

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

**Etude et simulation d'un moteur à
courant continu**

Dirigé par:
Dr. Zelluoma Laid

Réalisé par:
-benyamma houssam eddine
-benyamma salahe eddine
-Aouine Hodhaifa

Soutenu 03-04 Juin 2014



DEDICACE

*À ma chère mère, pour ses sacrifices depuis qu'elle m' a mis au monde,
À mon père, qui m'a toujours soutenu et aidé à affronter les difficultés, pour
tous ce qui ont fait pour que je puisse les honorer,
À mes très chères frères et sœurs, à toute ma famille.*

À tous mes amis.

Je dédie ce modeste travail.



Remerciement

Remerciements à Dieu –le tout puissant– qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur M^R. LAID d'avoir accepter de nous encadrer et de nous suivre durant toute cette période.

Nos remerciements vont aussi au président du jury et aux membres du jury examinateurs qui nous ont fait l'honneur de participer au jury de ce travail.

Et enfin nous remercions l'ensemble, enseignants et collègues de notre promotion, qui nous ont aidé à réaliser ce modeste travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
<i>CHAPITRE I: Généralités sur la machine à courant continu .</i>	
I.1. INTRODUCTION.....	1
I-2-Structure de la machine à courant continu:.....	1
-L'induit:.....	1
-L'inducteur.....	1
I-2-1-La construction d'inducteur.....	2
I-2-1-1-Les pôles principaux.....	2
I-2-1-2-La carcasse.....	2
I-2-1-3-Le flasque avant	2
- Sa construction.....	2
- Ses missions.....	2
I-2-2-1-Une armature de l'induit (encoche):.....	3
I-2-2-2-Un enroulement.....	3
I-2-2-3-Un collecteur commutatif rotatif.....	3
-Définition	3
I-2-2-4- balais.....	3
I-3-Circuit magnétique d'une machine à courant continu.....	4
I-3-1 Réaction d'induit.....	4
I-3-2- Phénomène de commutation de la machine à courant continu.....	5
I-3-2-1 Commutation simple.....	5
I-3-2-2 Commutation multiple.....	5
I-4-Principe de fonctionnement d'une machine à courant continu.....	6
I-4-1Cas d'un moteur.....	6
I-4-2Cas d'une génératrice.....	6

I-5-Phénomène d'induction.....	6
I-5-1-Loi de LAPLACE.....	6
I-5-2-Principe de génératrice.....	7
I-5-3-Types des génératrice courant continu.....	7
.- Génératrice à excitation en dérivation (ou shunt, parallèle).....	7
-Génératrice à excitation série	7
-Génératrice à excitation séparée (ou indépendante).....	7
I-5-4-Fonctionnement en génératrice.....	7
I-6-Moteur à courant continu.....	8
I-6-1- Définition d'un moteur à courant continu.....	8
I-6-2-Principe de fonctionnement.....	8
I-6-2-1-Force électromotrice :.....	8
I-6-2-2-Couple électromagnétique.....	9
I-6-2-3-Puissance électromagnétique.....	9
I-6-2-4-Différentes pertes.....	10
I-6-2-5 Caractéristiques usuelles d'un moteur à Courant contenu.....	10
I-6-2-6- Rendement.....	11
I-7-Modes d'excitation	11
I-7-1-Excitation série.....	12
I-7-2-Excitation séparée.....	13
I-7-3-Excitation shunte.....	14
I-7-4-Excitation composée.....	15
I-8-Les avantages et les inconvénient d'une machine à courant continu.....	16
I-9-Conclusion	16

CHAPITRE II : Modélisation et Simulation du moteur à courant continu à excitation shunt et série

II-1-Introduction.....	12
II- 2-La simulation du moteur à courant continu à excitation shunt	12
II-2-1-Fonction de transfert.....	21
II-2-2-Le schéma bloc du moteur.....	21
II-2-4-Les résultats de simulation.....	21
II-2-4-1- Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu.....	20
II-2-4-2- Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu	22
II-2-5 Interprétation des résultats de simulation.....	23
II-2-6- Remarque.....	24
II-2-6-1-A vide.	24
II- 2-6-2-En charge.....	24
II-3-La simulation Moteur à courant continu à excitation série.....	24
II. 3.1.Equations électriques.....	25
II-3-2-Equations mécaniques.....	25
II-3-3-Schéma bloce de simulation.....	26
II-3-4-Les paramètres du moteur.....	26
II-3-5-Résultats de la simulation	26
II-3-5-1- Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu.....	26
II-3-5-2- Interprétation des résultats.....	27
II-3-5-3- Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu.....	28
II-3-5-4- Interprétation des résultats	29
II-4- CONCLUSION.....	30

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 :	<i>Schéma synoptique de la machine a courant continu</i>	1
Figure I.2 :	<i>Constitution du MCC</i>	1
Figure: I.3 :	<i>La construction de la machine à courant continu</i>	2
Figure I.4 :	<i>Collecteur</i>	4
Figure I.5 :	<i>Balais montés sur collecteur</i>	4
Figure I.6 :	<i>circuit magnétique d'une machine à courant continu</i>	4
Figure I.7 :	<i>Commutation simple</i>	5
Figure I.8 :	<i>Commutation multiple</i>	6
Figure I.9 :	<i>La règle des trois doigts de la main droite</i>	7
Figure I.10 :	<i>Couple électromagnétique</i>	10
Figure I.11 :	<i>Diagramme de puissance</i>	10
Figure I.12 :	<i>Modèle électrique équivalent du rotor du MCC</i>	11
Figure I.13 :	<i>Modèle électrique équivalent du stator du MCC</i>	12.
Figure I.14 :	<i>Modèle électrique équivalent du MCC à excitation série</i>	12.
Figure I.15 :	<i>Modèle électrique équivalent du MCC à excitation séparée</i>	13
Figure I.16 :	<i>Modèle électrique équivalent du MCC à excitation shunte</i>	14
Figure I.17 :	<i>Modèle électrique équivalent du MCC à excitation composée</i>	15.
Figure II.18 :	<i>Schéma physique d'un moteur à courant continu à excitation shunt</i>	18
Figure II-19 :	<i>schéma bloc de la moteur à courant continu shunt</i>	20
Figure II-20 :	<i>La vitesse du moteur a moteur à courant continu shunt</i>	21
Figure II-21 :	<i>Le couple du moteur a moteur à courant continu shunt</i>	21
Figure II-22 :	<i>Le courant du moteur à courant continu shunt</i>	22
Figure II-23 :	<i>La vitesse du moteur à courant continu shunt</i>	22
Figure II-24 :	<i>Le couple du moteur à courant continu shunt</i>	23
Figure II-25 :	<i>Le courant du moteur à courant continu shunt</i>	23.

Figure II-26 :	Schéma physique d'un moteur à courant continu à excitation série.....	25
Figure II-27 :	Schéma bloc du moteur à courant continu série.....	26
Figure II-28 :	Le courant du moteur à courant continu série.....	27
Figure II-29 :	Le couple du moteur à courant continu série.....	27
Figure II-30 :	La vitesse du moteur à courant continu série.....	27
Figure II-31 :	Le courant du moteur à courant continu série.....	27
Figure II-29 :	La vitesse du moteur à courant continu série.....	27
Figure II-30 :	Le couple du moteur à courant continu série.....	28

Listes des Tableaux

Tableaux . I.1:les différents Pertes du Machine à Courant Continu9

Notation et symbole utilisés

E' :	Force électromotrice (f.e.m) (V).
E :	Force contre électromotrice (f.c.e.m) (V).
u :	Chute ohmique interne de la machine (V).
r_a :	Résistance interne de l'induit (Ω).
I_a :	Courant dans l'induit (A).
G :	Générateur
M :	U : Tension aux bornes de la machine (V).
E'_v :	f.e.m à vide (V).
E_v :	f.c.e.m à vide (V).
E_{ch} :	f.c.e.m en charge (V).
k' :	Est appelée constante interne de la machine
Ω ou w :	Vitesse de rotation (rad/s)
Φ :	Flux par pôle (tesla)
U_a :	Tension de l'induit (V).
R_a :	Résistance de l'induit (Ω).
L_a :	Inductance de l'induit (h).
C_e :	Couple électromagnétique (N.m).
C_r :	Couple résistant (N.m).
U_e :	Tension d'excitation (V).
R_e :	Résistance de l'inducteur (Ω).
L_e :	Inductance de l'inducteur (h).
J :	Moment d'inertie (kgm^2).
R_{ex} :	Résistance d'excitation (Ω).
I_M :	Courant de moteur (A).
p :	Opérateur de Laplace
C_f :	Couple de frottement (N.m).
K :	Constant
R :	Résistance (Ω).
L :	Inductance (h).

Introduction générale

L'industrie, au sens large du terme, ont plus besoin de systèmes à vitesse variable, doués de souplesse et précision, bien sûr, les solutions mécaniques sont encore utilisées, mais les solutions électriques sont aujourd'hui plus appréciées, leur succès vient des caractéristiques incomparables que leur confère l'électrique sur le plan de conversion de l'énergie.

Les machines à courant continu sont des machines tournant qui sont réversibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent fonctionner indifféremment soit comme réceptrice (moteur) soit comme génératrice (dynamo). La commande des moteurs à courant continu est considérée comme étant facile à réaliser et ceci à un coût coûteux que ceux des moteurs à courant alternatif. On peut varier rapidement la tension continue tout en disposant d'une puissance de commande très faible.

Cette mémoire est composée d'une introduction, deux chapitres et une conclusion, et répartie comme suit :

Le premier chapitre, constitue un rappel des généralités sur la structure des machines à courant continu, le principe de fonctionnement et les différentes caractéristiques des machines à courant continu.

Le deuxième chapitre c'est une partie de la modélisation et de la simulation de quelques types de moteurs à courant continu (moteur à courant continu à excitation séparée et à excitation shunt), dans ce chapitre on donne le modèle de ces moteurs à partir de la transformation de LAPLACE des équations électriques et mécaniques, on forme les schémas bloc qui nous permettent d'extraire les caractéristiques de ces moteurs (la vitesse, le couple utile et le courant).

CHAPITRE I

Généralité sur la Machine à courant continu

I-1-Introduction:

Les machines électriques tournantes sont des convertisseurs d'énergie. Lorsqu'elles transforment l'énergie électrique en énergie mécanique, on dit qu'elles fonctionnent en **moteur**. En revanche, Lorsqu'elles transforment l'énergie mécanique apportée par une autre machine l'énergie électrique, on dit qu'elles fonctionnent en **génératrice**.

