

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



**Université d'EL-Oued**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**

**LICENCE ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et de la Technologie**  
**Filière : Génie Électrique**  
**Spécialité: Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques**

## **Thème**

**Alimentation d'un moteur à courant  
continu par convertisseur AC/DC**

**Dirigé par:**  
Mr. Zegueb Boubaker

**Réalisé par:**  
Mehda Abderrahmane  
Benamara Said  
Soualeh Alila Faicel

**Soutenu: Juin 2014**

# شكر و تقدير

أولا نحمد الله ونشكره الذي أعطانا القوة والإرادة لإنجاز هذا العمل المتواضع.

نود قبل كل شيء أن نتقدم بشكر خالص لوالدينا و لكل من ساهموا بشكل مباشر أو غير مباشر لتحقيق هذا العمل .

وخالص الشكر والتقدير إلى المشرف، الأستاذ زقبة بوبكر لمساعدته لنا على إنجاز هذا العمل و على المعلومات التي زودنا بها .

كما نشكر جميع الأساتذة الذين اشرفوا على تدريسنا خلال جميع

## الأطوار

و لا ننسى أن نعبر عن تشكراتنا لجميع أصدقائنا ولكل من ساهم في إنجاز هذا العمل من قريب أو بعيد.

# SOMMAIRE

Remerciement .....	i
Sommaire .....	ii
Notations et symboles .....	iv
Introduction générale .....	01
Chapitre I : Description de la machine à courant continu .....	02
I.1. Introduction : .....	03
I.2. Constitution du moteur a courant continu (MCC) :.....	04
I.2.1. Pôles principaux:.....	05
I.2.2. Pôles auxiliaires :.....	05
I.2.3. Carcasse :.....	06
I.2.4. Induit :.....	06
I.2.5. Enroulement d'induit :.....	07
I.2.6. Collecteur :.....	07
I.2.7. Balais : .....	08
I.3. Principe de fonctionnement :.....	08
I.3.1. Force électromotrice :.....	08
I.3.2. Couple électromagnétique.....	09
I.3.3. Puissance électromagnétique .....	09
I.3. 4. Différentes pertes .....	09
I.4. Modes d'excitation : .....	10
I.4.1. Excitation série .....	11
I.4.2. Excitation séparée .....	12
I.4.3. Excitation shunte .....	12
I.4.4. Excitation composée .....	13
I.5. Conclusion .....	14
Chapitre II : Modélisation et Simulation du moteur à courant continu.....	15
II.1. introduction .....	16
II.2. Equations Electromécanique du moteur à courant continu en régime dynamique :...17	
II.3. Equations électromécaniques dans le domaine de Laplace :.....17	
II.4. Simulation d'un MCC sous Matlab dans le domaine de Laplace:.....18	
II.5. Modélisation d'un MCC dans le domaine temporelle .....	19
II.6.Simulation d'un MCC sous Matlab dans le domaine temporelle .....	20

---

---

<b>II.7. Simulation de la machine par le bloc de MCC (SimPowerSystems).....</b>	<b>21</b>
<b>II.8. Conclusion.....</b>	<b>22</b>
<b>Chapitre III : Alimentation de la MCC par convertisseur statique .....</b>	<b>23</b>
<b>III.1. Alimentation de machine a courant continu par hacheur série .....</b>	<b>24</b>
<b>III.1.1. Principe de fonctionnement du hacheur série .....</b>	<b>24</b>
<b>III.1.2. Fonctionnement du hacheur série alimentant une charge R,L, E' .....</b>	<b>25</b>
<b>III.1.3. Simulation d'une machine à courant continu alimenté par un hacheur série .....</b>	<b>27</b>
<b>III.2. Alimentation de machine à courant continu par redressement commandé .....</b>	<b>30</b>
<b>III.2.1. Thyristor .....</b>	<b>31</b>
<b>III.2.2. Redressement mono- alternance : .....</b>	<b>31</b>
<b>III.2.3. Redressement double - alternance .....</b>	<b>33</b>
<b>III.3. Simulation d'une machine à courant continu alimenté par un redresseur commandé monophasé double alternance .....</b>	<b>34</b>
<b>III.4. Conclusion.....</b>	<b>36</b>
<b>Conclusion générale : .....</b>	<b>37</b>
<b>Référence : .....</b>	<b>38</b>

# Notations et symboles

- $p$  : 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)  
 $\Phi$  : flux maximum à travers les spires (Wb)  
 $\Omega$  : vitesse de rotation (rad.s<sup>-1</sup>)  
 $E$  : force électromotrice (V)  
 $F$  : force de Laplace (N)  
 $T_{em}$  : couple électromagnétique (N.m)  
 $T_r$  : couple résistant (N.m)  
 $P_{em}$  : puissance électromagnétique (W)  
 $P_{fer}$  : pertes fer (W)  
 $P_J$  : pertes joules (W)  
 $P_{méc}$  : pertes mécaniques (W)  
 $I$  : courant (A)  
 $I_f$  : courant d'excitation (A)  
 $U$  : tension (V)  
 $\bar{V}$ ,  $\langle U \rangle$ ,  $V_{moy}$  : valeur moyenne de tension (V)  
 $\bar{I}$ ,  $\langle I \rangle$ ,  $I_{moy}$  : valeur moyenne de courant (A)  
 $R_f$  : résistance d'inducteur ( $\Omega$ )  
 $R_a$  : résistance d'induit ( $\Omega$ )  
 $L_f$  : inductance d'inducteur (H)  
 $L_a$  : inductance d'induit (H)  
 $M_{af}$  : inductance mutuelle (H)  
 $\alpha$  : rapport cyclique  
 $J$  : inertie (Kg.m<sup>2</sup>)  
 $f$  : frottement (N.m.s)

# Introduction Générale

Ce travail présente la machine à courant continu qui est la plus ancienne machine , elle apparait avant les machines à courant alternatif et elle était utilisée comme moteur et générateur, mais l'apparition des machines à courant alternatif ( la machine synchrone et asynchrone) réduit l'utilisation de la machine à courant continu, parce qu'elle est demandé plusieurs maintenances par rapport aux machines à courant alternatif . 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.

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.) , donc elles sont faciles à commander. La variation de tension aux bornes de la machine à courant continu permet de varier la vitesse de rotation et le couple , et pour varier la tension , on peut utiliser un hacheur ou un redresseur commandé pour faciliter la variation.

Pour l'organisation du manuscrit, le premier chapitre présente une théorie sur la machine à courant continu qui est l'application de notre travail , on va faire la description de la machine à courant continu avec ces différents types d'excitations .Le deuxième chapitre présente la modélisation de la machine à courant continu et on va préciser l'étude sur le mode d'excitation séparée (indépendante) , on fait la simulation de la machine à courant continu sous matlab par son modèle mathématique .Le troisième chapitre présente l'alimentation de la machine à courant continu par les convertisseurs statiques , théorie sur l'hacheur et le redresseur commandé , et la simulation d'une machine à courant continu alimenté par un hacheur ou un redresseur commandé.

# CHAPITRE I

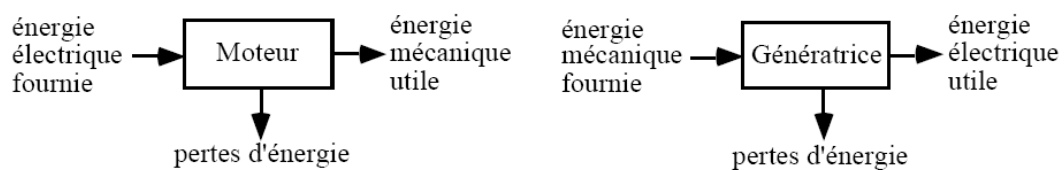
## Description de la machine à courant continu

## I.1. Introduction

Plus de précision, grand plage de variation de vitesse, facilité de commande avec le moindre coût possible, c'est ce qui est exigé par le marché de l'industrie de ce temps.

Les machines à courant alternatif, synchrone ou asynchrone, utilisées de façon conventionnelle, se prêtent bien à des applications où la vitesse est à peu près constante. La machine à courant continu est plus facile à régler lorsque la vitesse doit varier sur une grande plage. En effet, la machine à courant alternatif requiert une commande beaucoup plus complexe pour réaliser un entraînement à vitesse variable et le convertisseur doit fournir une tension alternative d'amplitude et de fréquence variable. Ces inconvénients réduisent donc son attrait dans les applications à vitesse variable, malgré les avantages qu'elle possède sur la machine à courant continu : robustesse et coût moindre, grâce à l'absence de collecteur, poids réduit...

Les moteurs à courant continu sont des appareils qui transforment l'énergie électrique qu'ils reçoivent en énergie mécanique. La construction des moteurs est identique à celle des génératrices, de sorte qu'une machine à courant continu peut servir indifféremment comme moteur ou comme génératrice [1].



**Fig I.1:** Schéma synoptique de la machine à courant continu.

Beaucoup d'applications nécessitent un couple de démarrage élevé. Or, le moteur à courant continu, par nature, possède une caractéristique couple/vitesse de pente importante, ce qui permet de vaincre un couple résistant élevé, et d'absorber facilement les coups de charge ; la vitesse du moteur s'adapte à sa charge. D'autre part, la miniaturisation recherchée par les concepteurs trouve dans le moteur à courant continu une solution idéale, puisque présentant un rendement élevé, en comparaison aux autres technologies[1].

Le choix d'un moteur à courant continu s'est donc imposé comme la meilleure solution pour le réglage de la vitesse et du couple mécanique, les domaines d'application du moteur à courant alternatif étant encore restreints (environnements viciés, endroits difficilement accessibles...).

## I.2. Constitution du moteur à courant continu (MCC)

Le moteur comprend :

- ❖ un circuit magnétique comporte une partie fixe, le stator, une partie tournante, le rotor et l'espace entre les deux parties, l'entrefer.

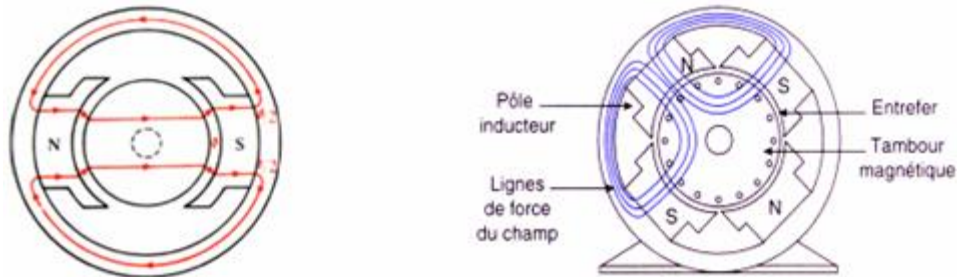


Fig I.2 : Circuit magnétique d'un MCC.

- ❖ Une source de champ magnétique nommée l'inducteur (le stator) créé par un bobinage ou des aimants permanents.
- ❖ Un circuit électrique induit (le rotor) subit les effets de ce champ magnétique.
- ❖ Le collecteur et les balais permettent d'accéder au circuit électrique rotorique.

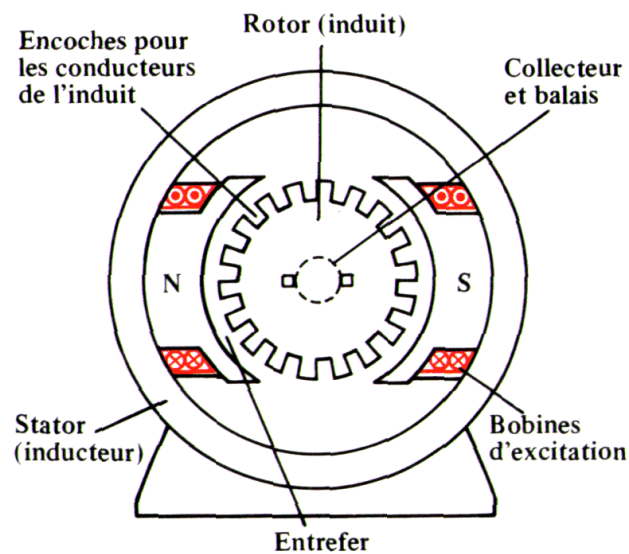
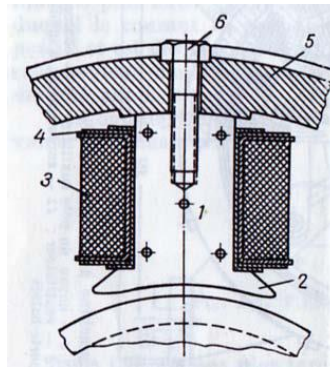


Fig I.3 : Constitution du MCC.

### I.2.1. Pôles principaux

Le pôle principal (**fig.1.4**) comprend un noyau **1** en tôles d'acier électromagnétique de 1mm d'épaisseur. Du côté dirigé vers l'induit le noyau a un épanouissement polaire **2** servant à faciliter le passage du flux magnétique par l'entre fer. On place sur le noyau du pôle une bobine de l'enroulement d'excitation **3** par laquelle passe un courant continu. La bobine enroulée sur un fourreau **4** fabriqué soit en tôle d'acier de 1 ou 2mm d'épaisseur sur laquelle est collé une couche de 2 ou 3mm épaisseur, soit en matière plastique ou en papier bakélite[2].

