

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences techniques
Filière : génie électrique
Spécialité : contrôle et diagnostic des systèmes électriques

Thème

**MACHINE A COURANT CONTINU ETUDE
ET SIMULATION**

Proposé & dérigé par :
GUEDIRI.Abd Elkarim

Présenté par :
HENKA Hamza
BAKER Adel

2010-2011

Sommaire

- i. Dédicaces
 - ii. Remerciement
 - iii. Liste des Notations
 - v. Liste des Figures
 - vii. Résumé
- Introduction générale

Chapitre I

Généralité Sur La Machine à Courant Continu

Généralité Sur La Machine à Courant Continu 1

Modélisation et simulation du moteur à courant continu

Généralité Sur La Machine à Courant Continu 1

Conclusion générale

Références

Dédicace

Nous consacrons CE MODESTE TRAVAIL A :
Nos chers parents

Nos sœurs et nos frères

Toute nos familles

Tous nos amis

*Tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour
être un jour licencié d'électrotechnique*

Remerciements

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

Nous tenons à remercier notre promoteur

M^{er} GÜEDIRI.AbdElkarim d'avoir accepté 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 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 aidés à réaliser ce modeste travail.

Notations

$U :$	Tension aux bornes de la machine V.
$E' :$	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.
$h_t :$	Chute de tension totale dans la machine V.
$h_m :$	Chute due à la réaction magnétique d'induit
$G :$	Générateur
$M :$	Moteur à courant continu
$E'_v :$	f.e.m à vide
$E_v :$	f.c.e.m à vide
$E'_{ch} :$	f.e.m en charge
$E_{ch} :$	f.c.e.m en charge
$k' :$	Est appelée constante interne de la machine
Ω ou $w :$	Vitesse de rotation (rad/s)
$\Phi :$	Flux par pôle (tesla)
$U_a :$	Tension de l'induit
$R_a :$	Résistance de l'induit
$L_a :$	Inductance de l'induit h.
$P :$	Nombre de paire de pôles
$a :$	Nombre de paire de voies en parallèles
$n :$	Nombre total des conducteurs actifs
$C_e :$	Couple électromagnétique (N.m)
$C_r :$	Couple résistant
$C_m :$	Couple mécanique
$U_e :$	Tension d'excitation
$R_e :$	Résistance de l'inducteur

L_e :	Inductance de l'inducteur
I_e :	Courant d'excitation
n_e :	Nombre total de spires des pôles de l'inducteur
J :	Moment d'inertie kgm^2
f :	Coefficient de frottement visqueux
R_{ht} :	Rhéostat de démarrage
R_{ex} :	Résistance d'excitation
I_M :	Courant de moteur
$I_{dém}$:	Courant de démarrage
$C_{dém}$:	Couple de démarrage
p :	Opérateur de Laplace
C_f :	Couple de frottement
K :	Constant
R :	Résistance
L :	Inductance

Liste des Figures

Figure I-1	<i>La construction de la machine à courant continu</i>	3
Figure I-2	<i>Machine à courant continu à 2 pôles et 18 encoches</i>	3
Figure I-3	<i>Loi de Laplace</i>	5
Figure I-4	<i>Schémas équivalents de la machine à courant continu.</i>	6
Figure I-5	<i>Schéma équivalent du Moteur shunt.</i>	8
Figure I-6	<i>Schéma équivalent du Moteur série.</i>	9
Figure I-7	<i>Moteur composé à courte dérivation</i>	10
Figure I-8	<i>moteur composée à longue dérivation</i>	10
Figure I-9	<i>Moteur à courant continu à excitation séparée</i>	10
Figure I-10	<i>Point de fonctionnement d'un groupe moteur-charge.</i>	12
Figure I-11	<i>Le bilan de puissance du moteur à courant continu</i>	12
Figure I-12	<i>Arbre des puissances pour un fonctionnement en génératrice</i>	12
Figure II-1	<i>Schéma bloc de la MCC à excitation séparée.</i>	16
Figure II-2	<i>Le vitesse du MCC excitation séparée.</i>	16
Figure II-3	<i>La couple du MCC excitation séparée.</i>	17
Figure II-4	<i>Le courant du MCC excitation séparée.</i>	17
Figure II-5	<i>La vitesse du MCC excitation séparée.</i>	18
Figure II-6	<i>Le couple du MCC excitation séparée.</i>	18
Figure II-7	<i>Le courant du MCC excitation séparée.</i>	19
Figure II-8	<i>La vitesse du MCC excitation séparée.</i>	19
Figure II-9	<i>Le couple du MCC excitation séparée.</i>	20
Figure II-10	<i>Le courant du MCC excitation séparée.</i>	20
Figure II-11	<i>schéma bloc de la machine à courant continu shunt.</i>	23
Figure II-12	<i>La vitesse du moteur a CC shunt</i>	23
Figure II-13	<i>Le couple du moteur a CC shunt</i>	24
Figure II-14	<i>Le courant du MCC shunt</i>	24

Figure II-15	<i>La vitesse du MCC shunt</i>	24
Figure II-16	<i>Le couple du MCC shunt</i>	25
Figure II-17	<i>Le courant du MCC shunt</i>	25
Figure II-18	<i>Schéma bloc du moteur série</i>	27
Figure II-19	<i>Le vitesse du MCC série</i>	27
Figure II-20	<i>Le couple du MCC série</i>	28
Figure II-21	<i>La courant du MCC série</i>	28
Figure II-22	<i>Schéma du MCC à excitation composée</i>	29
Figure II-23	<i>Schéma block du MCC à excitation composée</i>	30
Figure II-24	<i>vitesse de rotation</i>	31
Figure II-25	<i>couple moteur composé</i>	31
Figure II-26	<i>courant partie série</i>	31
Figure II-27	<i>courant partie shunt</i>	31
Figure II-28	<i>vitesse de rotation</i>	31
Figure II-29	<i>Le couple de moteur</i>	31
Figure II-30	<i>courant partie série</i>	32
Figure II-31	<i>courant partie shunt</i>	32

Introduction générale

Le monde industrielle a été dominé pendant longtemps par les machines à courant continu. Grâce à leurs avantages relatives qu'elles présentent par rapport à d'autres types de machines (machines à courant alternatif), elles sont largement employées dans plusieurs domaines de l'industrie.