La machine à courant continu est une machine électrique tournante qui fonctionne, comme leur nom l'indique, à partir de tensions et de courants continus. Dans le cas de petits moteurs, elle est donc adaptée à des sources d'énergie électrochimiques. Pour les fortes puissances, on la trouve dans les lignes de métro-rer où elle fonctionne en moteur (traction) ou en génératrice (freinage),

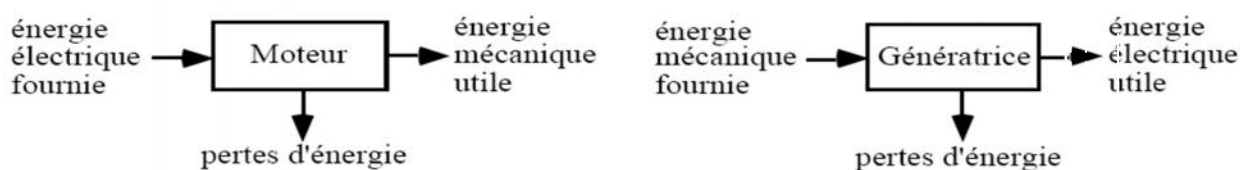


Figure I.1 : Schéma synoptique de la machine à courant continu.

I-2-Structure de la machine à courant continu

Les machines tournantes sont constituées en deux parties principales sont l'inducteur et l'induit.

L'induit: c'est l'organe subissant le champ magnétique et en même temps le siège d'une f.e.m(.) induites alternatives. [1]. Et c'est un lieu de la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique (génératrice électrique) ou l'inverse, (de l'énergie électrique à l'énergie mécanique) (moteur électrique). [2]. L'inducteur et l'induit sont séparé l'une à l'autre par un entrefer. [2]

L'inducteur: c'est l'organe producteur du champ magnétique nécessaire à la transformation électromagnétique est située sur un partie fixe de la machine. Ce champ magnétique est fixé[1].

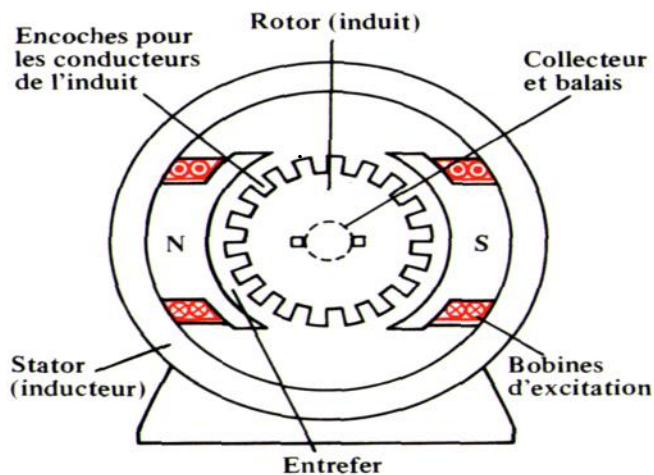


Figure I.2 : Constitution du MCC

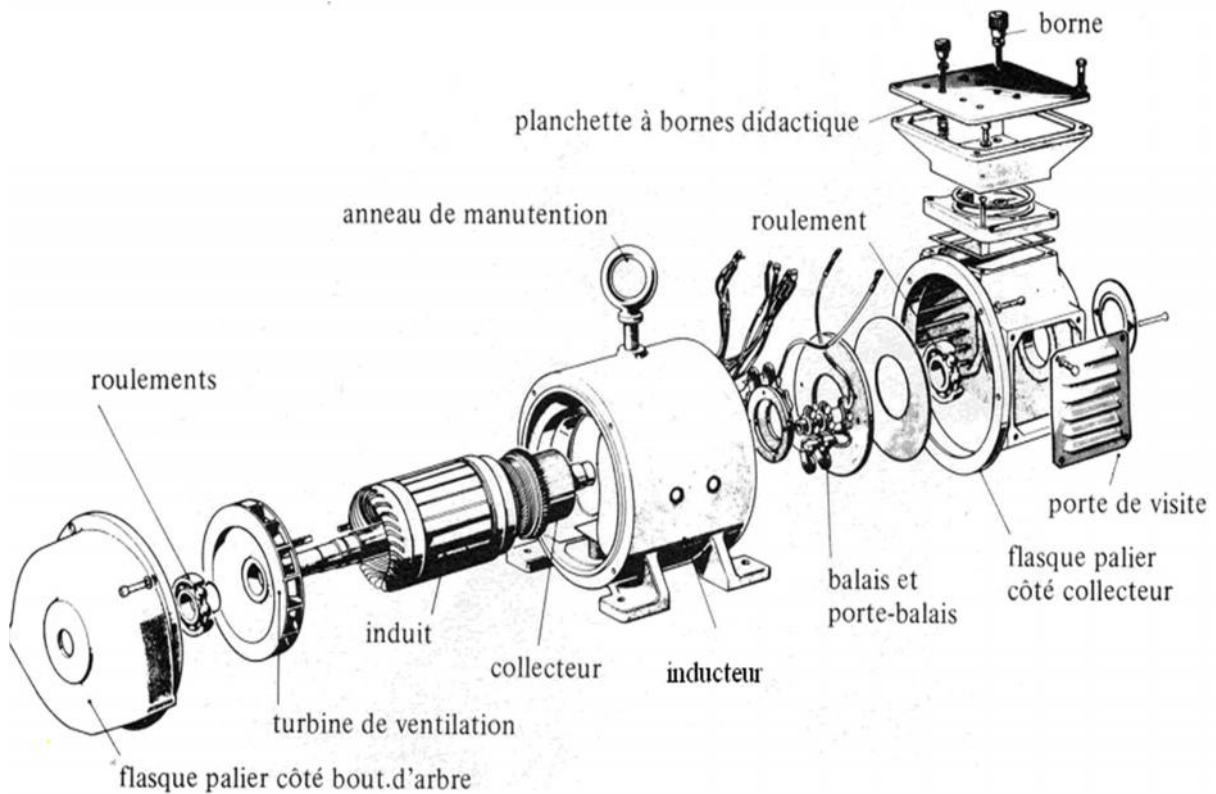


Figure: I.3.La construction de la machine à courant continu

I-2-1-La construction d'inducteur

L'inducteur comprend

I-2-1-1-Les pôles principaux: destinés pour crée le flux magnétique principal qui peuvent être constitués d'aimants permanents ou de pièces polaires associées à des enroulements d'inducteurs parcourus par un courant continu.

I-2-1-2-La carcasse: c'est à dire le partie de la machine à laquelle sont fixés les pôles principaux 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 appelée culasse.[2].

I-2-1-3-Le flasque avant

*-**Sa construction:** Les matériaux utilisés soit l'aluminium ou le plastique .Le moyen d'obtention pour l'aluminium est dans la majorité des cas la fonderie ,et pour le plastique l'injection est utilisée.[3]

*-**Ses missions:** La principale mission est de porter le palier avant, sur ses machines les efforts mécaniques sont modérés, par contre le positionnement géométrique est très important, car le jeu entre les aimants et les tôles magnétiques est faible (quelques dixièmes de millimètres). La seconde mission est le contage de la carcasse, qui doit posséder une bonne concentricité avec le palier. Bien souvent le palier avant assure aussi la fixation du guide balais.

I-2-2- La construction d'induit

L'induit comprend :

I-2-2-1-Une armature de l'induit (encoche): réalisée à l'aide des tôles empilées, montrées directement sur l'arbre par insertion chaude, soit assemblées par queue d'aronde pour des grandes machines. Les encoches fermées par des becs d'encoches peuvent être de forme arrondie ou rectangulaire.

I-2-2-2-Un enroulement : placé sur cette armature (bobinage), les conducteurs sont réalisés à partir de fils ou de barres de cuivre, les fils sont bobinés directement sur l'induit, les conducteurs sont isolés entre eux par un guilage (grande machine), ou un email. Les faisceaux de fils ou des barres préformées sont isolés par rapport à la masse et entre eux ou avec un fil enroulé. [2] .

I-2-2-3-Un collecteur commutatif rotatif

Un collecteur commutatif rotatif est un organe permettant de créer une connexion électrique entre la partie fixe (l'inducteur) et la partie mobile (l'induit), avec une fonction de commutation pendant la rotation.

Ce collecteur consiste en un anneau conducteur de l'électricité (généralement en cuivre), sectionné en un nombre pair de parties isolées entre elles, fixé avec une entretoise isolante sur l'axe de la machine. La connexion électrique est créée entre les parties conductrices et la partie fixée sur l'inducteur (borner), par une ou plusieurs paires de balais réalisés à base de carbone (ou des lames de métal souple pour les très petites machines) positionnées respectivement à 180 degrés. On alimente en électricité le bobinage d'induit par ces contacts (fonctionnement en moteur) ou au contraire on récupère l'électricité produite par le bobinage d'induit (fonctionnement en générateur)[4].

I-2-2-4- balais

Faites en carbone en raison de sa bonne conductivité électrique et de son faible coefficient de frottement.

En s'appuyant sur le collecteur, assurent un contact électrique entre l'induit et le circuit extérieur.

Dans une machine à enroulements imbriqués, il y a autant de balais que de pôles magnétiques inducteur [5] .



Figure I.4 : Collecteur. [8]

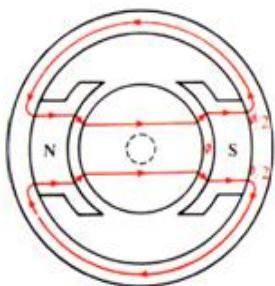


Figure I.5 : Balais montés sur collecteur.[8]

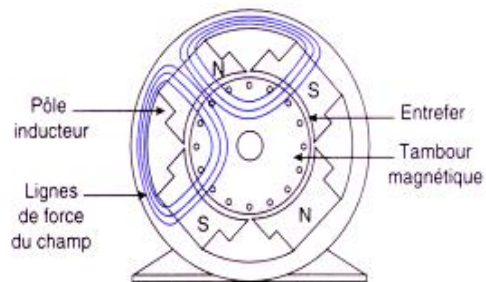
I-3-Circuit magnétique d'une machine à courant continu

Le rôle du circuit magnétique c'est la canalisation de flux produit par les enroulements inducteurs supportés par les pôles principaux (stator), de façon à ce qu'il englobe un maximum de conducteurs de l'induit (rotor).

On appelle champ magnétique l'un des deux aspects du champs électromagnétique excité par les charges électriques de particules en mouvement ou par, des variations du champ électrique et caractérisé par la force exercée sur les particules chargées en mouvement et aussi, par conséquent, sur les courants électriques.