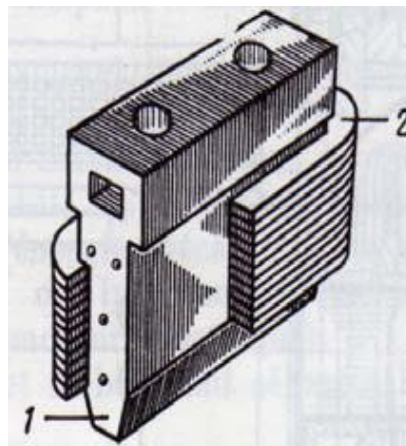


**FigI.4 :** Pôle principal.

Afin de réduire l'hygroscopicité et d'augmenter la conduction de la chaleur, les bobines sont imprégnées à plusieurs reprises de vernis chauds et sont ensuite séchées au four. Pour un meilleur refroidissement on divise souvent la bobine en deux ou plusieurs parties en hauteur entre lesquelles on laisse des canaux de ventilation de largeur suffisante. Les pôles sont fixés à la carcasse **5** à l'aide de boulons spéciaux **6**.

### **I.2.2. Pôles auxiliaires**

Le pôle auxiliaire comme le pôle principal comprend un noyau **1** qui s'achève par un épanouissement polaire de telle ou autre forme et une bobine **2** enroulée sur le noyau.

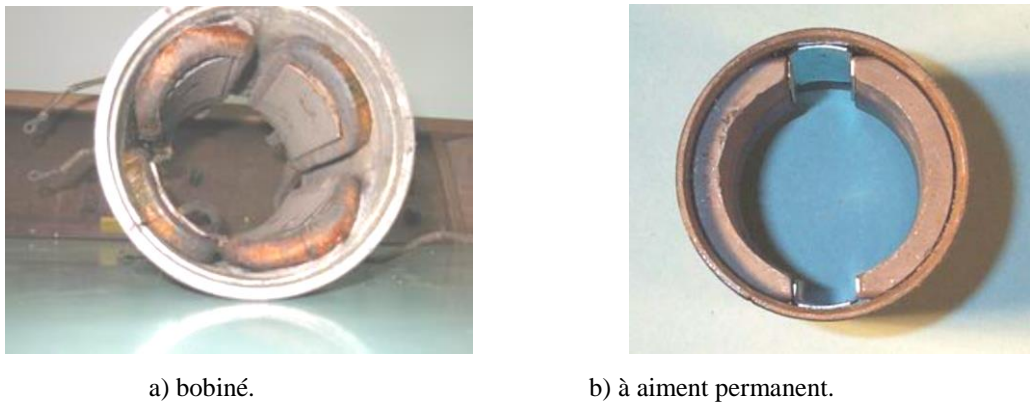


**FigI.5 :** Pôle auxiliaire.

Les pôles auxiliaires sont installés exactement au milieu de la distance qui sépare les pôles principaux et sont fixés à la carcasse par des boulons[2].

### **I.2.3. Carcasse**

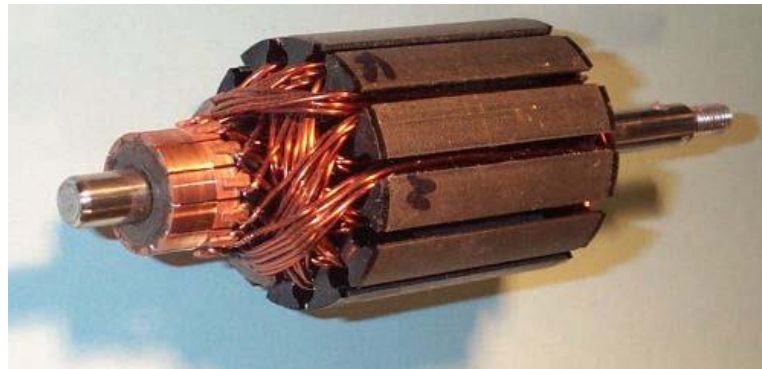
On appelle carcasse la partie de la machine à laquelle sont fixés les pôles principaux et auxiliaires et à l'aide de laquelle la machine est réunie à la fondation, une partie de la carcasse qui sert au passage du flux produit par les pôles principaux et auxiliaires est appelée culasse. La carcasse et les pôles (principal et auxiliaire) forment ce qu'on appelle inducteur (stator), comme on peut trouver des inducteurs à aimant permanent[1]. .



**Fig I.6 :** Inducteur [3].

#### I.2.4. Induit

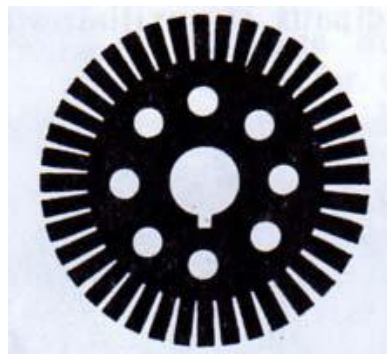
La partie tournante qui porte l'enroulement actif complète le circuit magnétique, car c'est par elle que se ferment les lignes d'inductions issues des pièces polaires.



**Fig I.7 :** Induit [3].

C'est un cylindre centré sur l'axe de la machine, de même longueur axiale que les pièces polaires, mais d'un diamètre légèrement inférieur à celui de leur alésage.

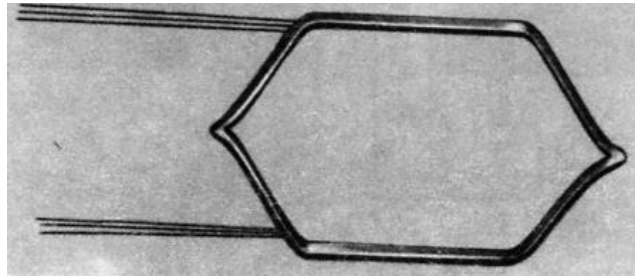
Il est fait de tôles d'acier magnétique de 0.5mm d'épaisseur. Pour réduire les pertes par courants de Foucault et par hystérésis on les isole au vernis ou au papier de 0.03mm à 0.05mm d'épaisseur [4].



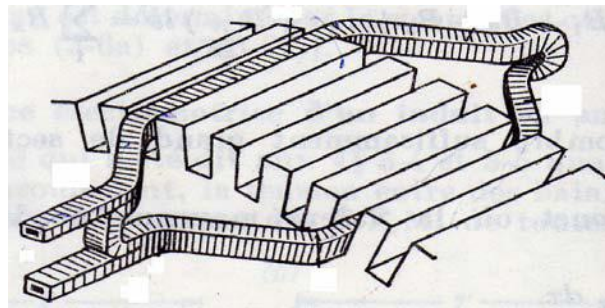
**Fig I.8 :** Tôle d'acier d'un induit en tambour à ventilation axiale.

### I.2.5. Enroulement d'induit

L'enroulement d'induit d'une machine à courant continu a également évolué. Les enroulements d'un induit en tambour utilisés actuellement, se composent de sections (**fig I.9**) fabriquées le plus souvent sur des gabarits spéciaux et placés dans les rainures de l'armature d'induit (**fig I.10**).



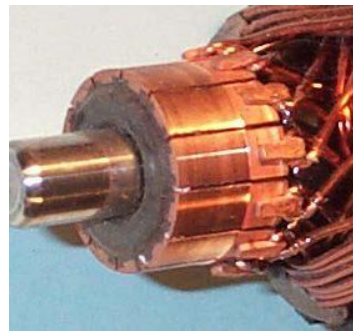
**Fig I.9** : Section d'enroulement.



**Fig I.10** : Disposition d'une section de l'enroulement d'un induit.

### I.2.6. Collecteur

C'est un cylindre centré sur l'axe de la machine et placé devant l'une des faces de l'armature.



**Fig I.11** : Collecteur.

Il est fait de lames de cuivre en forme de coin, isolées les une des autres par des feuilles de mica. Chacune des lames porte une ailette sur laquelle sont soudées l'entrée d'une section et la sortie de la suivante.

Dans le moteur à courant continu c'est le collecteur qui remplit la fonction capitale (Alimenté par les balais, il distribue successivement le courant aux différentes bobines de l'induit).

### I.2.7. Balais

Sur la surface cylindrique du collecteur frottent les balais, qui sont connectés aux bornes de l'induit placées sur la plaque à bornes.

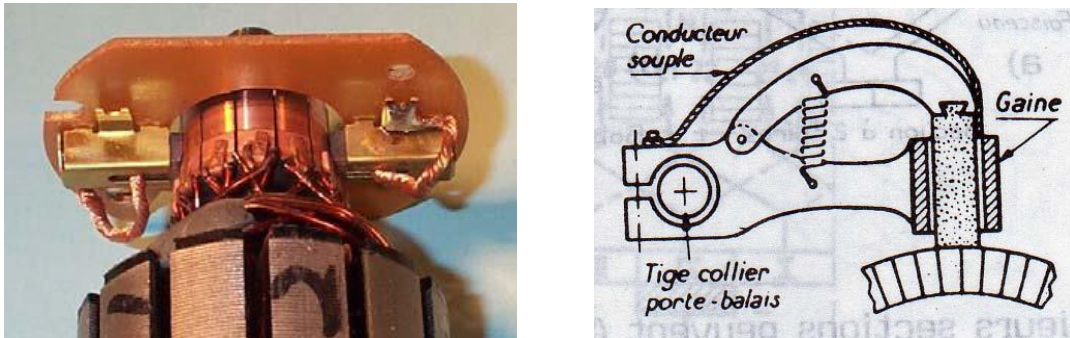


Fig I.12 : Balais montés sur collecteur [1]. [3].

Les balais sont faits de graphite, leur pression doit être soigneusement réglée par un ressort pour obtenir un bon fonctionnement en charge.

### I.3. Principe de fonctionnement

#### I.3.1. Force électromotrice

L'inducteur (ou stator) crée un champ magnétique fixe  $B$ . Ce stator peut être à aimants permanents ou constitué (**fig.I.6**).

L'induit (ou rotor) porte des conducteurs parcourus par un courant continu (alimentation du moteur) ; ces spires, soumises à des forces (forces dites « de Laplace »), entraînent la rotation du rotor. Il en résulte une variation du flux du champ magnétique à travers chaque spire ; elle engendre une f.é.m qui est redressée par l'ensemble {collecteur + balais}. [4]

La valeur moyenne  $E$  de cette f.é.m est proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation du rotor au flux maximal du champ magnétique créé par l'inducteur à travers une spire ( $\Phi = B.S$ ) et à une constante  $K$  qui dépend des caractéristiques de la conception du moteur (nombre de conducteurs, surface de chaque spire, nombre de paires de pôles,..) ( $K = p \cdot N / 2 \cdot \pi \cdot a$ )

**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)
- ✓  $\Phi$  : flux maximum à travers les spires (en Webers - Wb)
- ✓  $\Omega$  : vitesse de rotation (en  $\text{rad.s}^{-1}$ )

$$(E = K \cdot \Omega \cdot \Phi) \quad [V] \quad (I.1)$$

### I.3.2. Couple électromagnétique

Pour une spire : les deux brins d'une spire placées dans le champ magnétique  $B$ , subissent des forces de Laplace  $F_1$  et  $F_2$  formant un couple de force

$$(F_1 = -F_2 = \underline{E} \wedge \underline{B}) \text{ Pour une spire :}$$

Donc le couple électromagnétique total développé est :

$$\mathbf{T}_{em} = \mathbf{K} \cdot \Phi \cdot \mathbf{I} \quad [\mathbf{N.m}] \quad (\text{I.2})$$

### I.3.3. Puissance électromagnétique

Si l'induit présente une f.é.m  $E$  et s'il est parcouru par le courant  $I$ , il reçoit une puissance électromagnétique ( $P_{em} = E \cdot I$ )

D'après le principe de conservation de l'énergie cette puissance est égale à la puissance développée par le couple électromagnétique. [4].

$$\mathbf{P}_{em} = \mathbf{T}_{em} \cdot \Omega = \mathbf{E} \cdot \mathbf{I} \quad [\text{Watts}] \quad (\text{I.3})$$

### I.3.4. Différentes pertes

Les différentes pertes sont groupées dans le tableau ci-dessous :

Pertes	Pertes magnétiques $P_{fer}$	Pertes joules $P_J$	Pertes mécaniques $P_{méca}$
<b>Causes</b>	Elles sont dues à l'hystérésis (champ rémanent) et aux courants de Foucault (courant induit dans le fer) et dépendent de $B$ et de $\Omega$ .	Pertes dans l'induit et l'inducteur dues aux résistances des bobinages.	Elles sont dues aux frottements des diverses pièces en mouvement.
<b>Parades</b>	Utilisation de matériaux à cycles étroits, comme le fer au silicium et le feuilletage de l'induit.	Il faut surtout éviter l'échauffement par ventilation.	Utilisation de roulements et de lubrifiants.

Tableau I.1 : Pertes du MCC.

