

Ministère de l'enseignement supérieur
Et de la recherche scientifique
Université Ammar Thelidji -Laghouat
Département De Génie Electrique



Mémoire master
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie électrique
Spécialité : Machines électriques

Présenté par : Hakmi Naceur
Gourinat Yahia

Thème :

**Etude par simulation d'un variateur de vitesse pour un moteur à
courant continu**

Proposé par Professeur : Rogti Fatiha

Devant le jury :

GRADE

Mr : Djekidel. R

MCA

Mr : Benssidik .A

MCA

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Je remercie, en premier lieu, ALLAH qui m'a donné ce bien là pour que je vive ce jour, ALLAH qui m'a donné la force et la patience pour terminer ce travail.

Mes remerciements vont aussi à monsieur les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail.

Je tiens à remercier les responsables et tout le personnel du département de L'électrotechnique pour les facilités qu'ils m'ont accordé pour parfaire ce travail.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin



Sommaire

CHAPITRE I : description machine à courant continu

I.1-Introduction.....	3
I.2-Définition MCC	3
I.3-Construction MCC	4
I.3.1-Stator	4
I.3.2-Rotor	4
I.3.3-Collecteur	4
I.3.2-Les balais	4
I.4- Principe de fonctionnement	5
I.4.1-Force de Laplace	5
I.4.2-Principe de création d'un couple moteur.....	5
I.5-grandeurs caractéristiques	5
I.5.1-la force contreélectromotrice	5
I.5.2-La tension	6
I.5.3-La puissance	6
I.5.4-Le couple	6
I.5.5-Rendement	6
1.5.6-la vitesse	7
I.5.7-Bilan des puissances	7
I.6-Les différents types de MCC	7
I.6.1-Excitation séparée	7
I.6.2-Excitation shunt	9
I.6.3-Excitation série	9
I.7-Avantages	11
I.8-Inconvénients.....	11
I.9-L'utilisation de la machine à courant	11
I.10-Commende les machines courant continu	11
I.10.1-Généralités	11

I.10.2-Commande d'un moteur à courant continu	12
I.10.3-Commande quatre quadrants	13
I.11- Le principe variation de vitesse :.....	14
I.11.1-Action sur le courant d'excitation	14
I.11.2-Action sur la tension d'alimentation	15
I.12-Conclusion.....	15

CHAPITRE II : Variateurs de vitesse des moteurs à courant continu

II.1-Introduction	16
II.2-Variateur de vitesse	16
II.2.1-Variateurs électroniques de vitesse	16
II.2.2-Définition convertisseurs statiques	16
II.3.1 Avantages les variateurs électroniques.....	17
II.3.2-les Inconvénients	18
II.4-Les interrupteurs statiques	18
II.5-Convertisseurs alternatifs-continus (redresseurs)	19
II.5.1-Les redresseurs commandés	20
II.5.2- les redresseurs non commandé.....	21
II.5.3-Principe de fonctionnement	21
II.5.4-Valeur moyenne de la tension redressée.....	22
II.6-Convertisseurs continu-continu (hacheurs)	22
II.6.1-Principe de fonctionnement	23
II.6.2-Le rapport cyclique α	23
II.6-Différents types d'hacheurs	24
II.7-Hacheur série	24
II.7.1-Principe de fonctionnement	24
II.7.2-Valeur moyenne de la tension.....	25
II.8-Hacheur parallèle.....	26

II.8.1-Principe de fonctionnement	26
II.8.2-Valeur moyenne de la tension	27
II.9-Hacheur série-parallèle.....	27
II.9.1-Principe de fonctionnement	28
II.10-Hacheur réversible	28
II.11-Hacheur à quatre quadrants	28
II.11.1-Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge	29
II.11.2Principe du fonctionnement	29
II.12-Conclusion	30

CHAPITRE III Simulation d'un variateur de vitesse

III.1-Introduction	31
III.2-La simulation	31
III.3-Simulation d'un hacheur série commande un moteur à courant continu à excitation séparée	32
III.3.1-Schéma bloc de la simulation	32
III.3.2-Paramètre du moteur	33
III.3.3-Paramètre Pulse Générateur	33
III.3.4- résultats de simulation	34
III.4-Simulation d'un hacheur quatre quadrants commande un moteur à courant continu à excitation séparée	40
III.4.1- résultats de simulation	41
III.5-Analyse des résultats obtenus.....	44
III.5-Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	45
Bibliographies.....	46

Liste des figures

Figure (I.1) : conversions énergie	3
Figure (I.2) : Schéma équivalent de MCC	3
Figure (I.3) : Construction machine à courant continu	4
Figure (I.4) : Force de Laplace	4
Figure (I.5) : couple moteur	5
Figure (I.6) : Bilan des puissances	7
Figure (I.7) : Schéma fonctionnel d'un moteur à excitation séparée.....	7
Figure (I.8) : Caractéristiques d'un moteur à excitation séparée.....	8
Figure (I.9) : Le couple en fonction de courant d'alimentation.....	9
Figure (I.10) -Schéma fonctionnel d'un moteur à excitation shunt.	9
Figure (I.11):Schéma fonctionnel d'un moteur à excitation série.....	10
Figure (I.12) : Caractéristique de vitesse d'un moteur série.....	10
Figure (I.13) : Caractéristique de couple d'un moteur série.....	10
Figure (I.14): diagramme structurel.....	12
Figure (I.15) : schema de pont en H.....	13
Figure (I.16) : fonctionnement de 4 quadrants.....	14
Figure (I.17): courbe de $\Omega(i)$	15
Figure (II.1) : Diagramme des divers types de convertisseurs statiques.....	17
Figure (II.2) : Le pont tout thyristor triphasé PT3.....	20
Figure (II.3) : Le pont mixte triphasé PM3.	20
Figure (II.4) : Le pont mixte symétrique monophasé.....	21
Figure (II.5) : Le pont mixte asymétrique monophasé.....	21
Figure (II.6) : Redresseur commandé pont mixte symétrique.....	22
Figure (II.7) : La tension aux bornes de la charge avec un redresseur commande.....	22
Figure (II.8) : courbe de $v(t)$	23
Figure (II.9) : schéma d'Hacheur Buck.....	24
Figure (II.10) : courbe $V_s(t)$	25

Liste des figures

Figure (II.11) : Hacheur série commande un moteur à courant continu.....	25
Figure (II.12) : hacheur parallèle.....	27
Figure (II.13) : Hacheur série-parallèle.....	27
Figure (II.14) : Hacheur à quatre quadrants.....	29
Figure (II.15) : la tension aux bornes de la charge avec un hacheur quatre quadrants.....	29
Figure (II.16) : Principe du fonctionnement d'un Hacheur quatre quadrants.	30
Figure (III.1) : Schéma bloc d'un hacheur série commande un moteur à courant continu.....	32
Figure (III.2) : paramètres du moteur à courant continu.....	33
Figure (III.3) : Paramètre Pulse Générateur	33
Figure (III.4) : La tension d'entrée d'hacheur.....	34
Figure (III.5) : La tension de Sortie avec $\alpha=20\%$	34
Figure (III.6) : La vitesse de moteur avec $\alpha=20\%$	35
Figure (III.7) : Le courant de moteur avec $\alpha=20\%$	36
Figure (III.8) : La tension de Sortie avec $\alpha=60\%$	36
Figure (III.9) : La vitesse de moteur avec $\alpha=60\%$	37
Figure (III.10) : Le courant de moteur avec $\alpha=60\%$	37
Figure (III.11) : La tension de Sortie avec $\alpha=90\%$	38
Figure (III.12) : La vitesse de moteur avec $\alpha=90\%$	38
Figure (III.13) : Le courant de moteur avec $\alpha=90\%$	39
Figure (III.14) : Schéma bloc d'un hacheur quatre quadrants commande un moteur à courant continu.....	40
Figure (III.15) : La tension de sortie avec $\alpha=60\%$	40
Figure (III.16) : La vitesse de moteur avec $\alpha=60\%$	41
Figure (III.17) : Le courant de moteur avec $\alpha=60\%$	41
Figure (III.18) : La tension de moteur sortie avec $\alpha=40\%$	42
Figure (III.19) : La vitesse de moteur avec $\alpha=40\%$	42
Figure (III.20) : Le courant de moteur avec $\alpha=40\%$	43

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, du fait de l'utilisation croissante des variateurs de vitesse dans les applications industrielles, un variateur de vitesse est un équipement permettant de faire varier la vitesse d'un moteur, une nécessité pour de nombreuses applications industrielles. En effet, la plupart des moteurs tournent à vitesse constante. Pour moduler la vitesse des équipements de procédé, on a longtemps eu recours à divers dispositifs mécaniques. Aujourd'hui, on fait surtout appel à des variateurs de vitesse électroniques.

Ainsi aujourd'hui, les moteurs à courant continu, qui sont par nature des machines à vitesse variable sont très utilisés. Le réglage de la vitesse de ces moteurs demeure cependant difficile quand on dispose d'une tension fixe.

Pour les applications industrielles exigeant une régulation précise de la vitesse, on a d'abord utilisé des moteurs à courant continu (CC) commandés par des variateurs électroniques à semi-conducteurs. Cette technique consistait à faire varier la vitesse proportionnellement à la tension.

La liaison d'un moteur à courant continu à une source du même type se fait à l'intermédiaire d'un convertisseur statique « Hacheur » qui permet la variation de la tension moyenne aux bornes de l'induit, jusqu'à ces dernières années ; la commande des convertisseurs statiques industriels était réalisée à l'aide des circuits électroniques à faible ou moyenne puissance. La tension moyenne d'entrée de la machine à courant continu varie et par conséquent la vitesse de cette dernière varie proportionnellement à cette tension. Diverses procédures de régulation de la vitesse existent dans l'industrie. [8]

Le recours aux variateurs de vitesse offre plusieurs avantages :

- Démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau et limitant les courants de démarrage.
- Précision accrue de la régulation de vitesse.
- Prolongement de la durée de service du matériel entraîné.

Dans ce travail on présente plusieurs cas que ce soit l'étude du moteur à courant continu, puis la technique de la variation de vitesse, et enfin la simulation de notre modèle sur logiciel de simulation MATLAB.

Ce mémoire comportera par la suite : trois chapitres une introduction générale, et enfin nous terminerons par une conclusion générale.

Introduction générale

- Le premier chapitre est consacré à la généralité sur les moteurs à courant continu et leurs types de commande.
- Dans le deuxième chapitre nous présentons les convertisseurs utilisés pour la commande des moteurs à courant continu, et nous concentrons sur l'étude des hacheurs.
- Le troisième chapitre est consacré à la simulation d'un hacheur série et hacheur à quatre quadrant et nous terminons par l'analyse des résultats.
- Conclusion générale

CHAPITRE : I

Description des Machine à
courant continu

I.1-Introduction :

Les moteurs à courant continu sont utilisés dans les systèmes automatiques nécessitant une vitesse précision et spécifique, L'utilisation en MCC est très répandue surtout pour le fonctionnement à vitesse réglable, On trouve dans les robots et l'industrie.

Dans le premier chapitre, ont présenté le moteur à courant continu et comment le concepteur s'ajoute à son types et avantages, inconvénients.

I.2-Définition MCC :

-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

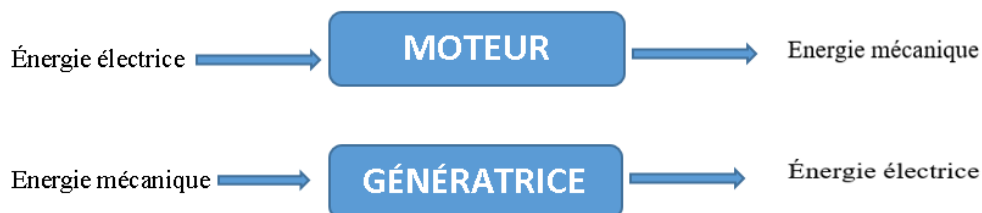


Figure (I.1) : conversions énergie

Dans les deux cas un champ magnétique est nécessaire aux différentes conversions. Cette machine est donc un convertisseur électromécanique. [*]

-Schéma équivalent de MCC :

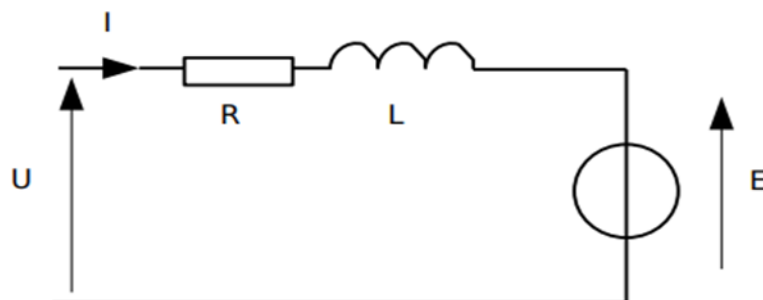


Figure (I.2) : Schéma équivalent de MCC

E : la force contreélectromotrice

U : tension d'alimentation du moteur en Volt (V)

I : le courant d'excitation

R : C'est la résistance totale : câble, balais, lame de collecteur et enroulement d'induit.

La résistance s'exprime en Ohm (Ω).

L : C'est l'inductance de l'enroulement d'induit. Elle intervient dans les régimes transitoires d'alimentation du moteur. L'inductance s'exprime en Henri (H).

I.3-Construction MCC :

Comme tous les moteurs, le moteur à courant continu est composé de deux parties principales :

I.3.1-Stator «inducteur»:

C'est la partie fixe de la machine, il est constitué soit d'un aimant permanent, soit d'un enroulement d'excitation qui sert à créer un champ d'induction magnétique.

I.3.2-Rotor «induit»:

-C'est la partie mobile ou tournante de la machine, il est formé d'un empilage cylindrique de tôles isolées, Dans lequel des encoches en été aménagées afin de loger les conducteurs de l'enroulement rotorique.

-Une autre deux parties importante est:

I.3.3-Collecteur :

Un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit.

I.3.2-Les balais :

(En charbons) est-ce l'endroit où un contact a lieu entre au stator et frottent sur le collecteur en rotation.