Circuit magnétique d'un moteur bipolaire



Circuit magnétique d'un moteur tétrapolaire

Figure I.6 circuit magnétique d'une machine à courant continu

Lors de la rotation de l'induit, les lignes de champ, qui ont tendance à se concentrer dans les dents (entrefer minimal), se déplacent autour d'une position moyenne: papillotement.

L'épanouissement polaire est le siège de courants de Foucault. Pour limiter leur action, il faut le feuilletter. Il est souvent plus économique de feuilletter l'ensemble du pôle.

I-3-1 Réaction d'induit

Il y a distorsion des lignes de champ dans le sens de la rotation du rotor et les variations de l'induction sont importantes, certaines parties de l'épanouissement polaire étant saturées, d'autres démagnétisées. Il y a une mauvaise répartition des différences de potentiel entre les lames du collecteur : risque d'arc. La f.e.m. diminue.

I-3-2- Phénomène de commutation de la machine a courant continu

En définit la commutation dans les systèmes électriques. Comme changement d'état brusque. [4]. On entend par la commutation d'une section est son passage d'une voie de l'induit dans la suivante quand les lames de collecteur entre lesquelles elle est montée passent face à une ligne de balais. Les deux lames étant au contact des mêmes balais, la section est mise en court-circuit. Durant ce court-circuit, le courant dans la section doit s'inverser puisqu'elle passe d'une voie dans une autre. [6]

On distingue deux types de commutation : simple et multiple.

I-3-2-1 Commutation simple

La commutation est simple si la largeur des balais est égale à celle d'une lame de collecteur. Alors un balai ne met en court-circuit qu'une section à la fois.

Ce cas théorique, car les balais sont plus larges, permet de voir ce qui se passe durant la commutation d'une section. [6].

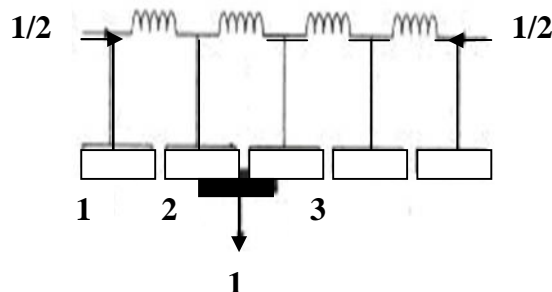


Figure I.7 Commutation simple.

I-3-2-2 Commutation multiple

Pour une largeur du balai dépassent la largeur d'une lame de collecteur. Les phénomènes de commutation se produisent simultanément dans plusieurs sections court-circuitées par les balais.

La variation du courant dans une section pendant la commutation dépendra non seulement de la f.é.m. d'auto induction e_s . De la section commutée mais aussi de la f.é.m. d'induction mutuelle e_m avec les sections voisines placées dans la même encoche. [6]

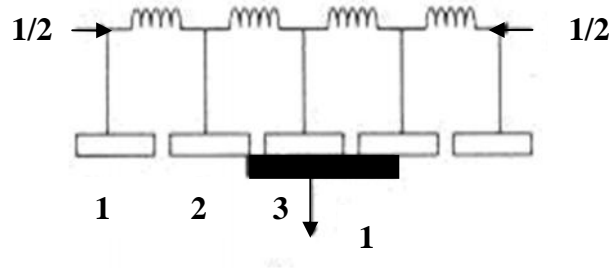


Figure I.8Commutation multiple.

I-4-Principe de fonctionnement d'une machine à courant continu

I-4-1Cas d'un moteur

On alimente l'inducteur (stator), puis on alimente l'induit (rotor) on aura une rotation d'après le phénomène d'induction

Un conducteur traversé par un courant, placé dans un champ magnétique est soumis à une force de Laplace .C'est le phénomène de base à prendre en compte dans une conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, [6] .

I-4-2Cas d'une génératrice

On tourne l'induit (rotor) à l'aide d'un moteur auxiliaire ensuite on excite l'inducteur (stator) on aura une tension aux bornes de l'induit d'après le phénomène d'induction suivant :

Un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique va être le siège d'une f.e.m. induite. Il s'agit donc d'une conversion de sens inverse, d'énergie mécanique en énergie électrique, [6]

I-5-Phénomène d'induction

I-5-1-Loi de LAPLACE:

Un conducteur parcouru par un courant est soumis à une force de LAPLACE dont le sens est déterminée par la règle des trois doigts de la main droite, quand il est placé dans un champ magnétique [6].C'est phénomène de base à prendre en compte dans un conversion d'énergie électrique en énergie mécanique.[2].

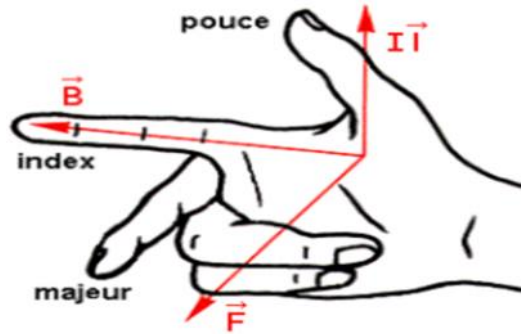


Figure I.9 La règle des trois doigts de la main droite

I-5-2-Principe de génératrice

Un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique va être le siège d'une f.e.m. induite .il s'agit donc une conversion de sens inverse, d'énergie mécanique en énergie électrique. [2]

I-5-3-Types des génératrice à courant continu

On distingue trois types d'excitation

✓ Génératrice à excitation en dérivation (ou shunt, parallèle)

Est une machine très répandue, car elle n'exige pas une source indépendante. Elle est donc auto-excitée. L'induit et l'inducteur sont connectés en parallèle.

✓ Génératrice à excitation série

Les deux enroulements (inducteur et induit) sont branchés en série. L'enroulement de l'induit, qui est parcouru par un courant élevé comporte peu de spires de forte section donc de résistance faible.

✓ Génératrice à excitation séparée (ou indépendante)

Est caractérisée par son inducteur alimenté par une source indépendante de la génératrice. La tension de l'induit est différente de celle de l'inducteur[7].

I-6-Moteur à courant continu

I-6-1- Définition d'un moteur à courant continu

Le moteur est une machine électrique qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Son principe de fonctionnement est basé sur l'interaction des courants dans l'induction avec le champ magnétique créé par des pôles principaux[7].

I-6-2-Principe de fonctionnement

I-6-2-1-Force électromotrice

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

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}. [6].

La valeur moyenne 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.

($\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$) 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,..)

$$(\mathbf{K} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{N} / 2 \cdot \pi \cdot \mathbf{a})$$

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)
- ✓ ϕ : flux maximum à travers les spires (en Webers - Wb)
- ✓ Ω : vitesse de rotation (en rad.s⁻¹)
- ✓ S: section

$$\mathbf{E} = \mathbf{K} \cdot \Omega \cdot \mathbf{W} \quad [\mathbf{V}] \dots\dots\dots(\mathbf{I.1})$$

I-6-2-2-Couple électromagnétique

Pour une spire : les deux brins d'une spire placées dans le champ magnétique B, subissent des forces de Laplace F1 et F2 formant un couple de force (**F1 Nl > F2 Nl. l óB**).

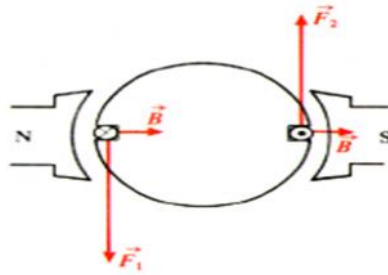


Figure I.10. Couple électromagnétique

Donc le couple électromagnétique total développé est

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

I-6-2-3-Puissance électromagnétique

Si l'induit présente une f.é.m E et s'il est parcouru par le courant **Ia**, 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. [6].

$$P_{em} = T_{em} \cdot \Omega = E \cdot I_a \quad [\text{Watts}] \dots\dots\dots (\text{I.3})$$

I-6-2-4-Différentes pertes

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

Pertes	<u>Pertes magnétiques</u> P_{fer}	<u>Pertes joules</u> P_J	<u>Pertes mécaniques</u> P_{méca}
Causes	Elles sont dues à l'hystérésis (champ rémanent) et aux courants de Foucault (courant induit dans le fer) et dépendent de B et de Ω.	Pertes dans l'induit et l'inducteur dues aux résistances des bobinages.	Elles sont dues aux Frottements des diverses pièces en mouvement.
Parades	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.

Tableaux . I.1: différents Pertes du une Machine à Courant Continu

Remarque : La somme des pertes mécaniques et fer est appelée pertes 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 :

$$T_P = P_c / \Omega \quad [\text{N.m}] \dots\dots\dots(\text{I.4})$$

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

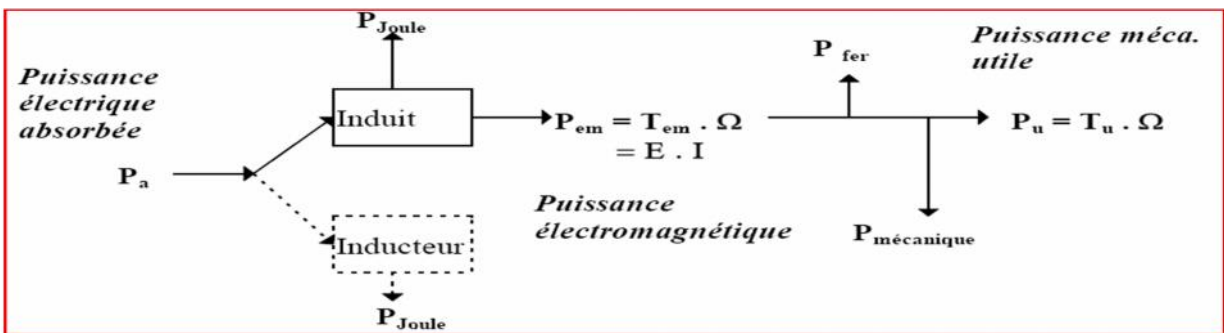


Figure I.11 : Diagramme des puissances.

I-6-2-5 Caractéristiques usuelles d'un moteur à Courant contenu

Le moteur à courant continu est plus coûteux que le moteur à courant alternatif usuel. Son entretien est plus exigeant, mais on peut faire varier sa vitesse de rotation.

De plus en plus, à cause progrès de l'électronique de puissance, la machine est alimentée sous tension variable par un « variateur électronique de vitesse ». C'est par la variation de la tension U qu'on règle la vitesse N .

Autrefois on envisageait surtout l'alimentation de la machine sous une tension « constante » U_{nom} fournie par un réseau continu. [5]

Pour chaque type d'excitation « série ou shunt ou compend ». On rencontre trois catégories de caractéristiques

Les caractéristiques électriques à tension constante et charge variable.