**Remarque :** La somme des pertes mécaniques et fer est appelée perles constantes  $P_c$ . Comme elles dépendent de la vitesse de rotation et de l'état magnétique de la machine, on peut déterminer  $T_p$  appelé couple de pertes avec :

$$\mathbf{T}_p = \mathbf{P}_c / \Omega \quad [\mathbf{N.m}] \quad (\text{I.4})$$

La figure suivante résume les différents types de puissance et l'emplacement de leur production.

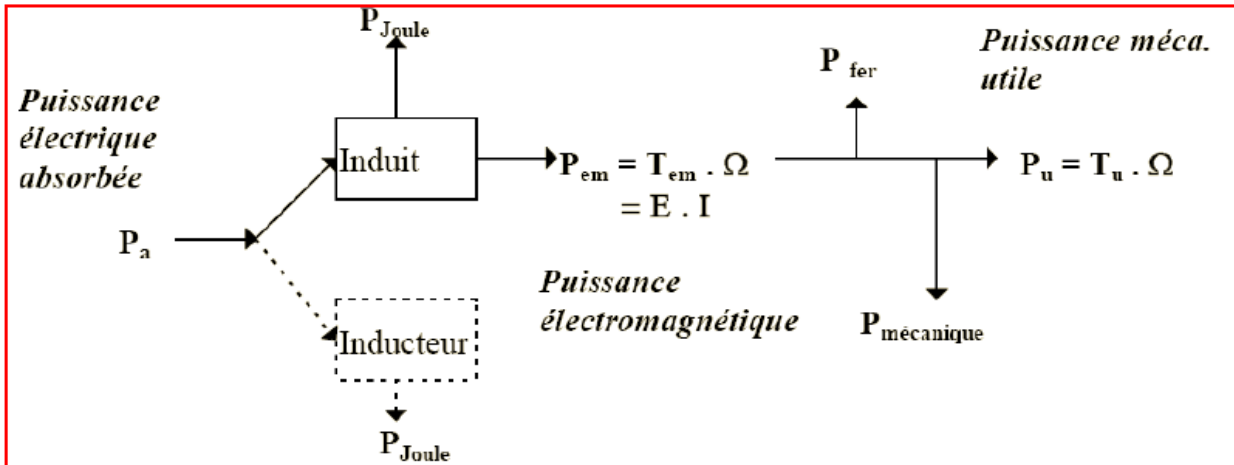


Fig I.13 : Diagramme de puissance.

❖ Rendement

Du fait de ces différentes pertes, le rendement d'une machine à courant continu varie entre 80 et 95%.

I.4. Modes d'excitation

On peut donner un modèle électrique équivalent de l'induit (fig.I.14), **E** représente la force électromotrice; **L** représente la self équivalente de l'enroulement d'induit; **R** représente la résistance équivalente de l'induit (résistance des fils du bobinage et résistance de contact au niveau des balais).

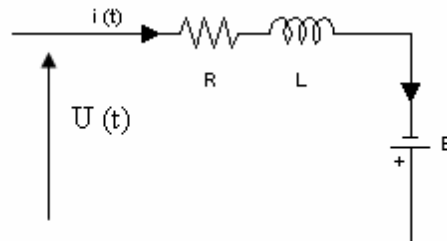


Fig I.14 : Modèle électrique équivalent de l'induit du MCC.

Le schéma électrique équivalent de l'inducteur est donné sur la figure suivante :

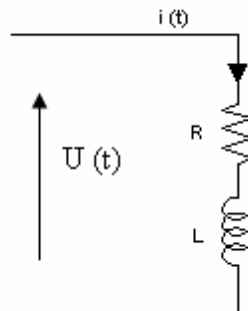


Fig I.15 : Modèle électrique équivalent de l'inducteur du MCC.

D'où **L** représente la self équivalente de l'enroulement inducteur; **R** représente la résistance équivalente de l'inducteur (résistance des fils du bobinage).

### I.4.1. Excitation série

L'inducteur de ce moteur est en série avec l'induit : le courant d'induit est également le courant d'excitation comme le montre la figure suivante :

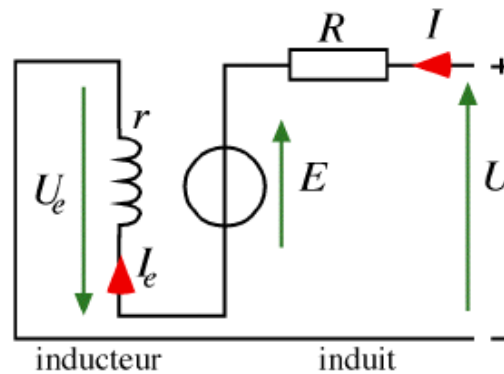


Fig I.16 : Modèle électrique équivalent du MCC à excitation série.

Le bobinage inducteur comporte dans ce cas peu de spires, mais il est réalisé avec du fil de gros diamètre. Cette conception lui procure une très bonne robustesse face aux vibrations et lui a valu un succès inégalé en traction ferroviaire.

#### ❖ Equations caractérisant le MCC à excitation série

La loi d'Ohm appliquée à la maille définie par l'induit et l'inducteur permet d'écrire :

$$E = K \cdot \Phi \cdot \Omega \quad [\text{V}] \quad (\text{I.5})$$

$$U = E + (R + r) \cdot I \quad [\text{V}] \quad (\text{I.6})$$

$$C_e = K \cdot \Phi \cdot I \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (\text{I.7})$$

Où « r » est la résistance de l'inducteur, et « R » la résistance de l'induit.

#### ❖ Caractéristiques

- ✓ Démarrage fréquent avec couple élevé; couple diminuant avec la vitesse.
- ✓ Ne jamais faire fonctionner le moteur série à vide car si «  $I = 0 \text{ [A]}$  », alors «  $\Omega$  » tend vers l'infini.
- ✓ Toujours mettre le moteur en charge mécanique car si le couple est faible, alors  $\Omega$  tend vers l'infini.

#### ❖ Domaines d'emploi

- ✓ Engins de levage (grues, palans, ponts roulants) ventilateurs, pompes, centrifuges; traction.

### I.4.2. Excitation séparée

Dans un moteur à excitation séparée, l'inducteur et l'induit sont alimentés par deux sources distinctes. Les cas fréquents où la tension d'excitation est constante sont équivalents à ceux des moteurs à aimants permanents, dont le flux est constant.

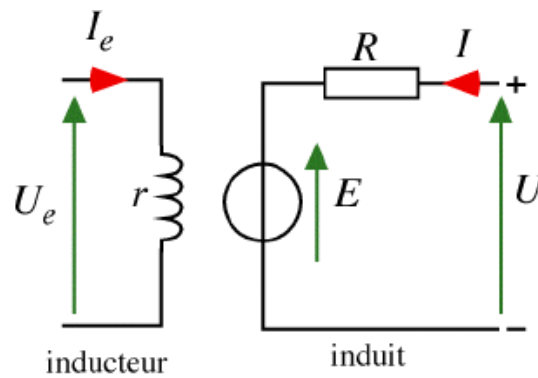


Fig I.17 : Modèle électrique équivalent du MCC à excitation séparée.

#### ❖ Equations caractérisant le MCC à excitation séparée

La loi d'Ohm appliquée à la maille définie par l'induit et l'inducteur permet d'écrire :

$$E = K \cdot \Phi \cdot \Omega \quad [\text{V}] \quad (\text{I.8})$$

$$U = E + R \cdot I \quad [\text{V}] \quad (\text{I.9})$$

$$C_e = K \cdot \Phi \cdot I \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (\text{I.10})$$

#### ❖ Caractéristiques

- ✓ L'inducteur est alimenté par une source indépendante.
- ✓ Grande souplesse de commande.
- ✓ Large gamme de vitesse.
- ✓ Utilisé en milieu industriel, associé avec un variateur électronique de vitesse et surtout sous la forme moteur d'asservissement.
- ✓ Fourni un couple important à faible vitesse.

#### ❖ Domaines d'emploi

- ✓ Machines outils : moteur de (broche, d'axe). Machines spéciales.

### I.4.3. Excitation shunte

Dans un moteur à excitation shunte, l'inducteur et l'induit sont connectés en parallèle et alimentés par une seule source de tension continue. Le modèle câblé de ce moteur est présenté sur la figure suivante :

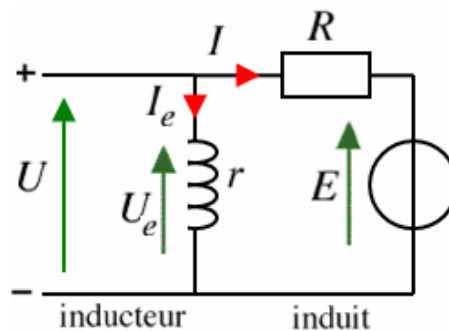


Fig I.18 : Modèle électrique équivalent du MCC à excitation shunte.

### ❖ Equations caractérisant le MCC à excitation shunte

La loi d'Ohm appliquée à la maille définie par l'induit et l'inducteur permet d'écrire :

$$E = K \cdot \Phi \cdot \Omega \quad [\text{V}] \quad (\text{I.11})$$

$$\begin{cases} U = U_e \\ U = E + R \cdot I \\ U_e = R_e \cdot I \end{cases} \quad [\text{V}] \quad (\text{I.12})$$

$$C_e = K \cdot \Phi \cdot (I + I_e) \quad [\text{N.m}] \quad (\text{I.13})$$

**Remarque :** On remarque qu'il n'y a aucune différence entre le mode d'excitation shunte et l'excitation séparée, en vue des équations mathématiques malgré la grande différence au niveau du câblage (raccordement physique).

### ❖ Caractéristiques

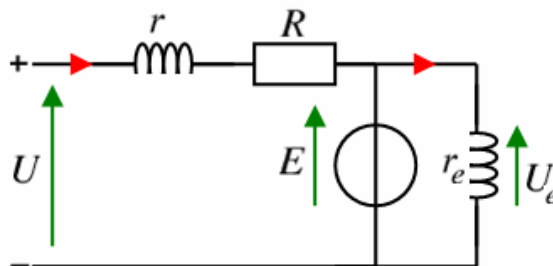
- ✓ couple constant quelque soit la charge.

### ❖ Domaines d'emploi

- ✓ Machines outils, appareil de levage (ascenseur).

#### I.4.4. Excitation composée

Dans le mode composé, l'inducteur est divisé en deux parties, l'une connectée en série et l'autre en parallèle.



**Fig I.19 :** Modèle électrique équivalent du MCC à excitation composée.

### ❖ Caractéristiques

- ✓ Le MCC à excitation composée réunit les avantages du série et du shunte tout en éliminant le phénomène d'emballement du série.
- ✓ Entraînements de grande inertie.
- ✓ Couple très variable avec la vitesse.

### ❖ Domaines d'emploi

- ✓ Petit moteur à démarrage direct, ventilateur, pompes, machines de laminoirs, volants d'inertie.

**I.5. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la théorie sur la machine à courant continu (moteur), sa constitution physique élémentaire, son fonctionnement et ses différents modes d'excitations.

La machine à courant continu a été durant de nombreuses années l'actionneur utilisé principalement dans les applications à vitesse variable. En effet, comme cela a été mis en évidence, le contrôle de la vitesse de rotation peut être aisément réalisé par action sur la f.é.m d'induit de la machine (en grandeur « permanente », donc moyenne). Sur un autre plan, on peut agir sur le flux inducteur qui est réglé par le courant dans l'inducteur (appelé aussi courant d'excitation).

Le transit de la puissance par des contacts glissants au niveau du collecteur rend cette machine fragile. Elle réclame un entretien périodique de contrôle des balais et des lames du collecteur, voire du changement préventif de ces organes. C'est pourquoi dans les applications de puissance, elle tend actuellement à être remplacée par la machine asynchrone (MAS) beaucoup plus robuste et plus économique.

# CHAPITRE II

## Modélisation et Simulation du moteur à courant continu

## II.1. introduction

La modélisation est une phase importante pour ne pas dire primordiale sur le chemin de la simulation. Le modèle adopté devrait faciliter la tâche du programmeur et représenter le plus fidèlement possible l'ensemble des phénomènes que le concepteur cherche à mettre en évidence.

Notre objectif est la modélisation et simulation systémique. Dans cette approche, on s'intéressera à un système global et on cherchera à modéliser et simuler tous les phénomènes dont il pourrait être le siège. Pour atteindre cet objectif le modèle utilisé devrait être le plus général possible et représente de manière homogène des systèmes hétérogènes (pouvant contenir des composantes électriques, mécaniques, thermiques, magnétiques, . .). Le moteur à courant continu constitue un exemple de système hybride présentant un couplage fort entre les domaines électrique et mécanique.

Dans bien des cas, les automaticiens utilisent des modèles mathématiques, qui malgré leur flexibilité perdent rapidement la signification physique du système et ne permettent pas généralement de faire un retour sur le modèle pour affiner la modélisation ou améliorer la conception du système pour simplifier sa commande[5] [6].

