantes (Pertes fer + pertes mécaniques)
η	: le rendement
IGBT	: Insolated gate bipolar transistor
MOSFET	: Transistor a effet de champs
α	: rapport cyclique
MLI	: modulation de largeur de l'impulsion
t_{on}	: temps d'ouverture
t_{off}	: temps du fermeture
DC	: courant continue
U_L	: tension au borne de l'inductance
U_M	: tension au borne de la machine
U_c	: tension au borne de la charge
i_c	: courant du charge
PWM	: Pulse Width Modulation
e	: force électromotrice
K	: constant
T	: Taux

Notation

f	: Fréquence
D	: Diode
K	: interrupteur
I_M	: Courant maximal
I_m	: Courant minimal
ΔI	: l'ondulation du courant dans l'inductance
U_d	: Tension aux borne diode
C_m	: couple de moteur

Introduction Générale



Ce mémoire a été réalisé dans le cadre de la formation Master II, option électrotechnique, au sein du laboratoire d'électrotechnique de Biskra. L'objectif de ce projet est la variation de la machine à courant continu par un hacheur à quatre quadrants via un signal modulé en largeur d'impulsion (MLI). La commande a été réalisée par un simple circuit électrique.

Les moteurs et les générateurs à courant continu furent les premières machines électriques utilisées par les ingénieurs au milieu du 19^{ème} siècle pour produire de la puissance motrice particulièrement dans le transport ferroviaire (tramways, TGV), et maintenant restent très utilisés dans le domaine de l'automobile (ventilateurs, lève-vitre, etc.)

L'électronique de Puissance ou électronique de commutation, a pour vocation de maîtriser le transfert d'énergie entre une source et une charge, en assurant une conversion à haut rendement. Pour cela, des semi-conducteurs sont utilisés en interrupteurs, et associés à des composants passifs. Cette conversion statique moderne d'énergie forte attrayante s'est répandue dans de nombreux domaines, couvrant des gammes de puissances extrêmement étendues (de quelques watts à plusieurs dizaines de Mégawatts). Applications: alimentations à découpage (téléphone portable, PC, alimentation de la carte mère, alimentations sans interruption, panneaux PV, éoliennes, variateurs de vitesse....etc, les modes de conversion envisageables, selon la nature des sources d'énergie électriques [1].

Dans le domaine des puissances supérieure au mégawatt, les sous-marins seront les seuls utilisateurs de machines à courant continu afin d'assurer leur propulsion. En effet, pour éviter de «rayonner» du 50 ou du 60 Hertz qui les rendrait facilement détectables, les sous-marins utilisent des circuits de distribution de l'énergie électrique à tensions continues. Ensuite La majorité des utilisations de la moteur a courant continu nécessitent un variateur de vitesse ce qui est considéré la liaison d'un moteur à courant continu à une source du même type.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres, organisés comme suit:

Dans le première chapitre nous allons parlons sur les machine à courant continu et leur construction puis le principe de fonctionnement de cette machine aussi les types et l'utilisation de chaque type. Nous avons terminé le chapitre par les avantages et les inconvénients.

Le deuxième chapitre, nous parlons sur l'étude théorique des convertisseurs statiques et nous concentrons sur l'étude de les hacheurs de type « hacheur abaisseur, hacheur parallèle, Hacheur abaisseur-élévateur et hacheur a quatre quadrant » l'utiliser de chaque convertisseur lié a la source d'alimentation et l'opération considéré, on parle en plus dans ce chapitre sur la technique de la commande MLI et leur principe de fonctionnement

Dans la troisième chapitre avec l'utilisation de logiciel MATLAB Simulink, on simule le modèle du machine à courant continu et son démarrage, commande MLI puis nous faisons la simulation d'un hacheur à quatre quadrant. Enfin la simulation de la variation de vitesse du MCC (moteur + hacheur).

Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude et la réalisation du dispositif expérimental ainsi que la description de chaque bloc du circuit.

Enfin, dans la dernière partie, nous terminons par une conclusion générale qui résumera l'intérêt de notre étude : les différents résultats obtenus expérimentalement seront donnés sur annexe sous forme de photos, ainsi que les perspectives envisageables pour un travail futur.

CHAPITRE I

MACHINE À COURANT

CONTINU

I.1. INTRODUCTION:

Pendant longtemps, les moteurs à courant continu ont été les seuls aptes à la vitesse variable à large bande passante (robotique). Ils ont donc fait l'objet de nombreuses améliorations.

Beaucoup de produits commercialisés aujourd'hui n'ont rien à envier à leurs homologues sans balais. Ce sont les progrès de l'électronique de puissance qui ont détrôné les machines à balais, à l'avantage des technologies synchrone autopilotées. Mais les raisons essentielles de ce choix restent l'accès à des vitesses de rotation plus grandes, une meilleure compacité et très rarement, la fiabilité [2].

Dans le cadre de ce chapitre, on présentera une description du moteur à courant continu, leur principe de fonctionnement, et les différents types existant dans la littérature. Une modélisation du moteur et ensuite illustrée en se basant sur des équations mathématique. Ensuite nous donnerons les avantages et les inconvénients. Enfin le domaine d'utilisation.

I.2. DEFINITION :

La machine à courant continu est un convertisseur d'énergie, totalement réversible, elle peut fonctionner soit en moteur, convertissant de l'énergie électrique en énergie mécanique, soit en génératrice, convertissant de l'énergie mécanique en énergie électrique figure (I.1). Dans les deux cas un champ magnétique est nécessaire aux différentes conversions. Cette machine est donc un convertisseur électromécanique.[3]

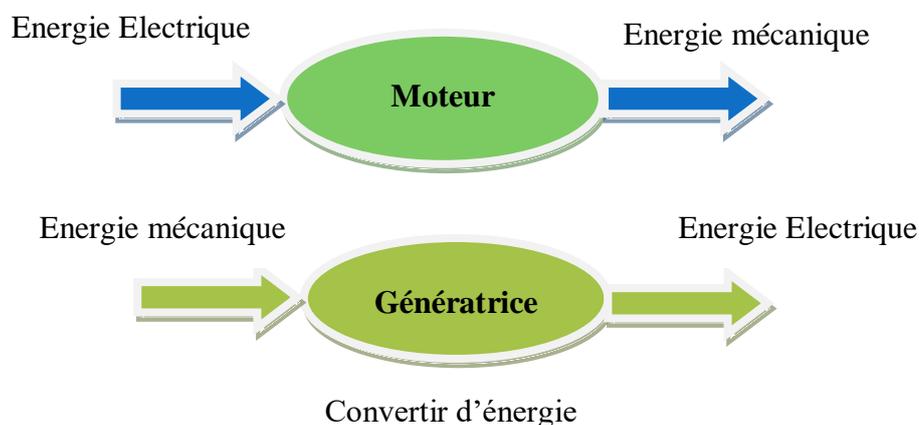


Figure I.1 : Fonctionnement de machine courant continu

I.3. CONSTRUCTION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU

Un moteur à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique, d'où l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique.

Un moteur à courant continu comprend quatre parties principales figure (I.2):

1. Le Stator composé d'un circuit magnétique comprenant une couronne annulaire massive ou feuilleté à laquelle sont fixés les pôles saillants, ces pôles sont de type, régulièrement alternés :
 - Les pôles inducteurs portent un ou plusieurs enroulements d'excitation alimentés en courant continu.
 - Les pôles auxiliaires ou commutation disposés entre les pôles inducteurs selon les axes interpolaire dits axes neutres, Ils servent à améliorer la commutation.
2. Le Rotor ou l'induit comporte un circuit magnétique feuilleté muni d'encoches régulièrement distribuées à la périphérie.
3. Le Collecteur est claveté sur l'arbre de l'induit, sur lequel frottent les balais. Il se compose de lame de cuivre de section trapézoïdale, portent chacune une ailette de connexion à l'enroulement de l'induit et isolées par du mica.
4. Les balais sont fixes, en charbon graphitique, appuient sur des lames diamétralement opposées du collecteur, ils sont immobiles, isolés électriquement du bâti de la machine.

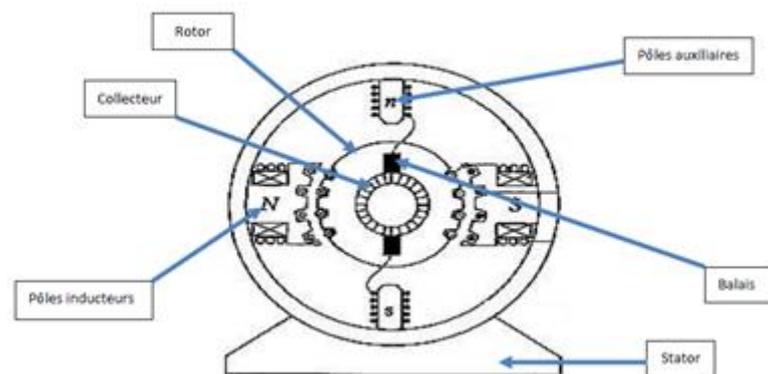


Figure I.2: Constitution d'une machine à courant continu.

I.4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

La machine à courant continu a pour rôle de convertir de l'énergie électrique en énergie mécanique (mouvement de rotation) ou, inversement de l'énergie mécanique en énergie électrique. Dans le premier cas, on dit qu'elle fonctionne en moteur; et dans le second cas en génératrice: c'est une machine réversible.

Le fonctionnement de la machine à courant continu est basé sur le principe des forces de Laplace.

I.4.1. Moteur :

Un conducteur (une barre) de longueur l qui est placé dans un champ magnétique B et est parcouru par un courant I , est alors soumis à une force électromagnétique de Laplace dont le sens est donné par la règle des trois doigts de la main droite.

La figure (I.3) montre le conducteur placé dans un champ magnétique et la force F à laquelle il est soumis.

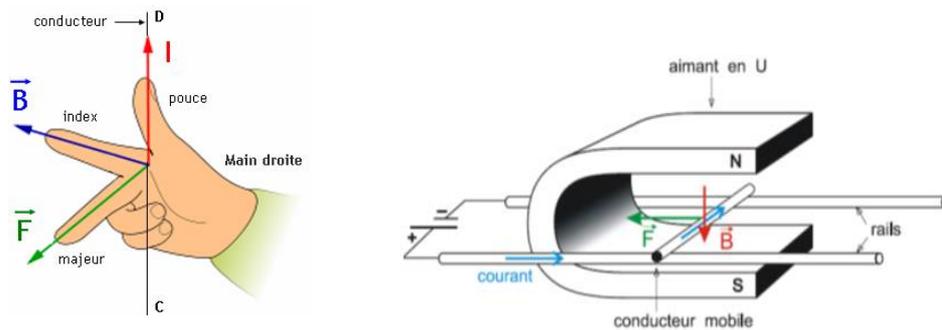


Figure I.3: Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu

$$dF = Idl \wedge B \quad F = B * I * L * \sin\alpha$$

Ces forces de Laplace exercent un couple proportionnel à l'intensité (I) et au flux (Φ) sur le rotor. Le moteur se met à tourner à une vitesse proportionnelle à la tension d'alimentation (V) et, inversement proportionnelle au flux (Φ). Au passage de tout conducteur de l'induit sur la ligne neutre, le courant qui le traverse change de sens grâce au collecteur. Le moteur conserve le même sens de rotation. Pour inverser le sens de rotation du moteur, il convient d'inverser le sens du champ produit par l'inducteur par rapport au sens du courant circulant dans l'induit :

- Soit on inverse la polarité de la tension d'alimentation de l'induit.
- Soit on inverse la polarité d'alimentation du circuit d'excitation [2].

I.4.2. Génératrice :

Si le conducteur placé dans l'induction B se translate à une vitesse linéaire v il apparaît une force électromotrice e aux bornes de celui-ci figure (I.4) :

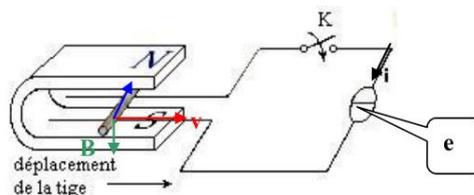


Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'un générateur à courant continu

Le principe physique utilisé est le phénomène d'induction électromagnétique (loi de Faraday):

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \tag{I.2}$$

Le collecteur permet d'obtenir une f.e.m de forme continue

$$\Phi = S * B \tag{I.3}$$

I.5. FORCE CONTRE ELECTROMOTRICE :

La force électromotrice (E) est la tension produite par le rotor (l'induit) lors de sa rotation dans le flux magnétique produit par la partie fixe (l'inducteur). Nous savons qu'une bobine en mouvement dans un champ magnétique voit apparaître à ses bornes une force électromotrice (f.é.m.) donnée par la loi de Faraday: Sur ce principe, la machine à courant continu est le siège d'une f.é.m. E :

$$E = \frac{P}{2\pi a} N * n * \Phi \quad (\text{I.4})$$

Avec :

p : le nombre de paires de pôles

a : le nombre de paires de voies d'enroulement

N : le nombre de conducteurs (ou de brins - deux par spires)

Φ : flux maximum à travers les spires (en Webers - Wb)

Ω : vitesse de rotation (en rad.s^{-1})

Finalement:

$$E = K * \Phi * \Omega \quad (\text{I.5})$$

Avec:
$$K = \frac{p}{2\pi a} * N$$

(I.6)

Si de plus la machine fonctionne à flux constants

$$E = K' * \Omega \quad (\text{I.7})$$

avec

$$K' = K * \Phi \quad (\text{I.8})$$

I.6. LES DIFFERENTS TYPES DE MOTEURS A COURANT CONTINU:

Il ya deux types de moteurs a courant continu

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

Dans le moteur à aimants permanents, le rotor et le stator sont constitués d'aimants dont les pôles identiques sont mis face à face afin de permettre le mouvement du moteur grâce au champ magnétique créé. Les pôles identiques se repoussent ce qui met le moteur en mouvement.

Le principal avantage de ce type de moteur réside dans sa durée de vie élevée qui correspond à celle des aimants (environ 400 ans). En revanche, les moteurs à aimants permanent peuvent être encombrant lorsque l'on veut obtenir des moteurs puissants car il faut des aimants plus puissants.[4]

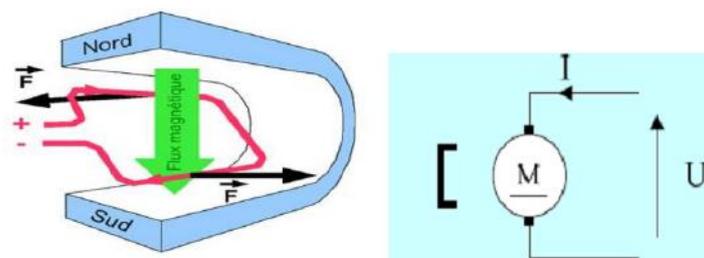


Figure I.5 : Moteur à aimant permanent

1.6.2. Les moteurs à inducteur bobiné :

Dans ce type on aura 4 différents moteurs à cause de l'excitation qui est employé :

- ❖ le moteur à excitation shunt.
- ❖ le moteur à excitation série.
- ❖ le moteur à excitation séparée.
- ❖ le moteur à excitation composée.

A. Moteur à excitation shunt (ou parallèle)

L'enroulement d'excitation est connecté en parallèle sur l'alimentation du moteur, il possède les mêmes propriétés que le moteur à excitation séparée du fait que, dans les deux cas, l'inducteur constitue un circuit extérieur à celui de l'induit, il comporte beaucoup de spires de faibles sections. Le circuit électrique est représenté par la figure (I.6) :

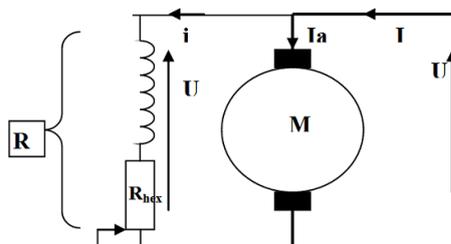


Figure I.6 : Schéma équivalent d'un moteur à excitation shunt

Ce moteur présente beaucoup d'avantages. Sa vitesse est sensiblement constante et facile à régler. De plus, il suffit de changer le sens du courant pour changer sa vitesse de rotation. Ses utilisations sont diverses: machines outils, appareils de lavage, pompes, ventilateurs, etc...[4]

B. Moteur à excitation série :

Ce type de moteur est caractérisé par le fait que le stator (inducteur) est raccordé en série avec le rotor (induit), ainsi la même tension traverse le stator et le rotor. Par conséquent, le sens de rotation ne change pas avec le sens du courant; il suffit de brancher le rotor et le stator dans l'autre sens. Le circuit électrique est représenté par la suivante figure (I.7):

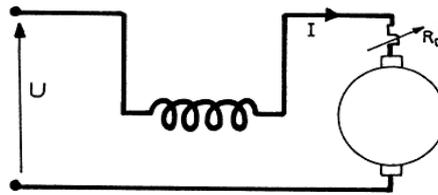


Figure I.7 : Schéma équivalent d'un moteur à excitation série

C. Moteur à excitation séparée.

Dans un moteur à excitation séparée ou indépendante, le circuit d'excitation est séparé du circuit d'induit figure (I.8). Si l'inducteur est un aimant permanent, le flux (Φ) est constant. Si l'inducteur est un électroaimant alimenté par une source de tension continue réglable, le flux (Φ) ne dépend que du courant dans l'inducteur appelé courant d'excitation (I_e).

Le courant crée un champ et une quantité de champ à travers une spire donne un flux. Si la tension (V_e) est constante, le courant d'excitation (I_e) est constant et le flux (Φ) est constant. Dans ces conditions, la force contre électromotrice (E) ne dépend que de la fréquence (n) de rotation.

Donc la fréquence de rotation (n) est proportionnelle à la tension (V) d'alimentation du moteur.

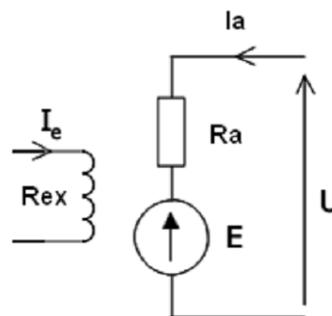


Figure I.8: Schéma équivalent d'un moteur à excitation séparé

D. Moteur à excitation composée :

Modes de branchement :

Courte dérivation : L'enroulement est shunté directement avec l'induit.

Long dérivation : L'enroulement est shunté en parallèle avec l'induit.

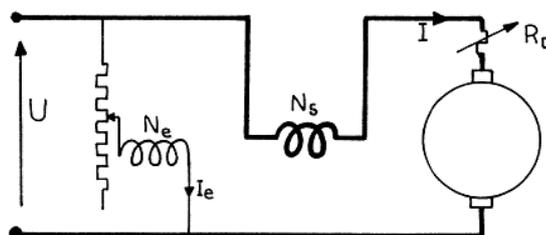


Figure I.9 : Schéma équivalent d'un moteur à excitation composé

I.7. AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS :

I.7.1 Les Avantages :

- Fonctionnement facile (contrôle de la tension d'induit): génératrice ou moteur.
- La variation de fréquence de rotation est simple à réaliser
- Alimentation aisée dans les systèmes transportant leur réserve d'énergie (autonome) : pile ou batterie.

I.7.2. Les Inconvénients :

Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou charbons et le collecteur rotatif.

- Plus la vitesse de rotation est élevée, plus les balais doivent appuyer fort pour rester en contact et plus le frottement est important.
- Aux vitesses élevées les charbons doivent être remplacés très régulièrement.
- Le contact électrique imparfait cause des arcs électriques, usant rapidement le commutateur et générant des parasites dans le circuit d'alimentation.

Pour des fonctionnements en moteur de petite puissance, ce problème peut être résolu grâce à la technologie du moteur à courant continu sans balai communément appelé moteur brush less. Un dispositif d'électronique de puissance remplace l'ensemble balai collecteur. La position du rotor est détectée par des capteurs à effet Hall et le courant est commuté par des transistors à effet de champ [5].

I.8. BILAN DE LA PUISSANCE :

Il ne faut surtout pas oublier de considérer lors de l'étude et la réalisation d'un moteur ou d'une génératrice à courant continu les pertes occasionnées lors de l'utilisations de l'appareil. Il convient donc de porter notre intérêt quelques instants sur l'effet Joule du circuit électrique. En effet sa résistance n'est pas systématiquement négligeable, et il se peut que cela amène à des modifications conséquentes.[4]

Le bilan des puissances décline toutes les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine mécanique jusqu'à la puissance utile de nature électrique.

Entre ces deux termes, l'étude se portera sur toutes les pertes aussi bien mécaniques qu'électriques, et enfin une puissance sera étudiée tout particulièrement, elle correspond au passage de la puissance mécanique à la puissance électrique.