Les caractéristiques électriques à tension et charge variables. Que donnent les réseaux de caractéristiques de réglage.

Les caractéristiques mécaniques qui sont les plus importantes car elles montrent l'évolution du couple en fonction de la vitesse pour un fonctionnement donné. [4]

I-6-2-6- Rendement

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

I-7-Modes d'excitation

On peut donner un modèle électrique équivalent de l'induit (**fig.I.12**), **E** représente la force électromotrice ; **La** représente la self équivalente de l'enroulement d'induit; **Ra** représente la résistance équivalente de l'induit (résistance des fils du bobinage et résistance de contact au niveau des balais).

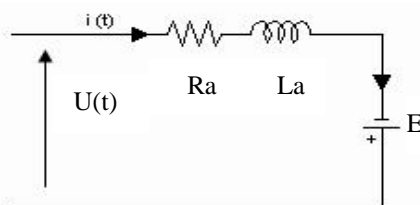


Figure I.12 : Modèle électrique équivalent du rotor du MCC.

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

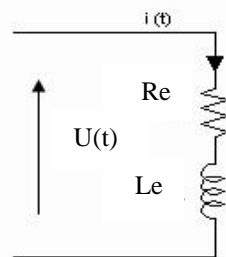


Figure I.13 : Modèle électrique équivalent du stator du MCC.

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

I-7-1Excitation 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 :

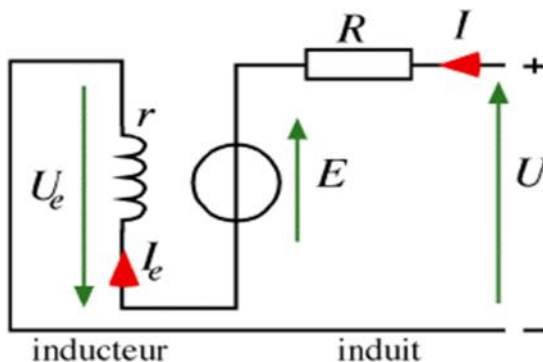


Figure I.14 : Modèle électrique équivalent du MCC à excitation série.

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 :

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

$$U = E + (R + r) \cdot I_a \quad [V] \dots\dots\dots (I.6)$$

$$C_e = K \cdot \Phi \cdot I_a \quad [N \cdot m] \dots\dots\dots (I.7)$$

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 « $I = 0 [A]$ », alors « Ω » tend vers l’infini.
- ✓ Toujours mettre le moteur en charge mécanique car si le couple est faible, alors Ω tend vers l’infini.

✚ Domaines d’emploi

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

I-7-2-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.

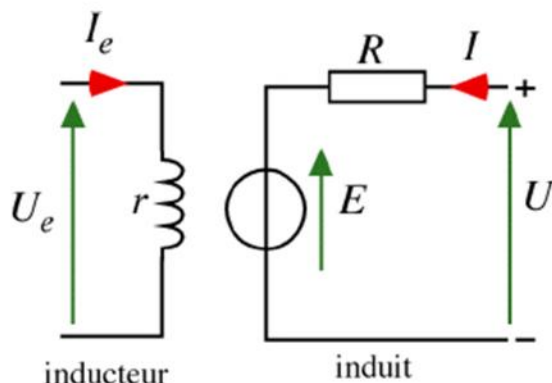


Figure I.15 : Modèle électrique équivalent du MCC à excitation séparée.

✚ 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 :

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

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

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

✚ 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-7-3-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 :

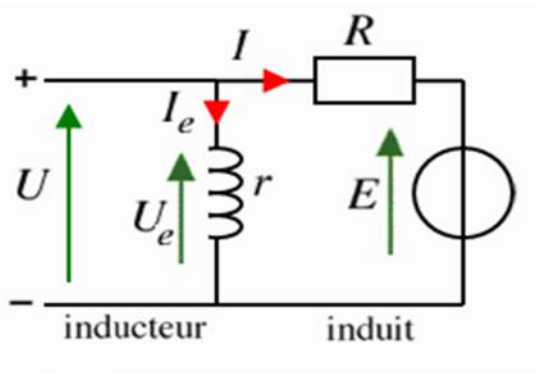


Figure I.16 : Modèle électrique équivalent du MCC à excitation shunte.

✚ 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 :

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

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

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

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-7-4-Excitation composée

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

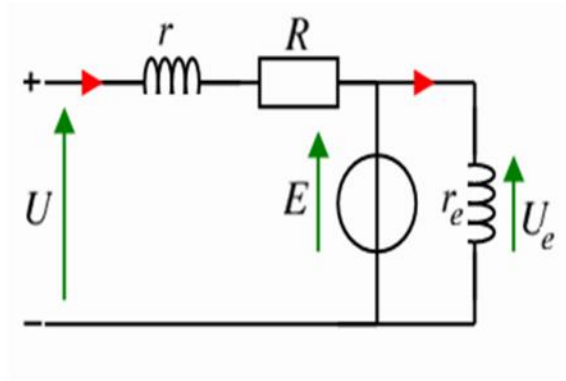


Figure I.17 : Modèle électrique équivalent du MCC à excitation composée.

✚ Caractéristiques

- ✓ Le MCC à excitation composée réunit les avantages du série et du shunt 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 laminage, volants d'inertie.

I-8-Les avantages et les inconvénients d'une machine à courant continu

Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou « charbons » et le collecteur rotatif. Ainsi que le collecteur lui-même comme indiqué plus haut et la complexité de sa réalisation. De plus il faut signaler que :

Plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important.

Aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement.

Le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement le commutateur et génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation, ainsi que par rayonnement électromagnétique.

Un autre problème limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque le rotor est bobiné, c'est le phénomène de « défretage », la force centrifuge finissant par casser les liens assurant la tenue des ensembles de spires « le fretage ».

Un certain nombre de ces inconvénients ont partiellement été résolus par des réalisations de moteurs sans fer au rotor, comme les moteurs « disques » ou les moteurs « cloches », qui néanmoins possèdent toujours des balais.

I-9-Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié la machine à courant continu sous forme générale (l'étude de la structure de ses machine, le principe de fonctionnement, la conversion d'énergie électromécanique, les avantages et inconvénient.

Dans le chapitre suivant on va faire la modélisation et la simulation de la machine à courant continu excitation shunt et série .

CHAPITRE II

*Modélisation et Simulation
du moteur
à courant continu à
excitation shunt et série*

II-1-Introduction

La simulation qui se fait avec le programme MATLAB/SIMILINK est nécessaire pour comprendre le comportement de la machine électrique avant leur utilisation.

on a fait la transformation de LAPLACE de l'équation électrique et mécanique pour déduire le modèle du moteur à courant continu (à excitation séparée et shunt). A partir ce modèle, on trace le schéma bloc qu'il permet d'obtenir les caractéristiques de ces machines (le courant, le couple utile, la vitesse de rotation).

II- 2-La simulation du moteur à courant continu à excitation shunt

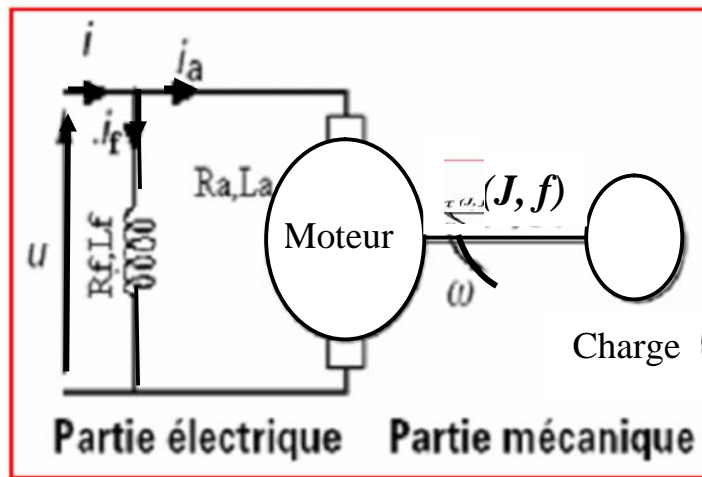


Figure II.18 : Schéma physique d'un moteur à courant continu à excitation shunt

II-2-1-Fonction de transfert

Le circuit de l'induit d'une machine à courant continu à excitation shunt est représenté par sa f.e.m, sa résistance et l'inductance par la formule suivante:

$$U_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \tag{II.14}$$

$$I_a = I - I_{exc} \tag{II.15}$$

Après la transformation de LAPLACE :

$$U_a(p) = E(p) + (R_a + L_a \cdot p) \cdot I_a(p) \quad (\text{II.16})$$

$$I_a(p) = \frac{U_a(p) - E(p)}{R_a + L_a \cdot p} \quad (\text{II.17})$$

$$I_a(p) = I(p) - I_{exc}(p) \quad (\text{II.18})$$

L'équation de tension de l'inducteur est

$$U_a = U_e = R_e \cdot I_e + L_e \cdot \frac{dI_e}{dt} \quad (\text{II.19})$$

Le couple électromagnétique est donné par

$$C_e = k' \cdot \mathcal{W} \cdot I_a \quad (\text{II.20})$$

Le couple de frottement visqueux est exprimé par

$$C_f = f \cdot \omega \quad (\text{II.21})$$

D'où l'interaction entre le couple électromagnétique et la partie mécanique est représentée par l'équation suivante commune pour toutes les machines:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + f \cdot \omega = C_e - C_r \quad (\text{II.22})$$

Après la transformation de Laplace

$$C_e(p) - C_r(p) = J \cdot p \cdot \omega(p) \quad (\text{II.23})$$

$$\omega(p) = \frac{C_e(p) - C_r(p)}{J \cdot p + f} \quad (\text{II.24})$$

$$C_e = k' \cdot \mathcal{W} \cdot I_a = k \cdot I_a \quad (\text{II.25})$$

$$E = k' \cdot \mathcal{W} \cdot \omega = k \cdot \omega \quad (\text{II.26})$$

II-2-2-Le schéma bloc du moteur

Après les transformations de LAPLACE d'équation électrique et mécanique on obtient le schéma bloc suivant:

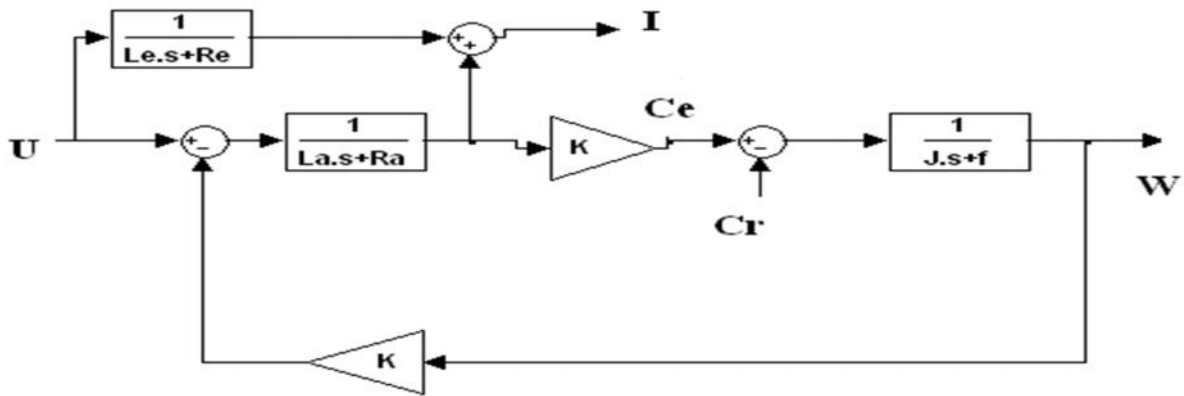


Figure II-19 Le schéma bloc de la moteur à courant continu shunt.