- Le photo suivant expliquer la conception de MCC :

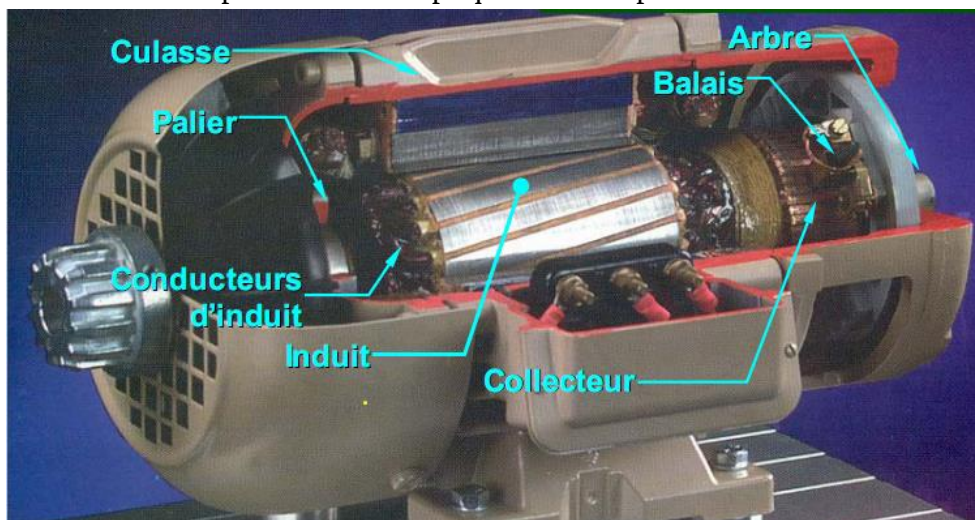


Figure (I.3) : Construction machine à courant continu [2]

I.4- Principe de fonctionnement :

I.4.1-Force de Laplace :

Un conducteur de longueur L parcouru par un courant I et placé dans un champ magnétique B est soumis à une force dite force de Laplace.

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

F en newtons (N), I en ampères (A), L en mètre (m), B en tesla (T).

-Sa direction: elle est perpendiculaire à B et à I .

-Son sens: est donné par la règle de la main droite:

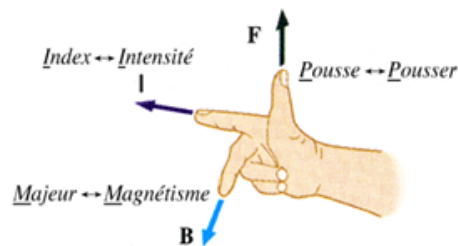


Figure (I.4) : Force de Laplace

I.4.2-Principe de création d'un couple moteur:

Lorsque l'inducteur est alimenté, il génère un flux magnétique dans le circuit magnétique, dirigé du nord vers le sud. Quand l'induit est alimenté, le conducteur (1) est parcouru par un courant I et d'après la loi de Laplace, soumis à une force (F_1). Le conducteur (2), situé sous l'autre pôle, est soumis à une force (F_2). De même intensité mais de sens opposé. L'ensemble de ces deux forces constitue un couple moteur qui entraîne le rotor.

[*]

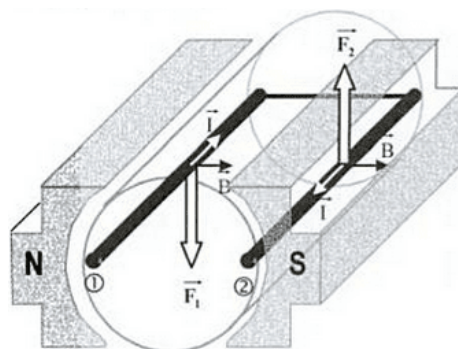


Figure (I.5) : couple moteur

I.5-Grandeurs caractéristiques :

I.5.1-La force contreélectromotrice :

Son expression est :

$$E = \frac{P}{a} N \cdot n \cdot \Phi \quad (I.2)$$

p : nombre de paires de pôles. **N** : nombre de conducteur dans une section de l'enroulement induit.
n : vitesse de rotation du rotor en tr/s

Φ : Flux magnétique inducteur créé par un courant inducteur ou un aimant permanent. En général, le flux est constant. L'unité du flux magnétique est le Weber (Wb).

Finalement :

$$E = K \cdot \Omega \cdot \Phi \quad (I.3)$$

Avec :

$$K = \frac{P}{2\pi a} N \quad (I.4)$$

I.5.2-La tension :

$$U = E + R \cdot I \quad (\text{En régime continu}) \quad (I.5)$$

$$U = E + R \cdot I + L \frac{dI}{dt} \quad (\text{Régime transitoire}) \quad (I.6)$$

I.5.3-La puissance :

La puissance électromagnétique est :

$$P_e = E \cdot I \quad P_e \text{ s'exprime en Watt (W)}. \quad (I.7)$$

La puissance absorbée sur le réseau est :

$$P_a = U \cdot I \quad (P_a) \text{ s'exprime en Watt (W)}. \quad (I.8)$$

La puissance utile est la puissance disponible sur l'arbre moteur. C'est cette puissance qui est donnée dans les catalogues constructeurs.

$$P_u = C \cdot \Omega \quad (P_u) \text{ s'exprime en Watt (W)} \quad (I.9)$$

I.5.4-Le couple :

Le couple utile sur l'arbre moteur peut être déduit de la relation de la puissance utile, soit : $C_u = \frac{P_u}{\Omega}$ (I.10)

I.5.5-Rendement :

Le rendement du moteur est donné par la relation :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (I.11)$$

Pu : puissance utile.

Pa: puissance absorbée

I.5.6-La vitesse :

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

$$n = \frac{U}{(K \cdot \Phi)} \quad (I.12)$$

I.5.7-Bilan des puissances :

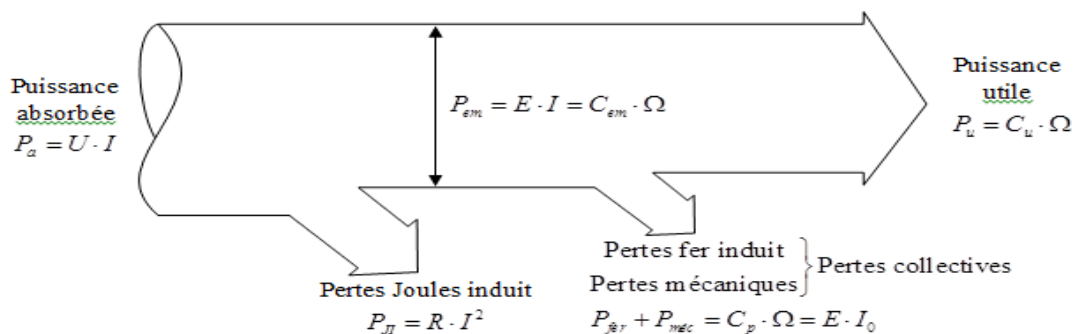


Figure (I.6) : Bilan des puissances

I.6-Les différents types de MCC :

Dans les moteurs de courant, il existe plusieurs types différents en fonction du type d'excitation Et en fonction de l'utilisation, les plus importants:

I.6.1-Excitation séparée :

Dans le moteur à excitation séparée, ils sont alimentés par deux sources différentes. Mais pour les deux types, la tension appliquée à l'enroulement d'excitation et par suite le courant d'excitation sont indépendants de la charge, aussi leurs propriétés sont-elles identiques.

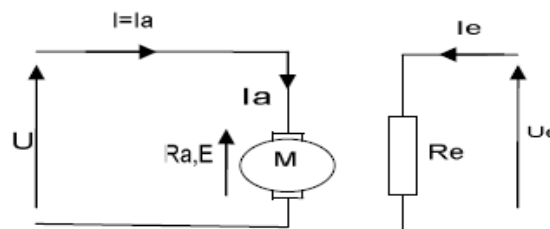


Figure (I.7) : Schéma fonctionnel d'un moteur à excitation séparée.

-Les caractéristiques :

-Force électromotrice :

$$E = K.\Phi.\Omega \quad (I.13)$$

-La Tension :

$$U = Ra + E \quad (I.14)$$

-La puissance électrique absorbée est :

$$Pa = V.I \quad (I.15)$$

-La puissance mécanique fournie est :

$$Pu = Tu.\Omega = Tu.2\pi.n \quad (I.16)$$

-la vitesse :

$$\Omega = \frac{U}{K.\Phi} - \frac{Ra.Ia}{K.\Phi} \quad (I.17)$$

Ω : la vitesse angulaire en (rad /s).

Φ : flux sous un pôle de l'inducteur (Wb)

Ia : courant d'induit en (A).

Ra : résistance d'induit en (ohm).

K : constante de moteur.

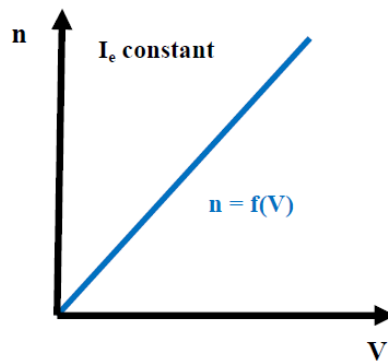


Figure (I.8) : Caractéristiques d'un moteur à excitation séparée

Pour un moteur à excitation séparée, le flux (Φ) est constant donc la fréquence de rotation (n) est proportionnelle à la tension d'alimentation (V) :

$$n = \frac{E}{K.\Phi} = \frac{V - R.I}{K.\Phi} = K.V \quad (I.18)$$

-Et le couple (Tu) est proportionnel à l'intensité du courant d'alimentation (I) :

$$T = \frac{(E.I)}{\Omega} = K\Phi. \quad (I.19)$$

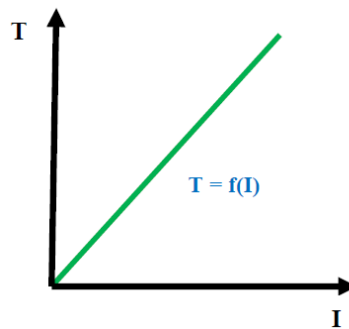


Figure (I.9) : Le couple en fonction de courant d'alimentation

I.6.2-Excitation shunt :

L'inducteur et l'induit sont branchés en parallèle .dans ce moteur, pour une tension D'alimentation constante, le courant d'excitation ne varie pas .Donc si la charge augmente, la vitesse du rotor ne diminue que très peu

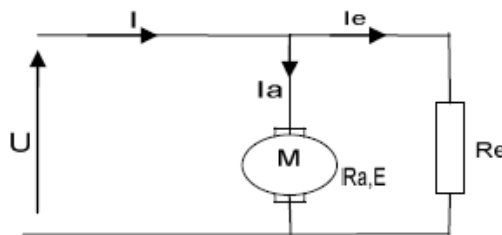


Figure (I.10) -Schéma fonctionnel d'un moteur à excitation shunt.

Dans le cas d'un moteur shunt, il vient :

$$I = I_a + I_e \quad (I.20)$$

La résistance de l'inducteur étant toujours élevée, le courant inducteur ne représente que quelques pourcents du courant de l'induit, aussi peut-on écrire :

$$I = I_a \quad (I.21)$$

I.6.3-Excitation série :

Ce type de moteur est caractérisé par le fait que inducteur est raccordé en série avec le induit ainsi la même tension traverse inducteur et le induit. 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.[3]

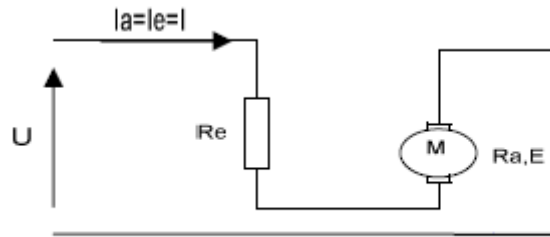


Figure (I.11):Schéma fonctionnel d'un moteur à excitation série.

-Les caractéristiques :

Moteur à excitation série, le flux (Φ) n'est pas constant mais proportionnel à (I) donc la tension d'alimentation (V) est proportionnelle à la fréquence de rotation n et à l'intensité (I)

$$E = k. n. N. \Phi = K. \Omega I \quad (I.22)$$

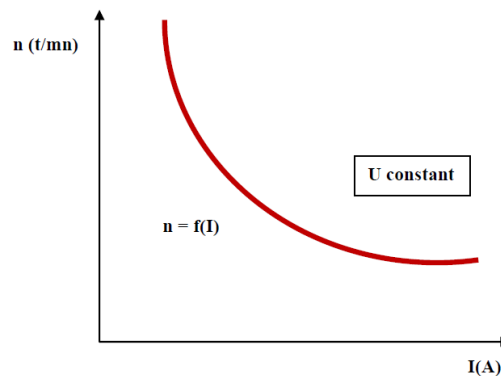


Figure (I.12) : Caractéristique de vitesse d'un moteur série

Le couple (T) est proportionnel au carré de l'intensité du courant d'alimentation (I).

$$T = \frac{E I}{\Omega} = K. I^2 \quad (I.23)$$

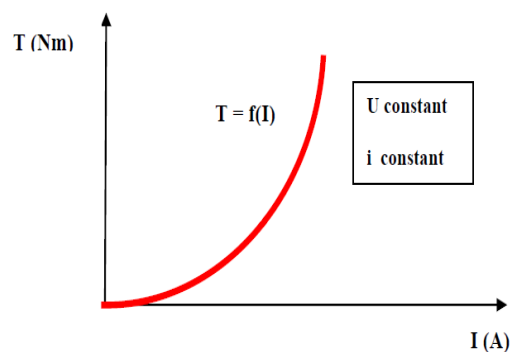


Figure (I.13) : Caractéristique de couple d'un moteur série

I.7-Avantages :

- Facilité d'alimentation Il n'a besoin que d'une source continue ou de batterie.
- La variation de fréquence est simple à réaliser.

I.8-Inconvénients:

- Les problèmes les plus courants dans ces machines proviennent du contact entre des brosses ou du charbon et un collecteur rotatif.
- Peut arriver emballement en cas ne pas commande la vitesse.
- les problèmes de commutation, d'étincelles, elle limite la vitesse de rotation et elle entraîne la nécessité d'une maintenance contraignante.
- Difficulté de maintenance et prix élevé

I.9-L'utilisation de la machine à courant :

L'utilisation de la machine à courant continu a une relie avec le type de machine :

- **Moteur série** : sont employés dans des applications nécessitant un couple de démarrage élevé et une basse vitesse on utilisée dans :
 - les moteurs universels (perceuses, outillage à main, etc.
 - automobiles (démarreur voiture).
- **Moteur sépare** : nécessitant des vitesses réglables (action sur la tension) et présentant Un couple important en basse vitesse on a utilisé dans :
 - compresseurs, ventilateurs, pompes
 - moteur de traction (locomotive, métro ...).
 - appareils de levage.

I.10-Commande les machines courant continu :**I.10.1-Généralités :**

La commande des machines électriques est l'une des applications des convertisseurs statiques. Cette commande nécessite l'association d'une machine (courant continu, synchrones, asynchrones ou autres) dont le fonctionnement est à une vitesse variable en lui conservant un couple optimum, à un convertisseur statique (redresseur, hacheur, gradateur, onduleur). En fait, le choix du moteur d'entraînement dépend du travail demandé, du lieu de travail et de la puissance à fournir. De même, la source d'énergie dont on dispose, les contraintes sur les paramètres que l'on doit fournir et le prix de revient de l'ensemble déterminent le type du convertisseur à associer au moteur.