On cherche à établir un modèle dynamique (fonction de transfert) de la machine à courant continu à excitation indépendante

## II.2. Equations Electromécanique du MCC en régime dynamique

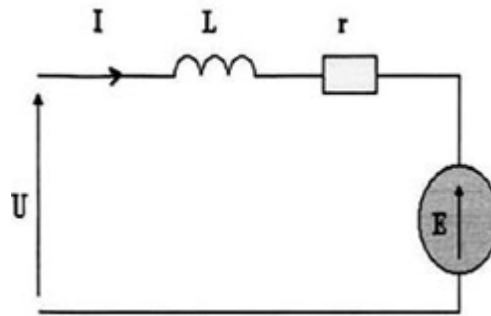


Fig II .1 : MCC en régime dynamique

On a donc deux relations de proportionnalité entre la f.ém E et la vitesse du rotor

$$E=K \cdot \Omega \quad (\text{II.1})$$

Et un moment du couple électromagnétique directement proportionnel au courant d'induit

$$T_{em} = K \cdot I \quad (\text{II.2})$$

### a) Equations électriques

La tension d'induit (en convention récepteur)

$$U(t)=R i(t)+ L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (\text{II.3})$$

### b) Equation mécaniques

Le principe fondamental de la dynamique (PFD)nous permet d'écrire

$$J \frac{d\Omega}{dt} = T_u - T_r \text{ avec } T_u = T_{em} - T_p \quad (\text{II.4})$$

$$\text{on suppose que le moment du couple de perte est de la forme : } T_p = f \cdot \Omega \quad (\text{II.5})$$

f: coefficient de frottement visqueux

$$J \frac{d\Omega}{dt} = T_{em} - f \Omega - T_r \quad (\text{II.6}) \text{ [13] [14].}$$

## II.3. Equations électromécaniques dans le domaine de Laplace

- La transformée de Laplace de l'équation :

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

$$U(p)=R I(p)+ L p I(p) + K\Omega \quad (\text{II.7})$$

- La transformée de Laplace de l'équation :

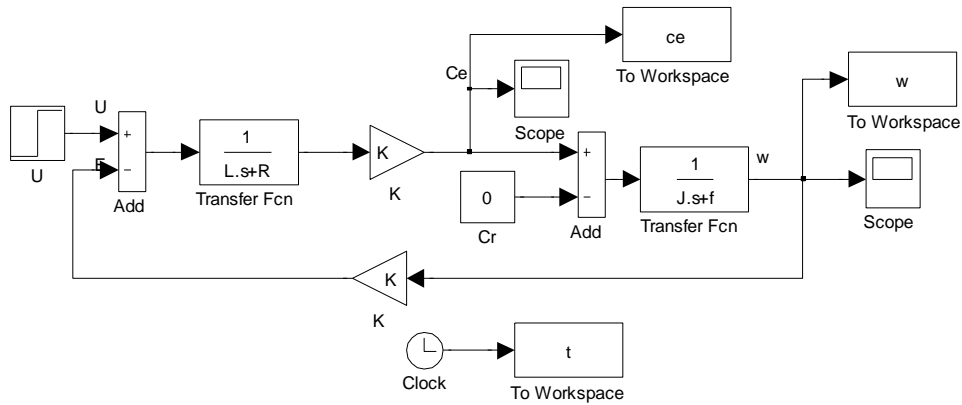
$$E = K \Omega \quad \text{est} \quad E= K \times \Omega(p) \quad (\text{II.8})$$

- La transformée de Laplace de l'équation :

$$J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = T_{em} - f \Omega - T_r \quad \text{est} \quad J \cdot p \cdot \Omega(p) = KI - f \Omega(p) - T_r \quad (\text{II.9})$$

$$\text{Donc} \quad \Omega(p) = \frac{K \cdot I - T_r}{J \cdot p + f} \quad (\text{II.10}) \text{ [11].}$$

**II.4. Simulation d'un MCC sous MATLAB dans le domaine de Laplace**



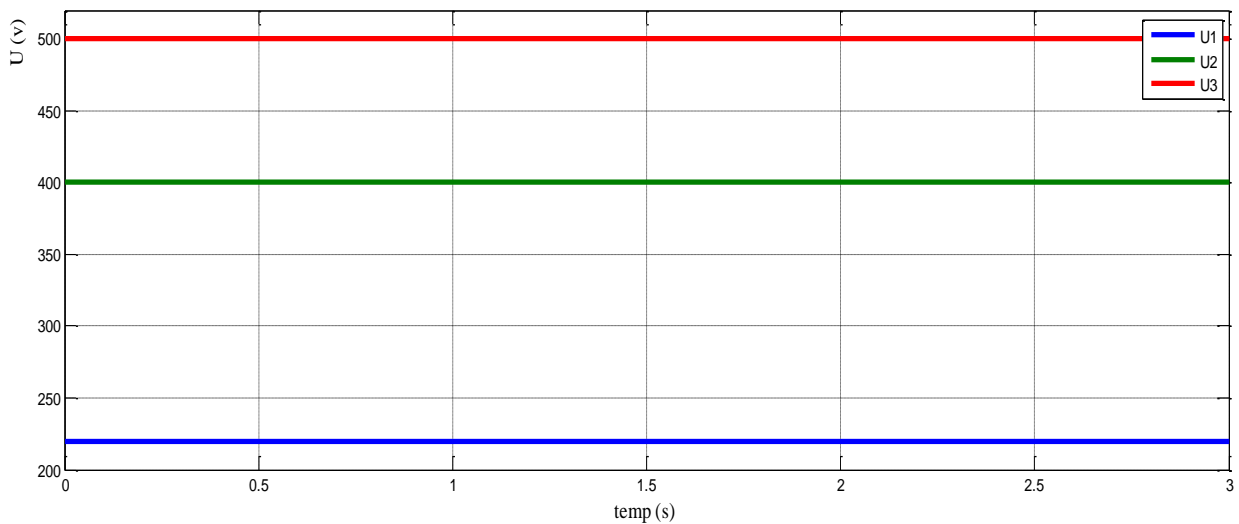
**Fig II .2 :** schéma bloc de MCC sous matlab

La machine à vide ( $C_r=0$ ) et le flux constant = cst.

- Paramètre de la machine donne le tableau suivant :

R	1.086 $\Omega$
L	0.01216 H
J	0.04251 kg.m <sup>2</sup>
$K = k.\phi$	0.5
f	0.003406 N.m.s
$\Omega_n$	183.16 rad/s

- Pour :  $U_1=220V$  ,  $U_2=400V$  ,  $U_3=500V$



**Fig II .3 :** Tensions d' alimentation

Lors que la tension d'entrée augmente ; la vitesse de rotation augmente parce que le flux constant et la machine à vide alors  $E \approx U$  avec  $E = K\Omega$ .

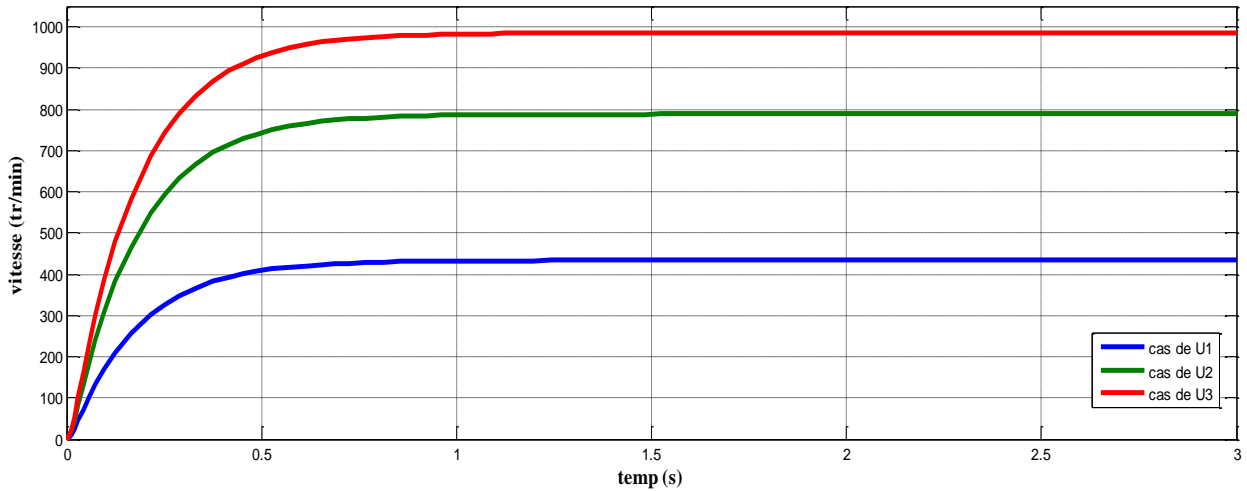


Fig II .4 : Courbes de la vitesse

II.5. Modélisation d'un MCC dans le domaine temporelle

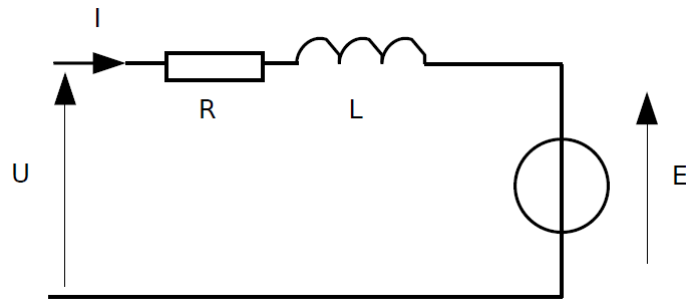


Fig II .5 : MCC en régime dynamique

$$U = R \cdot I(t) + L \frac{dI(t)}{dt} + E \tag{II.11}$$

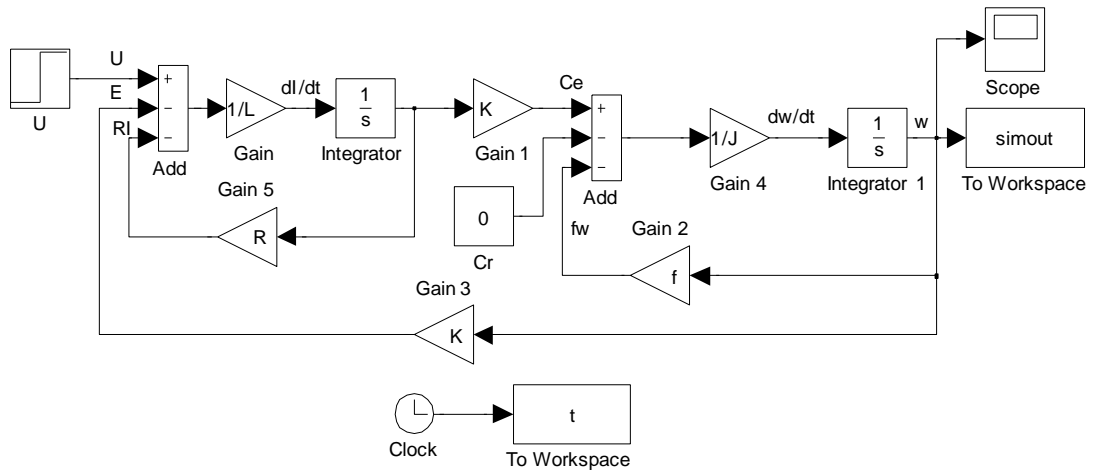
$$\frac{dI(t)}{dt} = \frac{U - R \cdot I(t) - E}{L} \tag{II.12}$$

$$J \frac{d\Omega(t)}{dt} + f \cdot \Omega(t) = C_e - C_r \tag{II.13}$$

$$\frac{d\Omega(t)}{dt} = \frac{C_e - C_r - f \cdot \Omega(t)}{J} \tag{II.14}$$

Le flux constant  $\phi = cst$  , alors  $k \cdot \phi = K$  ,  $E = K \cdot \Omega$  et  $C_e = K \cdot I$

**II.6. Simulation d'un MCC sous Matlab dans le domaine temporelle**



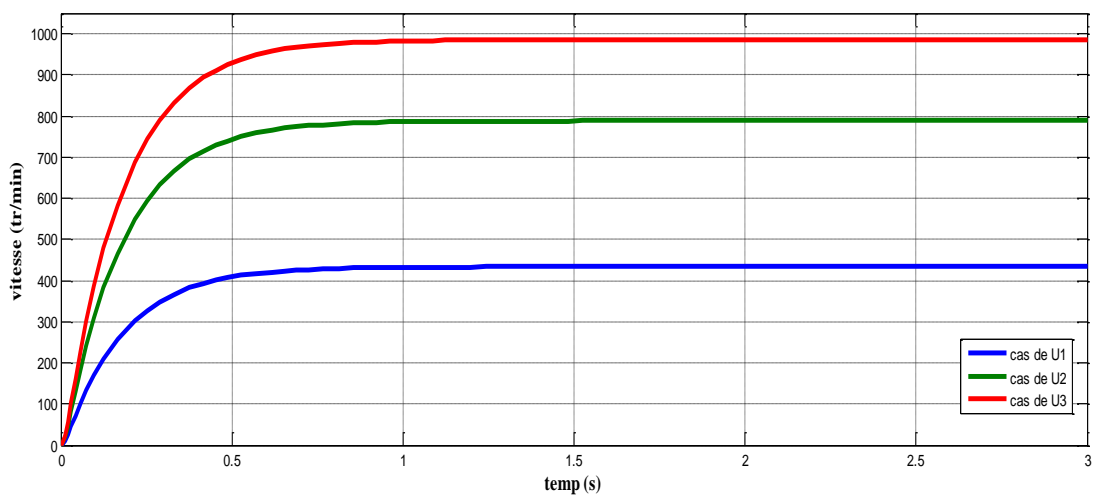
**Fig II .6 :** schéma bloc de MCC sous matlab

La machine à vide ( $Cr=0$ ) et le flux constant  $\phi = cst$ .