II -2-3-Les paramètres du moteur

Les mêmes paramètres du moteur à courant continu séparé avec :

$U=220v$, $La=0.084$, $K=0.284$, $J=0.017Kg /m$, $f=0.0542HZ$, $Cr=12$, $Ra=2.52$, $Re=92$, $Le=5.257$

II-2-4-1- Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu

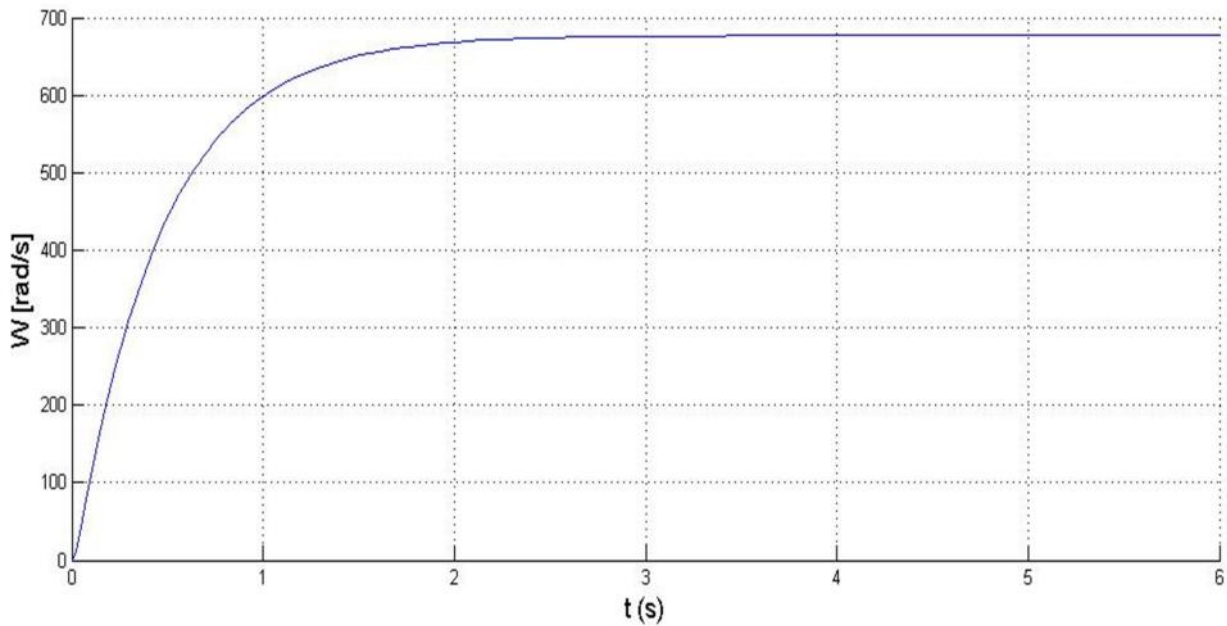


Figure : II.20.La vitesse du moteur à courant continu

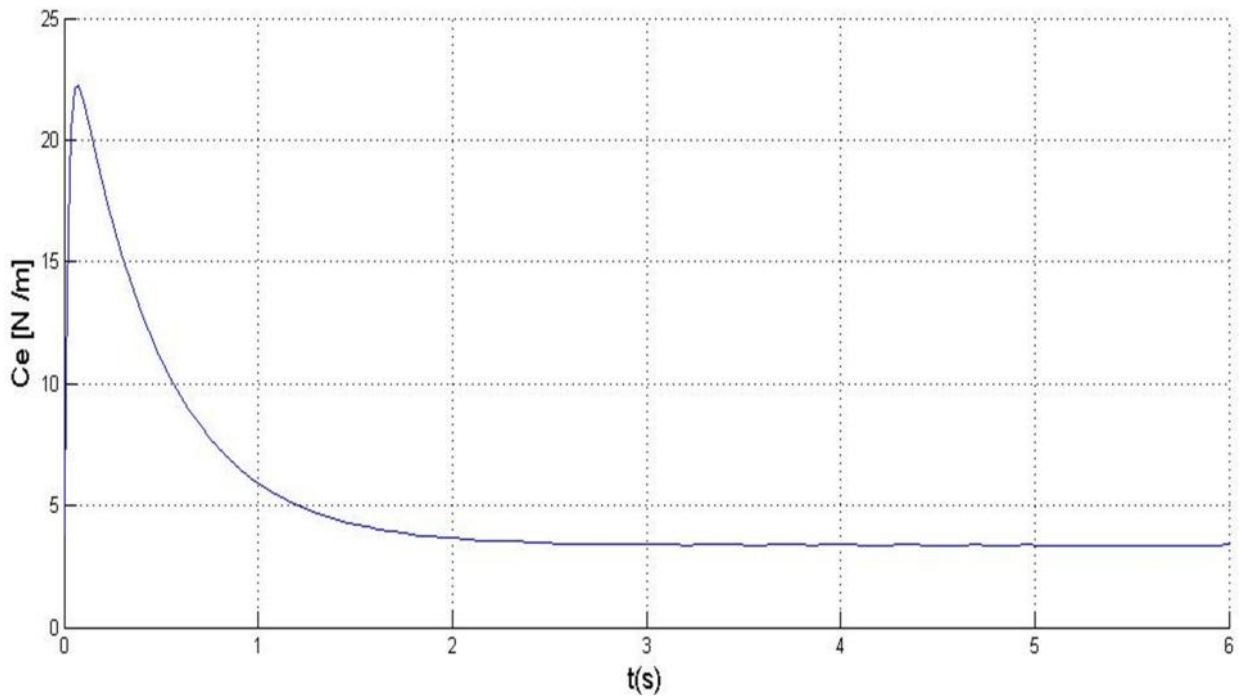


Figure : II.21. Le couple du moteur à courant continu

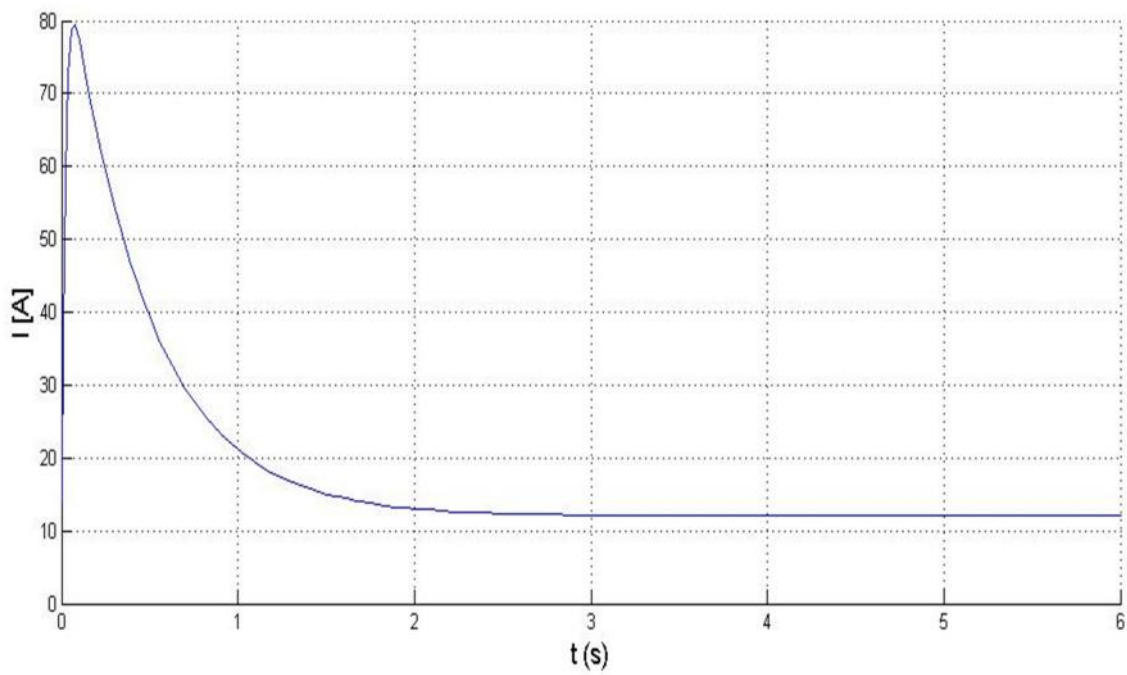


Figure : II.22. Le courant du moteur à courant continu

II-2-4-2- Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu

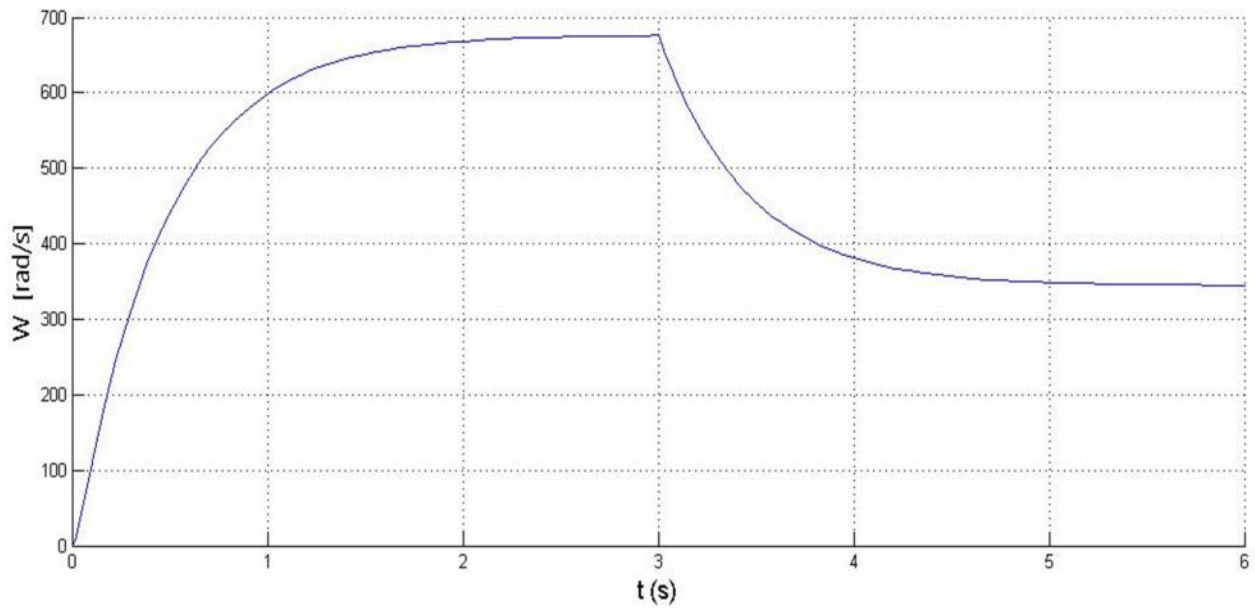


Figure : II.23. La vitesse du moteur à courant continu

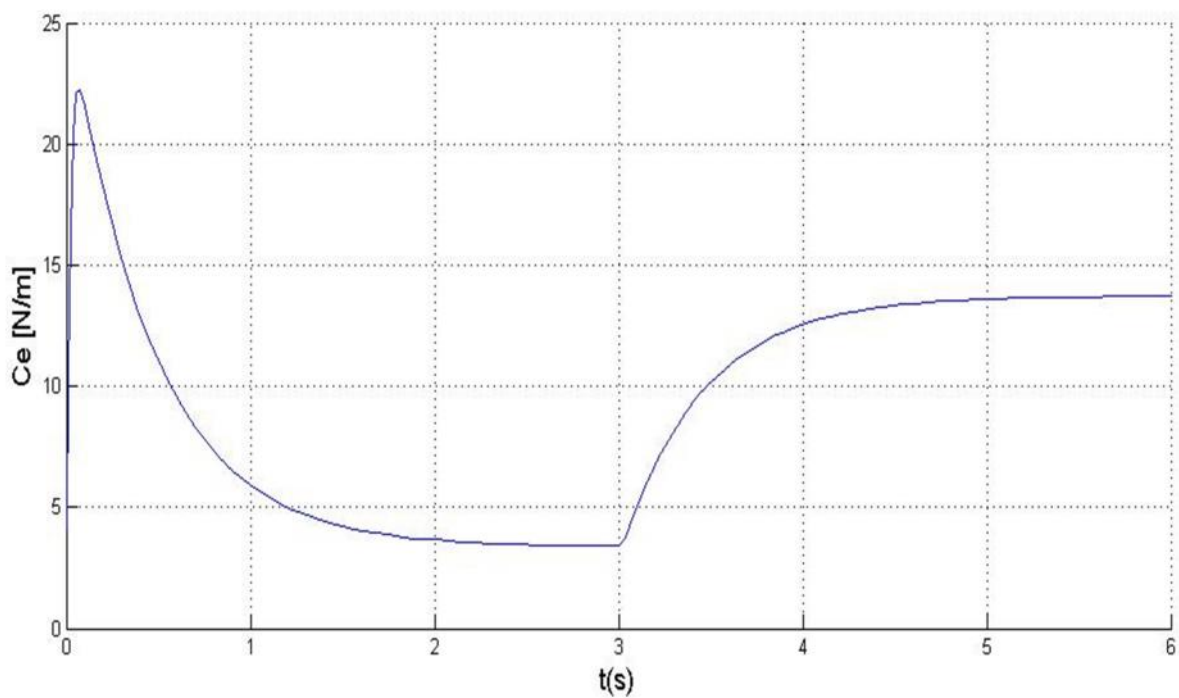


Figure : II.24. Le couple du moteur à courant continu

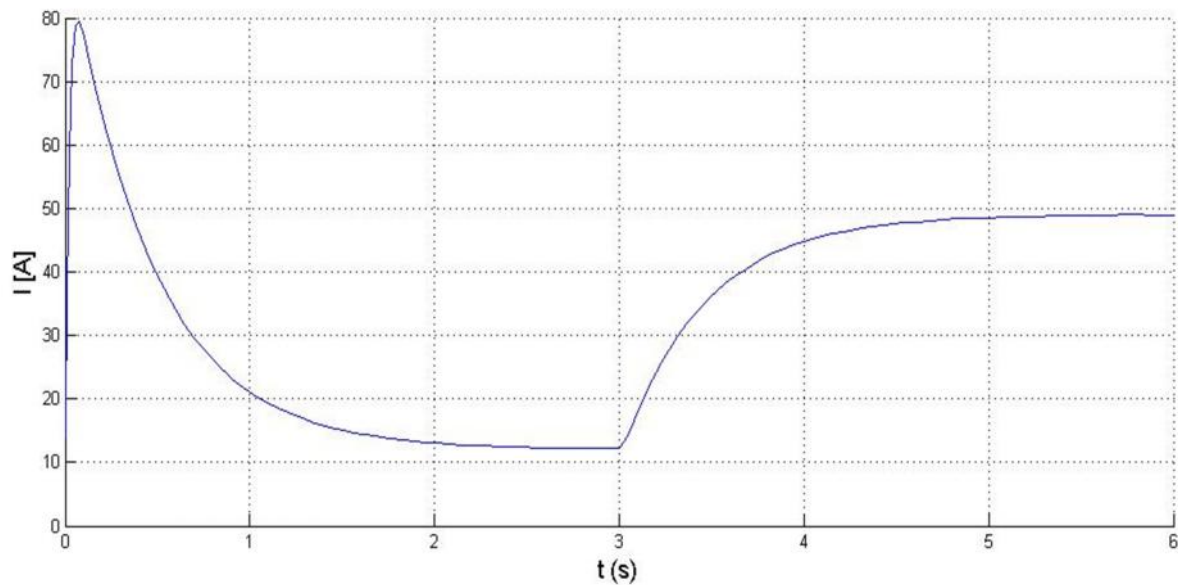


Figure : II.25. Le courant du moteur à courant continu

II-2-5 Interprétation des résultats de simulation

- **Vitesse**

L'allure de cette caractéristique présente dans le premier instant de démarrage un accroissement presque linéaire. Au cours de cet accroissement il se produit la transformation de l'énergie électromagnétique en énergie mécanique, la vitesse s'établit à une vitesse constante. Lorsqu'on applique une charge (couple résistant), on observe quelques oscillations et puis la machine stabilise à une vitesse inférieure à la vitesse précédente.

- **Couple**

Cette courbe représente aux premiers instants de démarrage des battements importants à ce qui explique le bruit engendré par la partie mécanique. Dès que la vitesse s'établit, le couple tend vers le régime de charge considéré.

- **Courant**