La réalisation de la commande d'une machine électrique est décrite par de le Figure (I.14) structurel suivant:

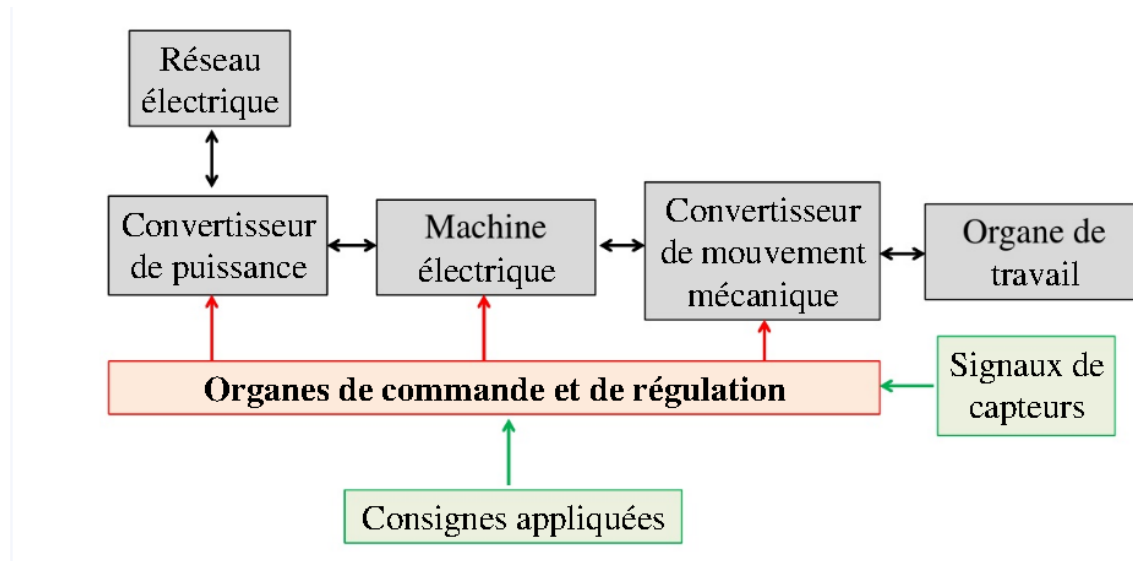


Figure (I.14): diagramme structurel

En effet, la commande d'une machine électrique permet:

- Dérégler de façon précise et optimale les procédés de production,
- d'assurer des démarrages et des freinages fréquents d'équipements de précision.

I.10.2-Commande d'un moteur à courant continu :

-Inversion du sens de rotation

Le sens de rotation est imposé par la polarité de la tension d'alimentation. Pour inverser le sens de rotation d'un moteur, il faut être capable d'inverser la polarité de sa tension d'alimentation.

- Inversion du sens de rotation avec un pont en H

Le pont en H nous permet de commander le sens de rotation du moteur. La figure 11 en explique le principe grâce à un montage constitué de quatre interrupteurs et du moteur à commander.

-Principe d'inversion de la tension :

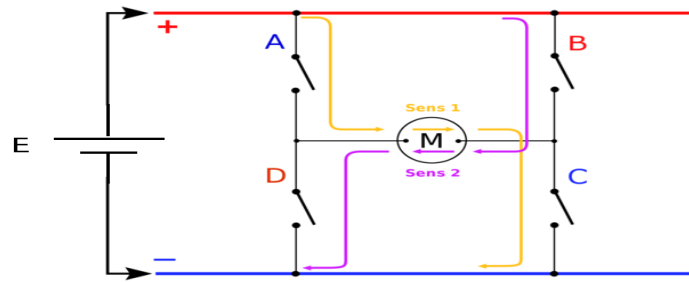


Figure (I.15) : schema de pont en H

I.10.3-Commande quatre quadrants :

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 pallier 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.

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. [7]

Par variateur réversible, on entend un entraînement permettant une inversion rapide du sens de rotation

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.

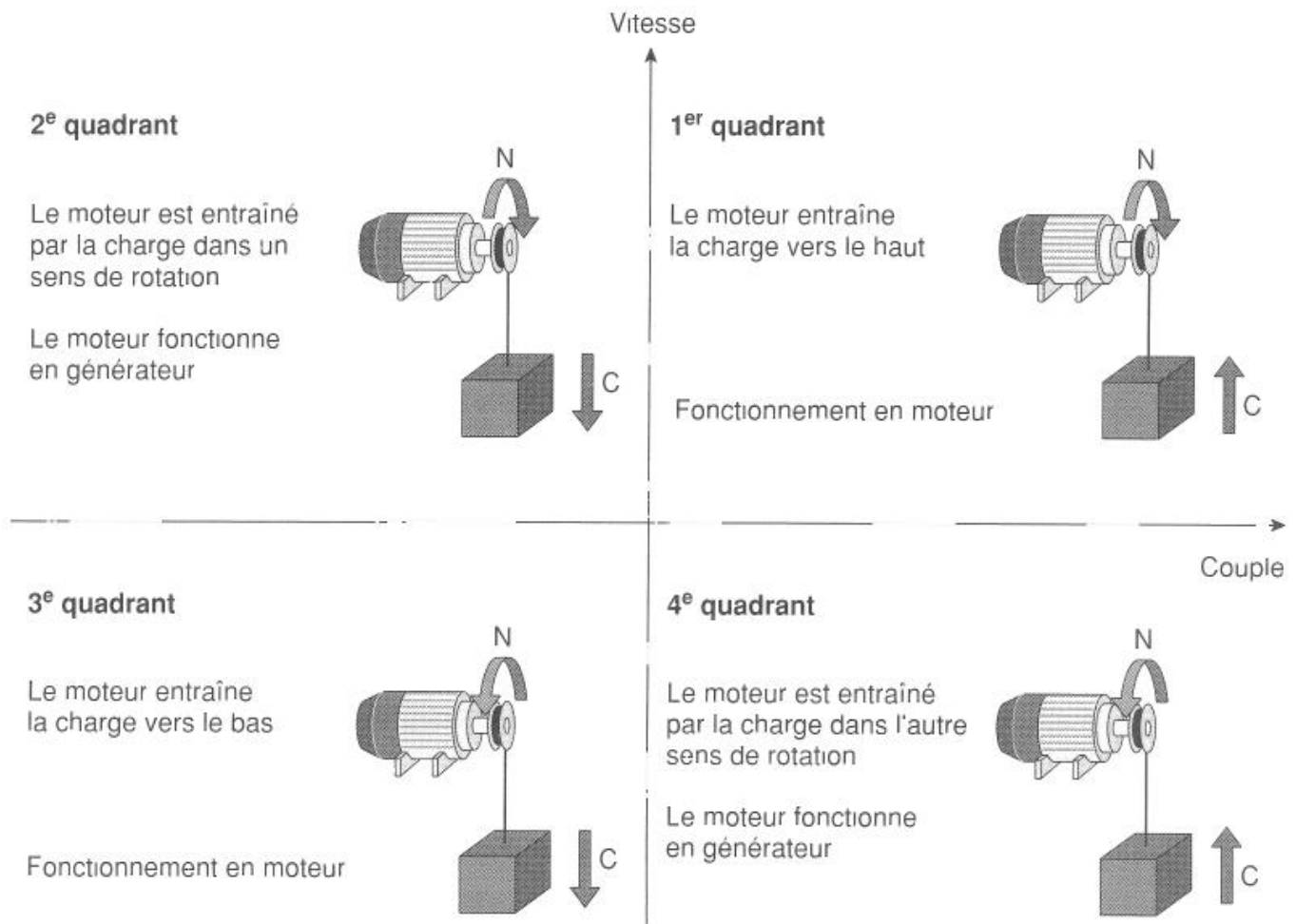


Figure (I.16) : fonctionnement de 4 quadrants

I.11- Le principe Variation de vitesse :

La relation de la vitesse d'un moteur à courant continu (à excitation shunt ou séparée) est donnée par :

$$\Omega = \frac{U - R \cdot I}{K} \cdot \Phi \quad (I.24)$$

En explorant cette relation, il apparaît clairement trois possibilités pour le réglage de la vitesse :

- action sur (réglage le courant d'excitation).
- Action sur (réglage par la tension).

I.11.1-Action sur le courant d'excitation :

A tension U constante, la vitesse du moteur est inversement proportionnelle au flux et Donc au courant d'excitation (i_e). L'action sur le courant d'excitation permet donc Essentiellement d'accroître la vitesse à partir du point de fonctionnement nominal jusqu'à la vitesse maximale supportable par le moteur. [5]

I.11.2-Action sur la tension d'alimentation :

A flux constant, la vitesse du moteur est quasiment proportionnelle à U . L'alimentation de l'induit par l'intermédiaire d'un pont redresseur commandé ou d'un hacheur donc de faire varier continument la vitesse de 0 jusqu'à Ω_n (vitesse nominale) [5].

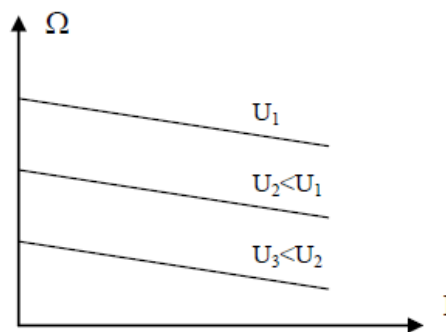


Figure (I.17): courbe de $\Omega(i)$

Pour obtenir une tension continue variable, il existe 2 possibilités :

- tension continue fixe et utiliser un **hacheur**.
- tension alternative sinusoïdale et utiliser un **redresseur**.

I.12-Conclusion :

Dans chapitre nous nous sommes intéressés à la description les éléments qui constituent une machine à courant continu, le principe de fonctionnement et les différents types de moteur à courant continu et méthodes des commandes.

Le prochain chapitre, nous allons étudier les variateurs de vitesse pour moteurs à courant continu.

CHAPITRE II

Variateurs de vitesse
moteurs à courant continu

II.1-Introduction :

Le moteur à courant continu a longtemps été considéré comme le moteur le mieux adapté au fonctionnement à vitesse variable à condition de régler sa vitesse par la tension d'induit. A l'époque où les seuls semi-conducteurs de puissance disponibles étaient les diodes et les thyristors, l'association d'un montage redresseur commandé ou semi-commandé et d'une machine à courant continu constituait la solution type dans le domaine de la variation de vitesse. Les anciens systèmes (variateurs mécanique) Ils ont donné de fiable puissance et plus des pertes et beaucoup des problèmes, Depuis la venue des nouvelles technologies basées sur les semi-conducteurs, la variation de vitesse par l'électronique, des moteurs électriques a pris le dessus sur les anciens systèmes.

Dans ce chapitre, nous allons présente les différents convertisseurs statiques et concentrons particulièrement sur les hacheurs et redresseurs, différent types qui sont utilisés dans les processus de variation de vitesse du moteur à courant continu.

II.2-Variateur de vitesse :

Un variateur de vitesse est un équipement permettant de faire varier la vitesse d'un moteur, une nécessité pour de nombreux procédés industriels. En effet, la plupart des moteurs tournent à vitesse constante. Pour moduler la vitesse des équipements de procédé, on a longtemps eu recours à divers dispositifs mécaniques. Aujourd'hui, on fait surtout appel à des variateurs de vitesse électroniques Pour les procédés industriels exigeant une régulation précise de la vitesse, on a d'abord utilisé des moteurs à courant continu commandés par des variateurs électroniques à semi-conducteurs.

Cette technique consistait à faire varier la vitesse proportionnellement à la tension. Étant donné la complexité de l'entretien des MCC, les applications récentes n'utilisent que rarement ce système.

II.2.1-Variateurs électroniques de vitesse :

Actuellement les machines électrique se base d'électronique de puissance pour variation la vitesse, sont appelés convertisseurs statiques.

II.2.2-Définition convertisseurs statiques :

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné. Suivant le type de machine à commander et suivant la nature de la source

de puissance (monophasée ou triphasée), on distingue plusieurs familles de convertisseurs statiques [8].

Une des principales applications des convertisseurs statiques est la commande des Machines électriques. Ces machines peuvent être à courant continu, synchrones, asynchrones ou autres.

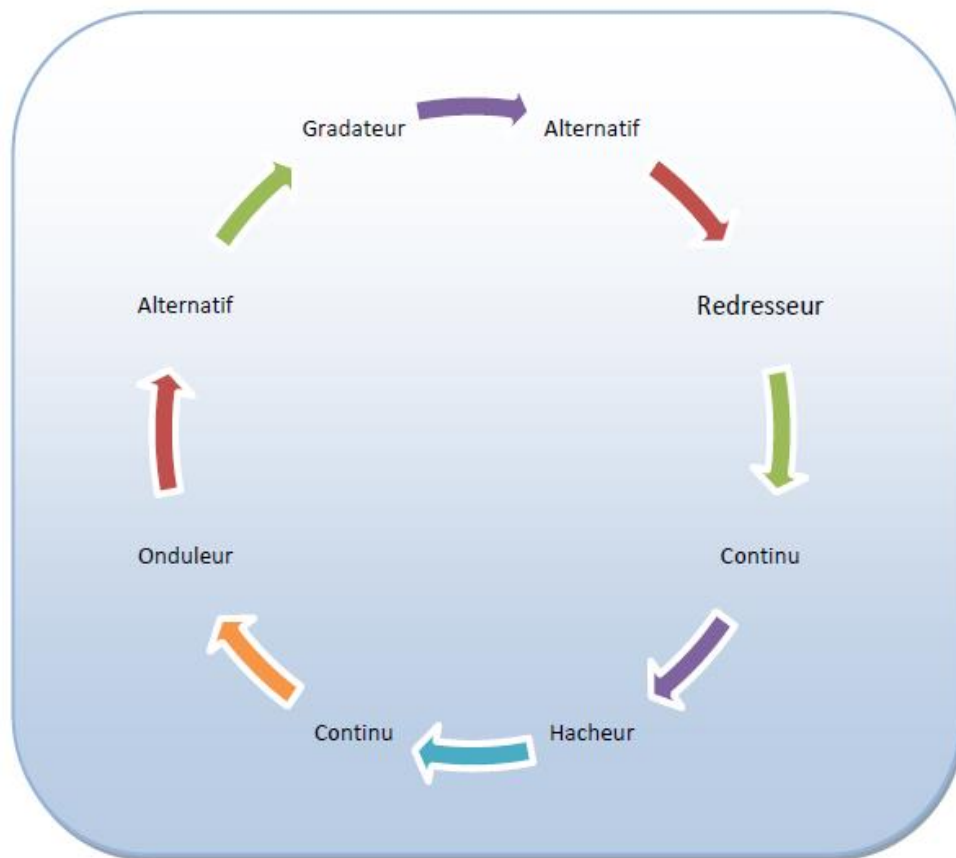


Figure (II.1) : Diagramme des divers types de convertisseurs statiques [8]

Dans le cas des moteurs à courant continu nous avons deux types de convertisseurs:

- Les convertisseurs alternatifs-continus (redresseurs).
- Le convertisseur continu-continu (hacheurs).