Le présent mémoire est composé d'une introduction, Des deux chapitres et une conclusion, et répartie comme suit :

Le premier chapitre c'est l'étude théorique de la machine à courant continu. Il constitue un rappel des généralités sur ces machines, on donnant la structure, le phénomène d'induction les différents types selon quelques critères (la puissance, le mode d'excitation).

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

Chapitre I

Chapitre un

Généralités sur la machine

à courant continu

I-1-Introduction

Le premier moteur à courant continu a été réalisé en 1836. Cette technologie a été beaucoup utilisée depuis pour toutes les applications à vitesse variable, en particulier pour les véhicules électriques comme pour les machines-outils. Ils sont fabriqués dans une très large plage de puissance, de $\sim 0,1$ W à ~ 4 MW.

Les machines à courant continu sont très utilisées dans nos jours, notamment dans les applications de faible puissance utilisant des batteries (moteur de jouet) ou encore pour la traction électrique, et très utilisées comme moteur à vitesse variable dans une gamme de puissance allant de quelques milliwatts à plusieurs mégawatts.

Ce chapitre représente des généralités sur la machine à courant continu. Il traite exactement la structure de ses machine, le phénomène d'induction .

I-2 -Structure de la machine a courant continu

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

★ 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].

★ 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 inversement, de l'énergie électrique en énergie mécanique (moteur électrique),[2].

L'inducteur et l'induit sont séparés l'une à l'autre par un entrefer, [2] .

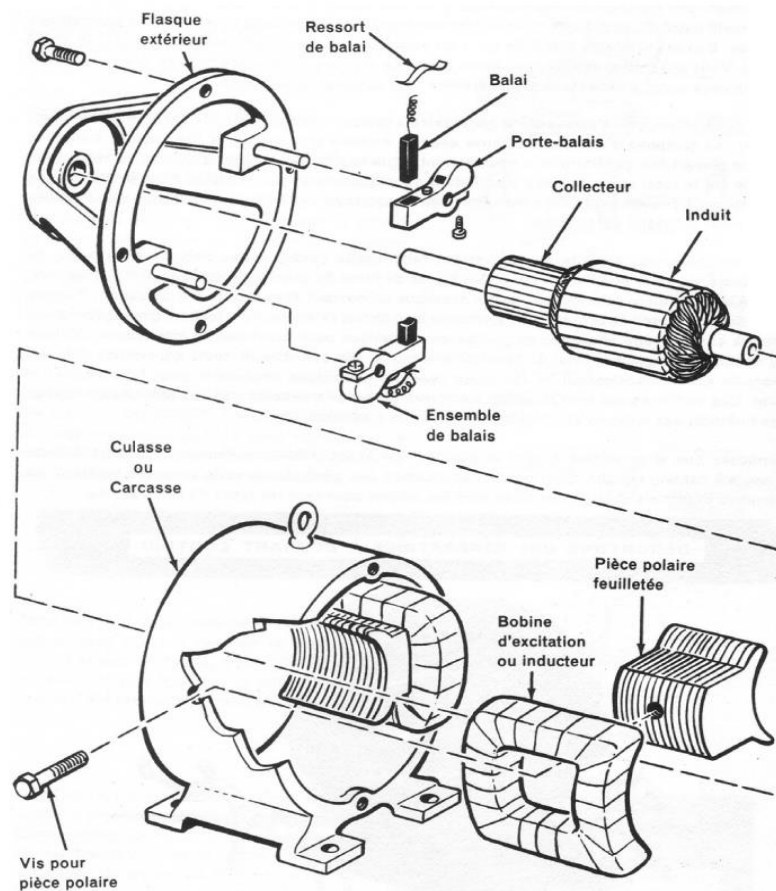


Figure I-1 La construction de la machine à courant continu

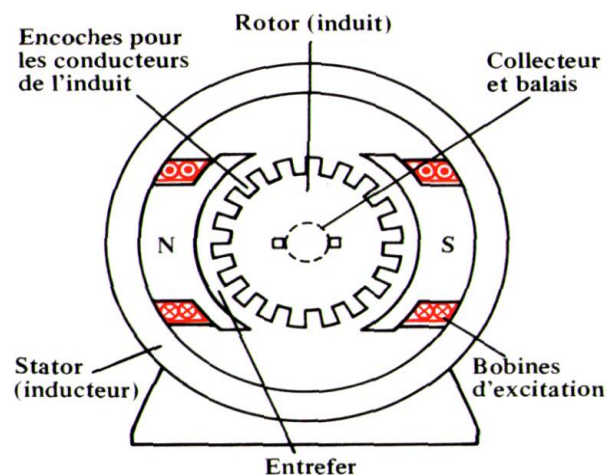


Figure I-2. Machine à courant continu à 2 pôles et 18 encoches.

I-2-1-La construction d'inducteur

L'inducteur comprend

I-2-1-1-Les pôles principaux

Destinés à créer 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 la 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 montage 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 de tôles empilées, montées directement sur l'arbre par insertion chaude, soit assemblées par queue d'aronde pour des grandes machines. Les encoches fermées par des bords 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 émail. 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), [3].

I-2-2-4-balais

* Faite 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].