Au démarrage sous une tension nominale et aux premiers instants le courant possède des grandes valeurs, mais il diminue au bout de quelques secondes pour donner lieu à une valeur constante, et lorsqu'on applique un couple résistant le courant atteint une nouvelle valeur supérieure à la précédente.

II-2-6 -Remarque

II-2-6-1-A vide :

le figure (II.22) montre qu'il y a un fort appel du courant pendant le démarrage atteint jusqu'à $I_m=97A$ puis il revient zéro.

II- 2-6-2-En charge :

On peut remarquer sur la caractéristique du moteur à courant continu à excitation shunt, une du courant d'induit atteint à 35A lorsqu'on applique un couple résistant.

II-3-La simulation Moteur à courant continu à excitation série

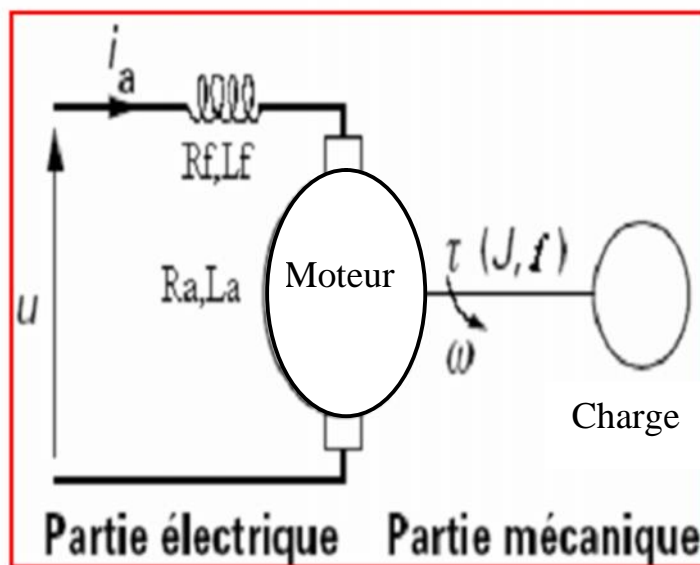


Figure II.26 : Schéma physique d'un moteur à courant continu à excitation série

A partir du modèle généralisé des axes (d,q) de la machine à courant continu, et suivant les connexions des enroulements, on peut déduire facilement le modèle approprié à mode d'excitation série.

II. 3.1. Equations électriques

$$\begin{cases} U_s = R_s I_q + L_s \frac{dI_q}{dt} \\ U_a = R_a I_q + L_a \frac{dI_q}{dt} + \check{S}_r M_{sd} I_q \\ C_e = M_{sd} I_q^2 \end{cases} \quad (\text{II.27})$$

Avec :

$$I_s = I_q \quad (\text{II.28})$$

$$\text{On a : } U = U_s + U_a \quad (\text{II.29})$$

On remplace les deux équations du système (II.27) dans (II.29) on obtient :

$$(L_s + L_a) \frac{dI_q}{dt} = U - (R_s + R_a) I_q - \check{S}_r M_{sd} I_q \quad (\text{II.30})$$

II-3-2- Equations mécaniques

$$J \frac{d\check{S}}{dt} = C_e - C_r \quad (\text{II.31})$$

$$\Rightarrow \frac{d\check{S}}{dt} = \frac{M_{sd} I_q}{J} - \frac{Cr}{J} \quad (\text{II.32})$$

A partir des équations précédentes on peut construire notre schéma fonctionnel comme il est illustré sur la figure (II.18).