II.3.1 Avantages les variateurs électroniques:

- ✓ diminution des pertes mécaniques présentes dans les variateurs mécaniques (poulies et courroies, engrenages),
- ✓ Limitation voire suppression des surintensités lors du démarrage,
- ✓ Adaptation précise de la vitesse et modification facile,
- ✓ Limitation du bruit.
- ✓ Économies d'énergie.

✓ II.3.2-les Inconvénients :

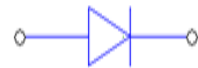
- courants harmoniques,
- chute ou perturbation de la tension
- surchauffe des moteurs, des câbles et des transformateurs

II.4-Les interrupteurs statiques :

Eléments clés dans l'électronique de puissance, les interrupteurs statiques peuvent fonctionner jusqu'à plusieurs dizaines de kHz, des fréquences où l'emploi des interrupteurs classiques est tout simplement impossible. En conversion statique, seuls les interrupteurs statiques à base de semi-conducteurs sont. Utilisés. On peut citer. [9]

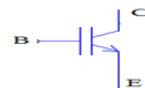
• La diode :

La diode est un composant électronique qui ne laisse passer le courant que dans un sens. C'est le sens passant, ou direct. Le sens où aucun courant ne passe est le sens bloqué, ou inverse. C'est donc un composant polarisé. [9]



• Transistor :

Très largement en électronique analogique peut être utilisé pour des applications de puissance modérée, comme on parle de l'électronique de puissance, on lui préfère des composants plus puissants. [9]

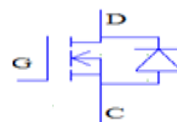


• MOSFET :

Un transistor à effet de champ (à grille) métal-oxyde est un type de transistor à effet de champ. Comme tous les transistors, le MOSFET gère le courant qui le traverse à l'aide d'un signal appliqué à sa grille.

Les MOSFET se divisent en deux catégories, les MOSFET à déplétion, les MOSFET à inversion selon leur mode d'opération.

Chaque MOSFET est aussi caractérisé par la polarité de ses porteurs de charges qui détermine s'il est de type P ou N. [9]



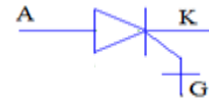
• GTO :

Le Thyristor GTO (ou plus simplement GTO), c'est-à-dire thyristor blocable par impulsion négative sur la gâchette, réservé aux applications de forte puissance.

Le HDGTO (GTO à commande dure), plus connu sous le nom de GCT, est une évolution «moderne » du GTO, permettant un fonctionnement sans circuit d'aide à la commutation.

Les applications usuelles du GTO sont les onduleurs, redresseurs et hacheurs pour la vitesse variable et la conversion d'énergie.

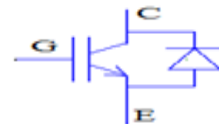
Le GTO est un composant électronique dont la mise en conduction et le blocage sont commandés. [9]



- **IGBT :**

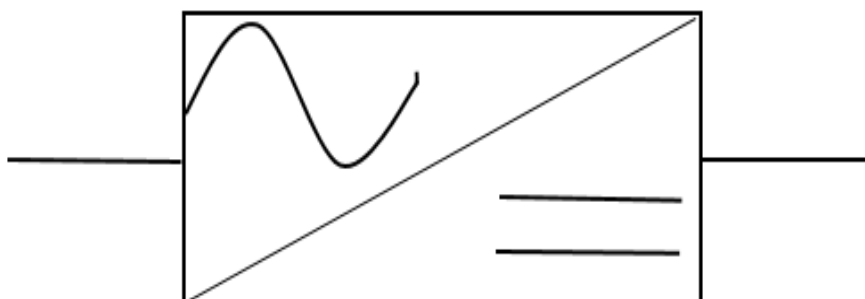
Le transistor bipolaire à grille isolée est un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors qui est utilisé comme interrupteur électronique de puissance, principalement dans les montages de l'électronique de puissance.

Les caractéristiques de l'IGBT font que dans les années 2000 il s'est largement imposé dans tous les domaines de l'électronique de puissance face aux autres types de composants pour les gammes de tension 600 V à 3 300 V, et qu'il perce dans les tensions supérieures face au GTO, ainsi que dans les tensions inférieures face au MOSFET, bien qu'il soit plus lent. [9]



II.5-Convertisseurs alternatifs-continus (redresseurs) :

Un redresseur est un convertisseur alternatif continu permettant de fournir, à partir d'une tension alternative monophasée ou triphasée, une tension continue fixe ou variable. Pratiquement, on rencontre les redresseurs dans les variateurs de vitesse pour moteurs à courant continu, dans les chargeurs de batteries, les postes de soudure ou encore comme étage d'entrée d'un onduleur autonome...etc.



Symbole de redresseur

Les redresseurs peuvent être classés en deux grandes familles :

II.5.1-Les redresseurs commandés :

Les redresseurs commandés ce sont des variateurs à base de thyristors et diodes. Ils délivrent une tension redressée à valeur moyenne ajustable. On distingue :

- Le pont tout thyristor triphasé PT3.

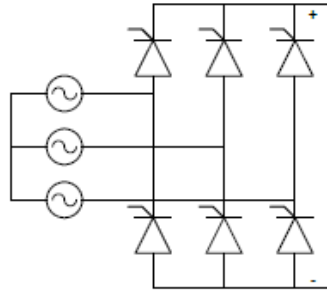


Figure (II.2) : Le pont tout thyristor triphasé PT3

- Le pont mixte triphasé PM3.

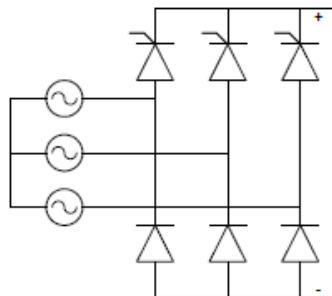


Figure (II.3) : Le pont mixte triphasé PM3.

- Le pont mixte symétrique monophasé.

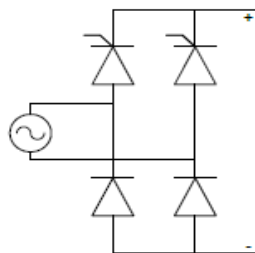


Figure (II.4) : Le pont mixte symétrique monophasé.

- Le pont mixte asymétrique monophasé.

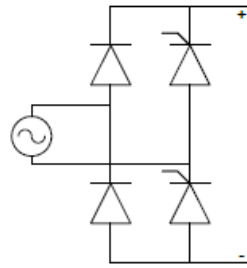


Figure (II.5) : Le pont mixte asymétrique monophasé

Noter : que dans un redresseur, la fréquence du signal de sortie est au moins égale à celle du réseau alternatif.

II.5.2- les redresseurs non commandé

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.5.3-Principe de fonctionnement :

Comme pour le hacheur, le redresseur permet de faire varier la tension moyenne du moteur. On fait varier la tension de moteur en agissant sur l'angle d'amorçage des thyristors. L'avantage du redresseur est qu'il transforme directement la tension alternative en tension continue variable ce qui représente un coût moins important par rapport au hacheur.

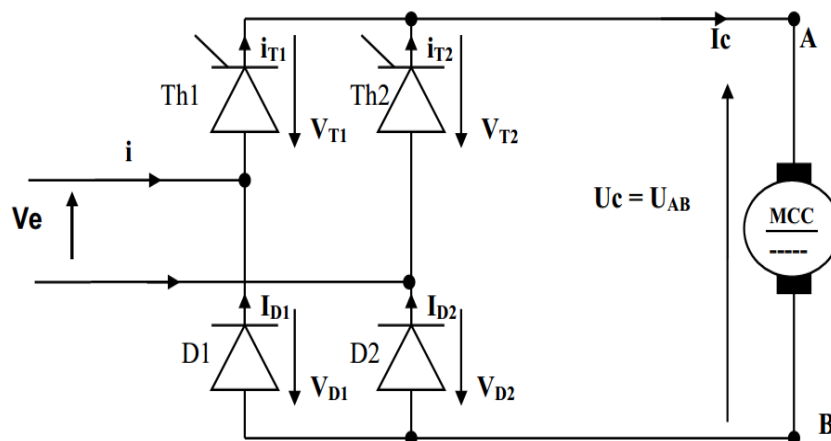


Figure (II.6) : Redresseur commandé pont mixte symétrique

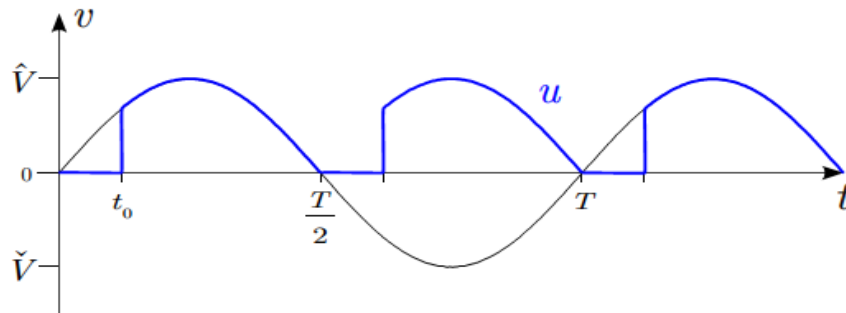


Figure (II.7) : La tension aux bornes de la charge avec un redresseur commande

II.5.4-Valeur moyenne de la tension redressée:

$$U_{\text{cmoy}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_c(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{\delta}^{\pi} U \sin \theta d\theta = \frac{U}{\pi} [-\cos \theta]_{\delta}^{\pi} \quad (\text{II.1})$$

$$U_{\text{cmoy}} = \frac{U}{\pi} (1 + \cos \delta)$$

δ : L'angle d'amorçage. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu. Le pont mixte alimente un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante, sa fém s'exprime en fonction de la vitesse de rotation par la relation :

$$E = K \cdot n \quad (\text{II.2})$$

n : vitesse de rotation (en tr/s). La tension U_c s'exprime en fonction des éléments de la charge par la relation :

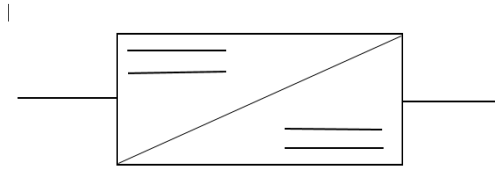
$$E = U_c - R \cdot i - L \frac{di}{dt} \quad (\text{II.3})$$

La vitesse de rotation du moteur s'exprime en fonction de l'angle δ :

$$n = \frac{1}{K} \left[\frac{U}{\pi} (1 + \cos \delta) - R \cdot i \right] \quad (\text{II.4})$$

II.6-Convertisseurs continu-continu (hacheurs) :

Un hacheur est un convertisseur statique continu-continu qui permet à partir d'un réseau à courant continu d'alimenter une charge sous une tension continu de valeur moyenne réglable. Le hacheur est basé sur le principe d'ouverture et de fermeture régulière d'interrupteur statique, le réglage relatif des temps de l'ouverture et de la fermeture de l'interrupteur permet de contrôler l'échange d'énergie. [10]



Symbole de hacheur

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. 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 : [11]

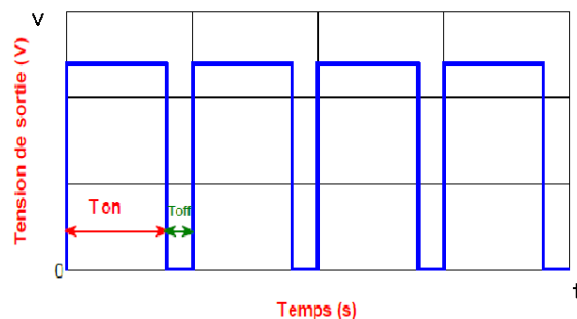
- batteries.
- redresseur à diode.

II.6.2-Le rapport cyclique α :

le temps (T_F) pendant lequel l'interrupteur est Fermé divisé par la période de fonctionnement du montage (T).

$$\alpha = \frac{T_F}{T} \quad (\text{II.5})$$

Avec ($0 \leq \alpha < 1$).

Figure (II.8) : courbe de $v(t)$

II.6-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 prenant en compte la nature des réseaux d'entrée et de sortie, différents types de convertisseurs de tension peuvent être : [11]

- Hacheur abaisseur (ou série).
- Hacheur élévateur (ou parallèle).
- Hacheur abaisseur-élévateur.
- Hacheur à quatre quadrants.

II.7-Hacheur série :

Ce hacheur commande le débit d'une source de tension dans une charge de courant.

Il permet de convertir la tension d'entrée en une tension de sortie inférieure. L'interrupteur K 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). C'est un convertisseur qui donne en sortie une tension plus petite que celle de l'entrée.

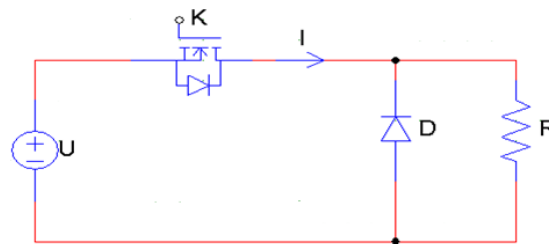
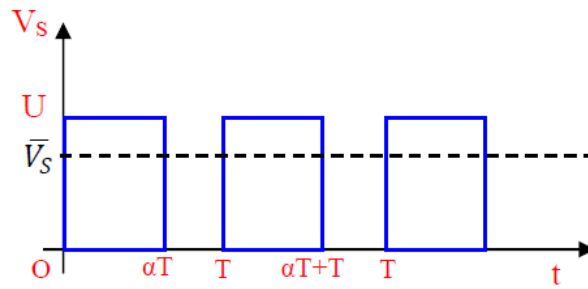


Figure (II.9) : schéma d'Hacheur Buck

II.7.1-Principe de fonctionnement :

Le cycle de fonctionnement, de période de hachage ($T=1/f$), comporte deux étapes. Lors de la première étape, on rend le transistor passant et la diode, polarisée en inverse, est bloquée. Cette phase dure de $(0 \leq t \leq \alpha T)$. Lors de la seconde étape on bloque le transistor, la diode devient passante.