I-3- Phénomène d'induction

I-3-1- 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, [3]. C'est phénomène de base à prendre en compte dans une conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, [2].

$$F = B \cdot I \cdot L$$

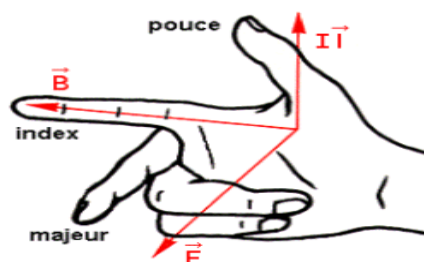


Figure I-3 Loi de Laplace

I-3-2- 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-4- Conversion d'énergie électromécanique

Un appareil de conversion d'énergie électromécanique crée un lien entre un système électrique et un système mécanique.

Lorsqu'un système mécanique fournit de l'énergie à un système électrique à travers cet appareil, ce dernier est une génératrice.

Lorsqu'un système électrique fournit de l'énergie à un système mécanique à travers cet appareil, ce dernier est un moteur.

Ce processus est réversible .Toutefois, la part d'énergie convertie en chaleur est perdue, ce qui irréversible. Une machine électrique peut être conçue pour fonctionner en génératrice ou en moteur. La conversion électromécanique dépend la relation entre les éléments suivants:

- ↳ les champs électriques et magnétiques.
- ↳ les forces mécaniques et mouvement.

Dans les machines tournantes, la puissance est générée par le mouvement relatif des bobines.

Dans une génératrice, E et I circulent dans le même sens

Dans un moteur, E et I circulent direction opposée

Dans une génératrice, la puissance est fournie par le générateur de force motrice. L'énergie électrique est produite per l'action de la génératrice, et de la puissance résulte générée en raison de friction est perdue. En revanche, dans le cas d'un moteur, la puissance est fournie par les entrées d'alimentation électrique et une légère perte se produit au niveau de la puissance mécanique résulte générée en raison de friction, [4] .

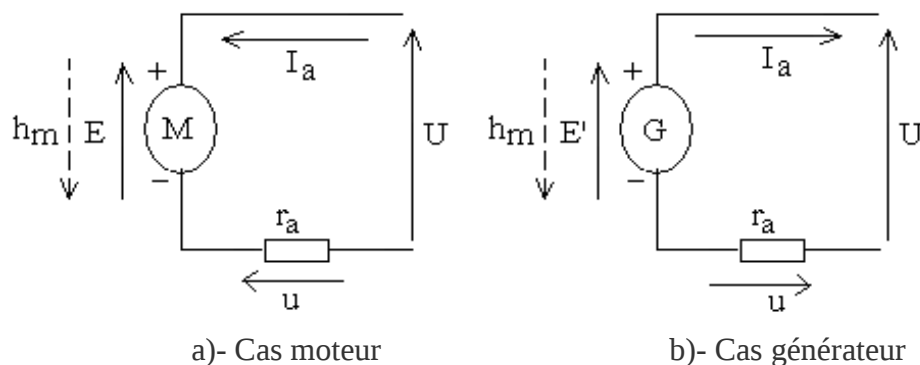


Figure I-4 Schémas équivalents de la machine à courant continu.

- Dans le cas où la machine est compensée $h_m \neq 0$.

On aura :

$$\text{Cas moteur} \quad U = E + r_a \cdot I_a \quad (I.1)$$

$$\text{Cas générateur} \quad U = E' - r_a \cdot I_a \quad (I.2)$$

- Dans le cas général, lorsque la machine est non compensée $h_m \neq 0$.

On aura :

$$\text{Cas moteur} \quad U = E_v + (r_a \cdot I_a - h_m) \quad (I.3)$$

$$\text{Cas générateur} \quad U = E_v' - (r_a \cdot I_a + h_m) \quad (I.4)$$

$$\text{On définit alors : } h_t = u \pm h_m \quad (I.5)$$

$$\text{En effet : } h_m = E_v - E_{ch} = k \cdot \Omega \cdot \Delta \phi \quad (I.6)$$

$\Delta \Phi$: qui doit être faible lorsque la machine est munie d'enroulements de compensation. [3]

I-5-Caractéristique usuelles d'un moteur à courant continu

- 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 de 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 Ω .
- Autrefois on envisageait surtout l'alimentation de la machine sous une tension « constante » U_{nom} fournie par un réseau continu, [4].
- Pour chaque type d'excitation « série, shunt ou compound », on rencontre trois catégories de caractéristiques
 - 1) Les caractéristiques électriques à tension constante et charge variable.
 - 2) Les caractéristiques électriques à tension et charge variables.

Les caractéristiques mécaniques qui sont les plus importantes car elles montrent l'évolution du couple en fonction de la vitesse pour un fonctionnement donné, [3].

I-6-Les différent types de moteur a courant continu

On distingue plusieurs types des moteur à courant continu.

I-6-1-Moteur shunt

L'enroulement d'inducteur et en parallèle à l'enroulement d'induit comme le montre la figure suivante.

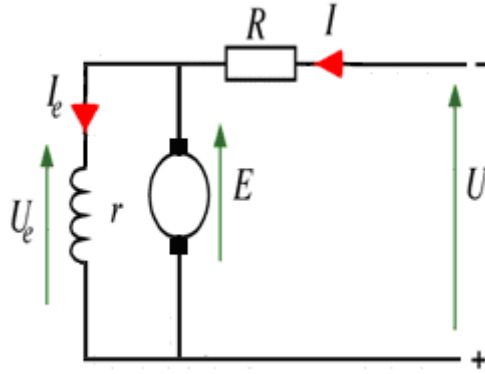


Figure I-5 Schéma équivalent du Moteur shunt.