II-3-3-Schéma bloce de simulation

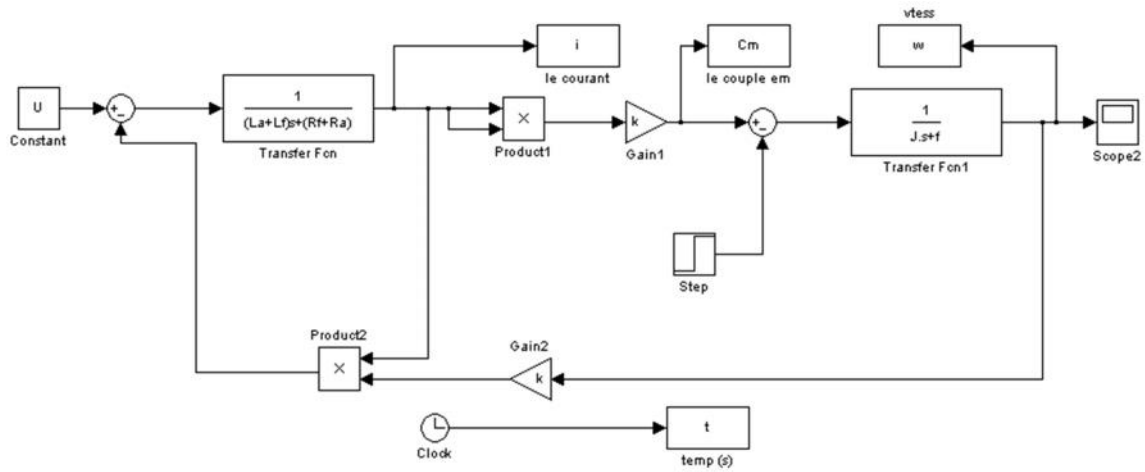


Figure II-27 Le schéma bloc de la machine à courant continu série

II-3-4-Les paramètres du moteur

Les mêmes paramètres du moteur à courant continu à excitation série avec :

$U=220v$, $La=0.084$, $K=0.284$, $J=0.017Kg /m$, $f=0.0542HZ$, $Cr=12$, $Ra=2.52$, $Re=92$, $Le=5.257$

II-3-5-Résultats de la simulation

II-3-5-1- Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu

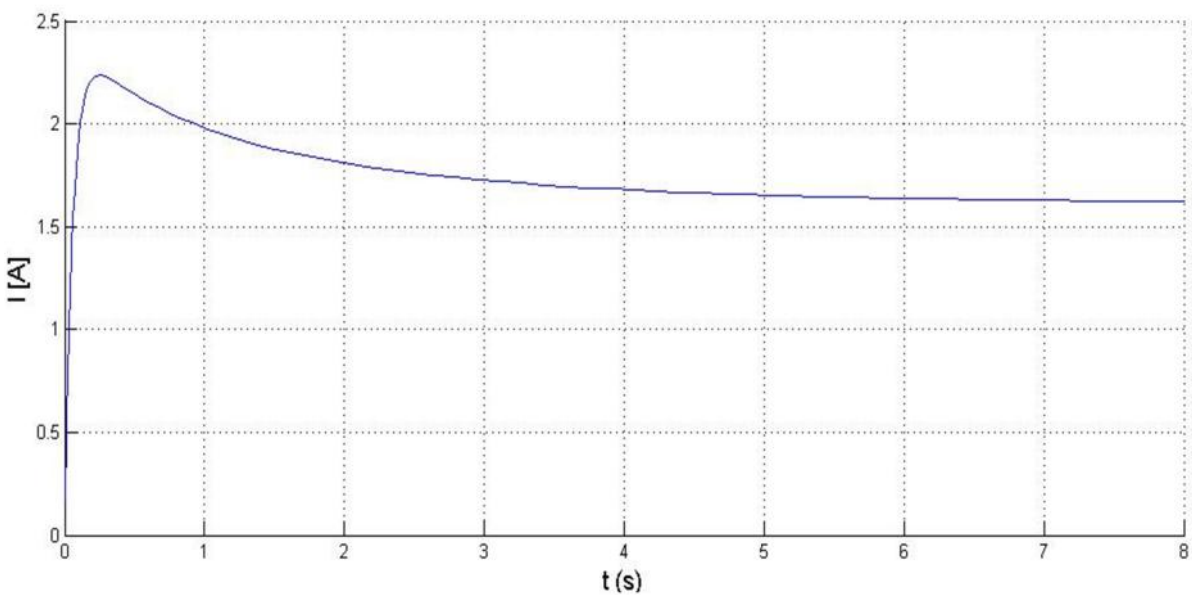


Figure : II.28.Le courant du moteur à courant continu

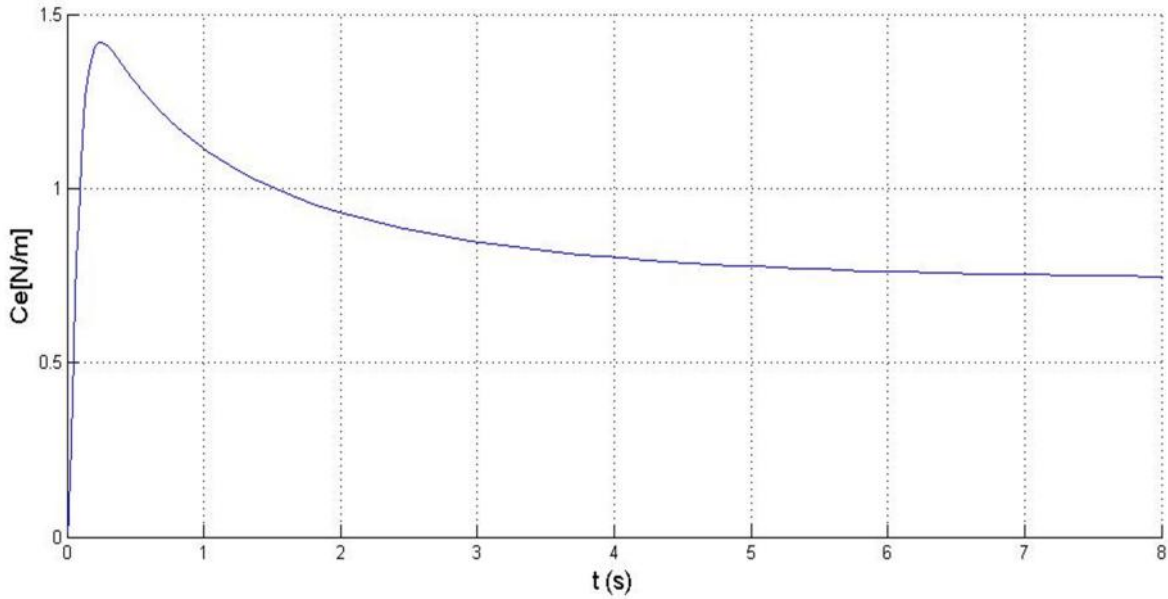


Figure : II.29. Le couple du moteur à courant continu

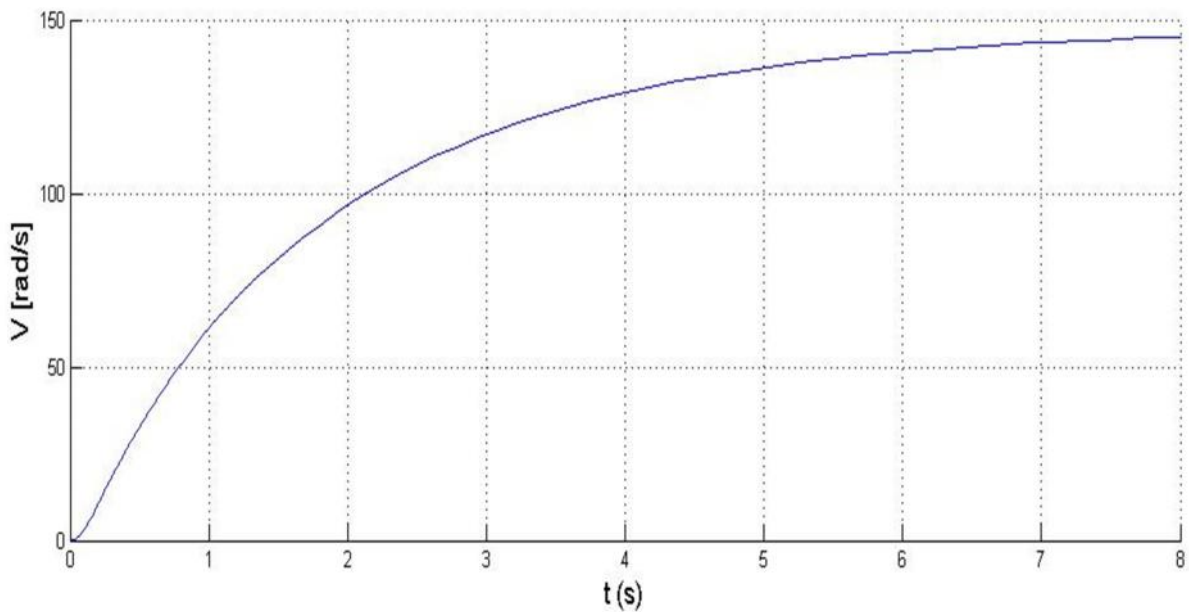


Figure : II.30. La vitesse du moteur à courant continu

II-3-5-2- Interprétation des résultats

La comparaison des deux courbes montre clairement l'inconvénient majeur de la machine à courant continu à excitation shunt, c'est l'emballement, lorsque le moteur démarre à vide. On remarque qu'avec un double temps d'exécution série la vitesse à vide continue leur augmentation c à d tend vers l'infini.