- Paramètre de la machine donne le tableau suivant :

R	1.086 $\Omega$
L	0.01216 H
J	0.04251 kg.m <sup>2</sup>
$K = k.\phi$	0.5
f	0.003406 N.m.s
$\Omega_n$	183.16 rad/s

- Pour:  $U_1=220V$  ,  $U_2=400V$  ,  $U_3=500V$



**Fig II .7 :** Courbes de la vitesse

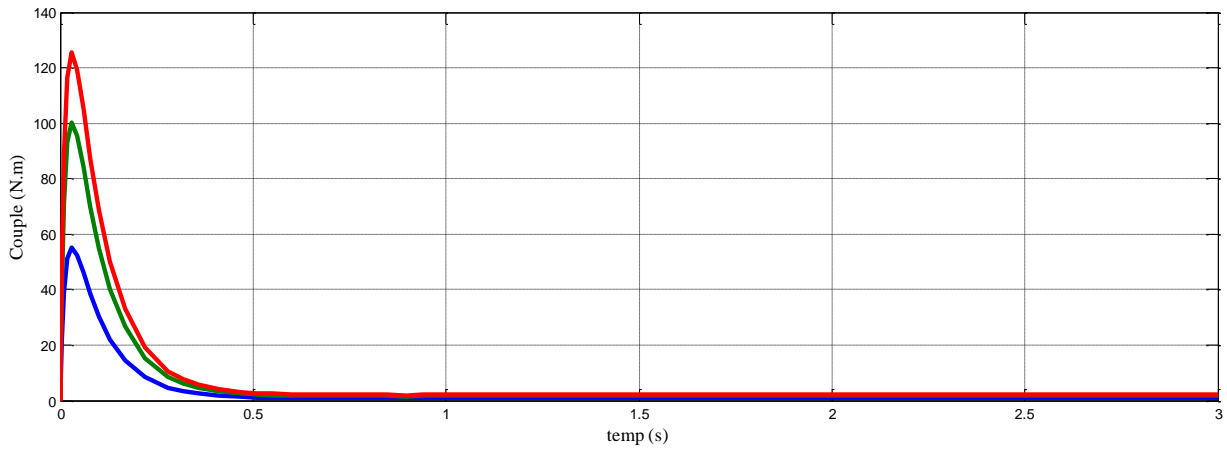


Fig II .8 : courbes du couple

**II.7. Simulation de la machine par le bloc de MCC (SimPowerSystems)**

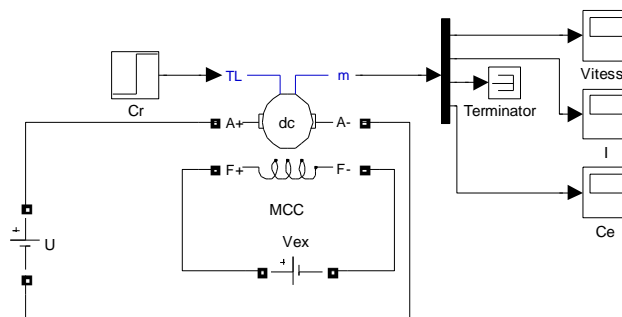


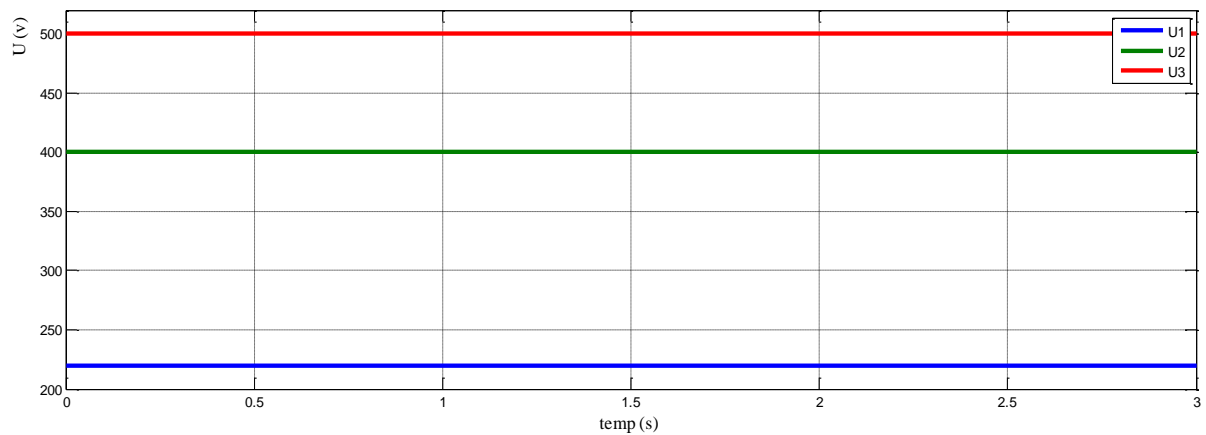
Fig II .9 : Schéma de la simulation

- Paramètres de la machine :

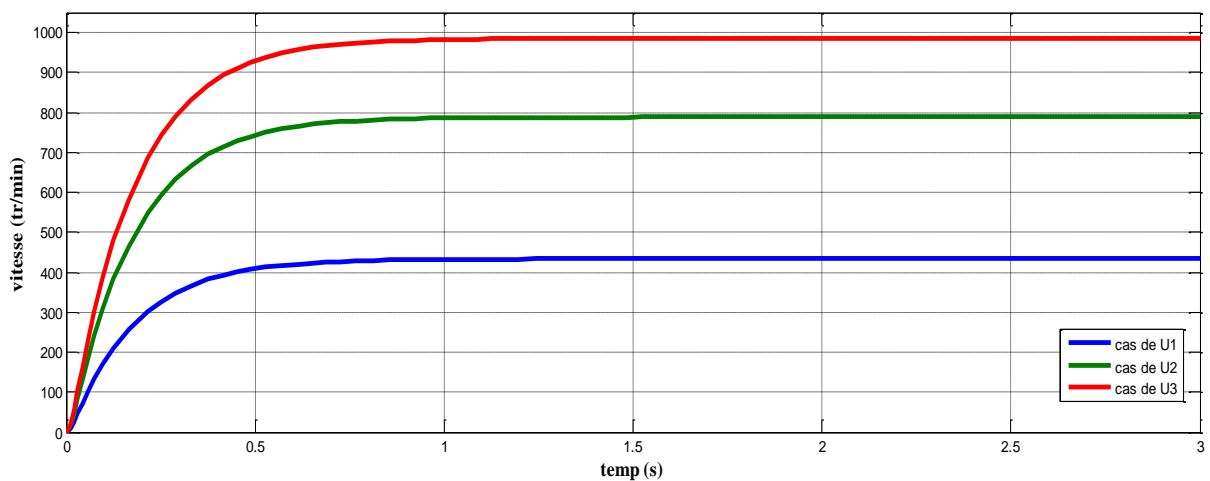
$R_a$	1.086 $\Omega$
$L_a$	0.01216 H
$R_f$	180 $\Omega$
$L_f$	71.47 H
$M_{af}$	0.6458 H
$J$	0.04251 Kg. m <sup>2</sup>
$f$	0.003406 N.m.s

la machine à vide ,  $U_f = 300 \text{ V}$ ,  $C_r = 0$

- Pour:  $U_1=220\text{V}$ ,  $U_2=400\text{V}$ ,  $U_3=500\text{V}$



**Fig II .9 :** Tension d'alimentation



**Fig II .10 :** Courbes de la vitesse

## II.7. Conclusion

Dans ce chapitre ,on a présenté la modélisation de la machine à courant continu dans le domaine de Laplace et le domaine temporelle.

D'après les résultats obtenus de la simulation par trois méthodes , on remarque que la simulation donne même résultats , et la variation de valeur d'entrée va varier la vitesse de rotation.

# CHAPITRE III

## Alimentation de la MCC par convertisseur statique

### III.1. Alimentation de la machine à courant continu par hacheur série

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu. Ils permettent, à partir d'une tension continue fixe, d'obtenir une tension continue de valeur différente.

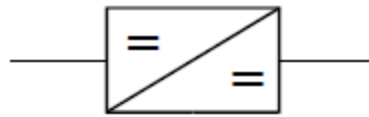


Fig III.1:Symbole d'un hacheur

#### III.1.1. Principe de fonctionnement du hacheur série

Le montage est composé d'une source de tension continue fixe  $E$ , d'un interrupteur unidirectionnel  $H$  et d'une charge.

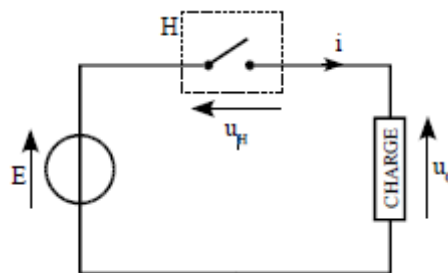


Fig III.1:schéma de principe d'un hacheur

- **Le transistor bipolaire en commutation**

L'interrupteur  $H$  est en fait un transistor qui fonctionne en régime de commutation c'est-à-dire qu'il se comporte soit comme un interrupteur fermé, soit comme un interrupteur ouvert. On commande le transistor par son courant de base  $i_B$ [7].

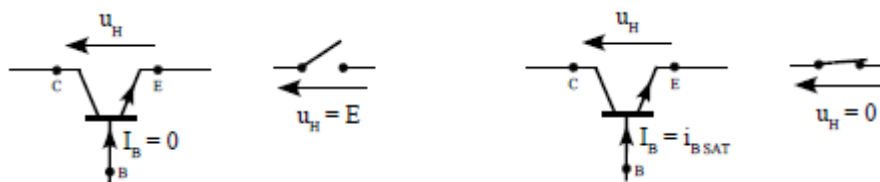


Fig III.2: interrupteurs statiques

Lorsque  $i_B = 0$ , le transistor est bloqué ; il se comporte comme un interrupteur ouvert et dans ce cas, la tension  $u_H = E$ .

Lorsque  $i_B$  est suffisamment important (courant de saturation),  $i_B = i_{B-SAT}$ , le transistor est saturé ; il se comporte comme un interrupteur fermé et dans ce cas, la tension  $u_H = 0$ .

- **Le fonctionnement**

L'interrupteur  $H$  est commandé périodiquement à la fermeture et à l'ouverture

- de  $0$  à  $t_f$ ,  $\ll H \gg$  est fermé ( $H = 1$ )
- de  $t_f$  à  $T$ ,  $\ll H \gg$  est ouvert ( $H = 0$ )

• **Rapport cyclique**

C'est le paramètre  $\alpha$  égal au quotient de la durée  $t_f$  de la fermeture de H, et au cours d'une période par la période T elle-même.

$$\alpha = \frac{t_f}{T} ; t_f = \alpha \cdot T \quad \text{tel que } 0 \leq \alpha \leq 1$$

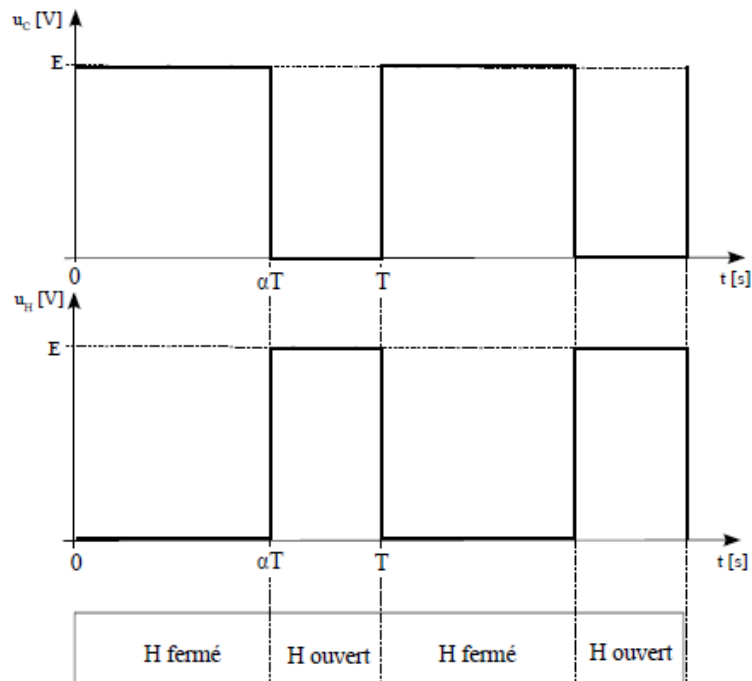


Fig III.3: Formes d'onde des tensions

**Valeur moyenne de la tension au bornes de la charge**

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt = \frac{E}{T} [E]_0^{\alpha T} = \alpha \cdot E \tag{III.1}$$

**III.1.2. Fonctionnement du hacheur série alimentant une charge R,L, E'**

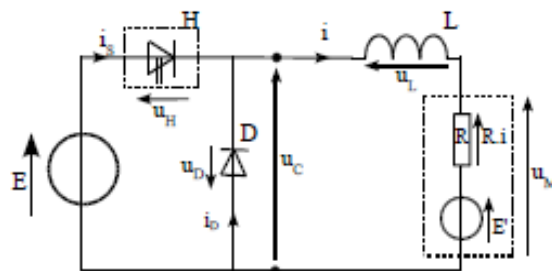


Fig III.4: Représentation schématique d'une alimentation abaisseur de tension

L'interrupteur H est représenté par son symbole normalisé. D est une diode de roue libre. L permet de lisser le courant i. On considère que la fréquence de hachage f est suffisamment importante pour considérer que i est de forme triangulaire. Le moteur à courant continu est modélisé par sa f.é.m. E' en série avec sa résistance R[7].