Figure (II.10) : courbe $V_s(t)$

II.7.2-Valeur moyenne de la tension :

$$V_{smoy} = \frac{1}{T} \int_0^T V_s(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T 0 dt \quad (II.6)$$

$$V_{smoy} = \frac{U}{T} (\alpha T - 0) = \alpha U \quad (II.7)$$

La valeur moyenne de la tension V_{smoy} peut être ajustée en jouant sur la valeur du rapport cyclique α . Quand on fait varier α de 0 à 1, V_{smoy} varie linéairement de 0 à U .

Le hacheur série permet de faire varier la vitesse de rotation des moteurs à courant continu.

On rappelle que la vitesse d'un tel moteur est proportionnelle à la tension d'alimentation.

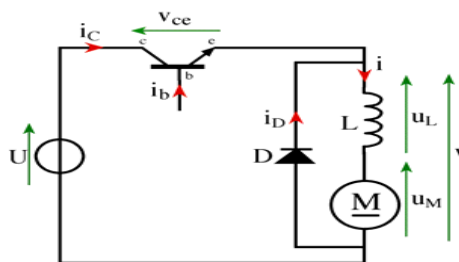


Figure (II.11) :: Hacheur série commande un moteur à courant continu

Considérer le courant comme constant ($\Delta i \approx 0$) :

-Loi des mailles :

$$V_s = U_M + U_L \quad (II.8)$$

-On passe aux valeurs moyennes :

$$V_{Smoy} = U_{Mmoy} + U_{Lmoy} \quad (II.9)$$

-Et comme pour un signal périodique :

$$U_{Lmoy} = 0 \quad (II.10)$$

-Nous obtenons pour le moteur :

$$V_{Smoy} = U_{Mmoy} = E \quad (II.11)$$

$$V_s = E = \alpha U \quad (II.12)$$

$$E = K \cdot \Phi \cdot \Omega = \alpha U \quad (II.13)$$

Avec :

$$K' = K \cdot \Phi \quad (II.14)$$

-Finalement la **f. é. m** du moteur peuvent être régler grâce au rapport cyclique par la rotation :

$$E = K' \cdot \Omega = \alpha U \quad (II.15)$$

Avec : $K'' = UK'$

$$\Omega = K'' \cdot \alpha \quad (II.16)$$

On voit ici la vitesse varie linéairement avec le rapport cyclique α , lequel est proportionnel à la tension de commande. [9]

II.8-Hacheur parallèle:

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 (condensateur en parallèle avec la charge résistive) puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage). [12]

II.8.1-Principe de fonctionnement :

Le principe d'un tel convertisseur est d'assurer la fluence d'énergie entre une source de courant continu, et une source de tension continue, ainsi que présenté Figure :

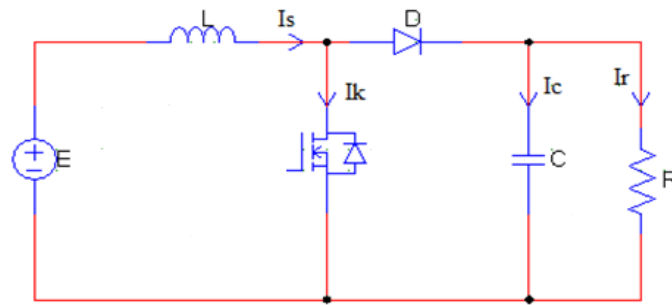


Figure (II.12) : hacheur parallèle

La première partie du cycle de fonctionnement, de $(0 \text{ à } \alpha.T)$, l'interrupteur commandé est fermé (passant). Cette fois, la source et la charge ne sont pas en contact durant cette phase. La diode est alors bloquée. Lors de la seconde partie du cycle, de $(\alpha.T \text{ à } T)$, on ouvre l'interrupteur commandé et la diode devient passante. C'est alors que la source et la charge sont reliées.

II.8.2-Valeur moyenne de la tension :

$$V_{smoy} = \frac{U}{(1-\alpha)} \quad (\text{II.17})$$

II.9-Hacheur série-parallèle:

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse. Un inconvénient de ce convertisseur est que son interrupteur ne possède pas de borne reliée au zéro, compliquant ainsi sa commande.[13]

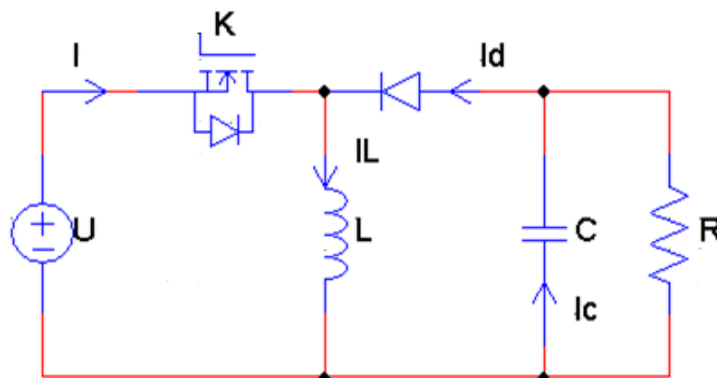
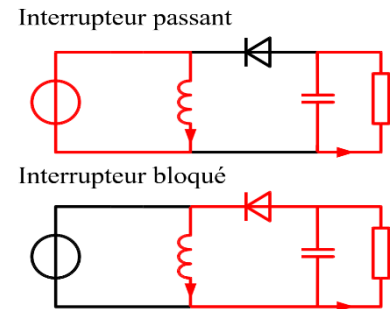


Figure (II.13) : Hacheur série-parallèle

II.9.1-Principe de fonctionnement :

Le série-parallèle est également appelée abaisseur-élevateur par son aptitude à fournir une tension plus faible, ou plus élevée que celle appliquée en son entrée. Ceci dépend de la valeur du rapport cyclique.



Le fonctionnement d'un convertisseur série-parallèle peut être divisé en deux configurations suivant l'état de l'interrupteur K1

- Dans l'état passant, l'interrupteur K1 (est fermé, conduisant ainsi à une augmentation de l'énergie stockée dans l'inductance.
- Dans l'état bloqué, l'interrupteur K1 est ouvert. L'inductance est reliée à la charge et à la capacité. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité et la charge

Comparé aux convertisseurs série-parallèle, les principales différences sont :

- La tension de sortie est de polarité inverse de celle d'entrée.
- La tension de sortie peut varier de 0 à $-\infty$ (pour un convertisseur idéal).

II.10-Hacheur réversible :

Les structures que nous avons vu précédents (Hacheur série ou Parallèle) ne sont pas réversibles, ni en tension, ni en courant. L'énergie va donc toujours de la source vers la charge. Il est possible de modifier ces dispositifs pour inverser le sens de parcours de l'énergie. Ainsi, une source peut devenir une charge et inversement. Ce type de comportement se rencontre usuellement dans les systèmes électriques. Ainsi, un moteur en sortie d'un hacheur représente une charge. Cependant, si on veut réaliser un freinage, le moteur va devenir générateur, ce qui va entraîner un renvoi d'énergie à la source. [15]

II.11-Hacheur à quatre quadrants :

Pour obtenir une réversibilité quatre quadrants, il suffit d'associer tête bêche deux hacheurs réversibles deux quadrants (K1, K2, D1, D2) et (K3, K4, D3, D4). La tension peut être négative ou positive, le courant aussi. [16]

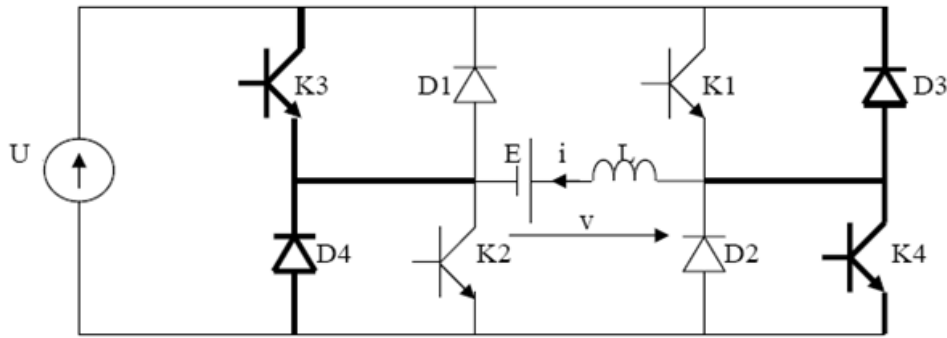


Figure (II.14) : Hacheur à quatre quadrants

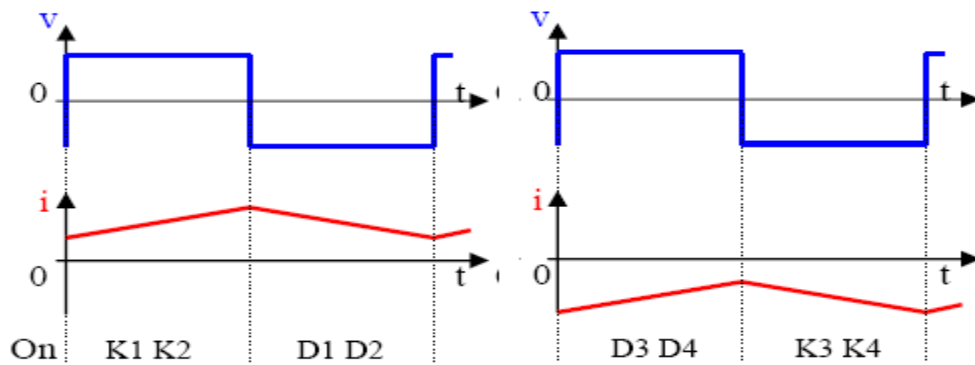


Figure (II.15) : la tension aux bornes de la charge avec un hacheur quatre quadrants

II.11.1-Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{smoy} = \frac{1}{T} \int_0^T V_s(t) d(t) = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U d(t) + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T -U d(t) \quad (II.18)$$

$$V_{smoy} = U(2\alpha - 1) \quad (II.19)$$

Maintenant on peut avoir ($V_{smoy} < 0$) (formule), le courant pouvant également être négatif donc On peut avoir un sens de rotation négatif. Quand (α) varie de (0 à 1), la tension moyenne varie De ($-U$ à $+U$).

II.11.2Principe du fonctionnement :

On dispose de 4 quadrants.

$V > 0$ et $I > 0$.Rotation dans le premier sens.

$V < 0$ et $I > 0$.Phase de freinage (récupération de l'énergie).

$V < 0$ et $I < 0$, Rotation dans le deuxième sens.

$V > 0$ et $I < 0$, Phase de freinage (récupération de l'énergie).

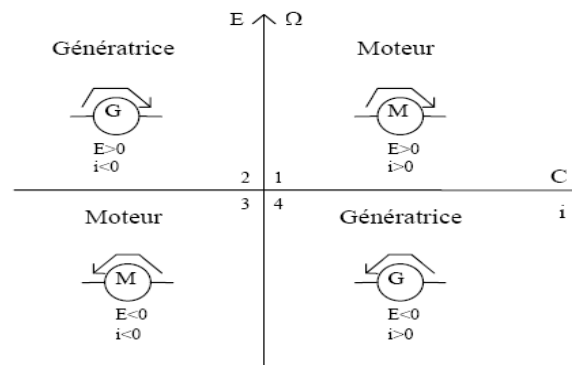


Figure (II.16) : Principe du fonctionnement d'un Hacheur quatre quadrants.

Stratégie de commande :

On procède ainsi A chaque période T Figure (II.15):

On commande la fermeture de K1 et K2 pendant $0 < t < \alpha T$.

On commande la fermeture de K3 et K4 pendant; $\alpha T < t < T$.

Pour $0 < t < \alpha T$:

Si $I > 0$, il passe par K1 et K2 et $V=U$;

Si $I < 0$, il passe par D3 et D4 et $V=U$;

Pour $\alpha T < t < T$:

Si $I > 0$, il passe par D1 et D2 et $V=-U$;

Si $I < 0$, il passe par K3 et K4 et $V=-U$;

II.12-Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les différents hacheurs utilisés pour commander la vitesse de la machine à courant continu. Dans ce qui suit pour varier la vitesse de la machine à courant continu on a choisi le réglage par la tension de l'induit d'un hacheur série pour moteur à excitation séparée et dans les quatre quadrants pour la même machine ce qui est l'objet de notre prochain chapitre.

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 (synchrone, asynchrone, à réluctance variable,...) 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. [11]

Dans ce chapitre, nous allons simuler les circuits des hacheurs série et quatre quadrants pour varier la vitesse et le sens de rotation d'un moteur à courant continu.

III.2-La simulation :

Le logiciel MATLAB/SIMULINK, est un bon outil et moyen d'étude du fonctionnement des machines à courant continu et d'autres types de machines également dans les conditions de fonctionnement voulues. Il nous permet d'observer de manière réaliste des phénomènes électriques et physiques (couple, vitesse, courant).

III.3-Simulation d'un hacheur série commande un moteur à courant continu à excitation séparée :

Un hacheur est un dispositif électrique permettant de faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu en faisant varier la tension moyenne d'alimentation du moteur.