Démarrage de moteur shunt

Si la pleine tension est appliquée à un moteur au repos, l'appel de courant est énorme. On risque alors de faire sauter les fusibles, de brûler l'induit et d'endommager le collecteur. Pour tout moteur shunt à courant continu, il faut donc prendre des précautions appropriées pour limiter le courant de démarrage à une valeur raisonnable, de l'ordre de 1.5 à 2 fois le courant nominal.

Alors pour la phase de démarrage des moteurs on doit prendre les précautions suivantes :

- Soit introduire une résistance variable ou rhéostat de démarrage en série avec l'induit, afin de réduire le courant dans ce dernier au moment du démarrage.
- Soit à l'aide d'un variateur de tension c'est-à-dire qu'on doit augmenter progressivement la tension jusqu'à ce que la machine développe une f.c.e.m suffisante E .
- Aujourd'hui, on utilise plutôt des circuits électriques pour limiter le courant de démarrage et pour régler la vitesse. [6]

I-6-2-Moteur série

La construction d'un moteur série est identique à celle d'un moteur shunt, sauf en ce qui concerne l'inducteur. L'inducteur est connecté en série avec l'induit. [6]

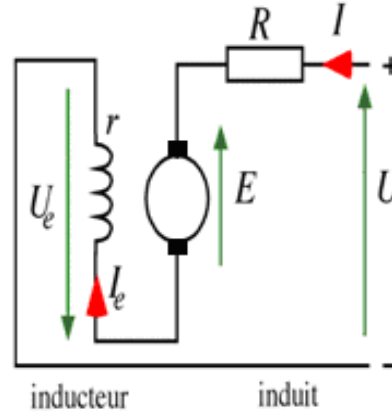


Figure I-6 Schéma équivalent du Moteur série.

Comme le nom de ce moteur l'indique, l'enroulement de champ est connecté en série avec l'enroulement d'induit dans ce type de moteur. Un courant de forte intensité circule. On a donc recours à un enroulement de champ de calibre supérieur.

Ce type de moteur est utilisé lorsque la régulation de vitesse n'est pas importante. Le principal avantage de ce moteur est que l'on peut obtenir un couple élevé, ce qui est utile pour les applications comme les locomotives Diesel ou les grues. Il est important de démarrer ce moteur sous charge, si non le moteur et les pièces environnantes peuvent être endommagés, [4].

Très bon couple de démarrage, puisque le courant est le flux sont important au démarrage, par contre le réglage de la vitesse pose problème, elle varie avec la charge.

Ce type de moteur est très utilisé en traction, [3].

I-6-3-Moteur à excitation composée

Si l'on associe un moteur série et un moteur en dérivation, on obtient un moteur à excitation composée ou moteur compound. Ce dernier présente les caractéristiques avantageuses des deux moteurs : le couple élevé d'un moteur série et la régulation de vitesse d'un moteur en dérivation, [4]. Ces types de moteurs sont plus coûteux. Par rapport aux types de moteurs précédents, [3].

Il existe deux types de moteurs composés, les moteurs composés à courte dérivation et à longue dérivation. Ils sont représentés comme suit :

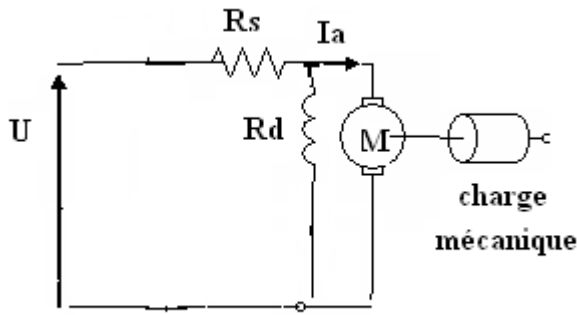


Figure I-7 Moteur composé à courte dérivation

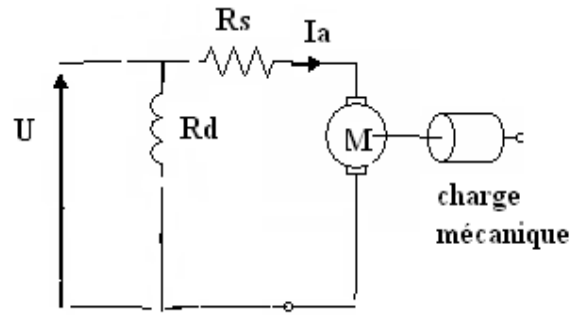


Figure I-8 moteur composée à longue dérivation

I-6-4-Moteur à excitation séparée

L'enroulement de champ est connecté en parallèle avec l'enroulement d'induit à l'aide d'une excitation séparée.

Le couple est proportionnel au courant d'induit. Dans un moteur en dérivation à excitation séparée, il est possible de faire varier la vitesse jusqu'à une certaine limite en modifiant la tension d'induit. Après le shuntage des inducteurs, il est possible d'augmenter la vitesse du moteur au delà de la vitesse normale. Les autres caractéristiques sont identiques à celles d'une machine à auto excitation.[7]p :24,25. Ils ont l'avantage d'avoir une vitesse relativement stable et réglable par la tension d'induit mais nécessaire une alimentation continue ou redressée pour l'inducteur.