II-3-5-3- Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu

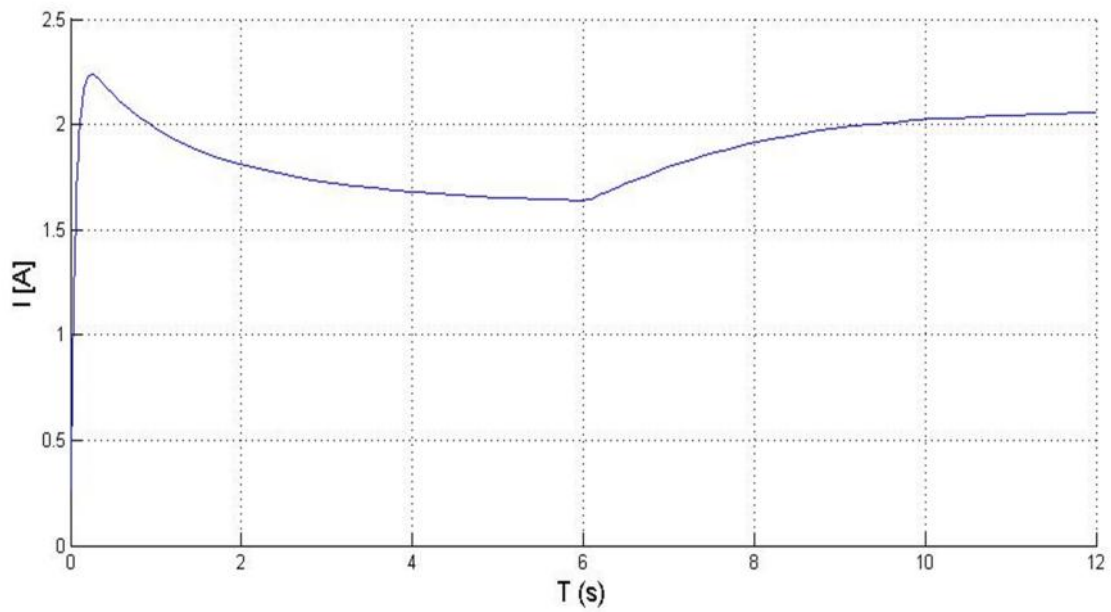


Figure : II.31. Le courant du moteur à courant continu

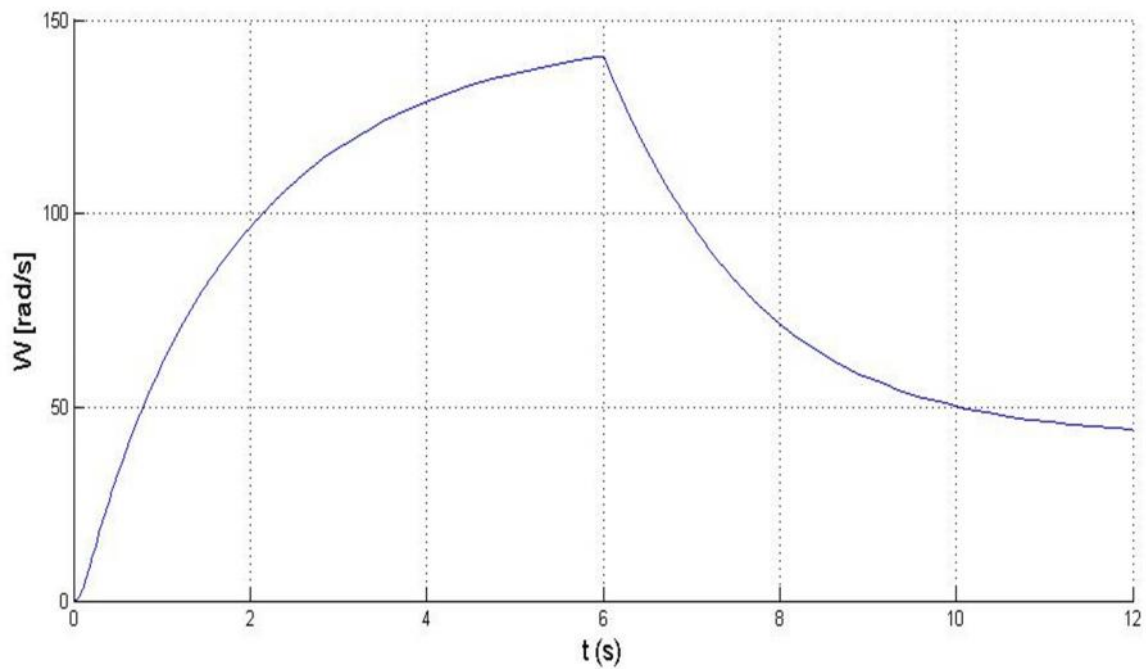


Figure : II.32. La vitesse du moteur à courant continu

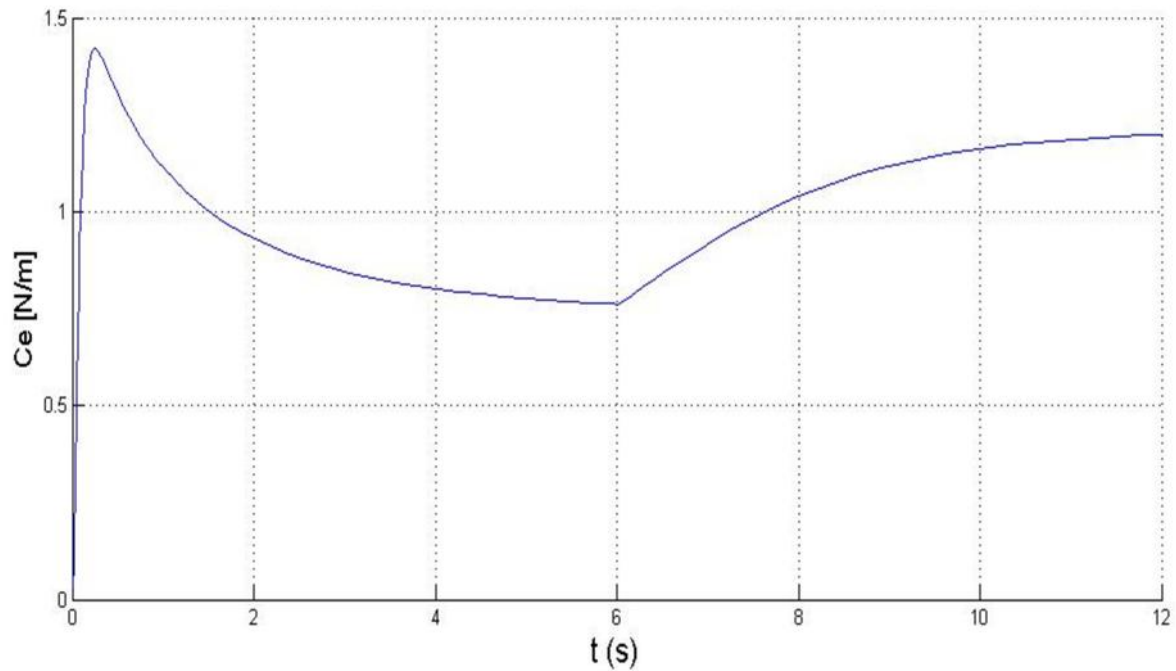


Figure : II.33. Le couple du moteur à courant continu

II-3-5-4- Interprétation des résultats

La figure (32) : au moment de démarrage du moteur la vitesse est augmenté jusqu'à 140 rad/s, dans le cas au on appliqué une charge la vitesses diminue jusqu'à la valeur 45 rad/s .

La figure (33) : **Cr** la valeur du couple résistant c'est 0 dans l'intervalle [0-6]s mais au moment 6s la valeur de cette dernire est 1N.m et alors il est saturé avec le temps.

Ce la valeur du couple électromécanique c'est 1.4N.m alors est diminué graduellement jusqu'à 0.76N.m au le temp de 5s et après ça il est saturé dans l'intervalle [5-6]s , mais au moment de 6s le

Ce augmente jusqu'à 1.2N.m et a l' instant 11s il est saturé.

La figure (31) : au le moment de démarrage de moteur la valeur de courant Ia augmente jusqu'à 2 A puis elle est diminuer graduellement a 1.65A au 5s et après ça il est saturé dans l'intervalle [5-6]s mais au moment 6s à l'ajout d'une charge le courant augmente çjusqu'à 2A et après ça il est saturé.

II-4- Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la modélisation et simulation du fonctionnement de la machine à courant continu.

Les résultats obtenus dans nos simulations, nous montrons des caractéristiques de fonctionnement à vide et en charge qui sont obtenues. Ce qui nous permet de dire que le modèle est assez fiable et suffisamment précis.

L'environnement virtuel qu'est *MATLAB/SIMULINK*, est un bon moyen d'étude du fonctionnement de MCC dans les conditions de fonctionnement voulues. En effet il nous permet de présenter une approche assez réaliste des phénomènes physiques et d'envisager plusieurs cas de fonctionnement du modèle.

Conclusion générale

A travers ce modeste travail nous pouvons dire que la machine à courant continu (MCC) repose sur le phénomène physique de création d'une force électromotrice (f.é.m.) aux extrémités d'un conducteur en mouvement dans un champ d'induction magnétique (par la loi de Faraday). Réciproquement, la circulation d'un courant dans ce conducteur le soumet à une force qui tend à le mettre en mouvement (loi de Laplace). Sur ce fondement physique, une machine élémentaire comprenant une spire placée sur un rotor encadré par deux pôles inducteur permet d'exprimer la loi d'évolution de la f.e.m. en fonction du flux sous les pôles magnétiques et de la vitesse de rotation. Mais la tension créée est alternative, si bien qu'un élément supplémentaire, le collecteur, permet de la redresser pour fournir une grandeur Unidirectionnelle.

Le couple électromagnétique observé sur l'arbre d'une MCC dépend du flux sous un pôle, du courant dans l'induit et des paramètres de construction. L'expression des relations entre les grandeurs électriques et mécaniques conduit à montrer que la MCC est un convertisseur électromagnétique qui peut échanger de manière réversible puissance mécanique et électrique. Cependant, le bilan final des puissances mises en jeu est l'occasion de montrer que ce convertisseur est le siège de différentes pertes électriques que mécaniques.

L'outil informatique Matlab/simulink quant à lui, nous a montré clairement le comportement de la machine durant son fonctionnement moteur dans les deux régimes transitoires et permanent.

Les Références

- [1] **LOUISE** ; « commande des machine à courant continu à vitesse variable » ;Méthode et pratique de l'ingénieur ;3 edition1992 .
 - [2] **ANOUAR HALILA** « ETUDE DES MACHINE A COURANT CONTINU »
Mémoire présenté à la faculté des études supérieures Université Laval Mai 2001.
 - [3] **AZEDDINE BENOUDJIT** :« introduction aux machines électriques machine à courant continu». Presses de l'université de Batna oct 1995.
 - [4] **Théiode WILDI** « ELECTROTECHNIQUE » 3edition ,2002
 - [5] **GUSTAVE MONOD**, « actionneurs machine à courant continu avec balais»,sience de l'ingénieu terminale S année 2002/ 2003 .
 - [6] **Théodore WILDI** Avec la collaboration de Gilbert Sybille. «ÉLECTROTECHNIQUE»3 édition
 - [7] **BOUNAB ALAEDDINE** : «Conception d'une Architecture d'Instrumentation en vue de la Modélisation et de la Surveillance d'un Moteur à Courant Continu » Présenté Pour l'obtention du Diplôme de MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE Mai 2000
 - [8] **CHATELIN.J** : « Machine électrique», traité2, d'électrique d'électronique et d'électrotechnique .tome 1 et Duond,1989.
-