Le bilan, peut être résumé à l'aide schéma suivant :

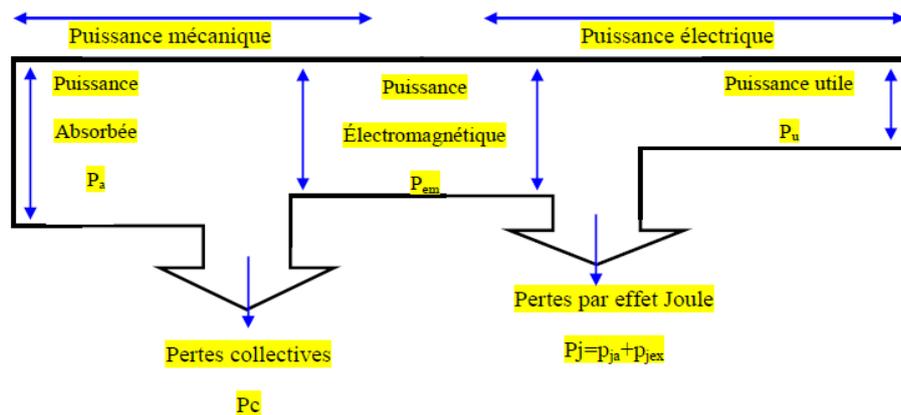


Figure I.10 : Bilan de la puissance

P_a : Puissance absorbée

P_u : Puissance utile

P_{em} : Puissance électromagnétique

P_{JS} : Pertes par effet joule dans l'inducteur

P_{JR} : Pertes par effet joule dans l'induit

P_c : Pertes fer + pertes mécaniques : dites pertes constantes

I.9. LE RENDEMENT :

Le rendement correspond à la puissance utile divisée par la puissance absorbée par le système. En effet, il existe des pertes dans la résistance, dans « le fer » de l'induit (pertes dues au champ magnétique qui fait tourner le système), et également des pertes mécaniques dues au frottement. L'ensemble de ces pertes entraînent une diminution du rendement.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (I.9)$$

Avec :

P_u : Puissance utile.

P_a : Puissance absorbée.

I.10. UTILISATION DE LA MACHINE A COURANT CONTINU :

L'utilisation de la machine à courant continu a une relation avec l'excitation :

- Moteur série : les moteurs à excitation série peuvent développer un très fort couple en particulier à basse vitesse on a utilise dans :
 - les démarreurs d'automobiles
 - les moteurs universels (perceuses, outillage à main, etc.)
- Excitation shunt : l n'y a plus beaucoup d'application à ce montage

- Le moteur sépare : est particulièrement adapté aux entraînements de machines nécessitant des vitesses réglables (action sur la tension) et présentant un couple important en basse vitesse (machines outils). :
 - moteur de traction (locomotive, métro ...).
 - appareils de levage.
 - Ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs, pompes à piston.

I.11. CONCLUSION:

Ce chapitre est un rappel sur tout ce qui est important pour la machine à courant continu (la construction, les types, principe de fonctionnement....)

En conclure que cette machine est facile à contrôler la vitesse et largement utilisée mais le problème est la maintenance a cause de le problème de balais collecteur en plus de l'excès de poids par rapport à la machine à courant alternatif.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudies les convertisseurs statiques.

CHAPITRE II

LES CONVERTISSEURS

STATIQUES

II.1. INTRODUCTION :

Grâce aux progrès technologiques réalisés ces dernières années dans le domaine de l'électronique de puissance, les convertisseurs statiques voient progressivement leur champ d'applications s'élargir. Certaines de ces nouvelles applications, telles que le filtrage actif et la dépollution de réseaux électriques, ou l'alimentation de machines à courant alternatif pour des applications particulières, sont très exigeantes en termes de performances dynamiques.

Les applications de l'électronique furent pendant longtemps limité à la technique des hautes fréquences. Les possibilités d'application étaient limitées par le manque de fiabilité des éléments électroniques alors disponibles. Cette fiabilité était insuffisante pour répondre aux hautes exigences requises par les nouvelles applications dans le domaine industriel. Ce ne fut qu'à la suite du développement des composants électroniques spéciaux de fiabilité plus élevée et de tolérance plus restreintes, que les nouvelles techniques peuvent être envisagées, ainsi naissit une nouvelle branche de l'électronique appelée l'électronique de puissance.

A la base de l'électronique de puissance se trouvent les éléments de puissances, qui peuvent être subdivisés en éléments redresseurs non contrôlables (diodes) et éléments redresseurs contrôlables (thyristors, triacs, transistors ...).

Les éléments de puissance, associés à des dispositifs auxiliaires appropriés (commande de gâchettes, radiateurs de dissipation, circuit RC de protection), composent des modules standard permettant la conversion de puissance, tel que les redresseurs, les onduleurs, les cyclo convertisseur ... etc.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents convertisseurs statiques et concentrons particulièrement sur les hacheurs qui sont utilisés dans les processus de variation de vitesse du moteur à courant continu ensuite la Technique de commande MLI et leur montage d'électronique de puissance.

II.2. ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

L'électronique de puissance est la branche de l'électrotechnique qui a pour objet de l'étude de la conversion statique d'énergie électrique (notamment les structures les composants, les commandes et les interactions avec l'environnement).

L'électronique de puissance traite l'énergie électrique par voie statique. Elle permet :

- Une utilisation plus souple et plus adaptée de l'énergie électrique.
- Une amélioration de la gestion, du transport et de la distribution de l'énergie électrique.
- Une discrétion par réduction des masses et des volumes ainsi par un fonctionnement ultrasonore des dispositifs.

- La conversion statique est réalisée au moyen de convertisseur statique qu'ils sont des dispositifs qui transforme l'énergie électrique disponible en une forme appropriée à l'alimentation d'une charge [5].

II.2.1. Électronique de puissance et la conversion électrique :

L'énergie électrique est surtout distribuée sous forme de tensions alternatives sinusoïdales ou continues. L'électronique de puissance permet de modifier la présentation de l'énergie électrique pour l'adapter aux différents besoins. Elle utilise des convertisseurs statiques. Ces derniers utilisent des interrupteurs électroniques.

La conversion statique est réalisée au moyen de convertisseur statique qu'ils sont des dispositifs qui transforme l'énergie électrique disponible en une forme appropriée à l'alimentation d'une charge [6].

II.2.2. Convertisseurs électriques :

Les convertisseurs sont des appareils servent à transformer la tension électrique pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative (monophasée ou triphasée) Figure (II.1) [7].

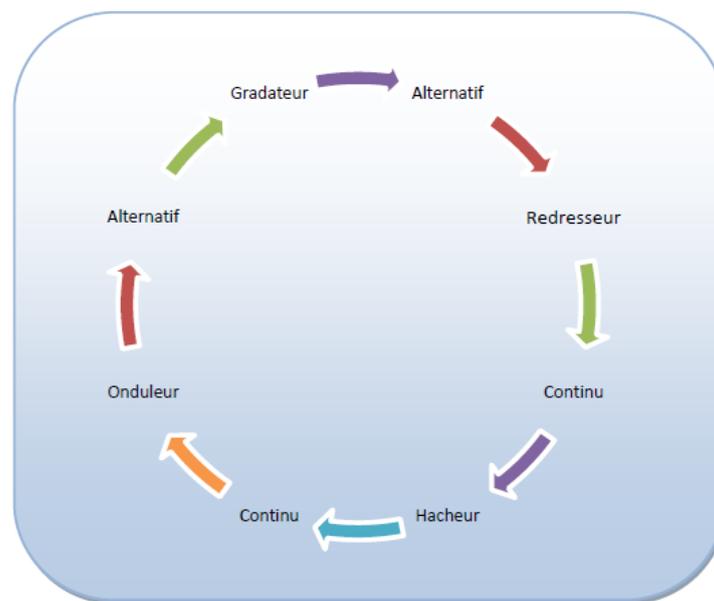


Figure II.1: Diagramme des divers types de convertisseurs statiques en électronique de puissance

Un convertisseur statique est un montage utilisant des interrupteurs à semi-conducteurs permettant par une commande convenable de ces derniers de régler un transfert d'énergie entre une source d'entrée et une source de sortie Figure (II.2).

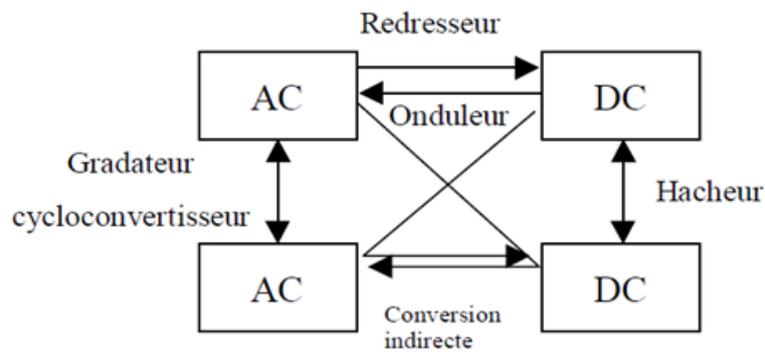


Figure II.2: Les convertisseurs statiques

On distingue plusieurs familles de convertisseurs statiques [7]

II.3. LES REDRESSEURS :

Les montages redresseurs, souvent appelés simplement redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif continu. Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie [8].

On utilise un redresseur chaque fois que l'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est disponible en alternatif. Comme c'est sous cette seconde forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications.

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu figure (II.3).

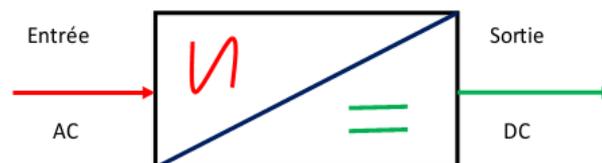


Figure II.3: Le redresseur

On trouve deux types de redresseur : les redresseurs non commandés et les redresseurs commandés :

II.3.1 les redresseurs non commandés

On distingue le redressement non commandé, utilisant uniquement des diodes et délivrant une tension de valeur moyenne non réglable.

Ces ponts ne délivrent qu'une tension de sortie fixe, et ne seront donc pas utilisés pour faire la variation de vitesse pour les MCC. Ces redresseurs ne sont composés que de diodes.

II.3.2. les redresseurs commandés :

On nomme « redresseur commandé » un montage redresseur dont une partie des diodes a été remplacée par un ensemble des thyristors pour obtenir une tension réglable aux bornes de la sortie.

On distingue :

- Le pont tout thyristor triphasé PT3
- Le pont mixte triphasé PM3
- Le pont mixte symétrique monophasé
- Le pont mixte asymétrique monophasé

II.4. L'ONDULEUR :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande figure (II.4) représente schéma de principe de l'onduleur.

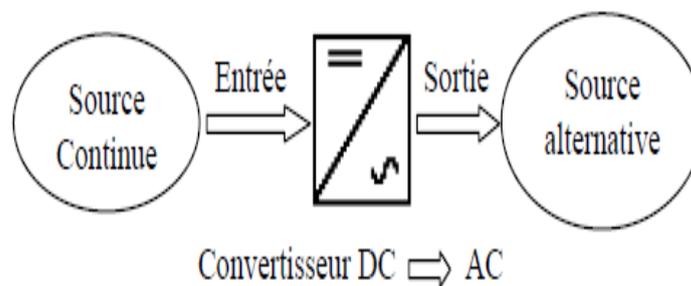


Figure II.4 : Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC)

Parmi les nombreux domaines d'emploi des onduleurs autonomes, on trouve principalement Les onduleurs à fréquence fixe à commutation forcée : Alimentés le plus souvent par une batterie d'accumulateur, ils jouent d'ordinaire le rôle d'alimentation de sécurité, ils constituent à ce titre, le principe déboucle actuel des onduleurs autonomes [2], [5]. Les onduleurs à fréquence variable à commutation forcées : Alimentés à partir du réseau industriel par l'intermédiaire d'un montage redresseur, ils délivrent une tension de fréquence et de valeur efficace nécessaires pour faire tourner à vitesse variable un moteur à courant alternatif.

II.4.1. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

La vitesse d'un moteur synchrone est fixée par la pulsation des courants statiques. Pour changer de vitesse il faut donc changer la fréquence des tensions d'alimentation. Il faut donc redresser la tension du réseau puis l'onduler à la fréquence désirée.

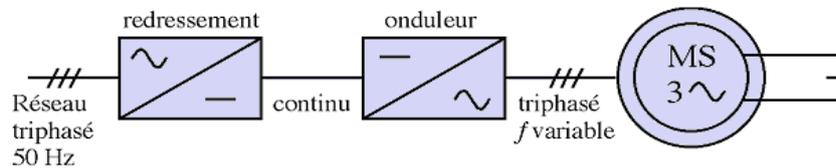


Figure II.5 : Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

Pour que la puissance du moteur reste nominale lorsque la fréquence varie, il faut en fait conserver le rapport (f/V) constant. (Si la fréquence augmente, il faut augmenter la tension d'alimentation proportionnellement).

II.4.2. Alimentation de secours

Lors d'une panne d'électricité, un onduleur assure la continuité de l'alimentation des machines à partir de batteries. En informatique professionnelle, un onduleur est indispensable pour éviter la perte d'informations en cas de panne du secteur [6]

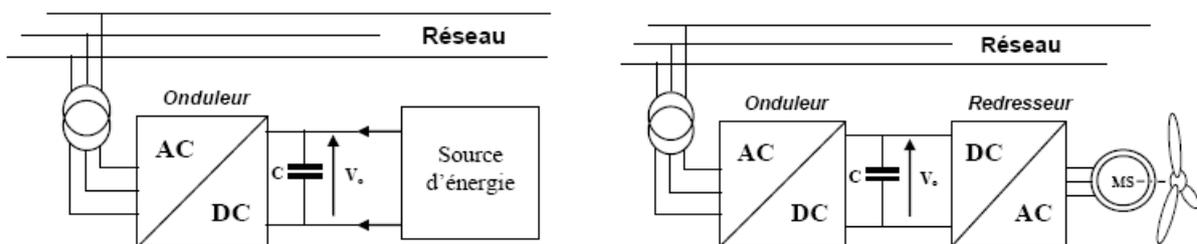


Figure II.6 : Alimentation de secours

II.4.3 Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

La France fournit de l'énergie électrique à la Grande-Bretagne, mais la fréquence du réseau anglais est 60 Hz. Il faut donc adapter la fréquence

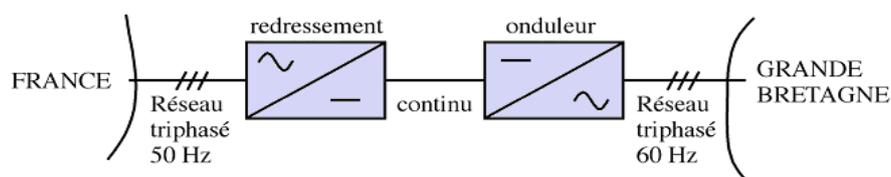


Figure II.7 : Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

On distingue différents types des onduleurs

- Onduleur de tension
- Onduleur de courant
- Onduleur à résonance
 - Onduleur à résonance parallèle
 - Onduleur à résonance série
 - Onduleur de tension triphasé

II.5. LE GRADATEUR :

Le gradateur est un montage qui permet de faire varier la valeur de la tension efficace aux bornes d'une charge telle qu'un moteur sans changer la fréquence de l'onde alternative de la source.

Ce montage est très fréquent dans le domaine domestique, au niveau notamment des variateurs de lumière pour lampes halogènes. La structure de base repose sur un interrupteur électronique capable de conduire dans les deux sens à l'état passant et de supporter une tension également dans les deux sens à l'état bloqué. Cet interrupteur peut être alors réalisé :

- Soit avec 1 seul composant : le triac
- Soit en assemblant deux thyristors tête-bêche [8]



Figure II.8 : Schéma de principe de la conversion Alternative - Alternative (AC – AC)

II.6. LES HACHEURS :

Nous traitons dans cette partie des convertisseurs unidirectionnels en courant et en tension. Cela implique que la fluence d'énergie ne peut se faire, au sein du convertisseur, que dans un seul sens. Cela revient également à considérer [8] des sources de tension non réversibles, unidirectionnelles en courant.

- des sources de courant non réversibles, unidirectionnelles en tension.

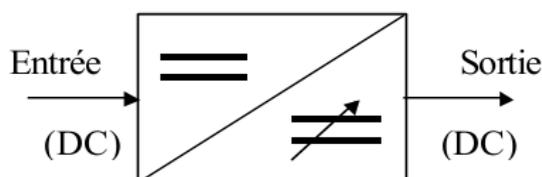


Figure II.9 : Schéma de principe de la conversion Continu - Continu (DC – DC)

II.6.1. Principe de fonctionnement :

Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source-charge à l'aide d'un interrupteur électronique [9]. Si le réseau disponible est un réseau continu, alors le convertisseur statique qu'on associe à la machine à courant continu ne peut être qu'un hacheur. Cette commande est réalisable soit par action sur la tension d'induit soit par action sur le flux. Sachant que le réseau continu provient soit :

- Soit de batteries.
- Soit d'un redresseur à diode.

II.6.2. Le rapport cyclique α :

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

$$\alpha = \frac{t_{on}}{T} \quad (\text{II.1})$$

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

$$t_{off} = T - t_{on} \quad (\text{II.2})$$

II.6.3. Différents types d'hacheurs :

L'étude des convertisseurs DC-DC les plus simples qui puissent être. Les différences structures de hacheurs dépendent du cahier des charges imposé au système pour choisir le type de hacheur en prendre en compte la nature des réseaux d'entrée et de sortie, différents types de convertisseurs de tension peuvent être :

- Hacheur abaisseur (ou Buck),
- Hacheur élévateur (ou Boost),
- Hacheur abaisseur-élévateur (Buck-Boost),
- Hacheur à quatre quadrants

II.6.3.1. Convertisseur Buck :

C'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. L'interrupteur K (Figure II.10) 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)[10].

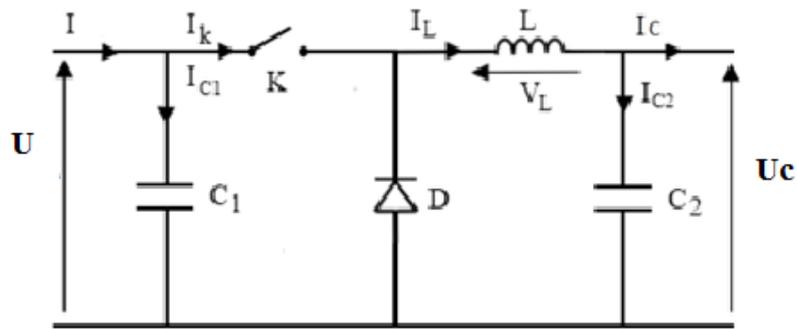


Figure II.10 : Schéma électrique d'un hacheur Buck

A. Principe de fonctionnement :

Dans ce type de convertisseur on a utilisé un interrupteur électronique (K) commandable à la fermeture et commandable à l'ouverture en pratique remplacés par transistors bipolaires, Mosfet, thyristors GTO ...

K est commandé périodiquement, fermeture pendant une durée αT ouverture pendant une durée $(1 - \alpha)T$.

α : est le rapport cyclique ($0 < \alpha < 1$)

$f = \frac{1}{T}$: est la fréquence de hachage.

$$\alpha = \frac{\text{Duree de fermeture K}}{\text{T période de hachage}}$$

D est une diode de « roue libre ». Elle est nécessaire quand la charge est inductive, pour éviter l'interruption du courant i quand K s'ouvre [11].