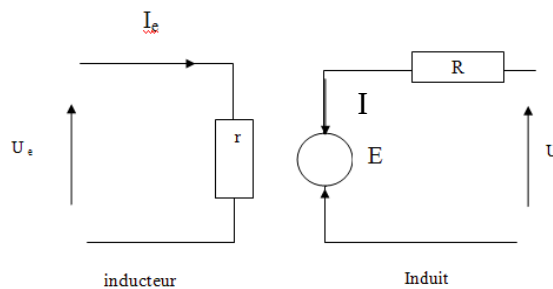


Figure I-9 Moteur à courant continu à excitation séparée

I-6-5-Moteur à aimant permanent

Dans un moteur shunt le champ magnétique est produit par un courant d'excitation circulant dans les bobines excitatrices. L'énergie dépensée, la chaleur dégagée et l'espace relativement important occupé par ces bobines constituent parfois inconvénients du moteur à courant continu conventionnel. On peut éviter ces inconvénients en remplaçant les bobines par

des aimants permanents. Il en résulte un moteur plus petit et qui ne risque pas de s'emballer à cause d'une défaillance du champ. [6]

I-6-6-Caractéristiques de moteur à aimant permanent

- Les moteurs à aimant permanent sont particulièrement utiles dans la gamme des puissances inférieures à 5 kw.
- Les aimants utilisés sont en ferrite.
- Le coût relativement élevé des aimants, et l'impossibilité d'augmenter la vitesse du moteur en réduisant le champ magnétique. [6]

I-7-Les avantages et les inconvénients du MCC

- Le moteur à courant continu reste intéressant dès que la source d'énergie prévue est batterie d'accumulateurs, ou bien entendu, un réseau continu. En effet, avec ce moteur, le réglage de la vitesse est facile. [8]
- Le moteur courant continu présente toutes les qualités de fonctionner à vitesse constante ou variable dans le cas où il est alimenté par un échelon de tension ou à travers un convertisseur continu-continu (hacheur). [5]
- 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 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.

I-8- Point de fonctionnement

Lorsqu'un moteur entraîne une charge mécanique, le groupe moteur-charge accélère si le couple utile du moteur est supérieur au couple résistant de la charge, ralenti si le couple utile du moteur est inférieur au couple résistant de la charge. Par contre, si le moment du couple utile est égal au moment du couple de charge, il y a équilibre mécanique et l'ensemble tourne à vitesse constante.

Pour résoudre le problème de l'équilibre mécanique, il suffit de tracer la caractéristique du moteur et celle de la charge sur le même graphique. Le point d'intersection des deux caractéristiques s'appelle point de fonctionnement, ses coordonnées permettent de déterminer la vitesse de rotation et le moment du couple utile du moteur.

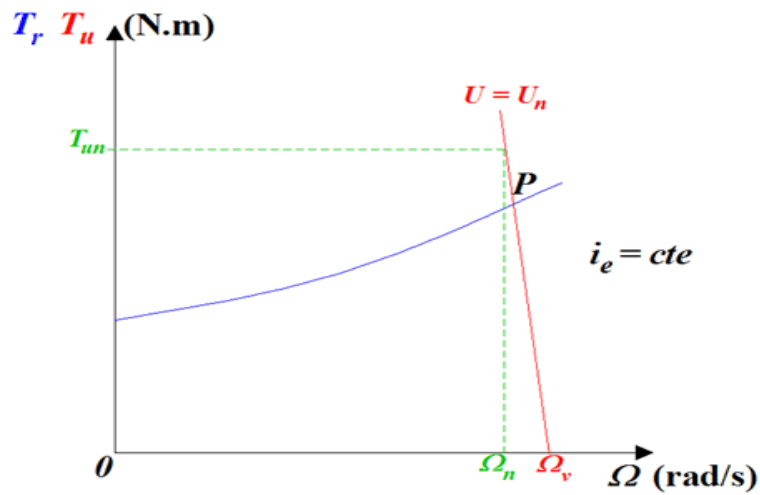


Figure I-10 Point de fonctionnement d'un groupe moteur-charge.

I-9-Le bilan de puissance du moteur à courant continu

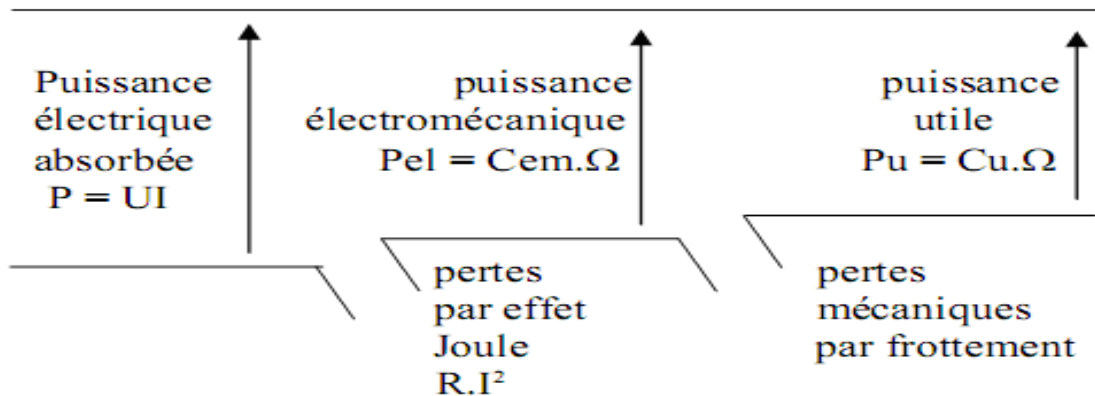


Figure I-11 Le bilan de puissance du moteur à courant continu

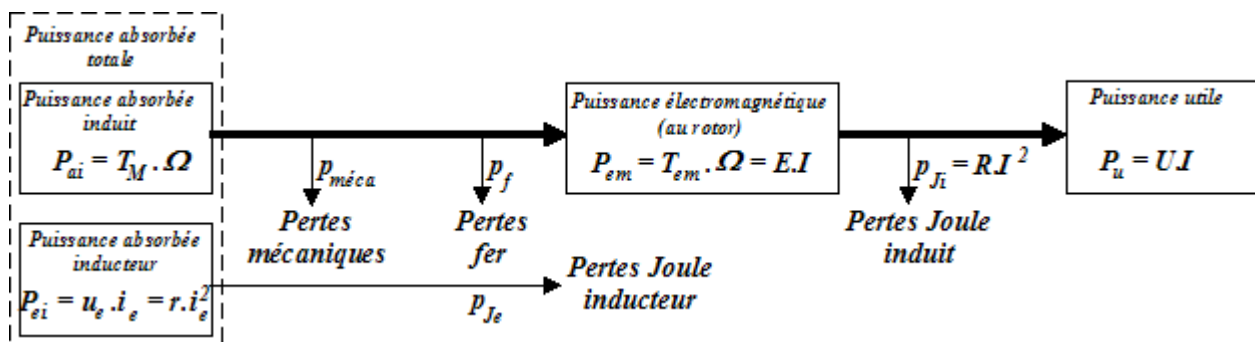


Figure I-12 Arbre des puissances pour un fonctionnement en génératrice à excitation indépendante