• **Analyse du fonctionnement**

Pour:  $0 \leq t < \alpha \cdot T$ , l'interrupteur H est fermé et la diode de roue libre D est bloquée

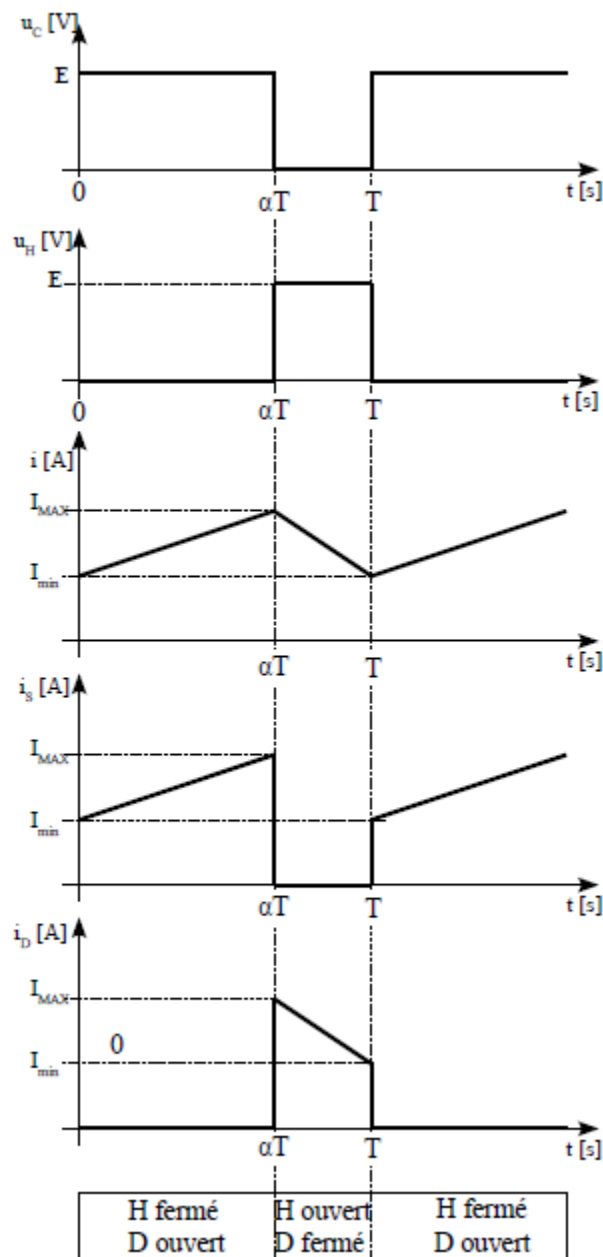
$$u_c = E = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + E' \tag{III. 2}$$

$$u_H = 0; u_D = -E; i_H = i; i_D = 0$$

Pour:  $\alpha \cdot T \leq t < T$ ,

l'interrupteur H est ouvert la diode D est passante. la bobine restitue l'énergie emmagasinée pendant la phase précédente, i décroît exponentiellement.

$$u_c = 0 = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + E'; u_H = -E; u_D = 0; i_H = 0; i_D = i$$



**Fig III.5:** Formes d'onde des courants et tensions pour un hacheur série en conduction continue

- **Tension moyenne aux bornes de la charge  $\langle u_c \rangle$**

$$u_c = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + E', \quad d'o\grave{u} \quad \langle u_c \rangle = \langle R \cdot i \rangle + \langle L \cdot \frac{di}{dt} \rangle + \langle E' \rangle \quad (III.3)$$

Tel que:

$$\langle L \cdot \frac{di}{dt} \rangle = 0 \quad ; \quad \langle E' \rangle = E' \quad ; \quad \langle R \cdot i \rangle = R \cdot \langle i \rangle$$

D'o\grave{u}:  $\langle u_c \rangle = R \cdot \langle i \rangle + E' = \alpha \cdot E$ ; avec  $0 \leq \alpha \leq 1$

Pour un moteur \u00e0 courant continu, la r\u00e9sistance R est souvent n\u00e9gligeable ainsi que  $R \cdot \langle i \rangle$

- **Tension efficace aux bornes de la charge :**

On montre que la tension efficace aux bornes de la charge a pour expression  $\langle u_c \rangle = \sqrt{\alpha} \cdot E$

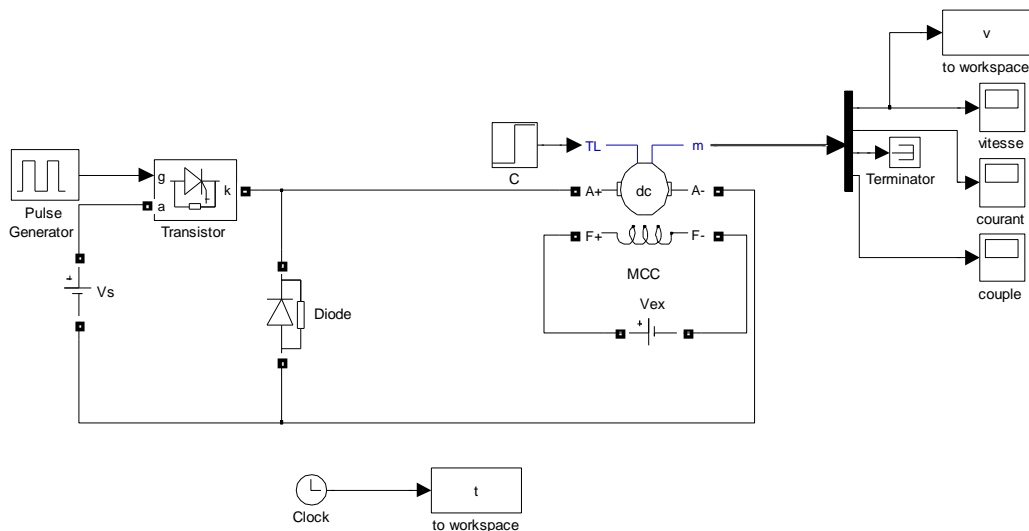
- **Intensit\u00e9 moyenne  $\langle i \rangle$  traversant la charge :**

Lorsque l'intensit\u00e9 i est de forme triangulaire, l'expression de l'intensit\u00e9 moyenne  $\langle i \rangle$  est :

$$\langle i \rangle = \frac{I_{MAX} + I_{MIN}}{2} \quad (III.4)$$

Si l'intensit\u00e9 est parfaitement liss\u00e9e ( droite ), l'intensit\u00e9 moyenne  $\langle i \rangle$  est \u00e9gale \u00e0 l'intensit\u00e9 efficace I [7]. La diode D permet, lorsque l'interrupteur H est ouvert, \u00e0 la bobine de lib\u00e9rer l'\u00e9nergie emmagasin\u00e9e et ainsi, d'\u00e9viter qu'il ne se produise des surtensions aux bornes de l'interrupteur H.

### III.1.3. Simulation d'une machine \u00e0 courant continu aliment\u00e9 par un hacheur s\u00e9rie



**Fig III.6:** Sch\u00e9ma de MCC aliment\u00e9 par hacheur

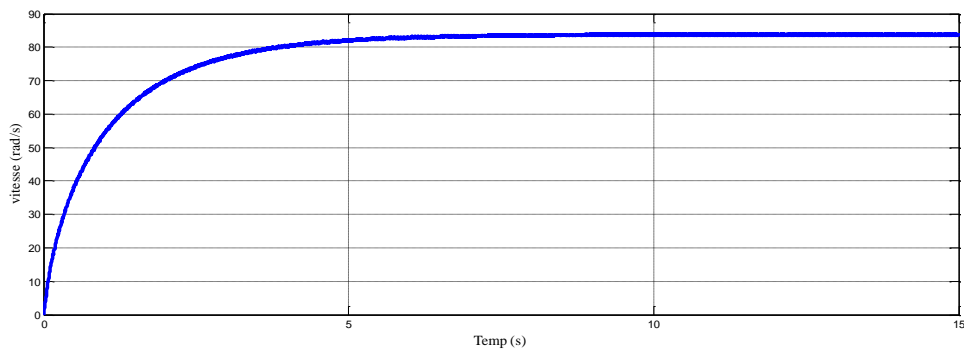
## ❖ Paramètres de la machine :

$R_a$	11.2 $\Omega$
$L_a$	0.1215 H
$R_f$	281.3 $\Omega$
$L_f$	156 H
$M_{af}$	1.976 H
$J$	0.02215 Kg. m <sup>2</sup>
$f$	0.002953 N.m.s
$\Omega_n$	183.16 rad/s

## ❖ Le Fonctionnement de la machine est à vide

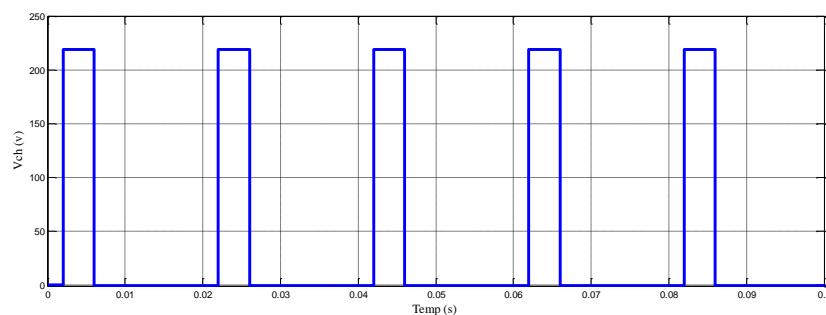
$V_s = 220$  v .  $T = 0.02$  s ,  $U_f = 150$  v ,

- Pour  $\alpha = 20\% = 0.2 * T$



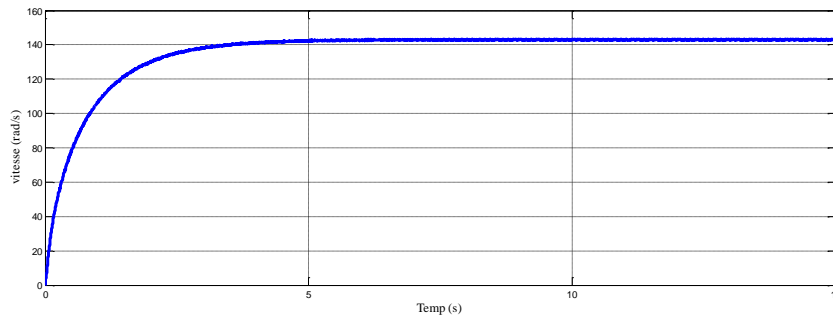
**Fig III.7:** Vitesse de rotation

Et pour la valeur moyenne de tension  $\begin{cases} V_{moy} = \alpha \cdot V_s = 0.2 * 220 = 44v \\ \text{pratiquement } V_{moy} = 43.3v \end{cases}$



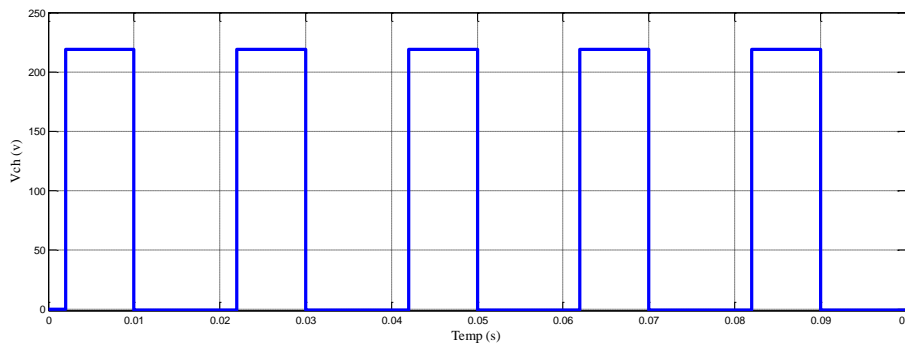
**Fig III.8:** Tension à la sortie de l'hacheur