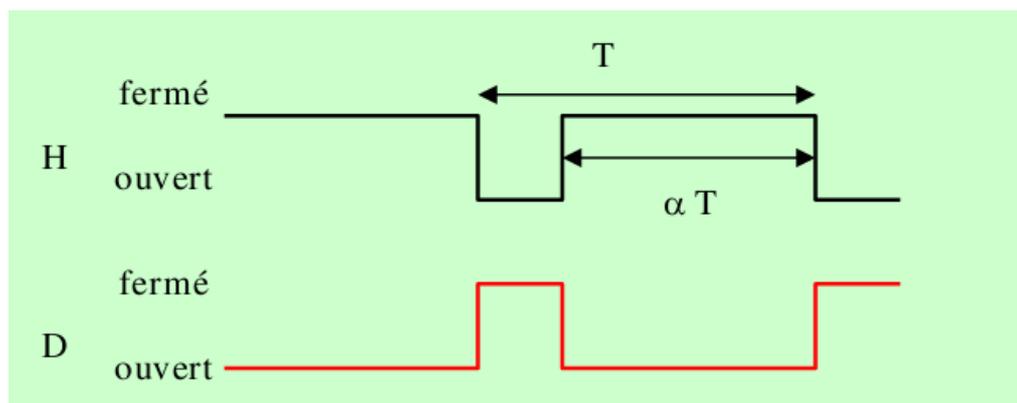


Figure II.11 : Le signal de commande pour un hacheur série

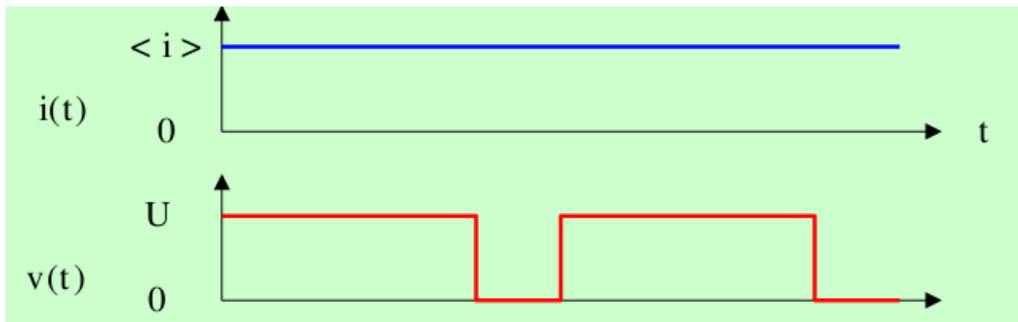


Figure II.12 : La tension et le courant aux bornes de la charge avec un hacheur série

B. Valeur moyenne de la tension:

La variation de la valeur du rapport cyclique permet d'obtenir une valeur de tension dans la sortie ajustable

$$U_{c_{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_s(t) * dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U * dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T 0 * d(t) = \frac{U}{T} (\alpha * T - 0)U \quad (\text{II.3})$$

$$U_{c_{moy}} = \alpha * U \quad (\text{II.4})$$

Le rapport cyclique α varie entre 1 et 0 donc la valeur moyenne de tension toujours égal ou inférieur à la tension de source U (source)

II.6.3.2. Convertisseur Boost :

Hacheur élévateur, hacheur survolteur, hacheur parallèle, hacheur de type Boost. C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu et la charge de sortie est de type tension continue l'interrupteur 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) [12].

Les applications principales du hacheur parallèle sont les alimentations de puissance régulées et le freinage par récupération des moteurs à courant continu.

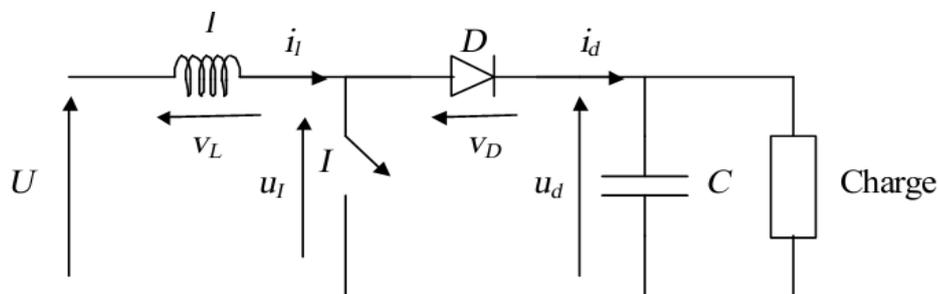


Figure II.13 : Schéma électrique d'un hacheur Boost

A. Principe de fonctionnement :

Le circuit est alimenté par une source de tension U , la sortie est alimenté une Charge, l'interrupteur I de puissance, est rendu périodiquement conducteur avec un rapport cyclique α à la fréquence $F = 1/T$. On distingue deux modes de fonctionnement de ce circuit selon que le courant circulant dans l'inductance L est ou non continu (ne s'annule pas au cours de la période).

Le mode conduction continue étant le plus intéressant pour ce convertisseur.

Avec

A. Phase 1 ($0 < t < \alpha T$)

L'interrupteur I est fermé, la diode D est bloquée. On a:

$$U = L * \frac{di}{dt} \quad (\text{II.5})$$

A l'instant $t = \alpha T$ le courant dans l'inductance atteint la valeur crête

$$I_M = I_m + \frac{U}{L} \alpha * T$$

(II.6)

B. Phase 2 ($\alpha T < t < T$)

A $t = \alpha T$ on ouvre l'interrupteur I , la diode D devient conductrice

$$U - V_D = L * \frac{di}{dt} \quad (\text{II.7})$$

A l'instant $t = T$ le courant dans l'inductance atteint sa valeur minimale :

$$i(t) = I_M - \frac{(U - U_d)}{L(t - \alpha T)} \quad (\text{II.8})$$

A l'instant $t = T$ le courant dans l'inductance atteint sa valeur minimale :

$$I_m = I_M - \frac{U - U_d}{L} (t - \alpha * T) \quad (\text{II.9})$$

Soit ΔI l'ondulation du courant dans l'inductance :

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{U - U_d}{L} (1 - \alpha) T \quad (\text{II.10})$$

$$U_d = \frac{U}{1 - \alpha} \quad (\text{II.11})$$

On constate que la tension de sortie du convertisseur ne dépend que de la tension d'entrée et du rapport cyclique α . Celui ci étant toujours compris entre 0 et 1, le convertisseur est toujours élévateur de tension [10].

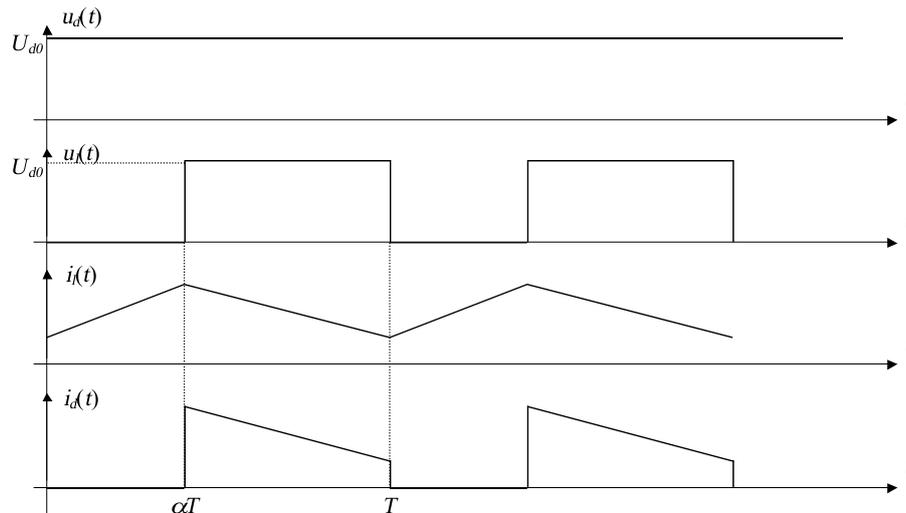


Figure II.14 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost

II.6.3.3. Hacheur Buck-Boost :

Le hacheur Buck-Boost 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 Figure (II.15) 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) [10].

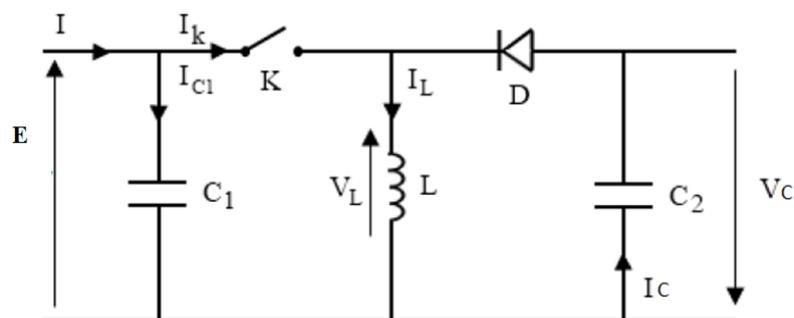


Figure II.15 : Schéma électrique d'un hacheur Buck- Boost

A. Principe de fonctionnement :

Le schéma de principe est présenté sur Figure (II.16). Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée αT , le courant augmente linéairement. La tension est égale à la tension d'entrée.

A l'ouverture de K, la diode prend le relais et la tension V_L est égale à V_C . Par définition la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle, Il en résulte que [5] :

- Quand le rapport cyclique $\alpha > 0.5$ le hacheur Buck-Boost fonction comme un hacheur Boost
- Si le rapport cyclique $\alpha < 0.5$ le hacheur Buck-Boost fonction comme un hacheur Buck.

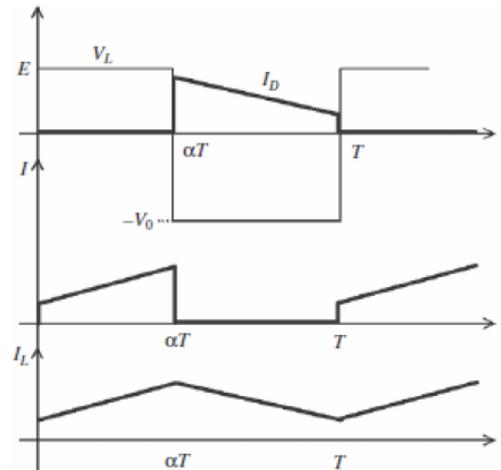


Figure II.16 : Chronogrammes de courant et de tension d'un hacheur Buck-Boost.

II.6.3.4. Hacheur à quatre quadrants : [13] [14]

Le hacheur à deux interrupteurs réversibles en courant et en tension se comporte comme un générateur de tension pouvant laisser circuler librement le courant moyen dans un sens ou dans l'autre. Il permet donc de fournir ou de récupérer de la puissance. Par contre, la tension est **uniquement positive**, on ne peut donc pas l'utiliser dans une application où le moteur électrique doit tourner en sens inverse.

Pour palier ce problème, l'idée consiste à exploiter un autre bras, identique au précédent mais imposant lui aussi une tension positive. Il suffit de connecter la charge aux bornes de ces deux bras pour disposer d'une tension positive ou négative, selon les valeurs des tensions moyennes de chaque bras.

A. Quadrants de fonctionnement des variateurs [15]

Deux paramètres définissent le fonctionnement des systèmes donc des moteurs. Ces deux paramètres sont le **couple** et la **vitesse**. Le couple dépend de la charge qui peut être **entraînée ou entraînant**. Le signe de la vitesse dépend du sens de rotation du moteur. 4 quadrants définissent les zones de fonctionnement Figure (II.17):

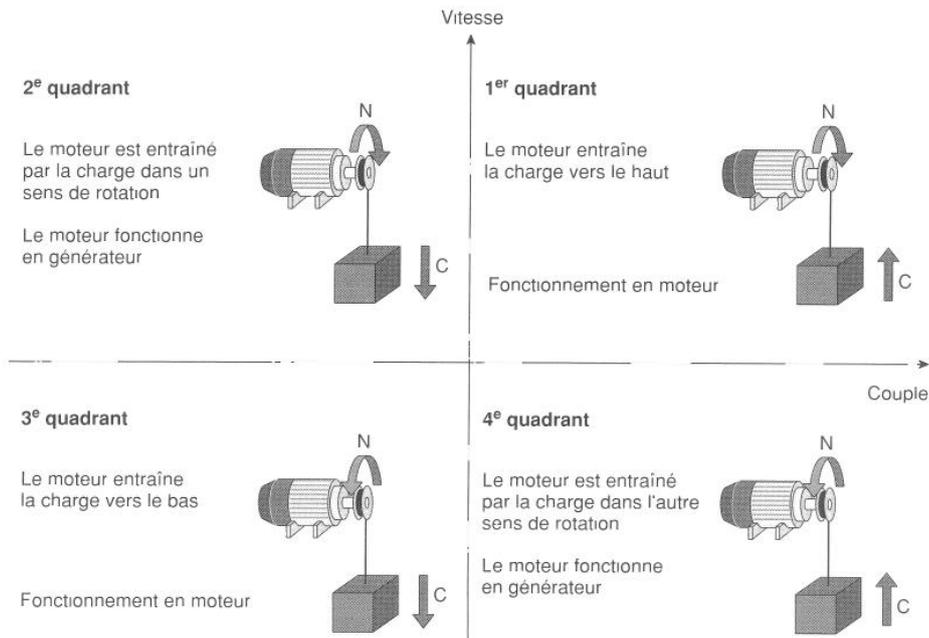


Figure II.17 : Zones de fonctionnement d'un hacheur à 4 quadrants

Quadrant 1 : la machine tourne en marche avant et fonctionne en moteur.

Quadrant 2 : la machine tourne en marche avant et fonctionne en génératrice.

Quadrant 3 : la machine tourne en marche arrière et fonctionne en moteur.

Quadrant 4 : la machine tourne en marche arrière et fonctionne en génératrice

B. Structures des zones de fonctionnement [14]

Le montage est constitué d'une source de tension continue E réversible en courant, de l'induit d'une machine à courant continu (MCC) + son inductance de lissage L et de 4 interrupteurs électroniques $K1, K2, K3, K4$ commandés à l'ouverture et à la fermeture et bidirectionnels en courant Figure (II.18)

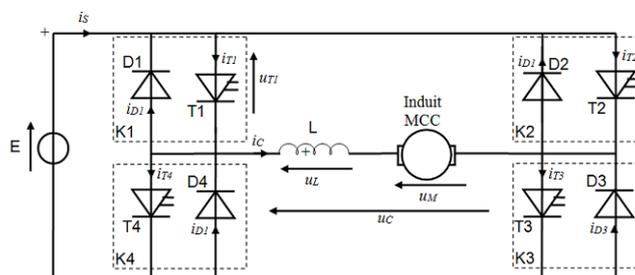


Figure II.18 : Schéma électrique d'un hacheur à 4 quadrants

La machine à courant continu est susceptible de fonctionner en moteur, le transfert d'énergie s'effectue alors de la source E vers la MCC, ou en génératrice, le transfert d'énergie s'effectue alors de la MCC vers la source E .

Les interrupteurs sont constitués d'un transistor ou, IGBT + Mosfet, son circuit de commande, et d'une diode branché en antiparallèle qui permet d'assurer la possibilité du retour du courant.[15]

Les interrupteurs doivent pouvoir être commandés à l'ouverture et à la fermeture, et amplifier le courant: on utilise des transistors en commutation généralement des MOSFET.

Chaque interrupteur électronique est associé a une diode dite de **diode de récupération**, elles permettent la circulation du courant lorsque l'interrupteur est commandé et que le courant est dans le sens opposé à celui de l'interrupteur.

Cette phase est appelée **phase de récupération**, elle correspond au freinage du moteur (qui fonctionne à ce moment précis en génératrice) appelé « freinage par récupération ».

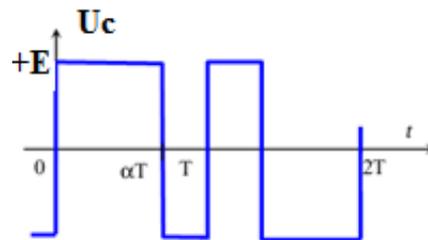
C. Fonctionnement dans les 4 quadrants :

➤ Pour $0 \leq t \leq \alpha T$, on commande la fermeture de K1 et K3 donc $U_c = E$

- Si $i_c > 0$ alors le courant passe par K1 et K3
- Si $i_c < 0$ alors le courant passe par D1 et D3

➤ Pour $\alpha T \leq t \leq T$, on commande la fermeture de K2 et K4 donc $U_c = -E$

- Si $i_c > 0$ alors le courant passe par D2 et D4
- Si $i_c < 0$ alors le courant passe par K2 et K4



D. La valeur moyenne de la tension au borne de la charge:

La valeur moyenne de la tension U_c est :

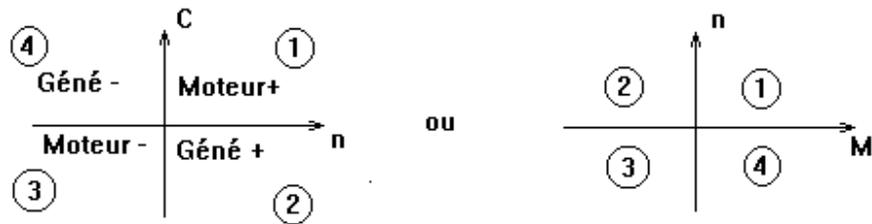
$$U_{c_{moy}} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\alpha T} E * dt + \int_{\alpha T}^T -E * dt \right] = \frac{1}{T} [E * \alpha T - E * T + E * \alpha * T] \quad (\text{II.12})$$

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

Cette tension est donc réglable de $-E$ à $+E$

Maintenant on peut avoir $U_{c_{moy}} < 0$ (formule) donc on peut avoir un sens de rotation négatif.

Le courant pouvant également être négatif on dispose de 4 quadrants.



E. Chronogrammes

Chronogrammes pour $\alpha > 0.5$ et la machine à courant continu fonctionnant en moteur :

quadrant 1

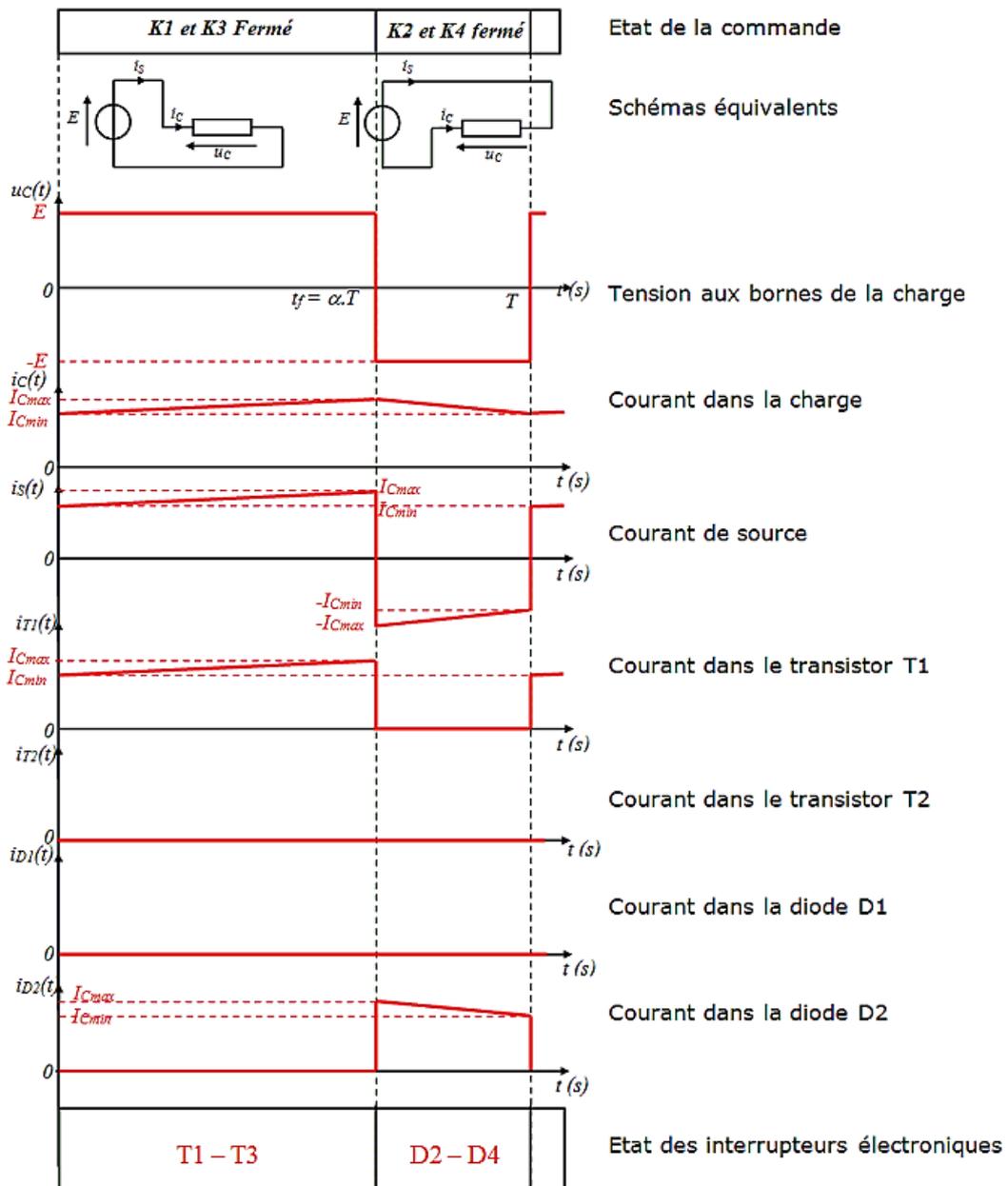


Figure II.19 : Chronogramme de la machine à courant continu fonctionne en moteur : quadrant 1 avec $\alpha > 0.5$

Remarque : pour $\alpha < 1/2$ la machine à courant continu fonctionne en moteur : **quadrant 3**

F. Fonctionnement dans les 4 quadrants

La tension aux bornes de la charge vérifie la relation

$$U_c = U_L + U_M \quad (\text{II.14})$$

Or $U_L = 0$ donc

$$U_c = U_M$$

$$\text{De plus } U_c = E(2\alpha - 1) \quad \text{et } U_M = E_M + R * i_c = K * \Phi * \Omega + R * i_c \quad (\text{II.15})$$

On en déduit que la vitesse de rotation est donnée par la relation :

$$\Omega = \frac{(2\alpha - 1)E - R * i_c}{K * \Phi} \quad (\text{II.16})$$

II.7. TECHNIQUE DE COMMANDE MLI: [15-15] [16-23]

La qualité de la tension de sortie d'un hacheur dépend largement de la technique de commande utilisée pour commander les interrupteurs de ce hacheur. Il existe plusieurs techniques de commande et le choix d'une technique parmi toutes les possibilités dépend essentiellement du type d'application auquel l'appareil est désigné. La technique la plus utilisée dans les variateurs de vitesse pour MCC est la commande par modulation de la largeur d'impulsion MLI

Les techniques de modulation de largeur d'impulsions sont multiples. Cependant, quatre catégories de MLI ont été développées.