III.3.1-Schéma bloc de la simulation :

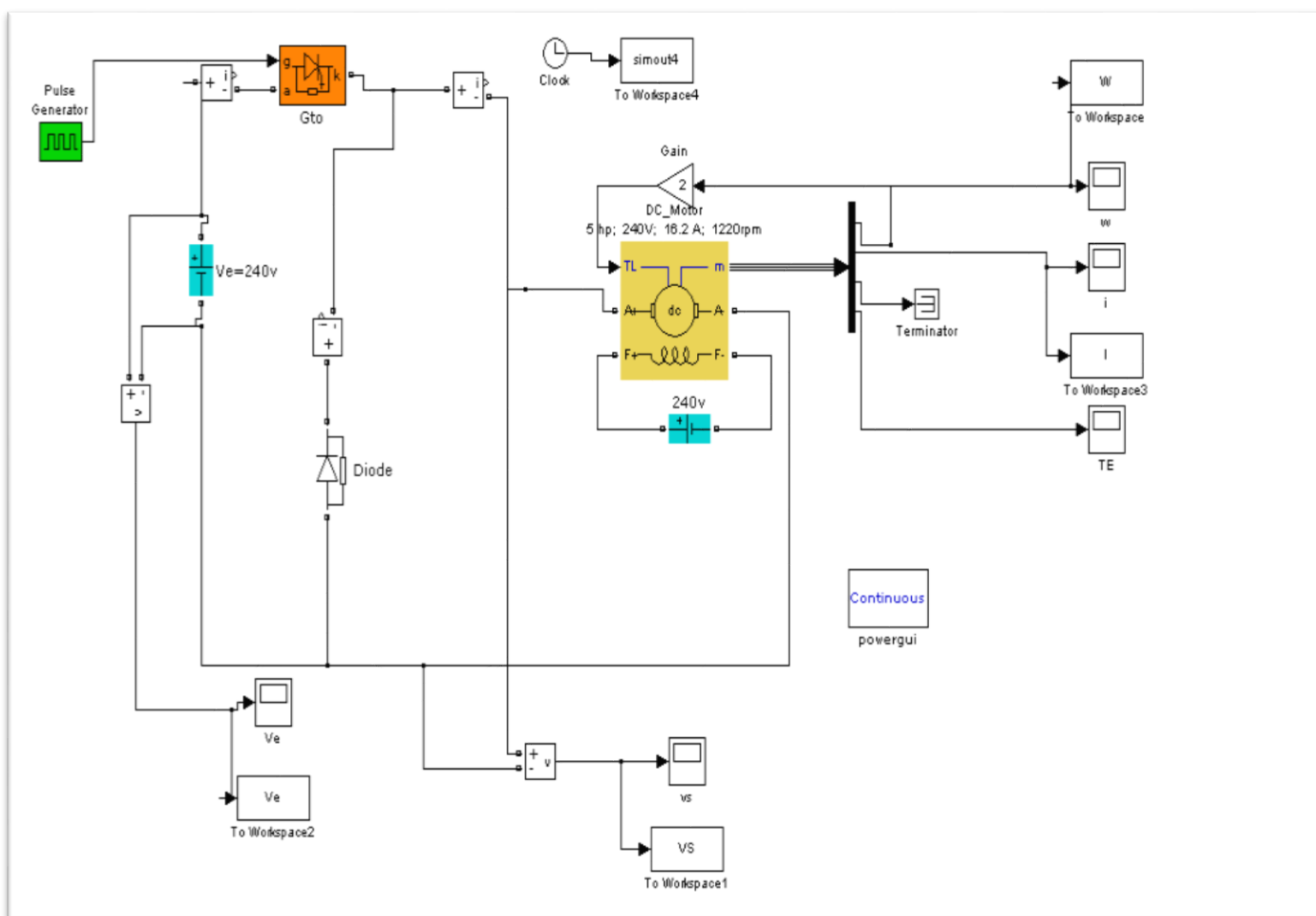


Figure (III.1) : Schéma bloc d'un hacheur série commande un moteur à courant continu

III.3.2-Paramètre du moteur :

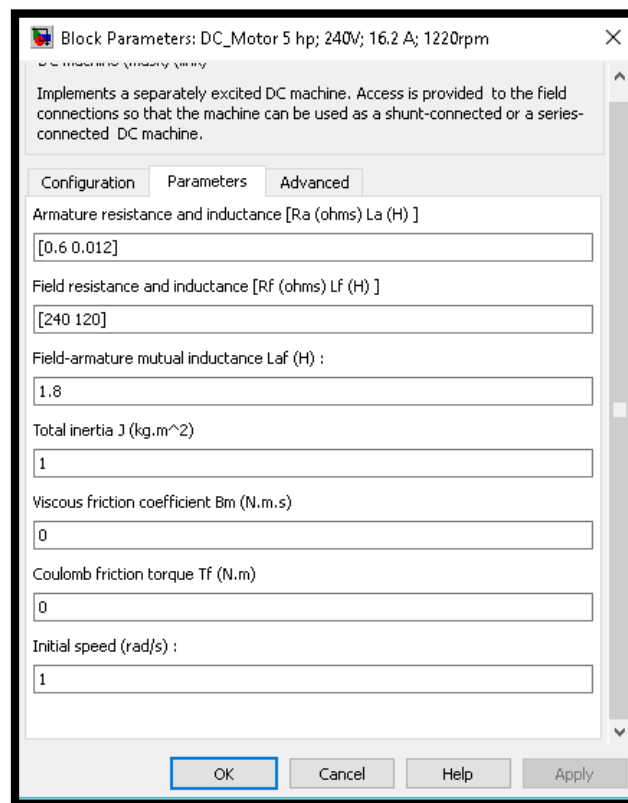


Figure (III.2) : paramètres du moteur à courant continu

III.3.3-Paramètre Pulse Générateur :

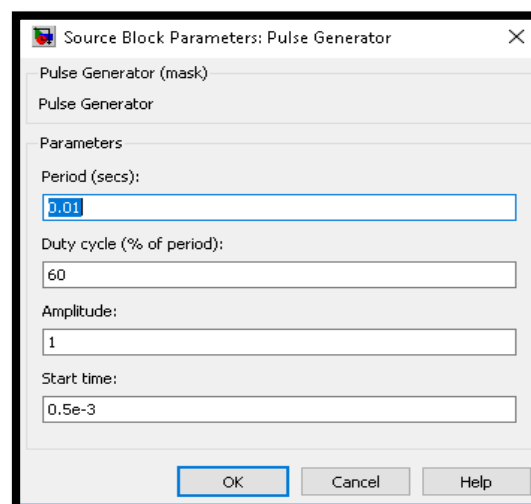


Figure (III.3) : Paramètre Pulse Générateur

III.3.4- Résultats de simulation :

Pour montrer l'importance de la variation de rapport cyclique sur la variation de la vitesse on prend deux rapports différents.

➤ Pour $\alpha=0.2$

-Tension d'entrée :

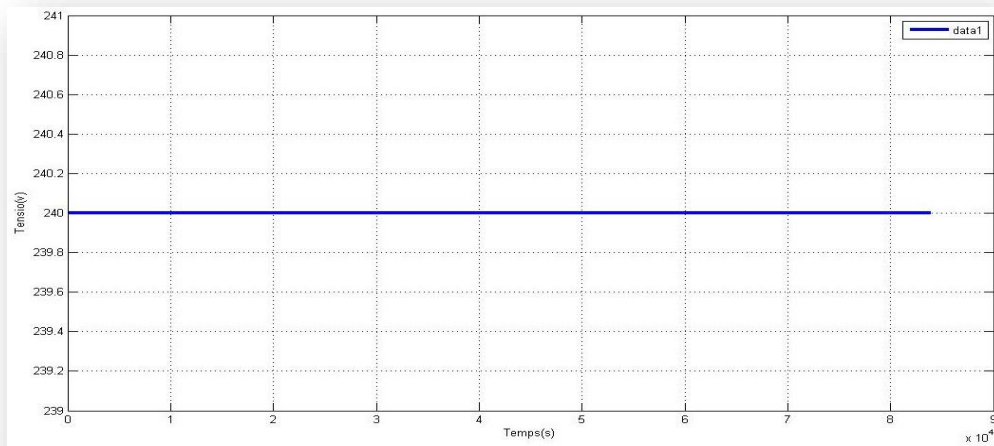


Figure (III.4) : La tension d'entrée d'hacheur

▪ Interprétation :

La tension d'entrée (V_e) est constante à la valeur de (240V).

-Tension de sortie :

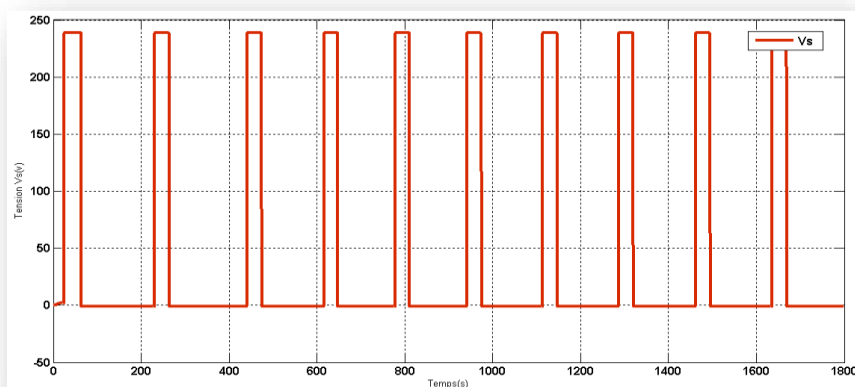


Figure (III.5) : La tension de Sortie avec $\alpha=20\%$

▪ Interprétation :

La tension de sortie est hachée de période T ($T = T_{on} + T_{off}$) avec le rapport cyclique de 20 % on constate que le temps $T_{off} > T_{on}$

-La vitesse :

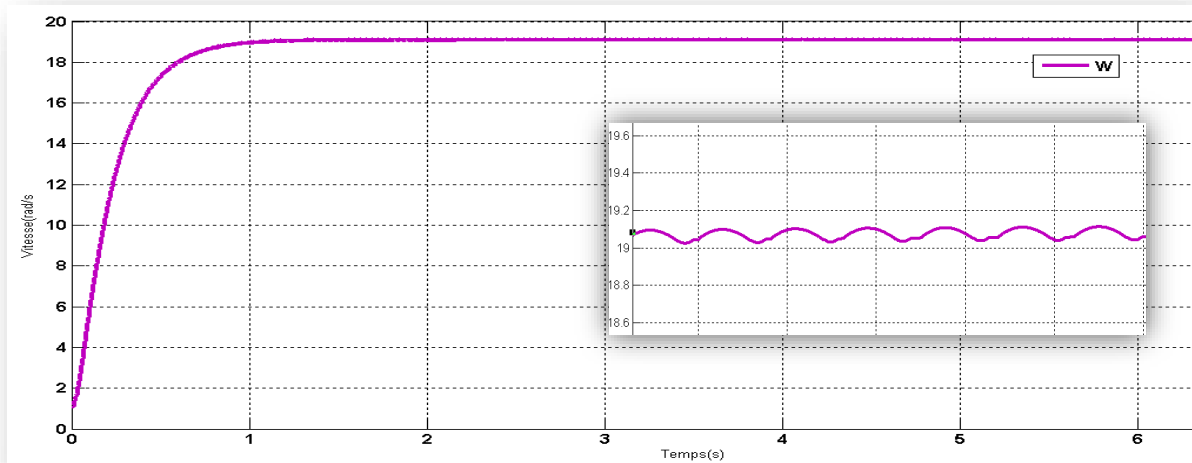


Figure (III.6) : La vitesse de moteur avec $\alpha=20\%$

▪ **Interprétation :**

La Vitesse débute de zéro pour se stabiliser à (19.1 rad/s), qui est la vitesse en régime établie (permanent). La courbe à une forme exponentielle

Le courant :

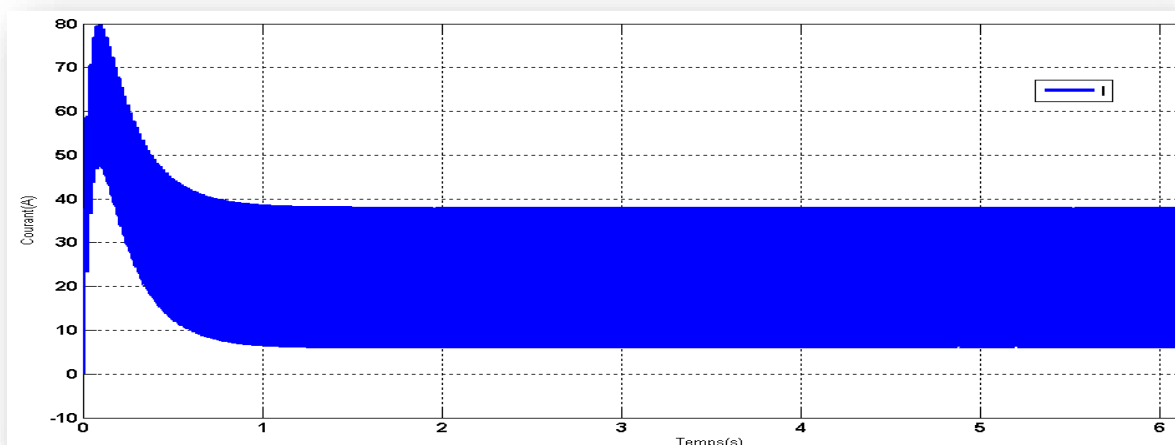


Figure (III.7) : Le courant de moteur avec $\alpha=20\%$

▪ **Interprétation :**

Le moteur démarre avec un courant de démarrage important de l'ordre (76.63 A), puis le courant passe du régime transitoire au régime établi pour se stabiliser autour de (6.1 A)

➤ pour $\alpha=0.6$

-Tension de sortie :

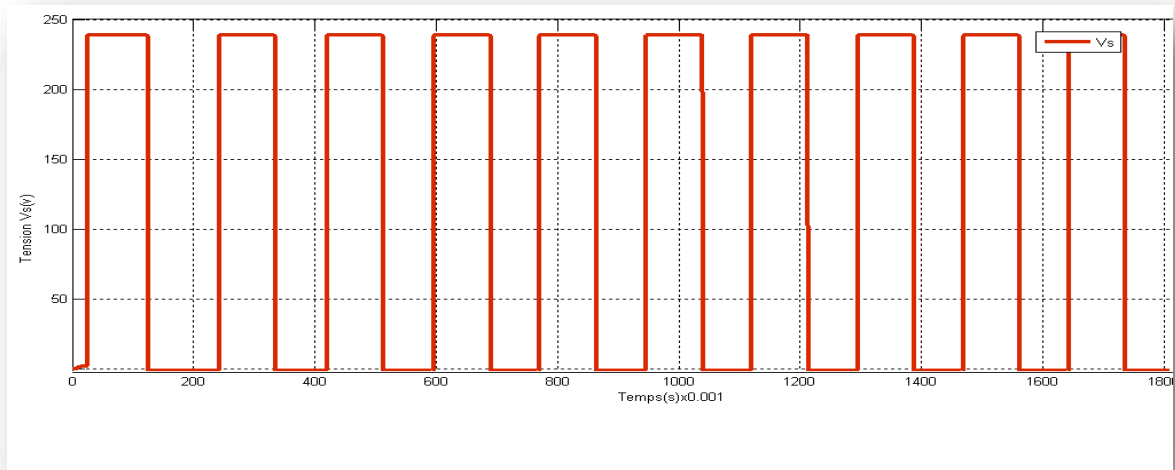


Figure (III.8) : La tension de Sortie avec $\alpha=60\%$

-La vitesse :

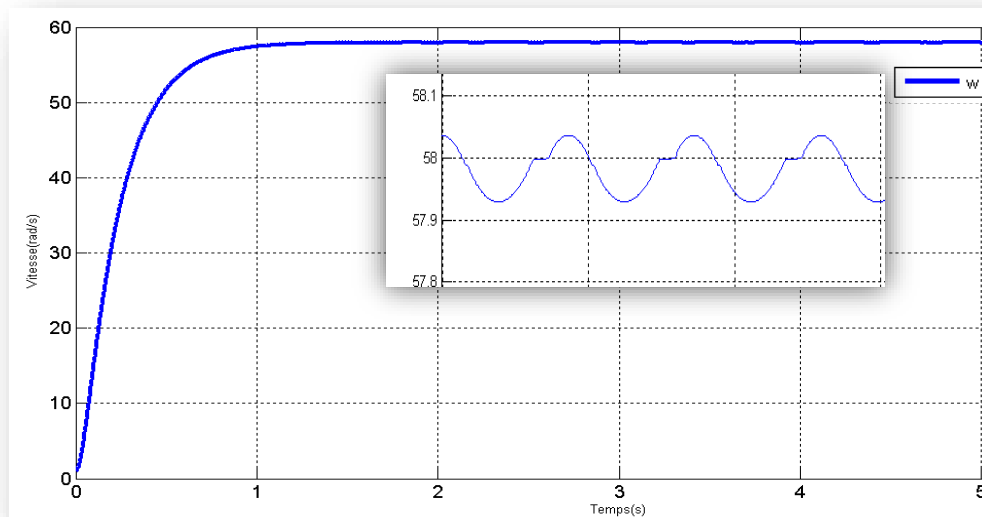


Figure (III.9) : La vitesse de moteur avec $\alpha=60\%$

▪ Interprétation :

La Vitesse débute de zéro pour se stabiliser de 58.04rad/s, qui est la vitesse en régime Établie. La courbe à une forme exponentielle, ce qui correspond à la présence de phénomènes transitoires dans les enroulements de la machine.