- Pour  $\alpha = 40\% = 0.4 \cdot T$



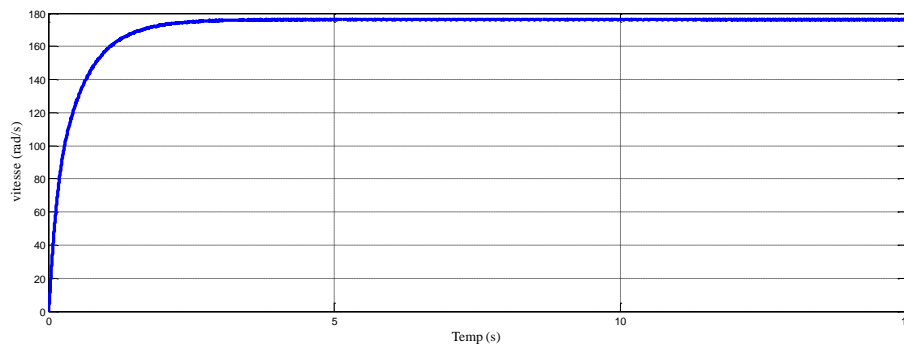
**Fig III.9:** Vitesse de rotation

Et pour la valeur moyenne de tension  $\begin{cases} V_{\text{moy}} = \alpha \cdot V_s = 0.4 \cdot 220 = 88\text{v} \\ \text{pratiquement } V_{\text{moy}} = 87.4\text{v} \end{cases}$



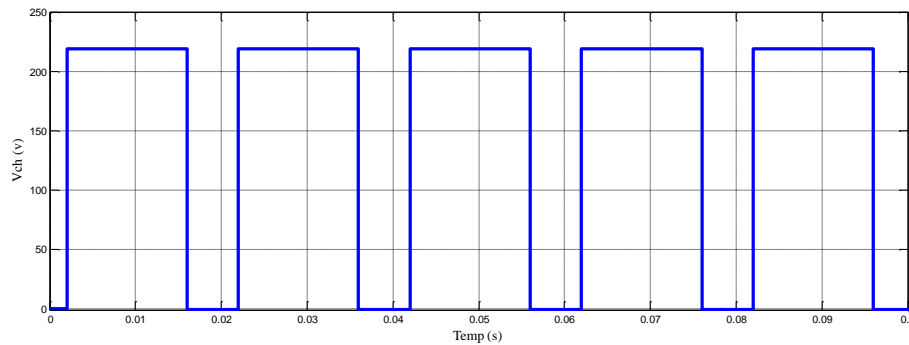
**Fig III.10:** Tension à la sortie de l'hacheur

- Pour  $\alpha=70\%=0.7 \cdot T$



**Fig III.11:** Vitesse de rotation

Et pour la valeur moyenne de tension  $\begin{cases} V_{\text{moy}} = \alpha \cdot V_s = 0.7 \cdot 220 = 154\text{v} \\ \text{pratiquement } V_{\text{moy}} = 153.2\text{v} \end{cases}$



**Fig III.12:** Tension à la sortie de l'hacheur

On remarque que la vitesse de rotation varie avec la valeur moyenne de la tension à la sortie de l'hacheur, lors que le flux est constant  $\Phi = \text{cst}$

la machine fonctionne a vide alors

$$E = V_{\text{moy}} = \alpha \cdot V_s \quad (\text{III.5})$$

$$E = k \cdot \Phi \cdot \Omega = K \cdot \Omega, (K = k \cdot \Phi) \quad (\text{III.6})$$

$$\text{Alors } \alpha \cdot V_s = K \cdot \Omega \quad ; \quad \Omega = \alpha \frac{V_s}{K} \quad (\text{III.7})$$

La vitesse de rotation a une relation avec la valeur de  $\alpha$ .

### III.2. Alimentation de la machine à courant continu par redresseur commandé

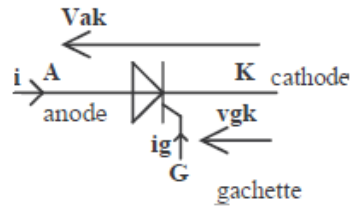
Les montages redresseurs, souvent appelés simplement redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif-continu. Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le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

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.

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles ; lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes [8].

### III.2.1. THYRISTOR



**Fig III.13:** Symbole d'un thyristor

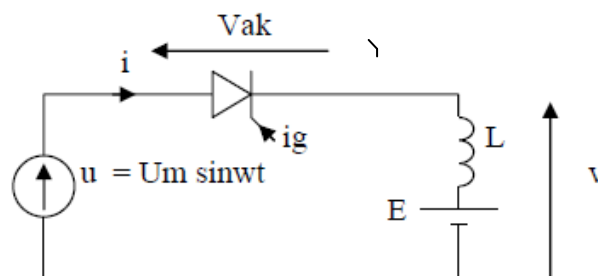
Ce composant est le premier interrupteur semi-conducteur commandable utilisé en électronique de puissance. Il comporte en plus des deux électrodes de puissance (A : anode ; K : cathode) une troisième électrode appelée gâchette permettant le contrôle de l'amorçage. Le courant de gâchette permettant le passage de l'état bloqué à l'état passant, ne doit être envoyé que lorsque  $V_{TH}$  est supérieur à 0 V. C'est un phénomène d'avalanche qui permet cette commutation. Cet amorçage est donc retardé par rapport à l'amorçage naturel d'une diode. Généralement, cet angle de retard à l'amorçage est appelé  $\alpha$  et il peut varier de 0 à  $\pi$ . Le thyristor se comporte ensuite comme une diode. Quand  $i_{TH}$  devient inférieur au courant de maintien, le thyristor se bloque [8].

- En polarisation directe ( $V_{AK} > 0$ ), le thyristor reste bloqué tant que la gâchette ne reçoit pas une impulsion de quelques volts ( $V_{GK} > 0$ ).
- En polarisation inverse ( $V_{AK} < 0$ ), il reste toujours bloqué.

### III.2.2. Redressement mono-alternance

- **Montage**

On envisage une structure comportant une source sinusoïdale  $v(t) = \hat{v}\sin(\omega t)$  et un Thyristor pour alimenter une charge résistive. On distingue les trois blocs précédemment définis : une source, un commutateur et la charge (Figure 3).



**Fig III.14:** Structure du redresseur

• PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'étude du montage conduit à discuter l'existence du courant  $i(t)$  dans la charge en fonction de l'état de la thyristor. Ce fonctionnement est illustré par les chronogrammes de la Figure 6.

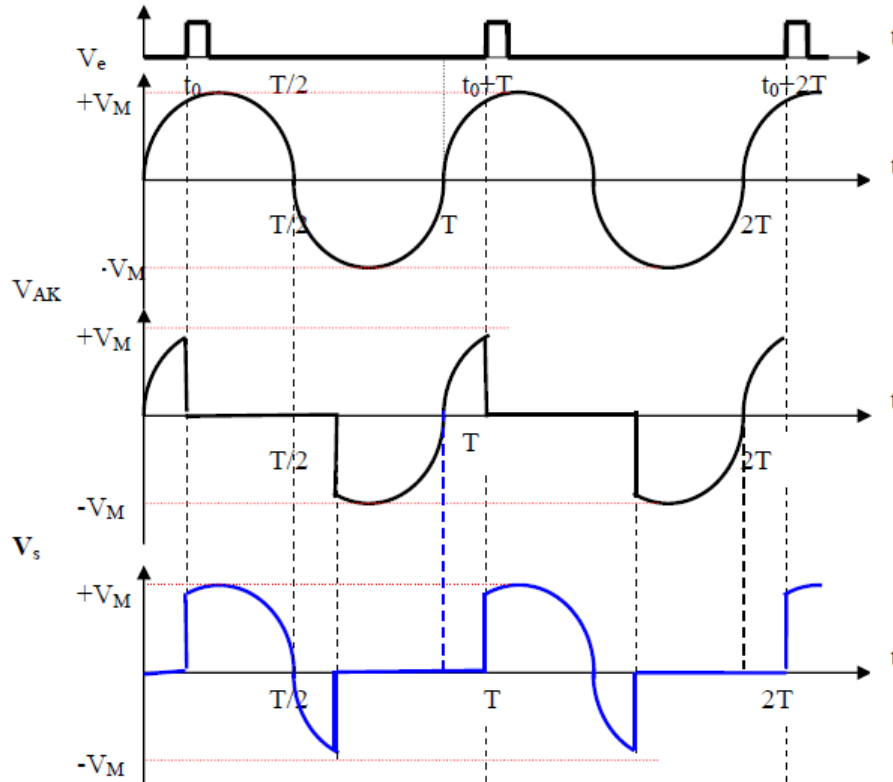


Fig III.15: Chronogrammes des tensions d'entrée et de sortie et du courant.

❖ Tension et courant moyens

Les valeurs moyennes de la tension aux bornes de la charge et du courant sont :

$$\overline{V_{ch}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{ch}(\theta) d\theta = \frac{\hat{v}}{2\pi} (1 + \cos(\alpha)) \tag{III.8}$$

$$\overline{i_{ch}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{ch}(\theta) d\theta = \frac{\hat{v}}{2R\pi} (1 + \cos(\alpha)) \tag{III.9}$$

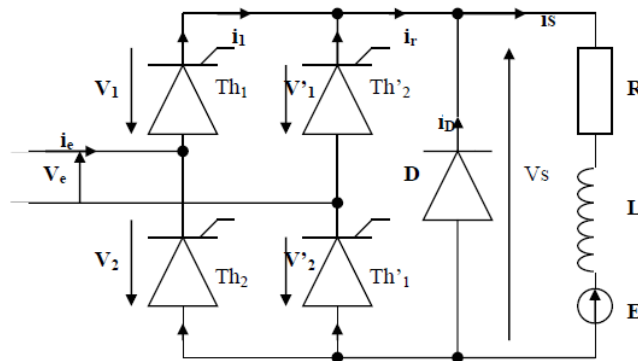
❖ Tension et courant efficace

$$v_{eff}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{ch}^2(\theta) d\theta = \frac{\hat{v}_s^2}{4\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha)) \tag{III.10}$$

$$i_{eff}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{ch}^2(\theta) d\theta = \frac{\hat{v}_s^2}{4R\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha)) \tag{III.11}$$

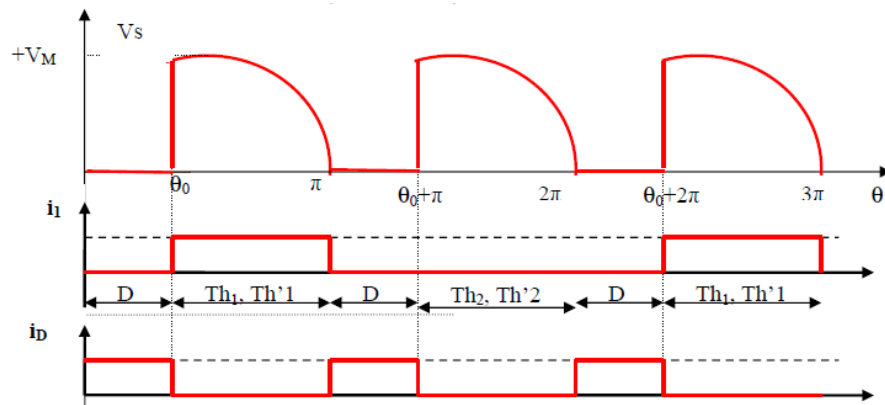
**III.2.3. Redressement double-alternance**

• **MONTAGE**



**Fig III.16: Redresseur double-alternance**

• **Principe de fonctionnement**



**Fig III.17: Tension et courant du redresseur [8].**

• **Tension et courant moyens**

Les valeurs moyennes de la tension aux bornes de la charge et du courant sont :

$$\overline{v_{ch}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{ch}(\theta) d\theta = \frac{\hat{v}}{\pi} (1 + \cos(\alpha)) \tag{III.12}$$

Et

$$\overline{i_{ch}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{ch}(\theta) d\theta = \frac{\hat{i}}{R\pi} (1 + \cos(\alpha)) \tag{III.13}$$

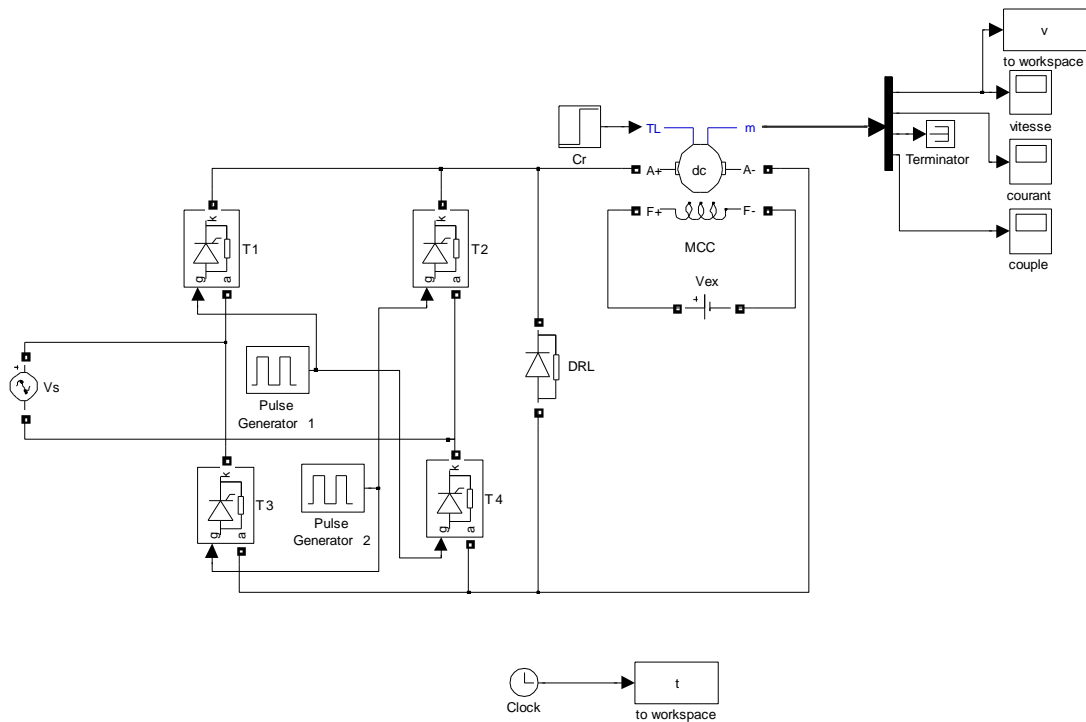
• **Tension et courant efficace**

$$v_{eff}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{ch}^2(\theta) d\theta = \frac{\hat{v}_s^2}{2\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha)) \tag{III.14}$$