- **Les modulations sinus-triangle** effectuant la comparaison d'un signal de référence à une porteuse, en général, triangulaire;
- **Les modulations pré-calculées** pour lesquelles les angles de commutation sont calculés hors ligne pour annuler certaines composantes du spectre ;
- **Les modulations post-calculées** encore appelées MLI régulières symétriques ou MLI vectorielles dans lesquelles les angles de commutation sont calculés en ligne ;
- **Les modulations stochastiques** pour lesquelles l'objectif fixé est le blanchiment du spectre (bruit constant et minimal sur l'ensemble du spectre). Les largeurs des impulsions sont réparties suivant une densité de probabilité représentant la loi de commande.

Le développement considérable de la technique de modulation en largeur d'impulsion ouvre une large étendue d'application dans les systèmes de commande et beaucoup d'autres fonctions. Elle permet une réalisation souple et rentable des circuits de commande des hacheurs.

II.7.1. Structure de commande

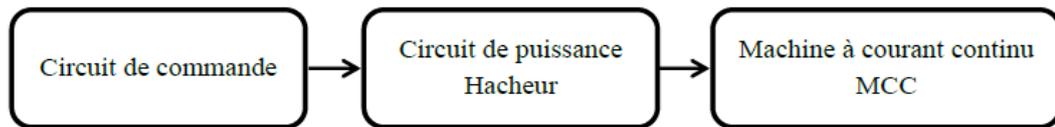


Figure II.20 : La structure de commande

Pour faire varier la vitesse d'un moteur on peut faire varier la tension d'alimentation à ses bornes mais dans ce cas une partie importante de l'énergie est consommée par le dispositif d'alimentation, on préfère de façon discontinue avec un hacheur et faire ainsi varier la tension moyenne à ses bornes. On parle alors de Modulation par Largeur d'Impulsions (MLI), ou Pulse Width Modulation (PWM).

II.7.2 Principe de la commande MLI [18]

Le Principe de base de la Modulation de la Largeur d'impulsion MLI est fondé sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire. Ainsi, la tension de sortie est formée par une succession de créneau d'amplitude égale à la tension continue d'alimentation et de largeur variable. La technique la plus répandue pour la production d'un signal MLI est de comparer entre deux signaux :

- Le premier, appelé signal de référence, est un signal continu
- Le second, appelé signal de la porteuse, définit la cadence de la commutation des interrupteurs statiques du convertisseur. C'est un signal de haute fréquence par rapport au signal de référence ;
- L'intersection de ces signaux donne les instants de commutation des interrupteurs

La réalisation électronique de la fonction MLI est donnée par la figure (II.20).

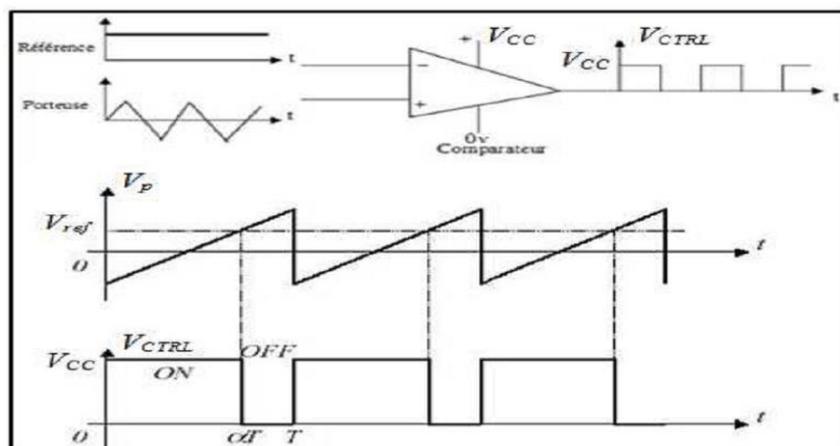


Figure II.21 : Un signal MLI (PWM) [19]

II.9. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre des généralités sur la machine à courant continu, et on peut recenser deux types d'excitation très répandus dans les utilisations des MCC: la machine à excitation indépendante et la machine à excitation série.

En même temps, on a parlé des convertisseurs continu/continu (les hacheurs) et ses différentes types utilisés pour commander la vitesse de la MCC : abaisseur (buck), élévateur (boost), réversible en courant et en tension, et enfin l'hacheur en pont (04 quadrant).

A la fin nous avons vu aussi la stratégie de commande en utilisant la modulation à largeur d'impulsion (MLI) ou Pulse Width Modulation (PWM).

CHAPITRE III

SIMULATION D'UN

VARIATEUR DE VITESSE

III.1. INTRODUCTION :

Les machines à courant continu occupent une place dominante au sein des systèmes électromécaniques à vitesse variable, est en forte régression. Son succès, qui lui permet toujours d'occuper une place sur le marché, est dû à la grande simplicité de son alimentation électronique et de sa commande comparativement à celles de ses concurrentes, les machines à commutation électronique ou sans balais (synchrones, asynchrones, à réluctance variable,...)[8]

Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu on varie la tension d'alimentation à ses bornes. Pour atteindre cet objectif on utilise un hacheur. Dans ce chapitre, nous allons simuler le démarrage d'un moteur à courant continu, un hacheur à quatre quadrants et en fin l'association moteur-machine.[3][8]

III.2. MATLAB- SIMULINK :

Simulink est l'extension graphique de MATLAB permettant de représenter les fonctions mathématiques et les systèmes sous forme de diagramme en blocs.

La simulation de systèmes dynamiques est une clé de la réussite dans la conception de systèmes mécatroniques. Elle permet de réduire le coût et la durée de mise au point par rapport à des tests sur système réel. Simulink est un module de MATLAB développé par The Mathworks [3][8]

Simulink permet de programmer à l'aide d'une interface graphique simple un système dynamique et de visualiser les résultats. N'importe quel circuit ou système de contrôle pour un système dynamique peut être construit en utilisant des blocs disponibles dans les bibliothèques Simulink. Les bibliothèques disponibles sont diverses : DSP, logique floue, réseaux de neurones, machines tournantes, composants électroniques...[11]

Dans Simulink, les informations cheminent d'un bloc à l'autre via des connections reliant ces blocs. Des signaux peuvent être générés et envoyés aux différents blocs à l'aide de sources.

Durant la simulation, les données sont transmises et traitées à temps discret. Le réglage du pas de calcul (time step) est donc fondamental pour assurer un bon fonctionnement du système. Sa détermination est basée sur la constante de temps la plus petite du système considéré.

III.3. SIMULATION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU A EXCITATION SEPARÉE :

Pour les moteurs à courant continu de faible puissance on les alimente directement par pleine tension et dans le cas des moteurs à courant continu de moyenne et forte puissance, les pointes d'intensité de démarrage ne sont pas admissibles.

Pour limiter le courant dans l'induit on met en série pendant la phase de démarrage une ou plusieurs résistances rotoriques que l'on élimine progressivement lors de la montée en vitesse du moteur [20]

III.3.1. Modélisation d'une machine à courant continu [21]

Dans ce travail nous allons utiliser la machine à courant continu à excitation indépendante. La figure (III.1) donne le Modèle électrique de la machine

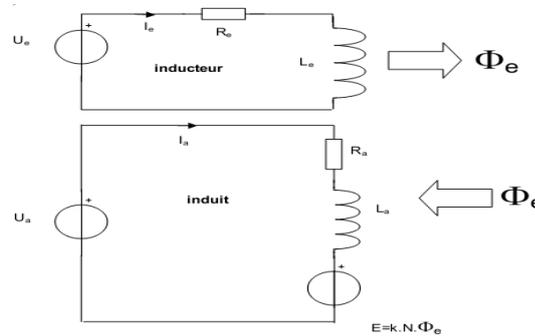


Figure III.1 : Modèle électrique de la machine à courant continu à excitation indépendante

III.3.2. Les Equations de la machine courant continu :

Le fonctionnement général d'une machine à courant continu (MCC) accouplée à une charge mécanique peut être traduit par ces équations :

III.3.2.1. Equation mécanique :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_m - C_r \quad (\text{III.1})$$

C_r : Le couple résistant imposé par la charge

C_m : Le couple fournit par le moteur

Ω : Vitesse de rotation en radians/seconde.

J : Le moment d'inertie

III.3.2.2. Equation électrique :

A. Equation de l'inducteur :

$$U_e = R_e * i_e + \frac{L_e * di_e}{dt} \quad (\text{III.2})$$

B. Equation de l'induit :

Cette équation provient de l'équation de maille de l'inducteur sur le circuit de la Figure (III.1).

$$U_a = R_a * i_a + \frac{L_a * di_a}{dt} = R_a * i_a + L_a * \frac{di_a}{dt} + k * \Phi_e * \Omega \quad (\text{III.3})$$

C. Equation électromécanique :

$$E = k * \Phi * \Omega \quad (\text{III.4})$$

Avec :

$$C_m = k * \Phi i \quad (\text{III.5})$$

Φ : Le flux inducteur en Wb.

Nous supposons le flux constant, c'est le cas des MCC à excitation indépendante ou parallèle. La constante k est fixée une fois la machine construite

III.4. SIMULATION DE LA MOTEUR A COURANT CONTINU A EXCITATION INDEPENDANTE SOUS MATLAB-SIMILUNK :

Nous allons résoudre ces équations au moyen du logiciel "Simulink". Il s'agit d'une extension du logiciel de calcul numérique "Matlab" qui permet de faire un modèle de la moteur. La résolution proprement dite fait appel à un sommateur, deux blocs multiplicateurs (gain) et à un bloc intégrateur, comme indiqué sur le schéma ci-dessous Figure (III.2):

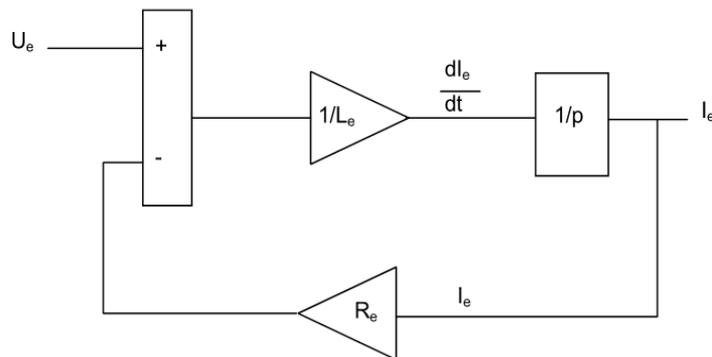


Figure III.2 : Schéma-bloc de la résolution de l'équation de l'inducteur [21]

En suite les mêmes étapes pour fait le modèle de la machine le schéma est directement imprétable dans "Simulink". Comme représentés la figure (III.3)

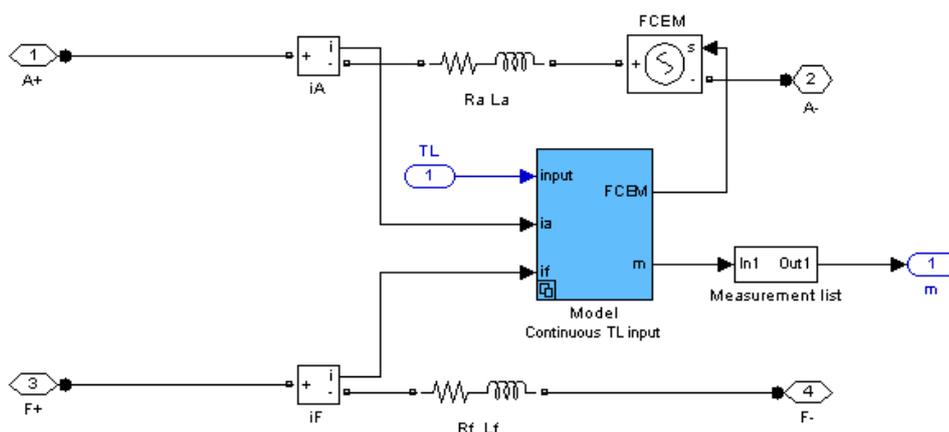


Figure III.3 : Schéma-bloc simulant une MCC à excitation indépendante [23]

III.5. SIMULATION LE DEMARRAGE DE M CC A EXCITATION SEPREEE :

III.5.1. Schéma bloc de la simulation

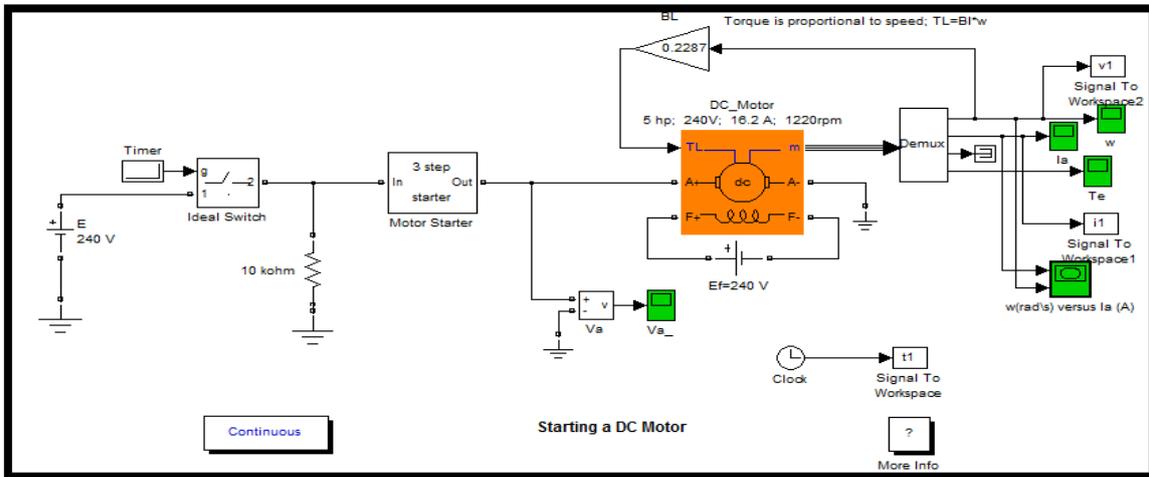


Figure III.4 : Schéma block du démarrage d'un MCC

III.5.2. Les courbes de la simulation le démarrage d'un MCC:

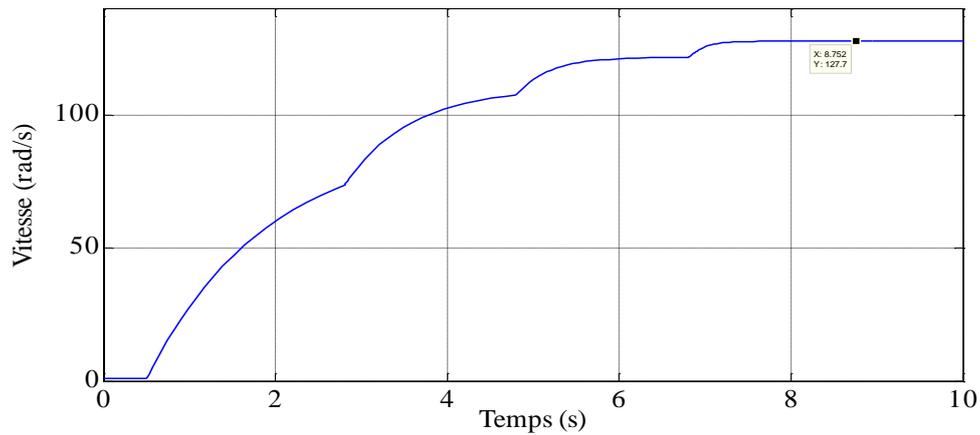


Figure III.5 : La vitesse de démarrage d'un MCC

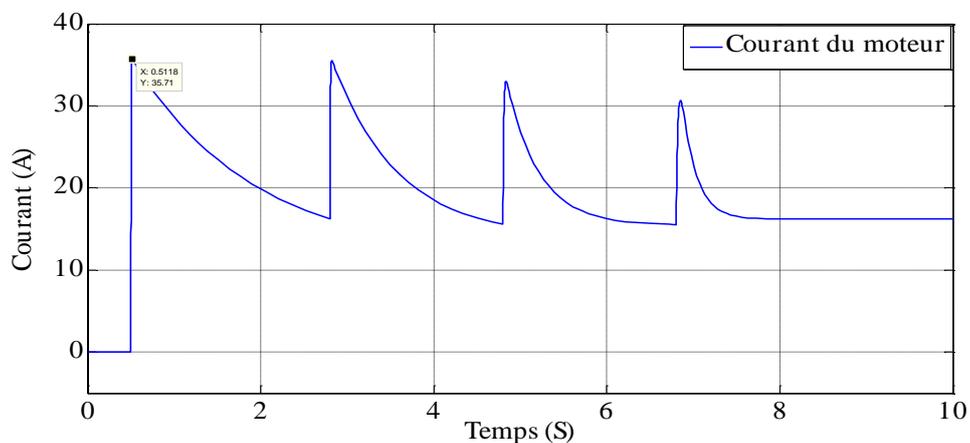


Figure III.6: Le courant de démarrage d'un MCC

III.5.3. Interprétation :

Le démarrage d'une machine à courant continu fait un appel du grand courant égal à deux ou trois fois que le courant nominal ou plus comme indiqué Figure (III.6). Lorsque le courant de démarrage égale à le courant nominal en remarque la vitesse est stable voir la Figure (III.5)

III.6. SIMULATION LA COMMANDE MLI:

La commande C'est la plus classique. Elle consiste à comparer la modulante (le signal à synthétiser) à une porteuse généralement triangulaire. Le signal de sortie vaut 1 si la modulante est plus grande que la porteuse, 0 sinon ; le signal de sortie change donc d'état à chaque intersection de la modulante et de la porteuse.