-Le courant :

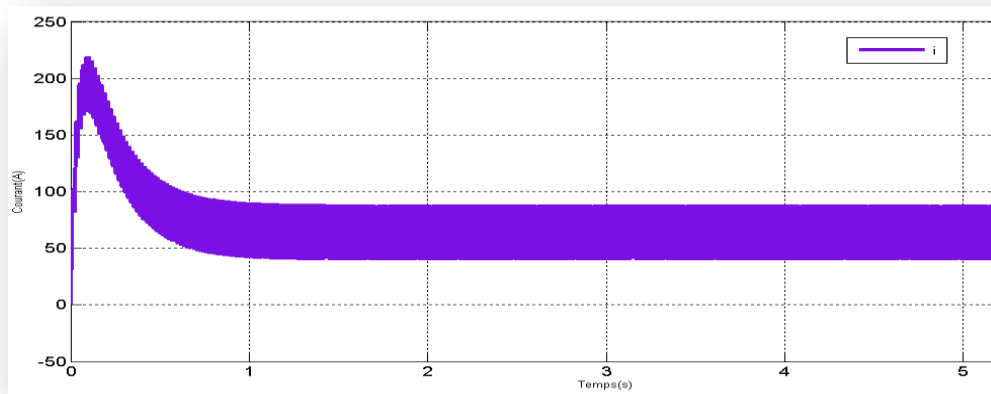


Figure (III.10) : Le courant de moteur avec $\alpha=60\%$

▪ Interprétation :

Le moteur démarre avec un courant de démarrage important de l'ordre 218.52 A, puis le courant passe du régime transitoire au régime établi pour se stabiliser autour de 40 A.

▪ Pour $\alpha=0.9$

-Tension de sortie :

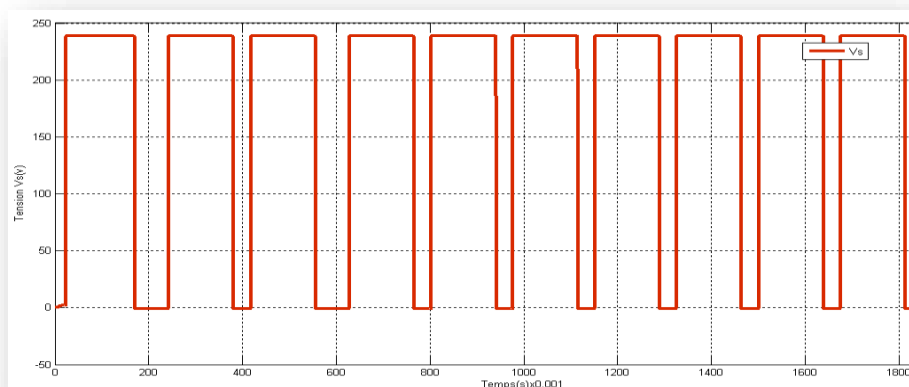


Figure (III.11) : La tension de Sortie avec $\alpha=90\%$

-La vitesse :

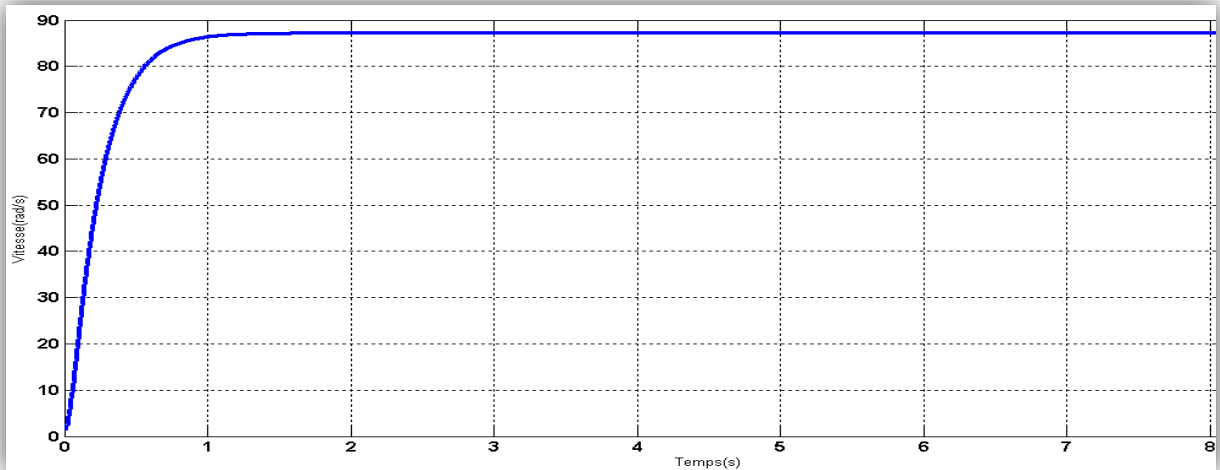


Figure (III.12) : La vitesse de moteur avec $\alpha=90\%$

▪ Interprétation :

La vitesse commence de zéro pour se stabiliser de 86.7 rad/s, qui est la vitesse en régime établie. La courbe a une forme exponentielle, ce qui correspond à la présence de phénomènes transitoires dans les enroulements de la machine.

-Le courant :

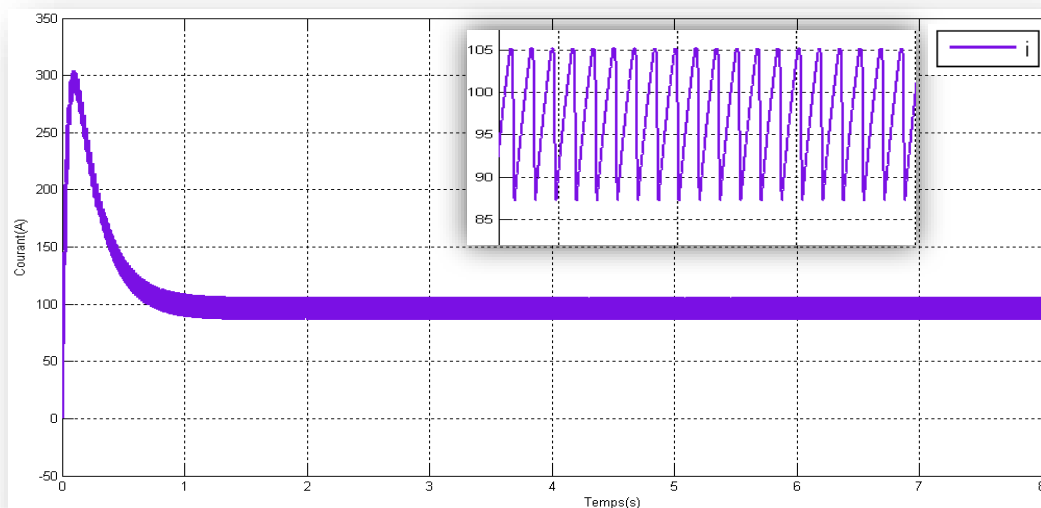


Figure (III.13) : Le courant de moteur avec $\alpha=90\%$

- **Interprétation :**

Le moteur démarre avec un courant de démarrage important de l'ordre 303 A, puis passe du régime transitoire ou régime établi pour se stabiliser autour de 87.27 A.

III.4-Simulation d'un hacheur quatre quadrants commande un moteur à courant continu à excitation séparée :

Pour faire varier la vitesse et le sens de rotation on utilise un hacheur quatre quadrants.

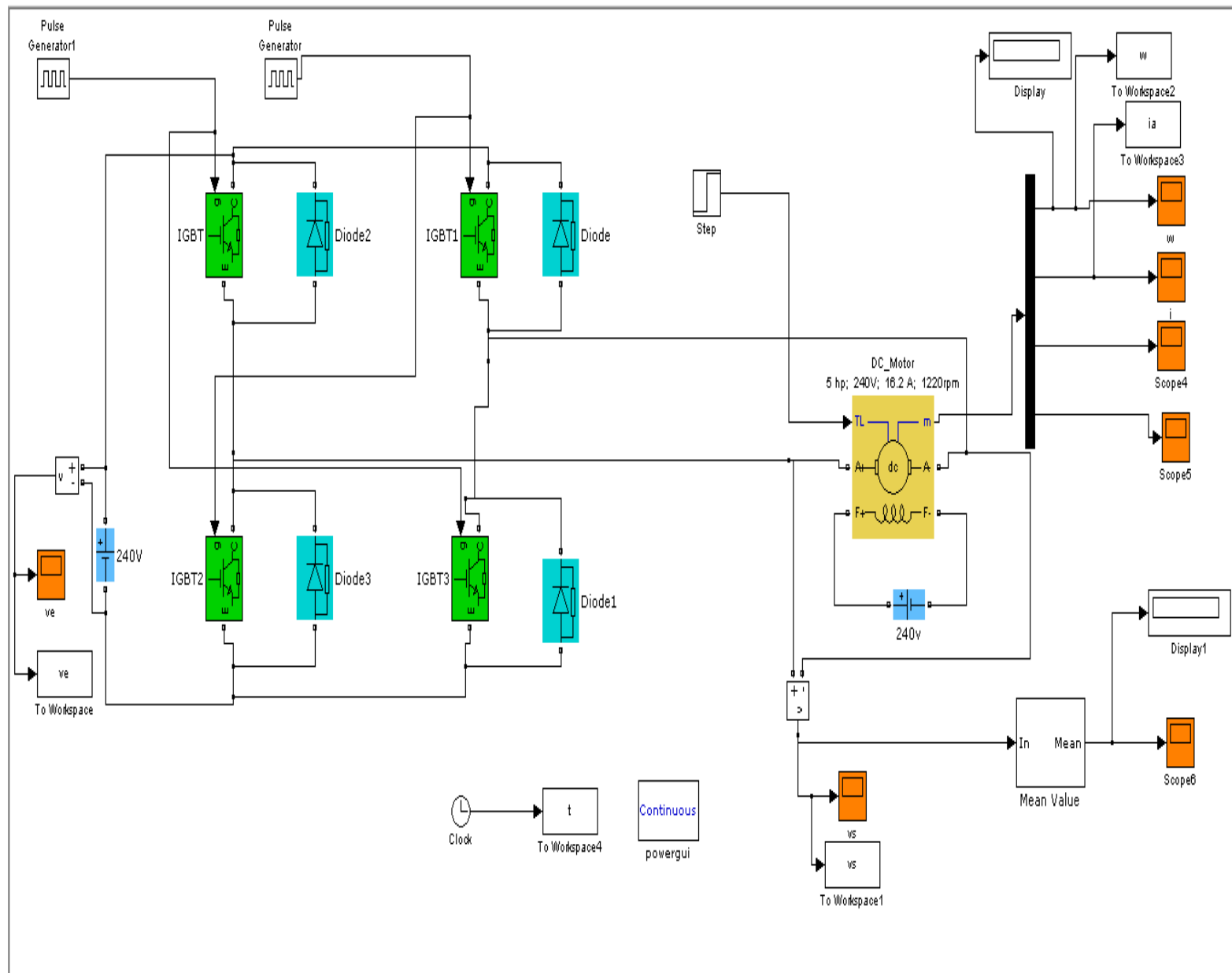


Figure (III.14) : Schéma bloc d'un hacheur quatre quadrants commande un moteur à courant continu

III.4.1- Résultats de simulation :

➤ Pour $\alpha = 0.6$

-Tension de sortie :

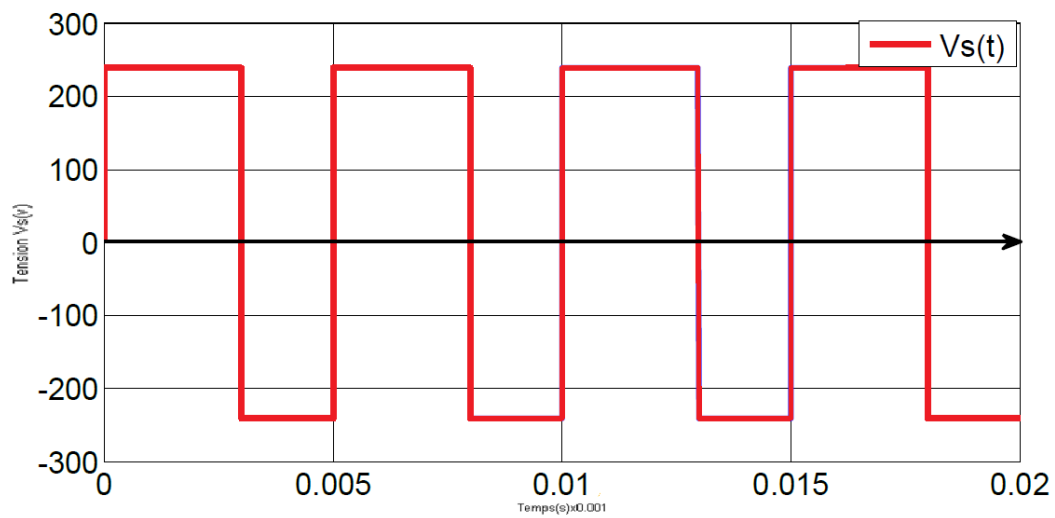


Figure (III.15) : La tension de sortie avec $\alpha=60\%$

-La vitesse :