Et

$$i_{eff}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{ch}^2(\theta) d\theta = \frac{\hat{v}_s^2}{2R\pi} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha)) \tag{III.15}$$

**III.3. Simulation d'une machine à courant continu alimenté par un redresseur commandé monophasé double alternance**



**Fig III.18:** Schéma de MCC alimenté par redresseur

$V_s = V_M \sin(\omega t)$  avec  $V_M = \sqrt{2} \cdot 220$ ,  $U_f = 150v$ ,  $f = 50Hz$

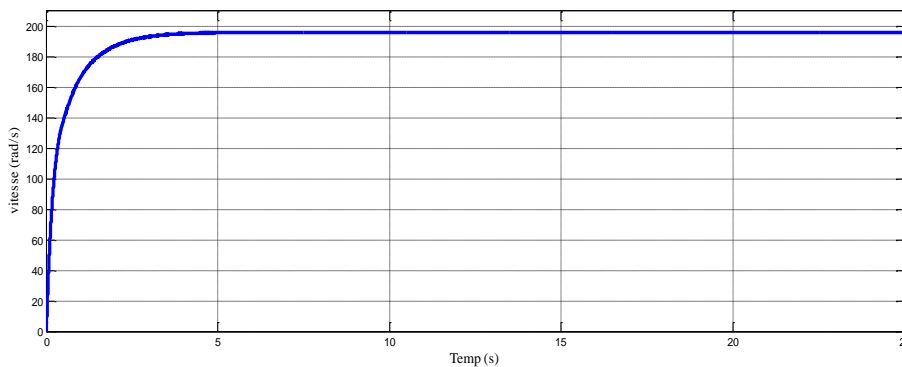
- **Générateur de pulse**

Le générateur de pulse1 amorce les T1 et T4 ,et le générateur de pulse2 amorce les T2 et T3 .  
l'angle d'amorçage de T1 et T4 est  $\alpha_1$  et l'angle d'amorçage de T2 et T3 est  $\alpha_2$  .

La relation entre  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  est :  $\alpha_2 = \alpha_1 + \pi$  .

On va varier la valeur de l'angle d'amorçage  $\alpha$ .

- La courbe suivant présente La vitesse de rotation **Pour**  $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = \frac{\pi}{6} = \frac{0.01}{6} \text{ s} \\ \alpha_2 = \frac{\pi}{6} + \pi = \frac{0.01}{6} + 0.01 \text{ s} \end{array} \right.$



**Fig III.19:** Vitesse de rotation

En régime permanent la vitesse de rotation  $\Omega = 196 \text{ rad/s}$

La valeur moyenne de tension

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{V} &= \frac{1}{T} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} V_M \sin(\theta) d\theta = \frac{V_M}{\pi} \cdot [-\cos\pi + \cos\alpha] = 99 \cdot (\cos\alpha + 1) \\ &\text{pratiquement } \bar{V} = 185V \end{aligned} \right.$$

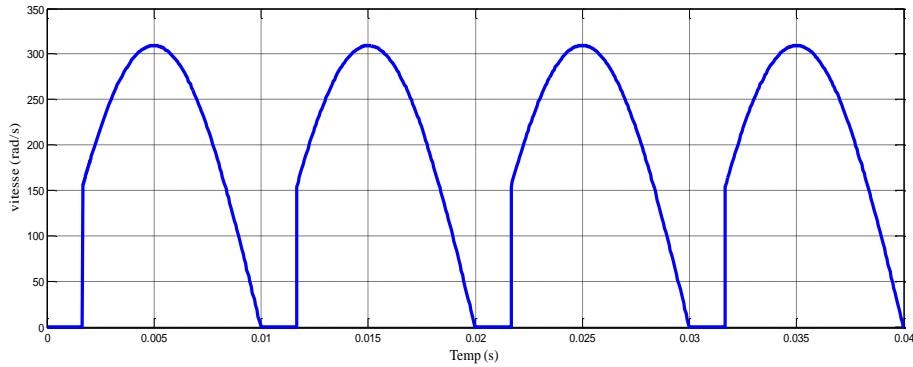


Fig III.20: Tension à la sortie du redresseur

- La courbe suivante présente La vitesse de rotation **Pour**  $\left\{ \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{\pi}{3} = \frac{0.01}{3} \text{ s} \\ \alpha_2 &= \frac{\pi}{3} + \pi = \frac{0.01}{3} + 0.01 \text{ s} \end{aligned} \right.$

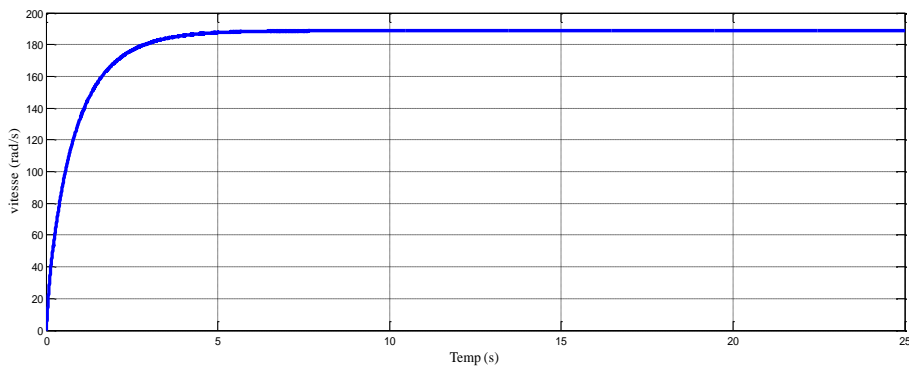


Fig III.21: Vitesse de rotation

En régime permanent la vitesse de rotation  $\Omega = 188.5 \text{ rad/s}$  ,  $\bar{V} = 148.5V$

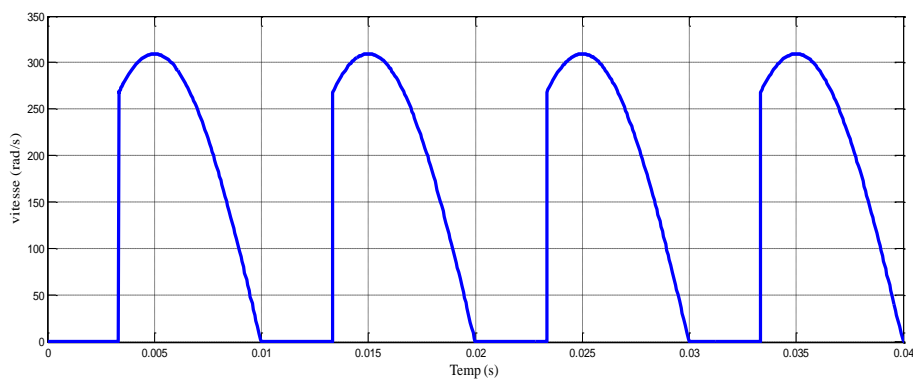
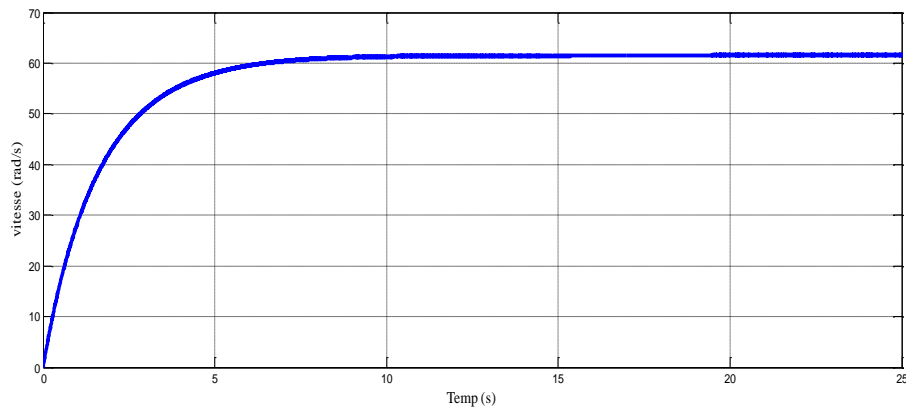


Fig III.22: Tension à la sortie du redresseur

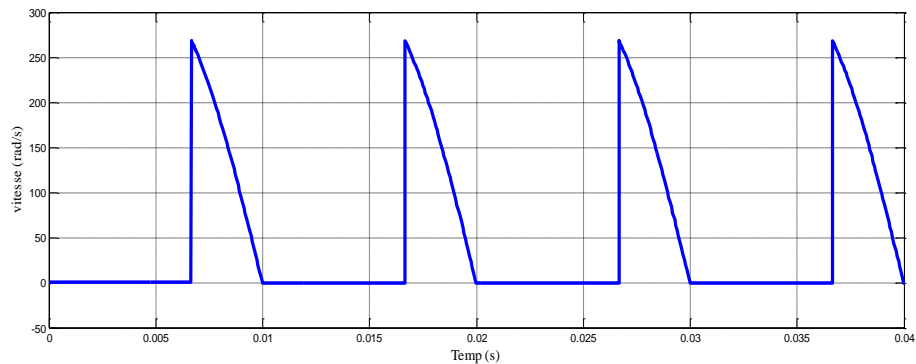
- La courbe suivante présente la vitesse de rotation **Pour**

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = \frac{2\pi}{3} = \frac{0.02}{3} \text{ s} \\ \alpha_2 = \frac{\pi}{6} + \pi = \frac{0.02}{3} + 0.01 \text{ s} \end{array} \right.$$



**Fig III.23:** Vitesse de rotation

En régime permanent la vitesse de rotation  $\Omega = 61 \text{ rad/s}$  ,  $\bar{V} = 49.5V$



**Fig III.24:** Tension à la sortie du redresseur

### III.4. Conclusion

Dans ce chapitre , on a présenté une partie théorique sur l'hacheur et le redresseur commandé .

D'après la simulation , l'alimentation de la machine à courant continu par un hacheur ou bien un redresseur commandé permet de varier la vitesse de rotation .Alors la variation de vitesse de rotation est proportionnelle avec la variation de tension d'alimentation.

# Conclusion générale

Ce travail présente une partie théorique sur la machine à courant continu avec ses applications et ses différents types d'excitation et le principe de fonctionnement de cette machine , et présenté la modélisation de la machine à courant continu avec la simulation de la machine sous matlab par la modèle mathématique et le bloc de MCC dans matlab , et dans la dernière partie on a présenté l'alimentation d'une machine à courant continu par un convertisseur statique.

D'après les résultats de la simulation , on trouve que l'alimentation de la machine à courant continu par une tension variable permet de varier la vitesse de rotation de la machine ,et l'utilisation d'un hacheur ou bien un redresseur commandé facilite la variation de tension .Alors la vitesse de la machine à courant continu est proportionnelle avec la tension d'alimentation.

## Référence

- [1] **M. Kostenko** et al , «Machines électriques. Edition » Moscou, 1979.
- [2] **F. Bernot** , « Machine a courant continu «constitution et fonctionnement » . Technique de l'ingénieur, D3556 ; D3555.
- [3] **Bounab Alaeddine** , « Conception d'une Architecture d'Instrumentation en vue de la Modélisation et de la Surveillance d'un Moteur à Courant Continu », universite ferhat abbas de setif
- [4] **K. Hsing-Chia** et al «A new symbiotic evolution-based fuzzy- neural approach to fault diagnosis of marine propulsion systems » Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.17. pp. 919-930, 2004.4
- [5] **P. Borne** et al , « Modélisation et identification des processus Tome 2 »Technip, Paris, 1992.5
- [6] **M. Rivera** , «Modélisation des systèmes dynamiques à topologie variable » Thèse de Doctorat. Université de Lyon 1, 2005.6
- [7] **FABRICE SINCERE** , « terminale STI génie électrotechnique » version 1.1.2
- [8] **Mr.BENGMAH** , « redressement monophasé commandé » C.P.G.E- TSI – SAFI