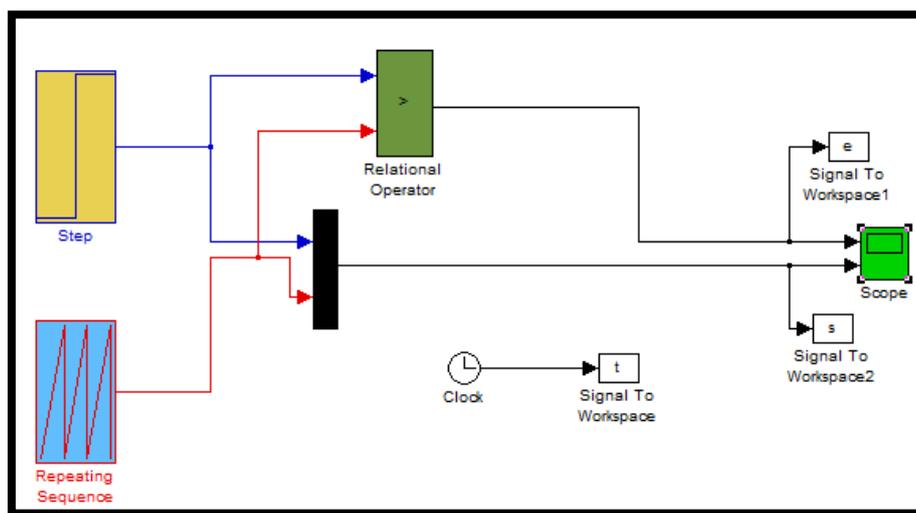


Figure III.7 : Schéma block de commande MLI

Le résultat de simulation de la commande MLI est présenté dans la figure ci-dessous (III.8):

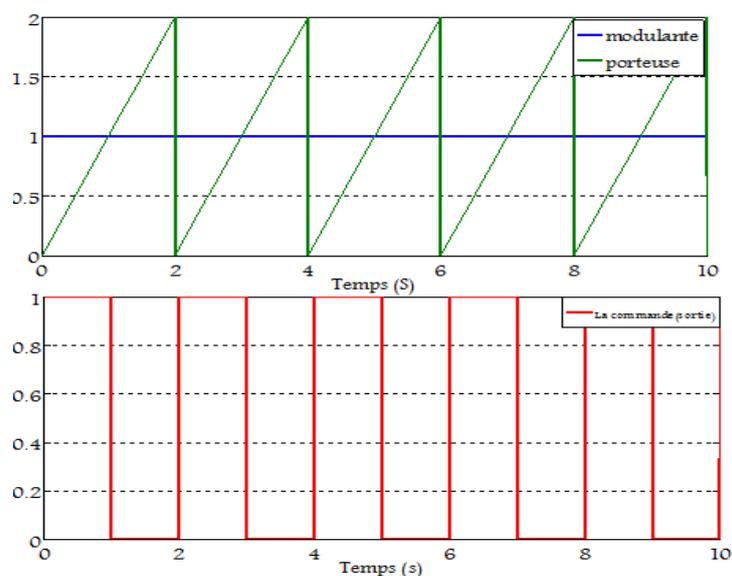


Figure III.8 : Chronogramme de la commande MLI intersective

III.7. SIMULATION D'UN HACHEUR QUATRE QUADRANTS

III.7.1. Schéma bloc de la simulation d'un hacheur quatre quadrants:

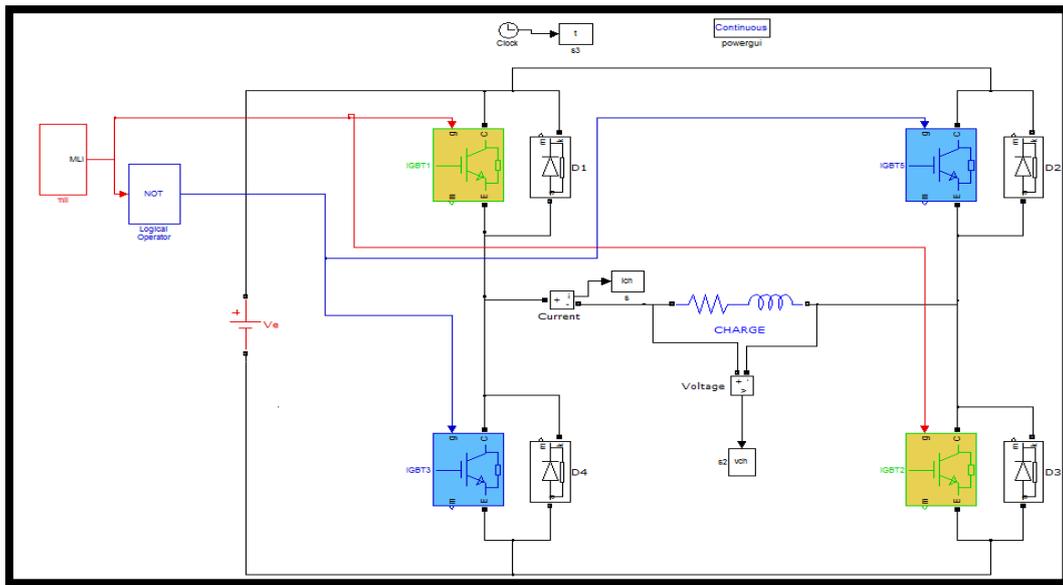


Figure III.9 : Schéma bloc de la simulation d'un hacheur quatre quadrants

III.7.2. Les courbes et résultats de simulation d'un hacheur quatre quadrants

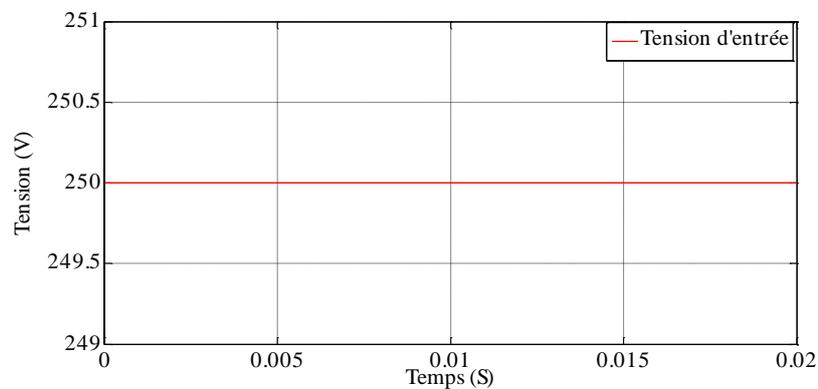


Figure III.10 : Tension d'entrée (source)

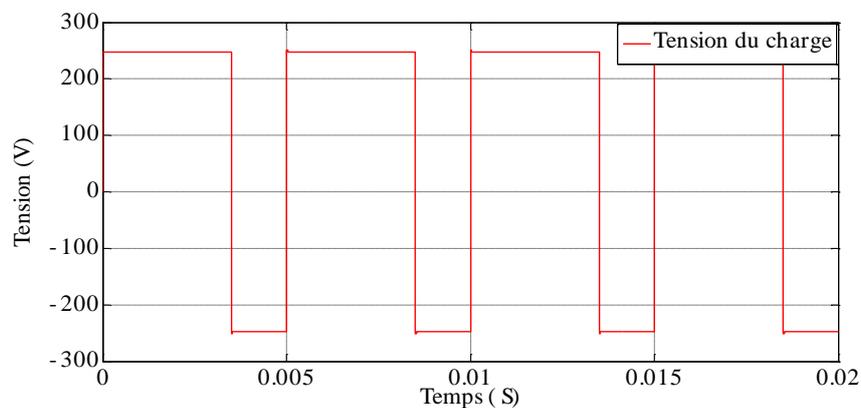


Figure III.11 : Tension de charge pour $\alpha=0.7$

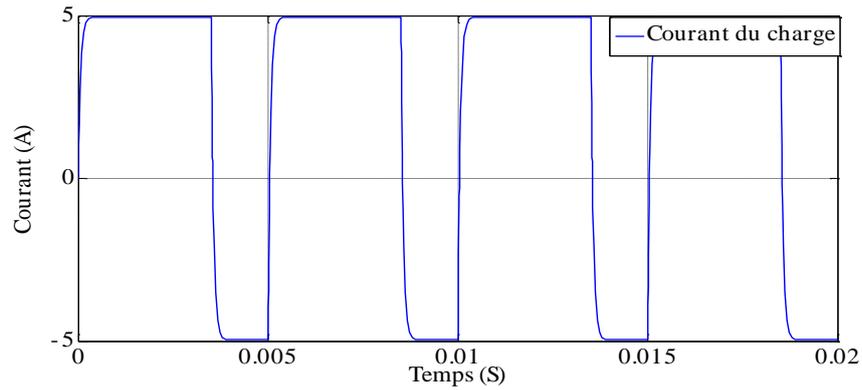


Figure (III.12) : courant de charge pour $\alpha=0.7$

Les Figure (III.11) et Figure (III.12) montre que l'angle d'amorçage assure l'ouverture et la fermeture (Ton et Toff) des interrupteurs (Mosfet)

III.8. SIMULATION D'UN HACHEUR QUATRE QUADRANTS COMMANDE UN MCC A EXCITATION SEPARÉE :

On a utilisé hacheur quatre quadrants pour commande la vitesse dans les sens de rotation d'un moteur à courant continu

III.8.1. Schéma bloc de la simulation :

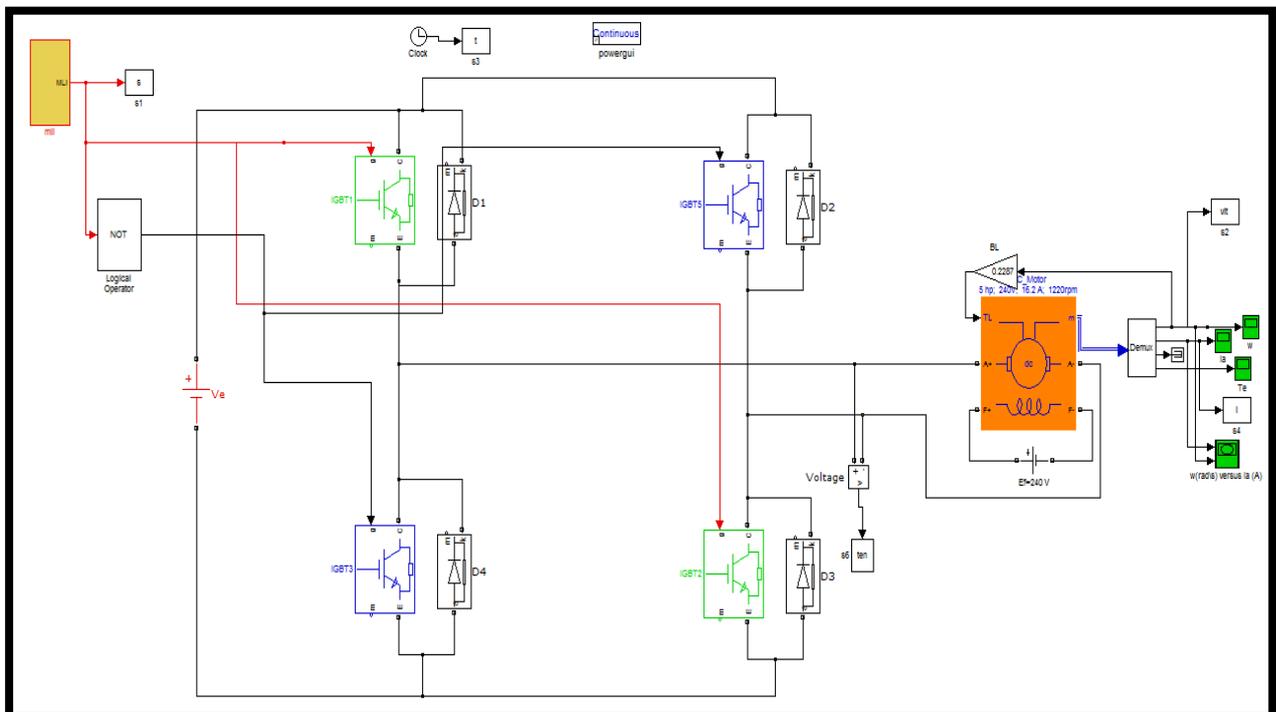


Figure III.13 : Schéma bloc de la simulation d'un hacheur quatre quadrants commande un MCC

III.8.2. résultats de simulation

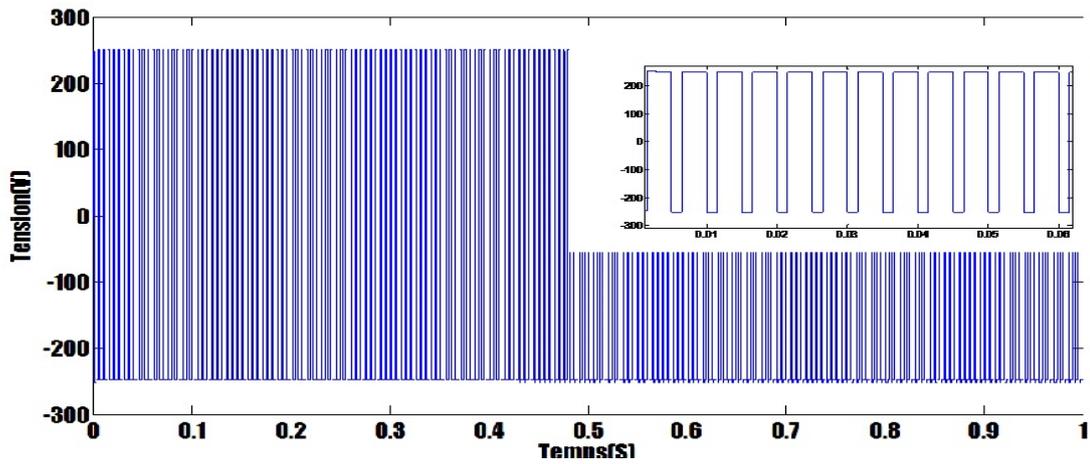


Figure III.14 : Tension aux bornes de moteur a courant continu

III.8.2.2 Le courant de moteur

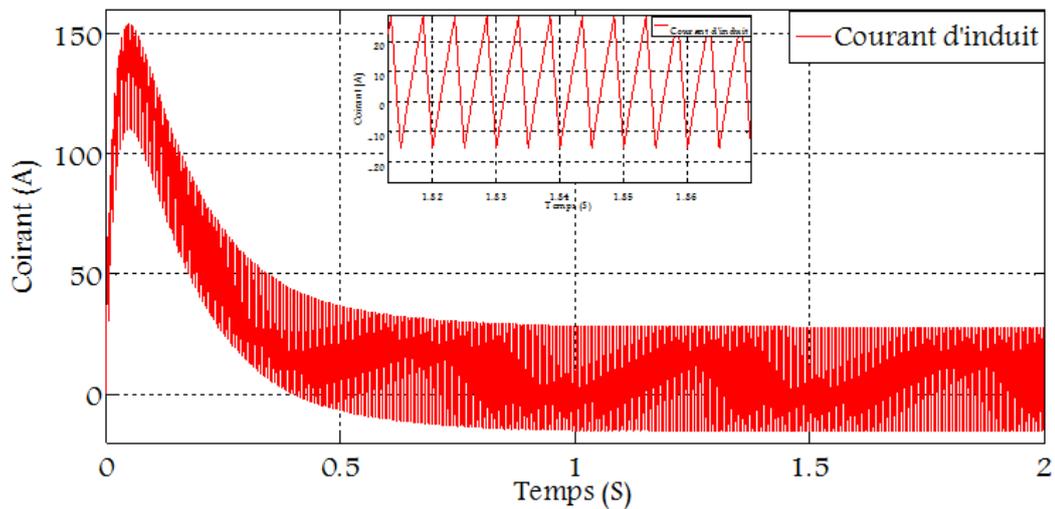


Figure III.15 : Courant d'induit Pour $\alpha=0.7$

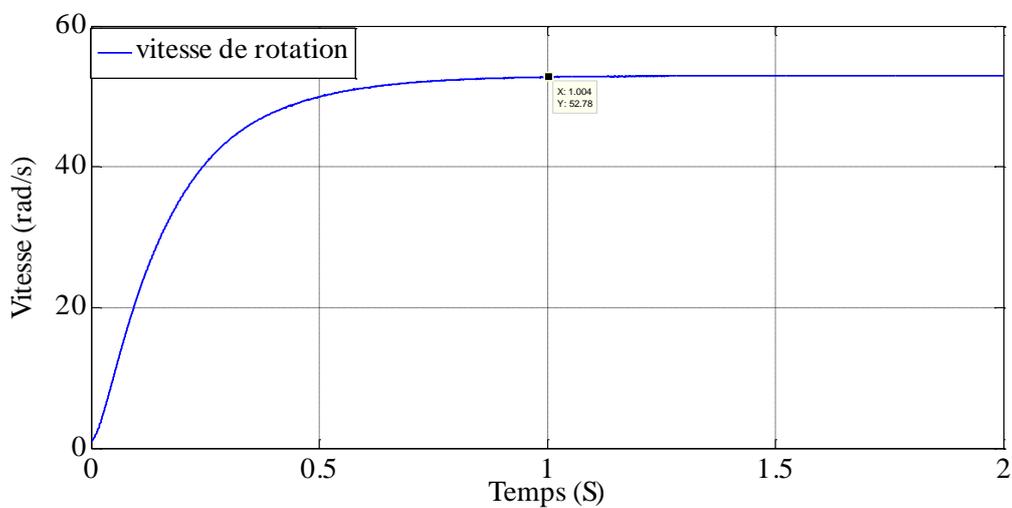


Figure III.16 : Vitesse de moteur pour $\alpha=0.7$

III.8.2.2. Interprétation :

Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu on joue sur l'angle d'amorçage α

- La variation de rapport cyclique varie la vitesse de moteur à courant continu,
- La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu dépend de sa tension d'alimentation,
- On peut inverser le sens de rotation du moteur avec un hacheur quatre quadrant.
- Le moteur démarre avec un courant de démarrage important de l'ordre de 143A, Pour les machines de grande et moyenne puissance on ajoute un limiteur de courant pour ne pas dépasser une certaine valeur est donnée par le constructeur, ensuite le courant passe au régime établi ou régime stable et stabilisé dans 32A qui désigne le courant nominal figure (III.15)
- Concernant la vitesse commence de zéro jusqu'à 0.67 s c'est le régime transitoire et se stabilise à 51 rad/s, c'est la vitesse en régime établi qui désigne le régime permanent. La courbe a une forme exponentielle, ce qui correspond à la présence de phénomènes transitoires dans les enroulements de la machine figure (III.16).

III.9. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation avec le logiciel MATLAB. Cette dernière montre que la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu dépend de sa tension d'alimentation, la variation de rapport cyclique varie la tension ou borne de moteur à courant continu.

CHAPITRE IV

RÉALISATION DE
DISPOSITIF

EXPÉRIMENTAL

IV.1. INTRODUCTION

L'essor de notre réalisation pratique est basé sur une connaissance théorique préalable qui permet de composer les différents circuits à partir d'une expérimentation de test. D'après les deux chapitres précédents on a pu avoir une idée sur le principe de fonctionnement de moteur à courant continu et l'hacheur à quatre quadrants (en pont).

Ce chapitre est réservé à la présentation des aspects pratiques de notre application. Commencant par la description du banc d'essais, jusqu'aux résultats pratiques. Dans la première partie, on présente une description détaillée de la partie matérielle utilisée (moteur à courant continu, la carte de commande,...). Ensuite, dans la deuxième partie, on présente les résultats et l'interprétation.

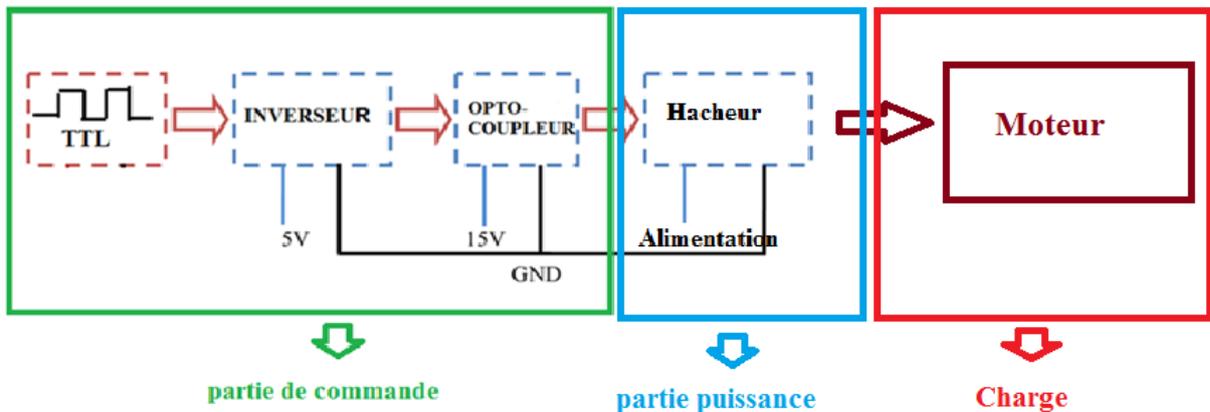


Figure IV.1: Schéma synoptique de fonctionnement d'un hacheur à quatre quadrants

IV.2. PRESENTATION DU BANC D'ESSAI

Notre banc d'essai figure (IV.1) est composé d'une machine à courant continu, d'un hacheur à quatre quadrants, d'une alimentation variable, d'une carte numérique (commande de l'hacheur, circuit d'isolation et des alimentations continues 5V et 15 V) Figure (IV.2).