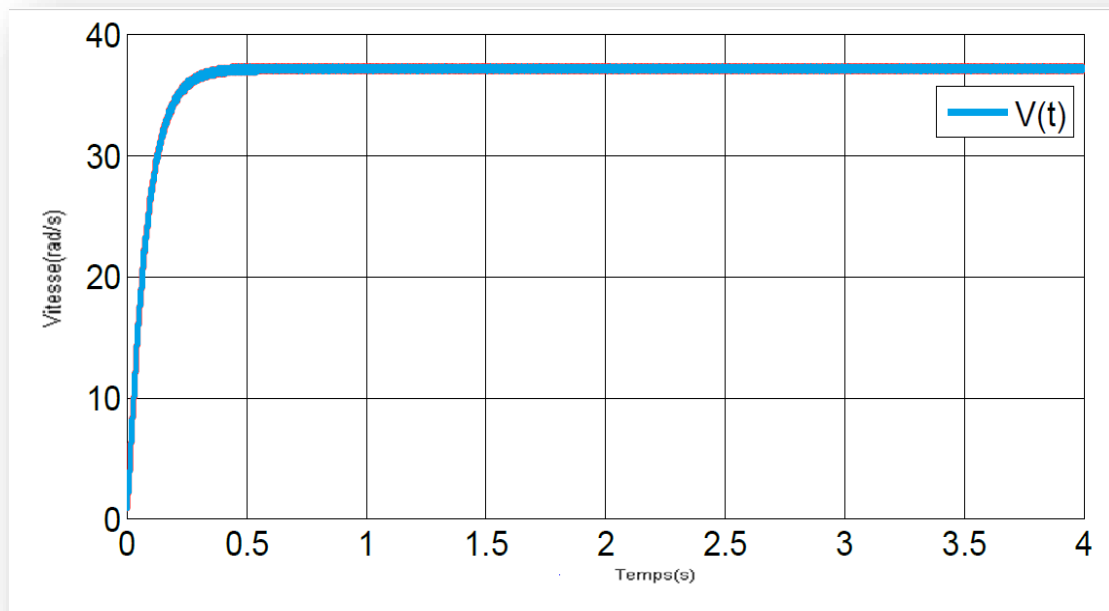


Figure (III.16) : La vitesse de moteur avec $\alpha=60\%$

▪ Interprétation :

La Vitesse débute de zéro pour se stabiliser de 37.3 rad/s, qui est la vitesse en régime établie. La courbe à une forme exponentielle, ce qui correspond à la présence de phénomènes transitoires dans les enroulements de la machine.

-Le courant :

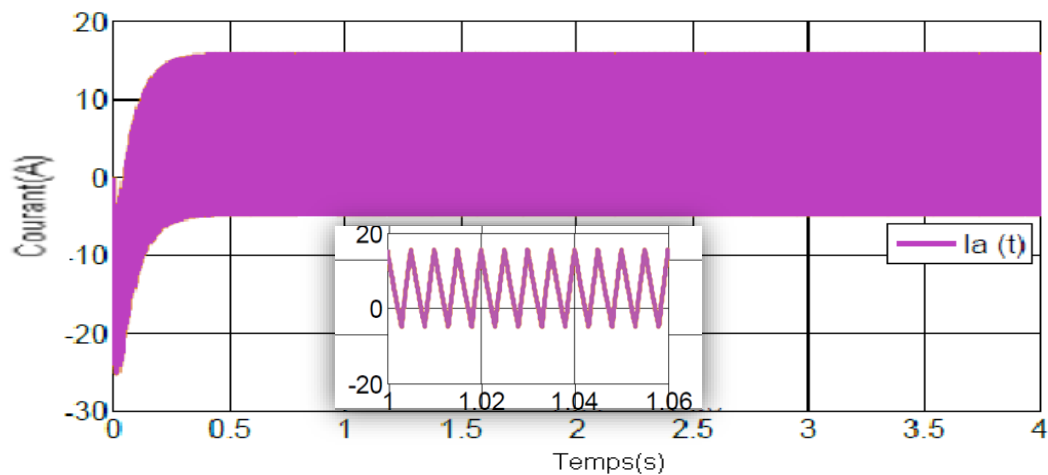


Figure (III.17) : Le courant de moteur avec $\alpha=60\%$

➤ Pour $\alpha = 0.4$

-Tension de sortie :

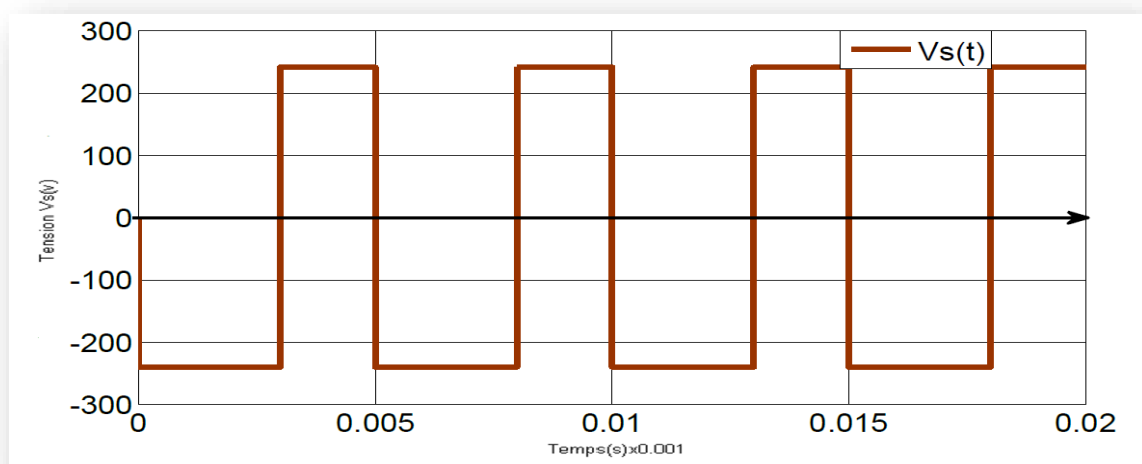


Figure (III.18) : La tension de moteur sortie avec $\alpha=40\%$

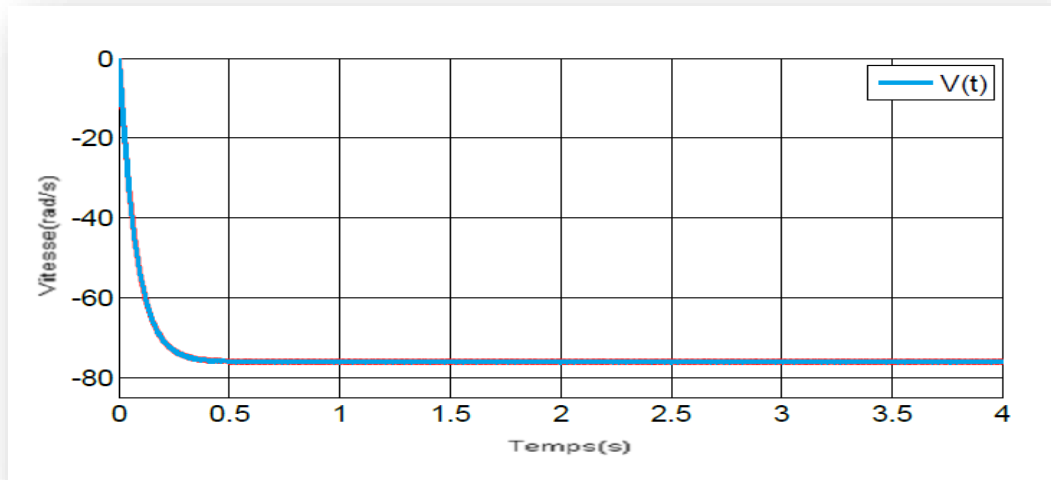
-La vitesse :

Figure (III.19) : La vitesse de moteur avec $\alpha=40\%$

- **Interprétation :**

La vitesse commence de zéro pour se stabiliser de -78.2 rad/s, qui est la vitesse en régime établie. La courbe à une forme exponentielle, ce qui correspond à la présence de phénomènes transitoires dans les enroulements de la machine.

A partir de ces courbes (figure(III.12) figure(III.15)), on peut remarquer que le sens de rotation change pour la variation du rapport cyclique d'un hacheur quatre quadrant.

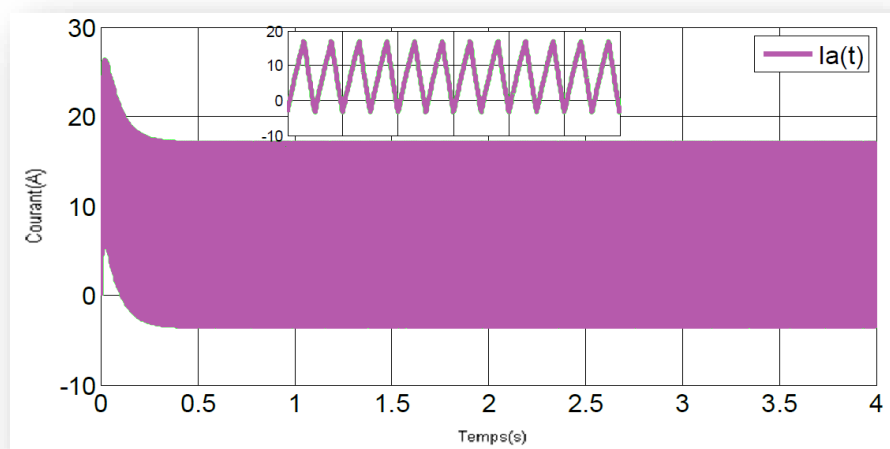
-Le courant :

Figure (III.20) : Le courant de moteur avec $\alpha=40\%$

III.5-Analyse des résultats obtenus :

Dans ce travail, les différentes caractéristique nous montre que :

- ✓ La variation de rapport cyclique varie la vitesse et le sens de rotation du moteur à courant continu
- ✓ La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu dépend sa tension d'alimentation sur l'induit.
- ✓ On peut inverse le sens de rotation du moteur avec un hacheur en pont quatre quadrant.

III.6-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation avec logiciel MATLAB. /SIMULINK. La variation de rapport cyclique varie la tension ou borne de moteur à courant continu et on peut aussi inverse la sens de rotation du moteur avec un hacheur quatre quadrant.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à une étude et simulation d'un variateur de vitesse d'un hacheur à série et quatre quadrants pour la commande d'un moteur à courant continu à excitation séparée. Malgré le développement des moteurs à vitesse variable, les moteurs à courant continu sont très utilisés de nos jours, dans des applications de faible puissance utilisant des batteries ou encore pour la traction électrique (train électrique, Robotique, tramway).

Les structures et les principes de fonctionnement des machines à courant continu sont relativement bien connus. Aussi, il y a peu de travaux de recherche qui sont développés sur ce type de machine depuis plusieurs années. En fait, l'essentiel de la recherche sur ces machines est mené par des industriels.

Dans le travail, nous avons présenté l'étude du moteur à courant continu, puis la technique de la variation de vitesse, et enfin la simulation de notre modèle sur la base du logiciel de simulation MATLAB. Enfin les résultats obtenus sont très encourageants.

Bibliographies

[*] : <http://elec-ing.blogspot.com/2015/08/machine-courant-continu.html>

[1] : BOULEMSAMER Nacera.BOULHRAOUAT Nadjat (Etude et simulation d'un variateur de vitesse DC-DRIVE pour un moteur à courant continu commandé par un API) UNIVERSITE DE BEJAIA 2012

[2] : DAHDOUH Adel .BOUDIA Assam (COMMANDE EN VITESSE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU PAR BACKSTEPPING). Université de M'sila 2016

[3] : INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN "LE MOTEUR À COURANT CONTINU." Projet de Physique P6 STPI / P6 / 2017 – 033

[4] : Génie Electrique "Machine à courant continu"

[5] : Youssef AGREBI, ZORGANI Hichem ZAYANI "Commande Electrique des Machines"

[6] : Mr. BOUDRIES Zoubir "COURS COMMANDE DES MACHINES ELECTRIQUES"

[7] : R. NATHADI, "Analysis and design of a forward power converter". Thesis of Master of Science. TexasTech University, 2004

[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] : BENNOURA ABDEL MADJID, DJABRI KHALED " Etude et simulation d'un variateur de vites d'une Machine à courant continu" Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent 2018.

[10] : Guy châtaigner, Michel Boés, Daniel Bouix, Jacques Vaillant, Daniel

Verkindère, «MANUEL DE GENIE ELECTRIQUE », DUNOD, Paris, 2006

[11] : MOKHTARA Salim' 'ETUDE ET REALISATION D'UN VARIATEUR DE VITESSE COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU' 'Université Mohamed Khider de Biskra 2018

[12] : Licence EEA Module U6, 'Energie et convertisseurs d'énergie, Redresseurs', Université de Savoie

[13] : ACHOUR Abderraouf Analyse et commande d'un hacheur Buck-boost Université Mohamed Khider de Biskra 2018.

[14] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur_Buck-Boost

[15] : Cours disponible librement à l'adresse <http://physique.vije.net/BTS>

[16] : M.L.LOUAZENE Electronique de Puissance (Cours et Exercices) Département de Génie Electrique Université d'Ouargla 2011

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 (batteries d'accumulateur, piles, etc.) Malgré leur principal problème qui se pose au niveau de la liaison entre les balais, ou « 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 étude du moteur à courant continu, puis la technique de la variation de vitesse, et enfin la simulation de notre model sur logiciel de simulation MATLAB.

Mots clés : Machine à courant continu, les convertisseurs statiques.

Abstract

The evolution of technologies leads to use machines requiring precise and variable speeds for the TGV drive for example. The main advantage of DC machines lies in their easy adaptation to ways to adjust or vary their speed, torque and direction of rotation as well as their direct connection to a power source (accumulator, batteries, etc.) Despite their major problem at the connection between the brushes, or "coal" and the rotary collector, the DC motor continues to exist across many applications. In this work, we present several cases whether study of DC motor, then the technique of the speed variation, and finally the simulation of our model on MATLAB simulation software.

Keywords: DC machine, static converters,

ملخص

تطور التكنولوجيا يؤدي إلى استخدام الآلات التي تتطلب سرعات دقيقة ومتغيرة على سبيل المثال قطار فائق السرعة.

الميزة الرئيسية لمحرك التيار المستمر تكمن في تكيفها السهل في سبل تعديل أو تغيير سرعتها، وعزم دورانها واتجاه الدوران بالإضافة إلى الاتصال المباشر لمصدر الطاقة لا يزال محرك التيار المستمر يتواجد عبر العديد من التطبيقات في هذا العمل، نحن نقوم بدراسة محرك التيار المستمر، ثم أساليب تغيير السرعة، وأخيرا محاكاة نموذجنا على برامج المحاكاة ماتلاب.