I-10-Conclusion

Aujourd'hui malgré la prépondérance de ces applications des machines à courant alternatif notamment dans les systèmes de traction, les machines à courant continu occupe toujours une place de choix en raison de ses caractéristiques unique.

Dans ce chapitre, on a étudié la machine à courant continu sous forme générale (l'étude de la structure de ses machine, la conversion d'énergie électromécanique).

Dans le chapitre suivant on va faire modélisation et simulation usuelles des machines à courant continu.

Chapitre II

Chapitre deux

Modélisation et simulation du moteur à courant continu

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.

Dans ce chapitre, 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 et moteur série et composée). 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-Simulation du moteur a courant continu a excitation sépare

II-2-1-Fonction de transfert de la machine à courant continu

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

$$U_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (\text{II.1})$$

Après la transformation de Laplace

$$U_a(p) = E(p) + (R_a + L_a \cdot p) \cdot I_a(p) \quad (\text{II.2})$$

$$I_a(p) = \frac{U_a(p) - E(p)}{R_a + L_a \cdot p} \quad (\text{II.3})$$

L'équation de tension de l'inducteur est

$$U_e = R_e \cdot I_e + L_e \cdot \frac{dI_e}{dt} \quad (\text{II.4})$$

Le couple électromagnétique est donné par

$$C_e = k' \cdot \phi \cdot I_a \quad (\text{II.5})$$

Le couple de frottement visqueux est exprimé par

$$C_f = f \cdot \omega \quad (\text{II.6})$$

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

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + f \cdot \omega = C_e - C_r \quad (\text{II.7})$$

Après la transformation de Laplace:

$$C_e(p) - C_r(p) = J \cdot p \cdot \omega(p) \quad (\text{II.8})$$

$$\omega(p) = \frac{C_e(p) - C_r(p)}{J \cdot p + f} \quad (\text{II.9})$$

Et d'autre part:

$$C_e = k' \cdot \phi \cdot I_a = k \cdot I_a \quad (\text{II.10})$$

$$E = k' \cdot \phi \cdot \omega = k \cdot \omega \quad (\text{II.11})$$

$$k' = k \cdot \omega$$

II-2-2-Le schéma bloc du moteur

A partir des transformations de LAPLACE d'équation électrique et mécanique on obtient le schéma bloc suivant :

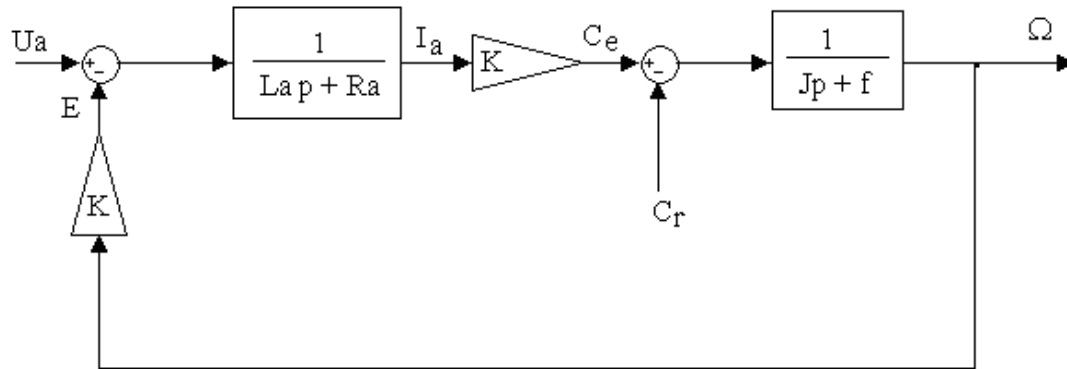


Figure II-1 Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée.

II-2-3-Les paramètres du moteur

$U=220\text{V}$, $L_a=0.0063\text{H}$, $K=1.71$, $J=0.0236$, $f=0.015\text{HZ}$, $C_r = 20\text{Nm}$