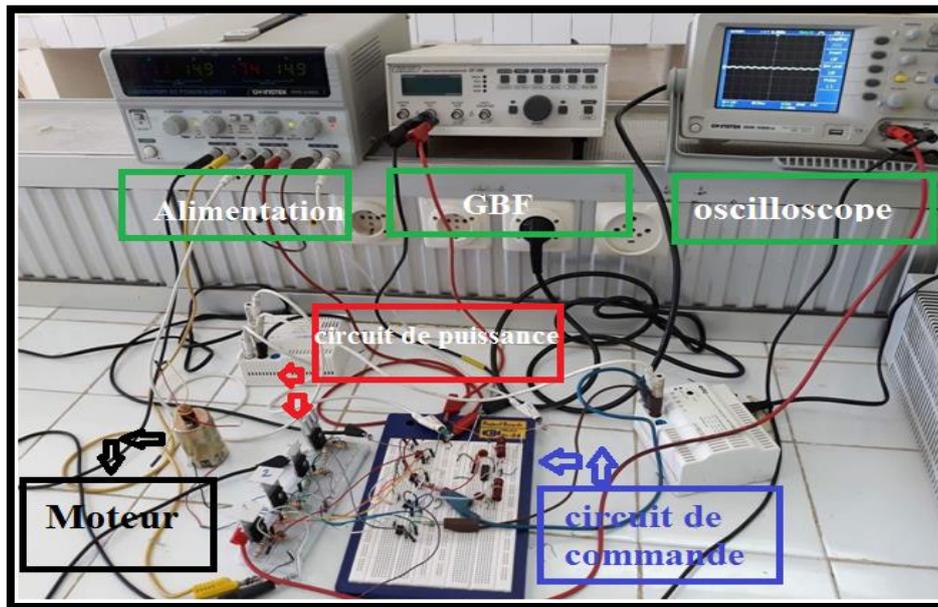


Figure IV.2 : Banc d'essai expérimental global

IV.2.1. Alimentation :

L'utilisation des circuits intégrés nécessitent une alimentation régulée et stabilisée. Elles ont besoin à d'une alimentation de 5 V et d'une autre alimentation de 15V.

IV.2.1.1. Alimentation de 15 V :

Alimentation +15V environ D1 redresse l'alternance positive. Le condensateur de stockage C1 permet de maintenir la tension présente lorsque la tension d'entrée alternative est faible ou négative. C'est une réserve d'énergie. La tension de sortie V_s vaut la valeur crête à laquelle on retranche la tension de seuil de la diode (0.7V). Elle n'est pas régulée et l'ondulation est à 50 Hz. En effet, C1 est rechargée à chaque alternance positive, c'est-à-dire une fois par période secteur (20ms). L'ondulation de la tension d'alimentation est basée sur l'emploi d'un régulateur de tension de type 7815 (LM7815). C2 et C3 servent à stabiliser la tension du 7815. Ils sont nécessaires. C2 assure une réponse rapide contrairement à la grosse réserve d'énergie C1. La figure (IV.3) montre le circuit qu'on va utiliser pour avoir une tension de 15v stabilisée.

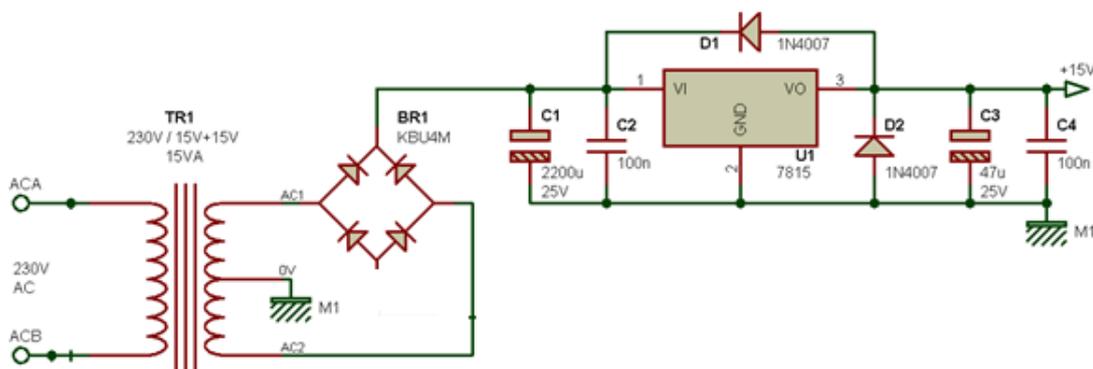


Figure IV.3 : Schéma électrique de l'alimentation 15V

IV.2.1.2. Alimentation de 5 V :

Le principe de cette alimentation est très simple. Le courant alternatif de 6 à 9V recueilli au secondaire du transformateur est redressé par 4 diodes, ce pont de diodes redresse les 2 alternances en trouve 8,4V ou plus a la sortie du pont.

Le condensateur de 2200µF ou plus accumule les charges électrique et ne peut plus les perdre en direction des diodes puisque celle-ci les bloquent. De ce fait la tension monte jusque presque 9V. Plus la capacité du condensateur est grand, plus la réserve de courant sera importante permettant de mieux supporter les brusques de courant provenant du circuit utilisateur.

Le courant traverse ensuite le régulateur de tension LM7805. C'est un circuit intégré à 3 pattes sa caractéristique est fournir en sortie une tension de 5V. La figure (IV.4) montre le circuit qu'on va utiliser pour avoir une tension de 5V stabilisée.

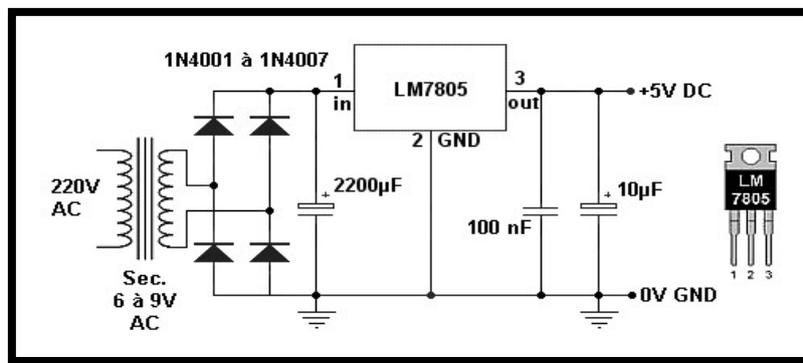


Figure IV.4 : Schéma électrique de l'alimentation 5V

IV.2.2. Circuit de commande

Pour commander les interrupteurs du hacheur à quatre quadrants et faire varier la vitesse dans les sens de rotations d'un moteur à courant continu le circuit de puissance doit voir deux signaux de commande : un signal de commande direct dans le sens positive et l'autre signal de commande inversé). Pour créer ces deux signaux on a réalisé le montage suivant comme indiqué figure (IV.5).

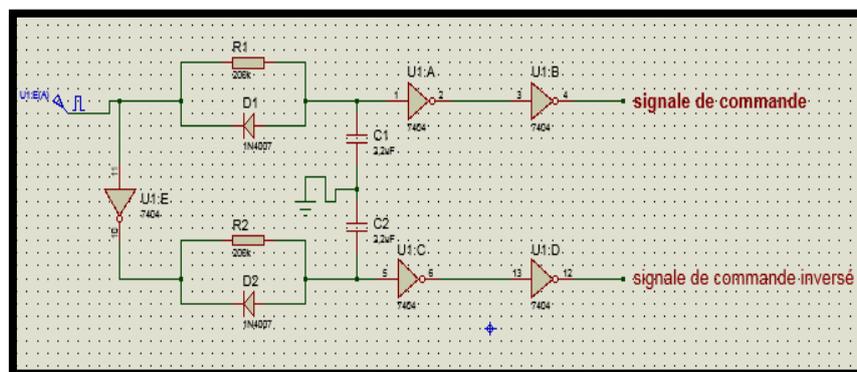


Figure IV.5 : Schéma électrique de la partie de commande avec PROTEUS

IV.2.2.1. Signal carrée

La technologie TTL est normalisée pour une tension d'alimentation de 5V un signal TTL est défini comme niveau logique haute entre 2,4 et 5V. Pour générer le signal carrée en a utilisé un générateur de fonction (GBF). Dans le partie de commande nous utilisons le signal carré comme une entré avec une amplitude de 5V et fréquence de 52,63Hz. Le signal peut être observé grâce à un oscilloscope comme représenté à la figure (IV.6).

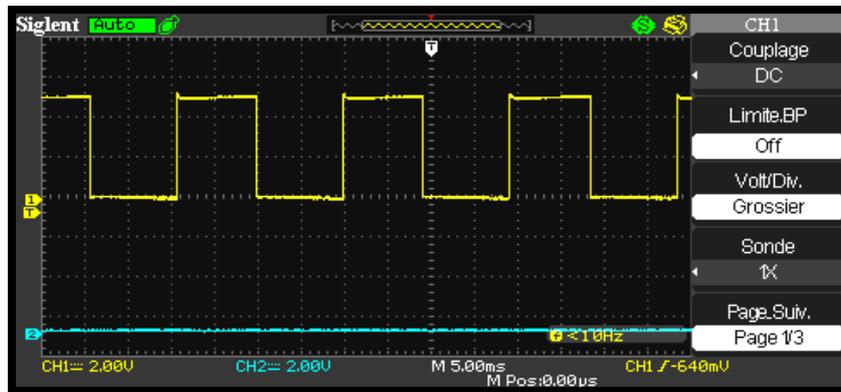


Figure IV .6 : Signal d'entrée de circuit de commande

IV.2.2.2 Signal inversé

Pour assures la commande de vitesse d'un moteur à courant continu dans les deux sens directe et inverse en inverse le signal d'entrée par un circuit intégré 74LS04. Ce circuit est composé de six portes logique indépendantes la Figure (IV.7).

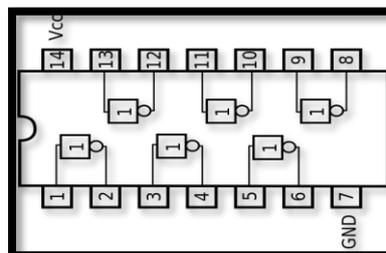


Figure IV.7 : Circuit intégré 74LS04

Les deux signaux d'entrées sont représentés sur la figure (IV.8)

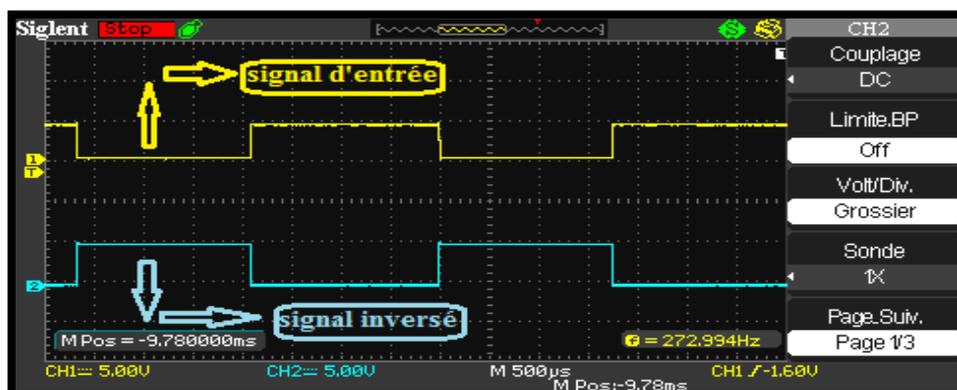


Figure IV.8 : Signal d'entrée et le signal inversé du circuit de commande

IV.2.3. Gestion du temps mort:

Le temps mort est introduit pour éviter la conduction simultanée des deux transistors d'un même bras de pont. Pour assurer la génération d'un retard (temps mort) entre les signaux de commande des deux MOSFETs et pour obtenir un temps mort réglable on a utilisé un simple circuit RC ($R=100k\Omega$ et $C=2.2\mu F$). La charge d'un condensateur permet d'obtenir une courbe à la forme exponentielle. Figure (IV.9)

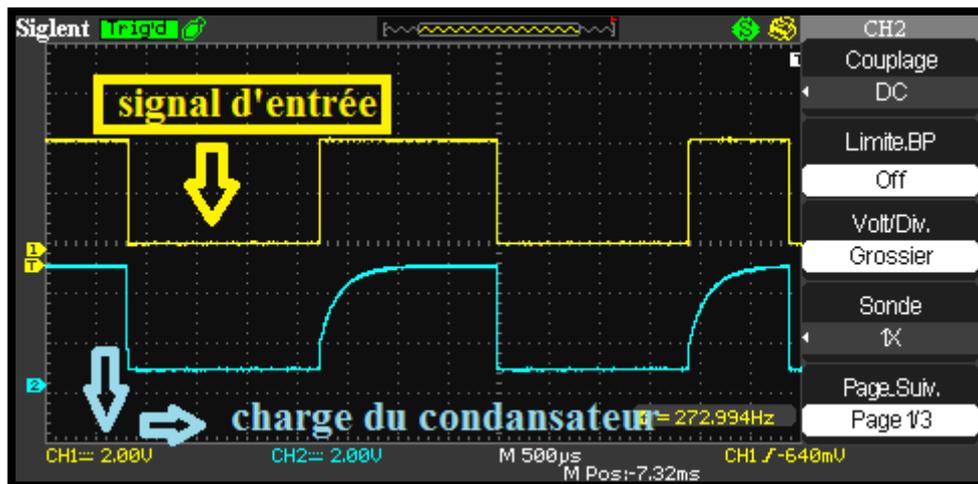


Figure IV.9 : Signal de la charge d'un condensateur

Un montage simple avec le circuit 74LS 04 permet de déterminer et visualiser le temps mort ($T_m=5\mu s$) d'après une réalisation le transfert de la forme d'onde de la charge du condensateur à un signal carré décalé par rapport au signal de référence [24]

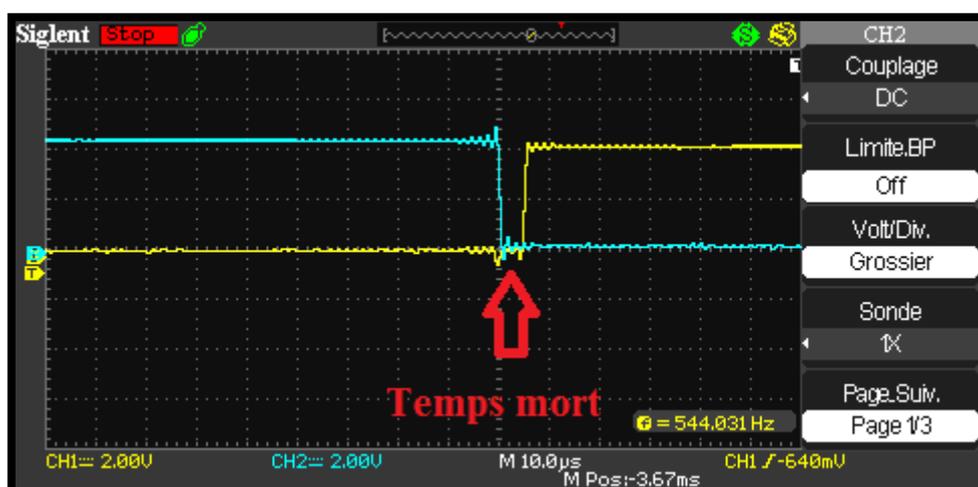


Figure IV.10: signal représenté le Temps mort

IV.2.4. OPTOCOUPLEUR 4N25

Un coupleur optique est un composant de l'électronique de commande permet de réaliser un isolement galvanique vis-à-vis de la charge (circuits de la puissance) ou d'une ligne de transmission de données. Il s'appelle un coupleur optique ou photo coupleur (opto isolation) est constitué d'un émetteur (DEL: diode électroluminescent), d'un récepteur. [24]

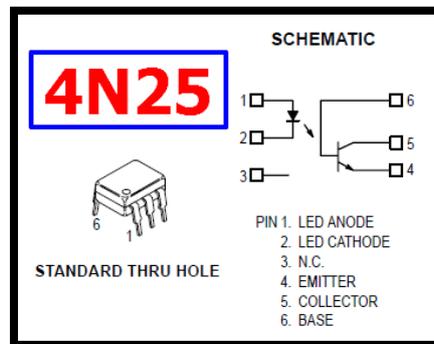


Figure IV.11: Schéma du circuit intégré 4N25

Les signaux délivrés par les cartes électroniques à des faibles puissances incapable d'attaquer les composants de puissance. Ce bloc est utilisé dans le but d'amplifier le signal généré par le bloc de commande à 15V transmise vers la base ou la gâchette des interrupteurs électroniques en même temps pour assurer l'isolement galvanique entre le circuit de commande et celui de puissance pour la protection du circuit .

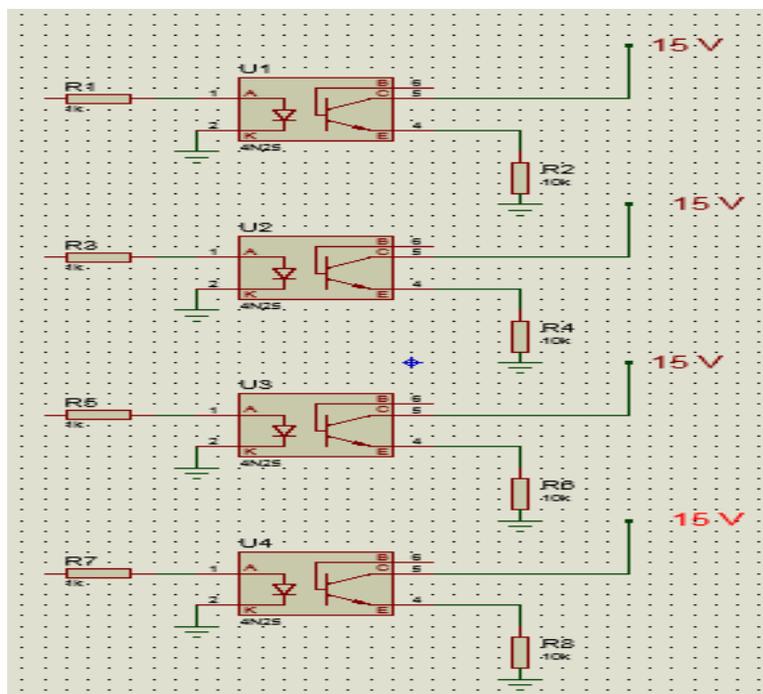


Figure IV.12: Montage isolation galvanique et amplification des signaux de commandes

IV.2.5. Circuit de puissance hacheur à 4 quadrants:

Le circuit de puissance se compose principalement de deux composants importants : Les quatre interrupteur choisi soit MOSFET ou IGBT et le circuit pour la protection de semi-conducteur utilisé (MOSFET) en plus un radiateur pour éviter les échauffements des MOSFETs utilisé.

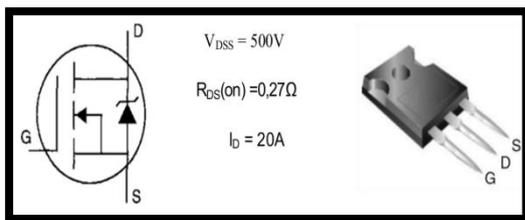


Figure IV.13 : Le semi-conducteur IRFP460

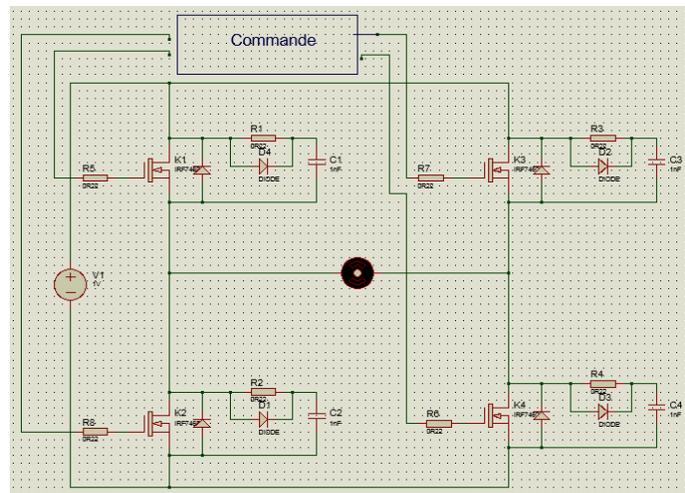


Figure IV.14: Montage de hacheur à 4 quadrants

Dans ce travail nous allons utilisés le modules d'MOSFET IRFP460 caractérisé :

- Commutation est très rapide
- Les pertes de commutation est faibles
- Conductivité courant est faibles
- Les pertes de conduction est élevée
- Puissance consommée est faibles
- Commande en tension
- Coût est moine cher par rapport à l'IGBT

IV.5.2.1. Dissipateur de chaleur

Si la température du MOSFETs dépassé certaine limite (Max) il y'a destruction de la jonction, pour éviter cette situation, on monte le composant sur un dissipateur de chaleur (ou radiateur) son rôle est d'augmenter la surface de contact du composant avec l'air pour faciliter l'évacuation de la chaleur.



Figure IV.15 : Radiateur

IV.5.2.2. Protection de la carte de puissance:

Pour protéger le circuit de puissance contre les surtensions on a placé un circuit constitué d'une résistance de 1K ohm, capacité de 1 nF, diode BY299.

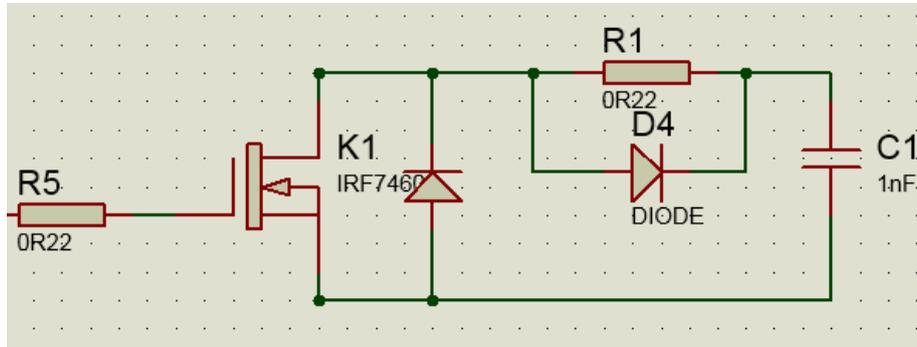


Figure IV.16 : Protection de la carte de puissance

IV.6. SIMULATION DU SCHEMA GLOBAL D'UN VARIATEUR DE VITESSE SOUS L'ENVIRONNEMENT PROTEUS

La simulation globale d'un variateur de vitesse d'une machine à courant continu sous l'environnement Proteus est représentée par la figure (IV.17). Il est composé d'une alimentation continue pour alimenter le circuit de puissance hacheur à quatre quadrants, le circuit de commande, le circuit de protection et le moteur CC.

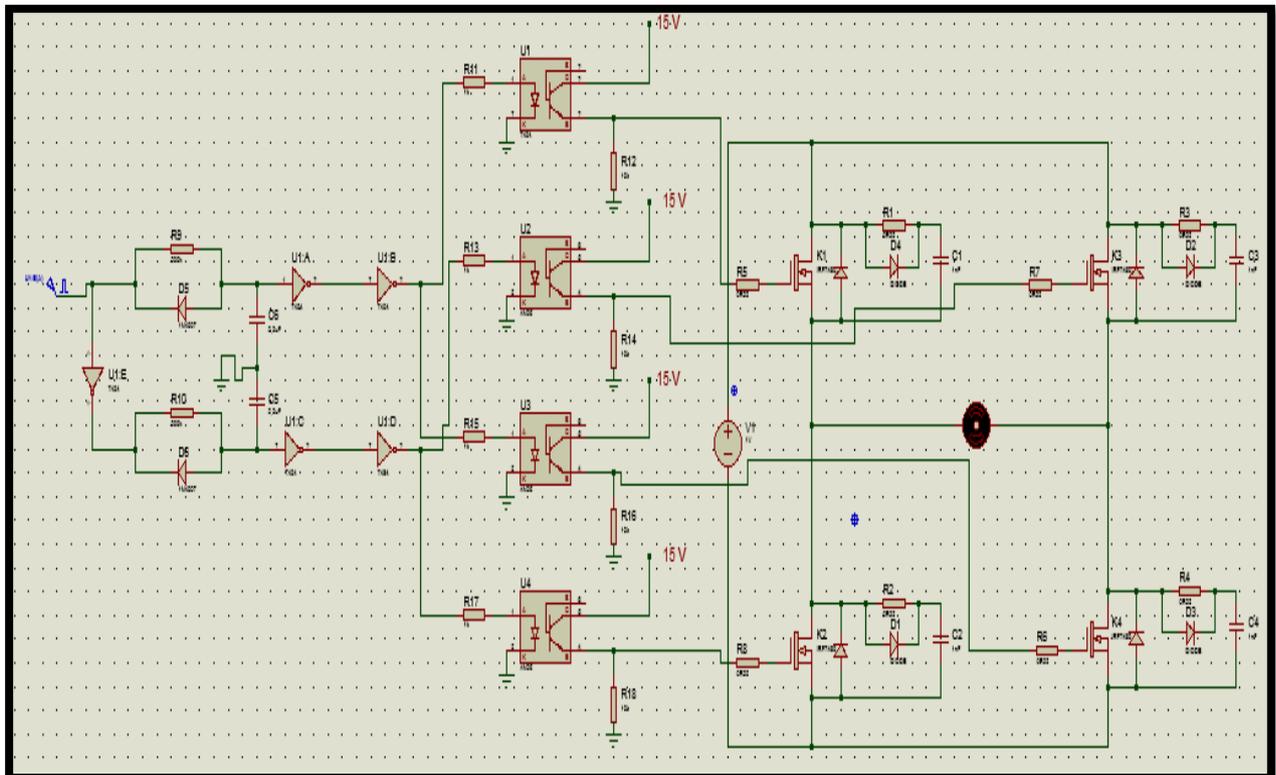


Figure IV.16 : Schéma électrique globale de banc d'essai

IV.6.1. Tests pratiques du système réalisé

Pour mettre en évidence l'efficacité de notre système réalisé nous avons prélevé trois résultats pratiques. Le test est fait sur un moteur à courant continu de très faible puissance d'une tension max 12V. Comme échantillons les figures si dessous résumant les essais expérimentaux enlevé la tension au borne de moteur $U=5V$, $U=7.2V$ et $U=10V$ suivant la variation d'alimentation de l'hacheur.

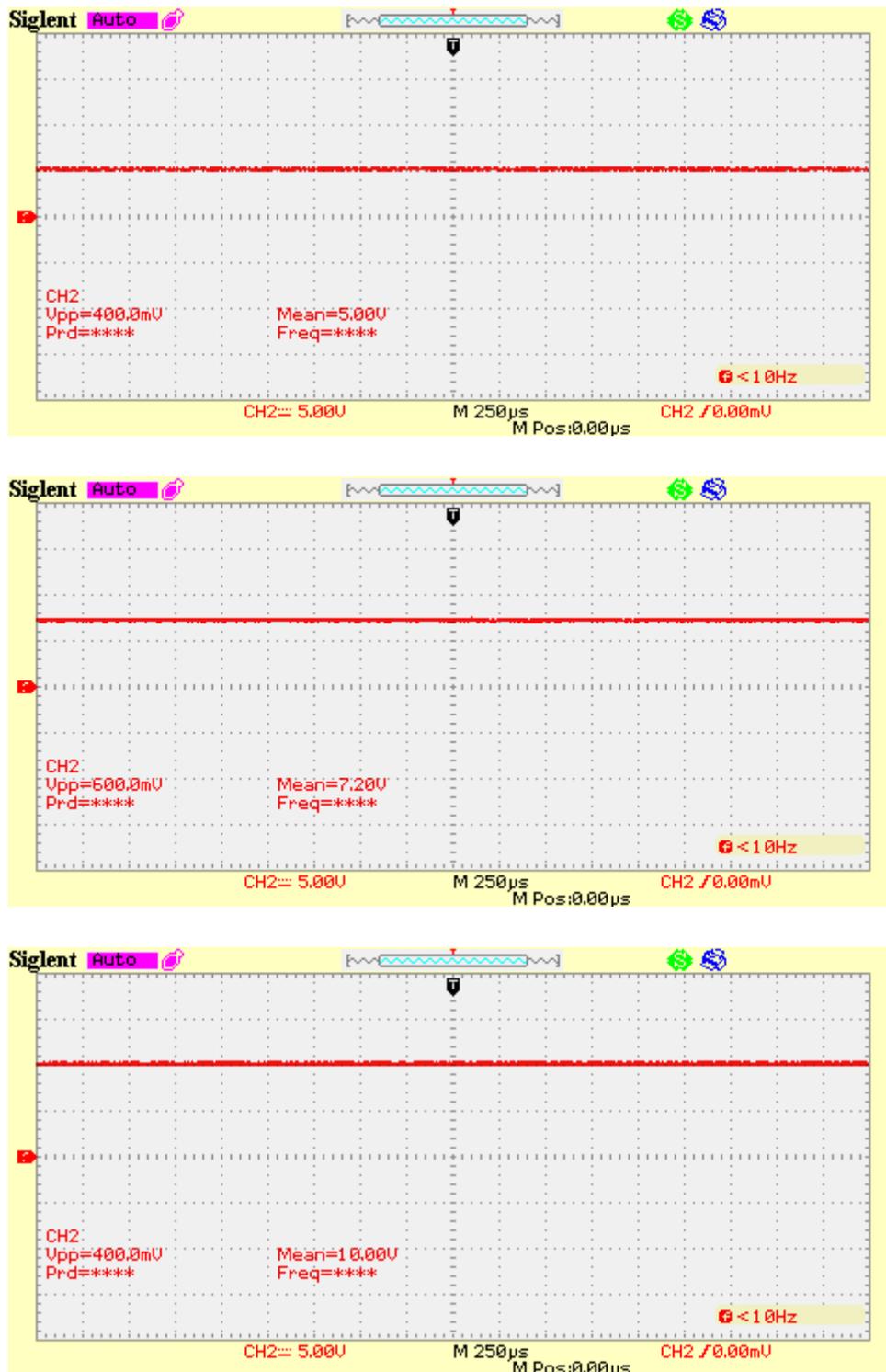


Figure IV.17 : Les allures de tension à la borne d'un moteur à courant continu

IV.7. Conclusion:

Ce chapitre a été dédié à la présentation des parties expérimentales du banc d'essai ainsi que les résultats de validation expérimentale de hacheur à quatre quadrant réalisé, nous ont permis de confirmer la fiabilité de hacheur réalisé à travers des tests avec un moteur à CC.

Conclusion générale



Le travail présenté dans ce projet de fin d'études porte sur l'étude et la réalisation pratique d'un variateur de vitesse, Ce travail vise à, présenter une étude théorique, simulation et réalisation pratique d'un variateur de vitesse d'un moteur à courant continu

Nous avons étudié les types de les machine a courant continu puis les convertisseurs statique et on choisie un hacheur a quatre quadrant pour faire varier la vitesse du machine a courant continu. On considère les semi-conducteurs utilisé dans le convertisseur statique comme des interrupteurs parfaits.

A partir de contrôler le rapport cyclique de l'ouverture et fermeture de l'interrupteur MOSFET les résultats de simulation obtenus montrent que l'angle d'amorçage faire varie la tension aux borne de charge donc varie l a vitesse de la moteur a courant continu puis que la vitesse de moteur relie a son tension

Durant l'élaboration de ce travail, notre expertise s'est renforcé dans :

- Réalisation d'un Hacheur à quatre quadrants
- Réalisation pratique de la commande de hacheur
- Protection de circuit de puissance

La présentation des parties expérimentales du banc d'essai ainsi les résultats de validation expérimentale de hacheur à quatre quadrant réalisé, nous ont permis de confirmer, la fiabilité de hacheur réalisé à travers des testes avec un moteur à CC.

Nous pouvons dire que nous avons été très intéressés par le sujet et que nous serions heureux de poursuivre les recherches sur l'électronique de puissance, commande électrique. Nous regrettons cependant d'avoir parfois été bloqués à certaines étapes de la fabrication de la carte pour des raisons telles que le délai de réalisation.

Perspectives du projet

Nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies pour le faire intégrer sous des systèmes plus complexes.

Bibliographie



Bibliographies

- [1] François Aguilon, 'Introduction aux semi-conducteurs', Université Paris-Sud, 2015-2016
- [2] www.elec.jbd.free.fr, 'Machine électromagnétique', Chapitre 13.
- [3] Claude CHEVASSU, 'Machines à courant continu Cours et Problèmes', 2014
- [4] Craste Antonin, Khatchadourian Pierre, 'le moteur à courant continu', 2017
- [5] C.Galize. cours, 'Introduction à l'électrotechnique et à l'électronique de puissance'. Université de Montpellier, 12/02/2002)
- [6] Merabet Kamel. 'Commande MLI d'un onduleur triphasé basée sur la dispersion de la tension triphasée'. 2011.
- [7] Merlin Gerin, 'Onduleurs et harmoniques', Cahiers techniques N°159
- [8] BEKKOUCHE Charaf Eddine, TOUGGOURTI Abdel Kader, 'Étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur à courant continu', UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2016
- [9] Fabrice Sincère, 'Cours de Physique appliqué conversion Continu Continu'
- [10] S. Guy, B. Robert, Labrique Francis, Les convertisseurs de l'électronique de puissance la conversion alternatif (volume 4). Edition tec&doc, 1995.
- .
- [11] DERGHAL Smail, 'Commande d'un moteur à courant continu via FPGA', Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Electrotechnique 2015
- [12] Licence EEA Module U6, 'Energie et convertisseurs d'énergie, Redresseurs', Université de Savoie
- [13] F. BOUCHAFAA, 'Convertisseurs DC/DC, Support de cours', Université des Sciences et de Technologie Houari Boumediene, 2010
- [15] R. NATHADI, "Analysis and design of a forward power converter". Thesis of Master of Science. TexasTech University, 2004.
- [16] K. Merabet, 'Commande MLI d'un onduleur triphasé basée sur la dispersion de la tension triphasée'. Mémoire, Université de Québec, 2001.
- [17] R. NATHADI, 'Analysis and design of a forward power converter'. Thesis of Master of Science. TexasTech University, 2004.
- [18] Amin AYAD, 'Etude et réalisation d'une commande MLI pilotant un hacheur série', mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2014
- [19] https://fr.wikipedia.org/wiki/Modulation_de_largeur_d%27impulsion
- [20] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Simulink>
- [21] <https://documentfr.com/petite-introduction-a-matlab-simulink-et-simpower-pdf>

[22] http://colbertserv.lyceecolberttg.org:3007/cours_motorisation_electrique/viewer/visu

[23] Analysis of Electric Machinery, Krause et al., pp. 89-92

[24] MECHERI salah-eddine, réalisation d'un onduleur de Tension monophasé contrôlé par une Carte Arduino, université Constantine I , 2013/2014

ANNEX



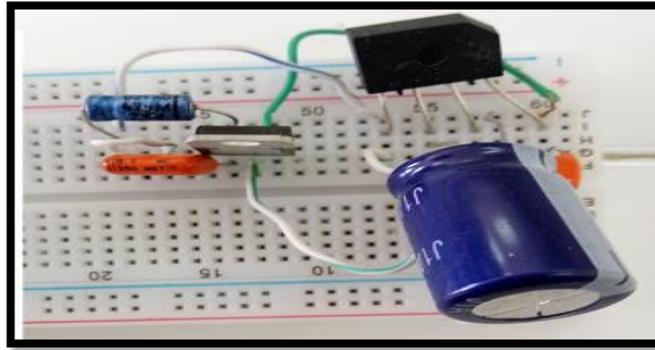


Figure 1 : Schéma électrique de l'alimentation 15V :

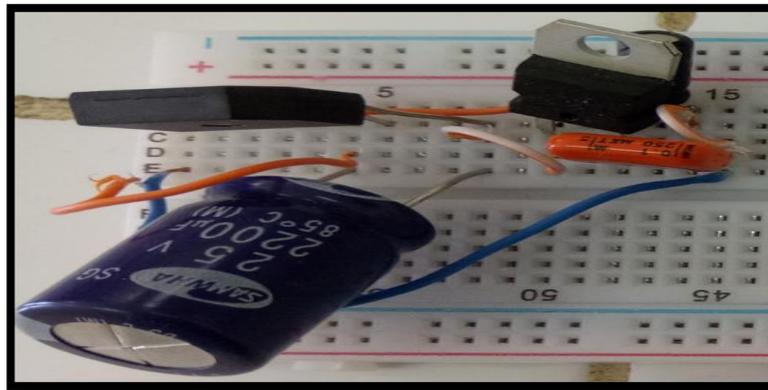


Figure 2 : Schéma électrique de l'alimentation 5V :

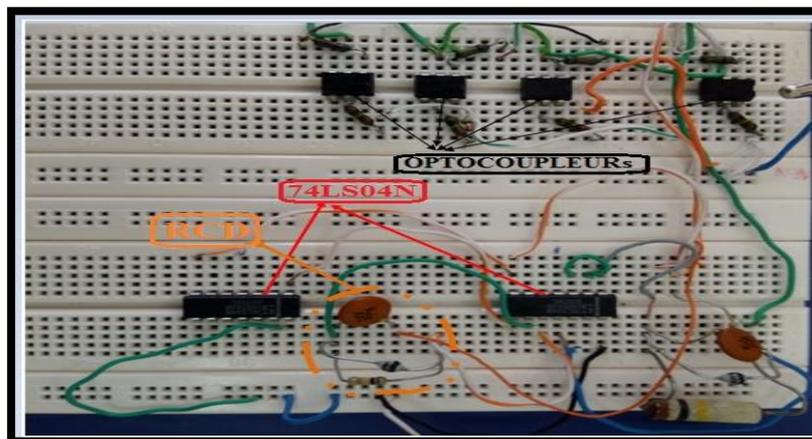


Figure 3 : Schéma électrique d'un circuit de commande d'un hacheur a quatre quadrants

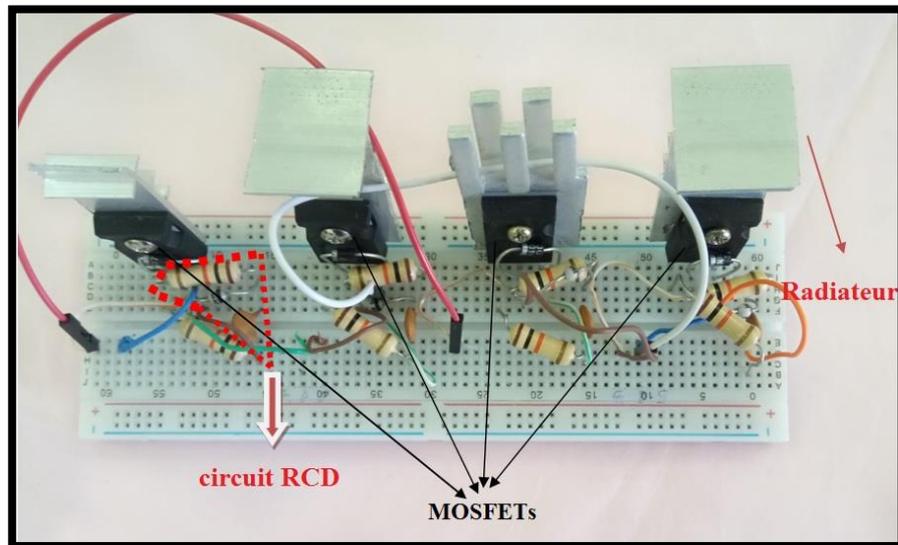


Figure 4 : Montage de circuit de la puissance d'un Hacheur à 4 quadrants

International IR Rectifier

REPETITIVE AVALANCHE AND dv/dt RATED HEXFET[®] TRANSISTORS THRU-HOLE (TO-204AA/AE)

IRF460 500V, N-CHANNEL

Product Summary

Part Number	BVDSS	RDS(on)	ID
IRF460	500V	0.27Ω	21

The HEXFET[®] technology is the key to International Rectifier's advanced line of power MOSFET transistors. The efficient geometry and unique processing of this latest "State of the Art" design achieves: very low on-state resistance combined with high transconductance; superior reverse energy and diode recovery dv/dt capability.

The HEXFET transistors also feature all of the well established advantages of MOSFETs such as voltage control, very fast switching, ease of paralleling and temperature stability of the electrical parameters.

They are well suited for applications such as switching power supplies, motor controls, inverters, choppers, audio amplifiers and high energy pulse circuits.