II-2-4-Les résultats de simulation

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

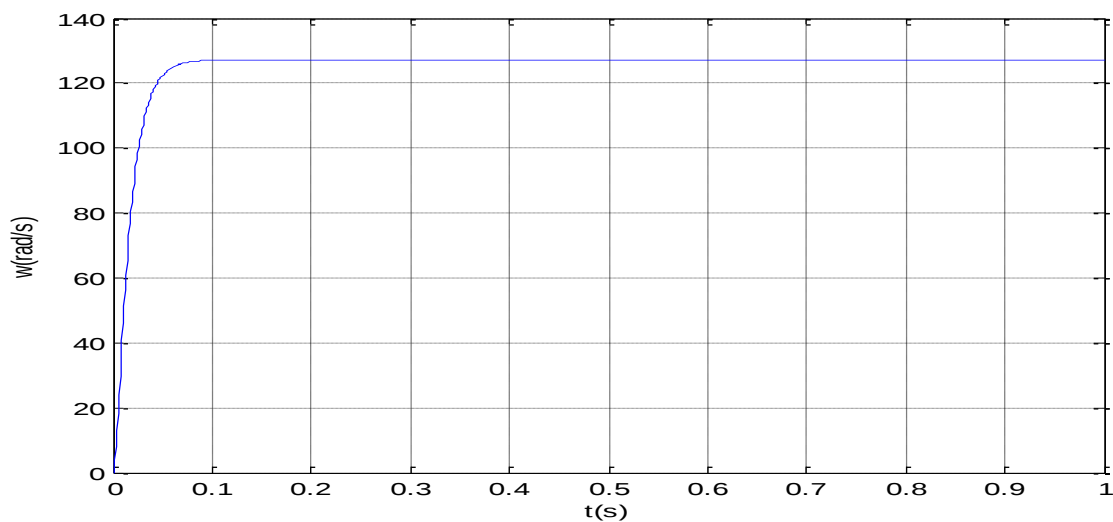


Figure II-2 La vitesse du MCC excitation séparée.