TO-3

Features:

- Repetitive Avalanche Ratings
- Dynamic dv/dt Rating
- Hermetically Sealed
- Simple Drive Requirements
- Ease of Paralleling

Absolute Maximum Ratings

	Parameter		Units
ID @ VGS = 0V, TC = 25°C	Continuous Drain Current	21	A
ID @ VGS = 0V, TC = 100°C	Continuous Drain Current	14	
IDM	Pulsed Drain Current ①	84	
PD @ TC = 25°C	Max. Power Dissipation	300	W
	Linear Derating Factor	2.4	W/°C
VGS	Gate-to-Source Voltage	±20	V
EAS	Single Pulse Avalanche Energy ②	1200	mJ
IAR	Avalanche Current ①	21	A
EAR	Repetitive Avalanche Energy ①	30	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
TJ	Operating Junction	-55 to 150	°C
TSTG	Storage Temperature Range		
	Lead Temperature	300 (0.063 in. (1.6mm) from case for 10s)	
	Weight	11.5(typical)	g

For footnotes refer to the last page

Electrical Characteristics @ T_j = 25°C (Unless Otherwise Specified)

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
BV _{DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 1.0mA
ΔBV _{DSS} /ΔT _J	Temperature Coefficient of Breakdown Voltage	—	0.78	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = 1.0mA
R _{DSON}	Static Drain-to-Source On-State Resistance	—	—	0.27	Ω	V _{GS} = 10V, I _D = 14A ④
		—	—	0.31		V _{GS} = 10V, I _D = 21A ④
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA
g _{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S (Ω)	V _{DS} > 15V, I _{DS} = 14A ④
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	—	—	25	μA	V _{DS} = 400V, V _{GS} = 0V
		—	—	250		V _{DS} = 400V V _{GS} = 0V, T _J = 125°C
I _{GSS}	Gate-to-Source Leakage Forward	—	—	100	nA	V _{GS} = 20V
I _{GSS}	Gate-to-Source Leakage Reverse	—	—	-100		V _{GS} = -20V
Q _g	Total Gate Charge	84	—	190	nC	V _{GS} = 10V, I _D = 21A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	12	—	27		V _{DS} = 250V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ('Miller') Charge	60	—	135		
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	—	35	ns	V _{DD} = 250V, I _D = 21A, R _G = 2.35Ω
t _r	Rise Time	—	—	120		
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	—	130		
t _f	Fall Time	—	—	98		
L _S + L _D	Total Inductance	—	6.1	—	nH	Measured from drain lead (6mm/0.25in. from package) to source lead (6mm/0.25in. from package)
C _{iss}	Input Capacitance	—	4300	—	pF	V _{GS} = 0V, V _{DS} = 25V f = 1.0MHz
C _{oss}	Output Capacitance	—	1000	—		
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	250	—		

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	21	A	
I _{SM}	Pulse Source Current (Body Diode) ①	—	—	84		
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T _J = 25°C, I _S = 21A, V _{GS} = 0V ④
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	—	580	nS	T _J = 25°C, I _F = 21A, di/dt ≤ 100A/μs
Q _{RR}	Reverse Recovery Charge	—	—	8.1	μC	V _{DD} ≤ 50V ④
t _{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by L _S + L _D .				

Thermal Resistance

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
R _{thJC}	Junction to Case	—	—	0.42	°C/W	Typical socket mount
R _{thJA}	Junction to Ambient	—	—	30		

For footnotes refer to the last page

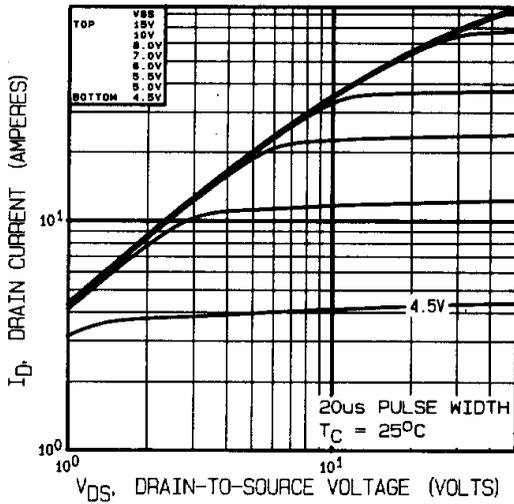


Fig 1. Typical Output Characteristics

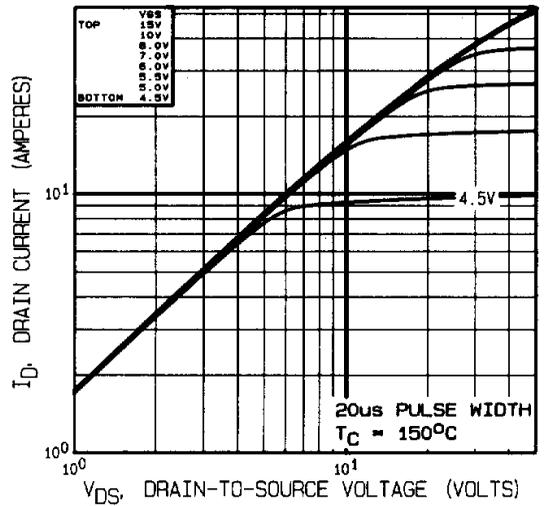


Fig 2. Typical Output Characteristics

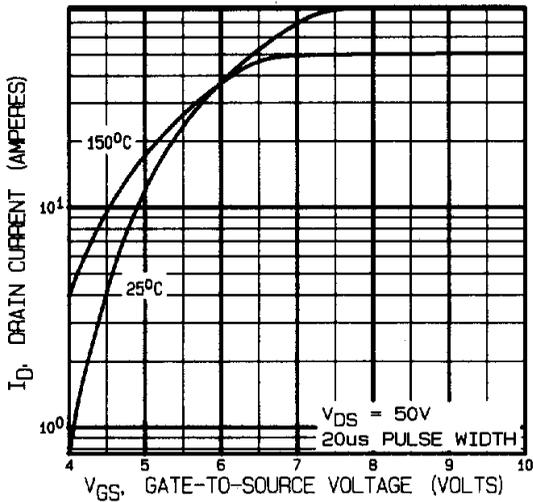


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

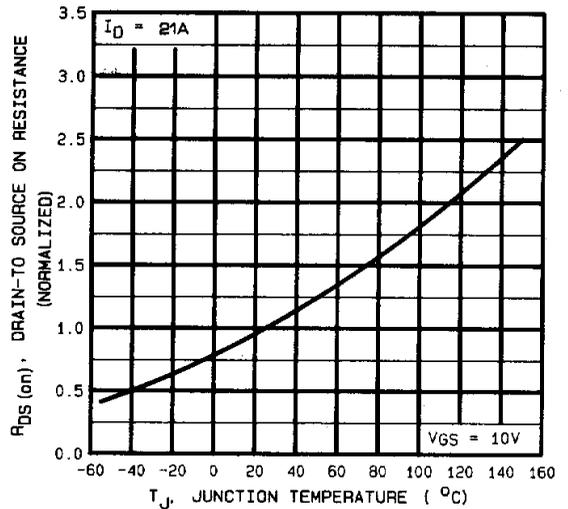


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

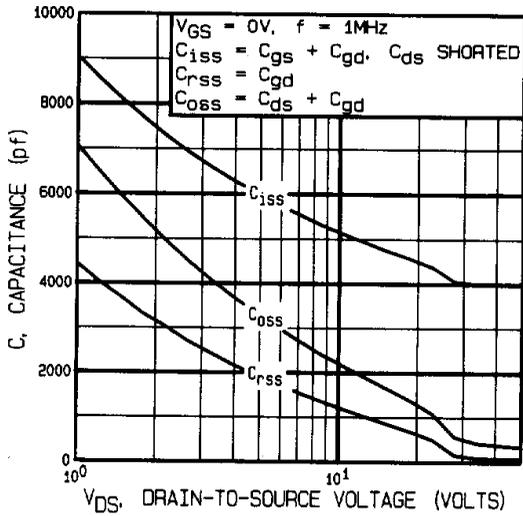


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

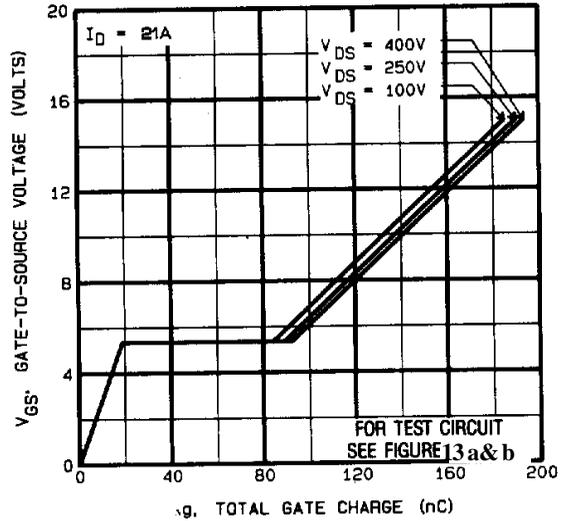


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

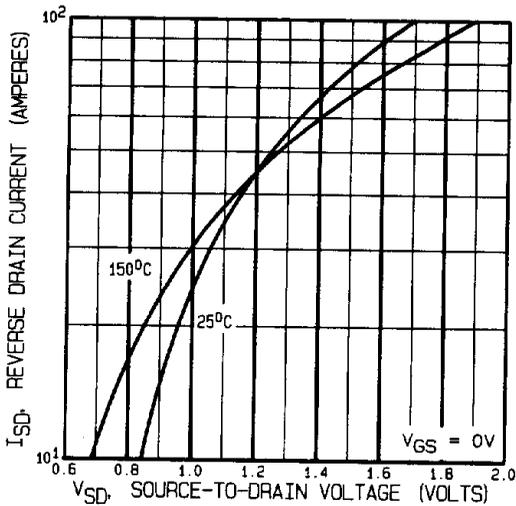


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

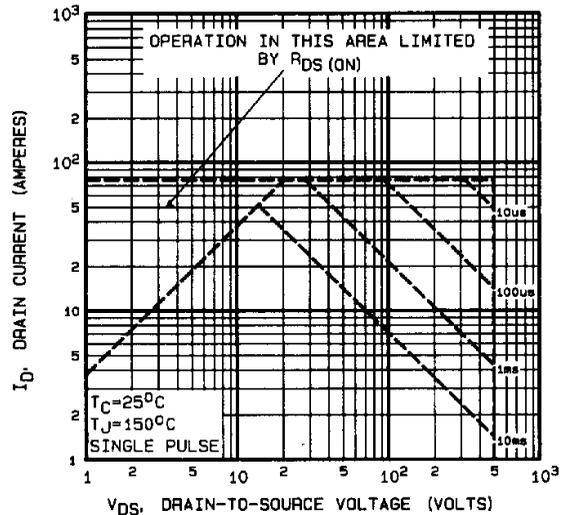


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

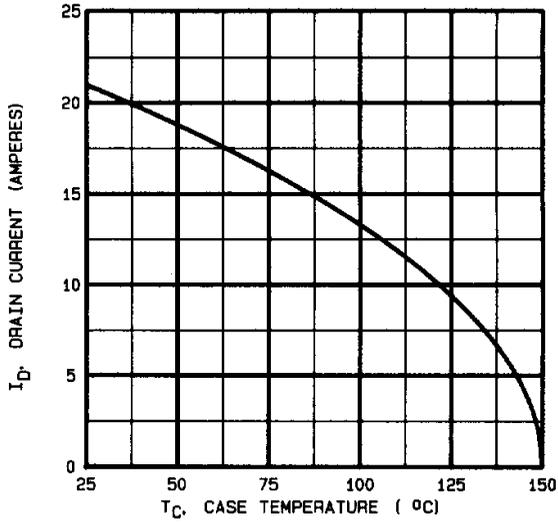


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

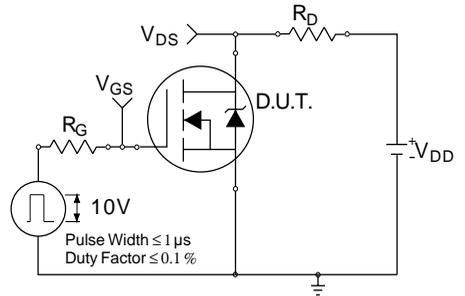


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

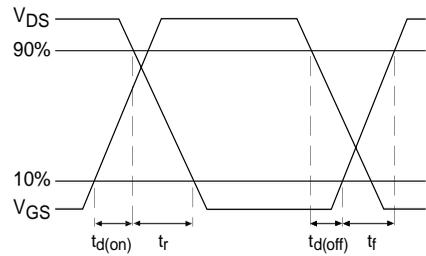


Fig 10b. Switching Time Waveforms

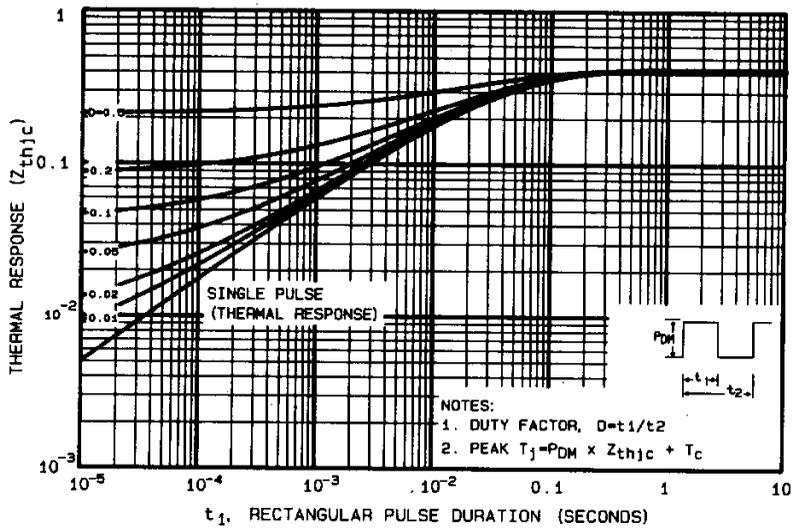


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

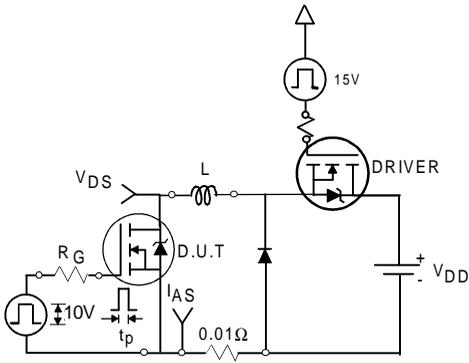


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

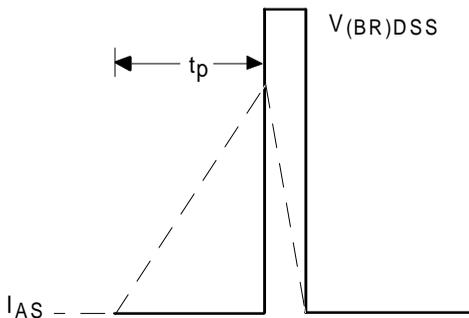


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

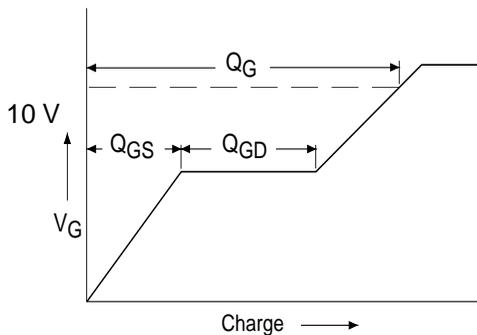


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

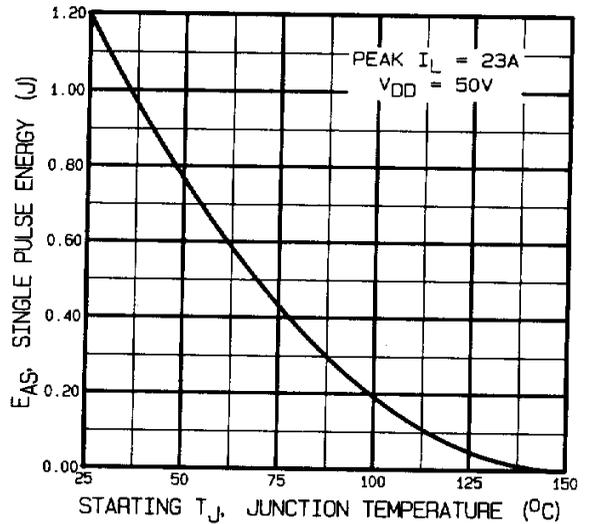


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

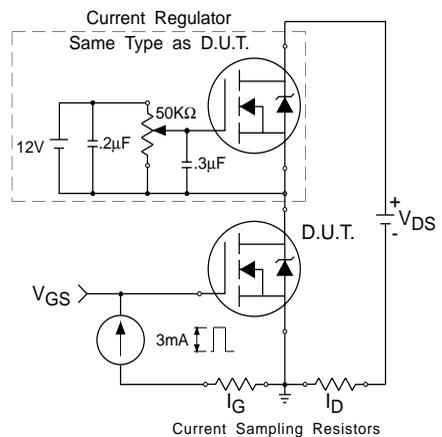
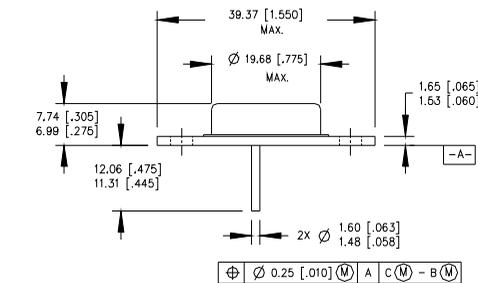


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Foot Notes:

- ① Repetitive Rating; Pulse width limited by maximum junction temperature.
- ② $V_{DD} = 50V$, starting $T_J = 25^{\circ}C$, Peak $I_L = 21A$,
- ③ $I_{SD} \leq 21A$, $di/dt \leq 160A/\mu s$,
 $V_{DD} \leq 500V$, $T_J \leq 150^{\circ}C$
 Suggested $R_G = 2.35 \Omega$
- ④ Pulse width $\leq 300 \mu s$; Duty Cycle $\leq 2\%$

Case Outline and Dimensions — TO-204AE (Modified TO-3)

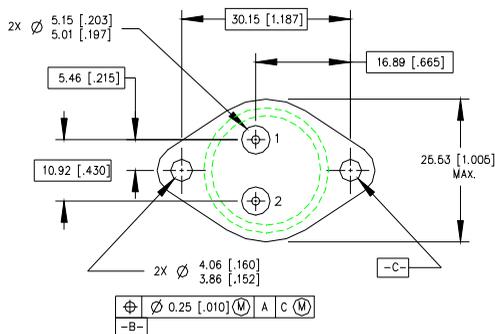


PIN ASSIGNMENTS

- 1 - SOURCE
- 2 - GATE
- 3 - DRAIN (CASE)

NOTES:

1. DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M-1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS [INCHES].
4. OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-204AE.



Résumé

L'évolution des technologies conduit à utiliser des machines nécessitant des vitesses de rotation précises et variables pour l'entraînement de TGV par exemple, l'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation ainsi que leur raccordement direct à une source d'énergie (batterie d'accumulateur, piles, etc.). Malgré leur principal problème qui se pose au niveau de la liaison entre les balais (charbons) et le collecteur rotatif, le moteur à courant continu continue d'exister à travers de nombreuses applications. Dans ce travail, on présente plusieurs cas que ce soit l'étude du moteur à courant continu, puis la technique de variation de vitesse, et enfin la simulation de notre modèle sur un logiciel de simulation MATLAB et la réalisation d'un circuit de commande.

Mot clé : Machine à courant continu, hacheur à quatre quadrants, Simulation, expérimental

ملخص

يقود تطور التقنيات الحديثة إلى استخدام ماكينات هذه الماكينات بدورها تحتاج سرعات متغيرة و دقيقة تكمن الميزة الأساسية لآلات التيار المستمر في بساطة و سهولة التحكم أو التغيير في سرعتها و كذا عزمها كما نستطيع التحكم في اتجاه دورانها كما نستطيع توصيل الماكينات ذات التيار المستمر مباشرة بمصدر الطاقة الكهربائية كالبطاريات مثلا بالرغم من استعمالها الواسع و كثرة ايجابياتها إلا أن لها سلبيات و أبرزها الاحتكاك الذي ينشأ بين الفرش (balais) و المجمع (collecteur) مما يؤدي إلى الصيانة المتواصلة و الدورية .

الماكينات ذات التيار المستمر لها مجالات استخدام واسعة و اخترنا في هذا العمل تقديم عدة تطبيقات تتعلق بالماكينات ذات التيار المستمر بداية دراسة نظرية لهذه الماكينة و تقنيات التحكم في سرعتها و كذا محاكاة هذا بالاستعانة ببرنامج (MATLAB-SIMILINK) و في الأخير تحقيق دائرة التحكم من خلال الأعمال التطبيقية.

الكلمات المفتاحية : ماكينات ذات التيار المستمر, برنامج المحاكاة, التحكم, الأعمال التطبيقية, السرعة, مقطع التيار