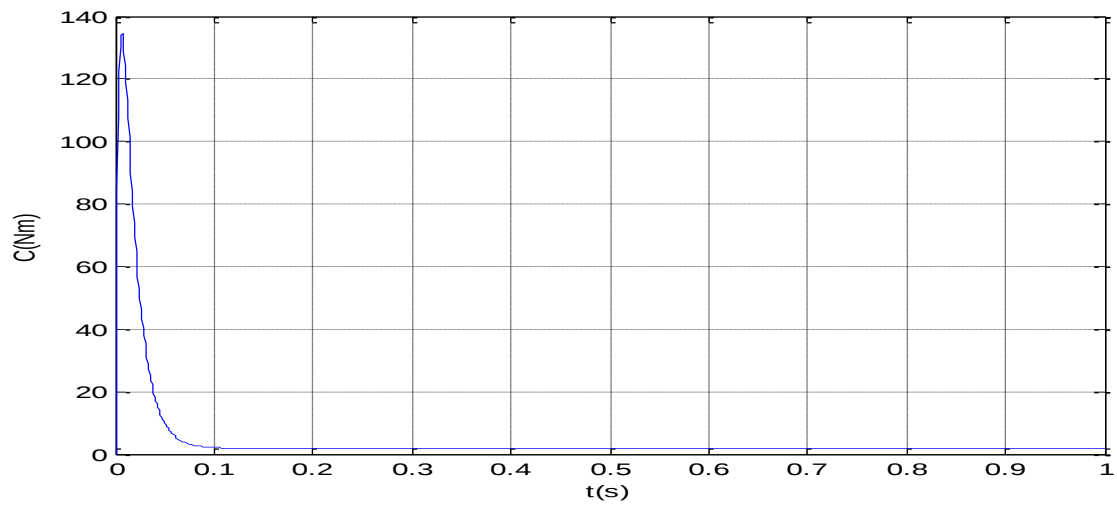


Figure II-3 Le couple du MCC excitation séparée

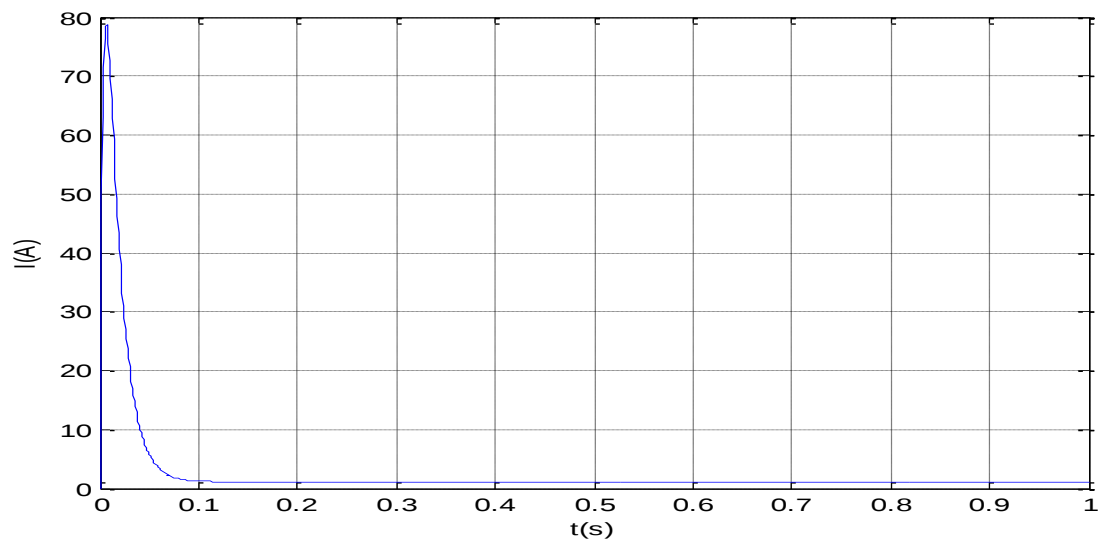
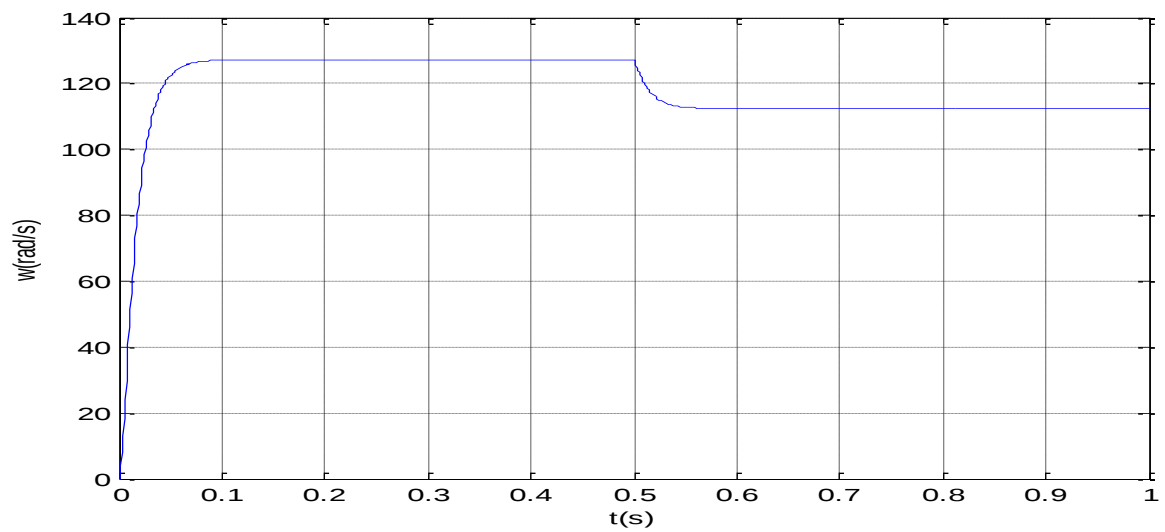
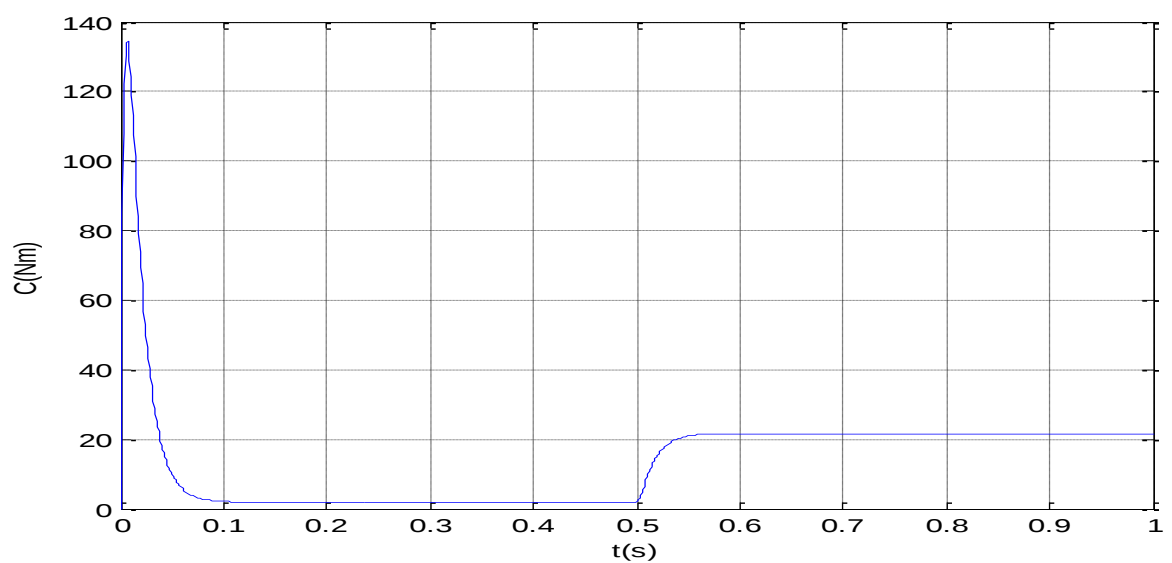


Figure II-4 Le courant du MCC excitation séparée

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

*Figure II-5 La vitesse du MCC excitation séparée.**Figure II-6 Le couple du MCC excitation séparée.*

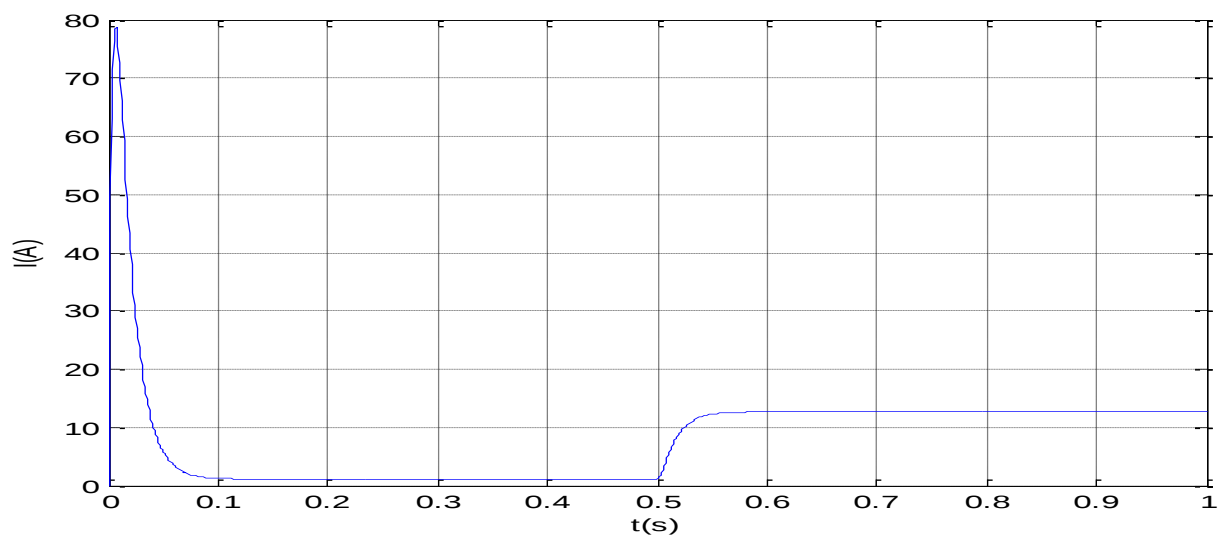


Figure II-7 Le courant du MCC excitation séparée.

II-2-4-3-Avec un changement de sens de rotation

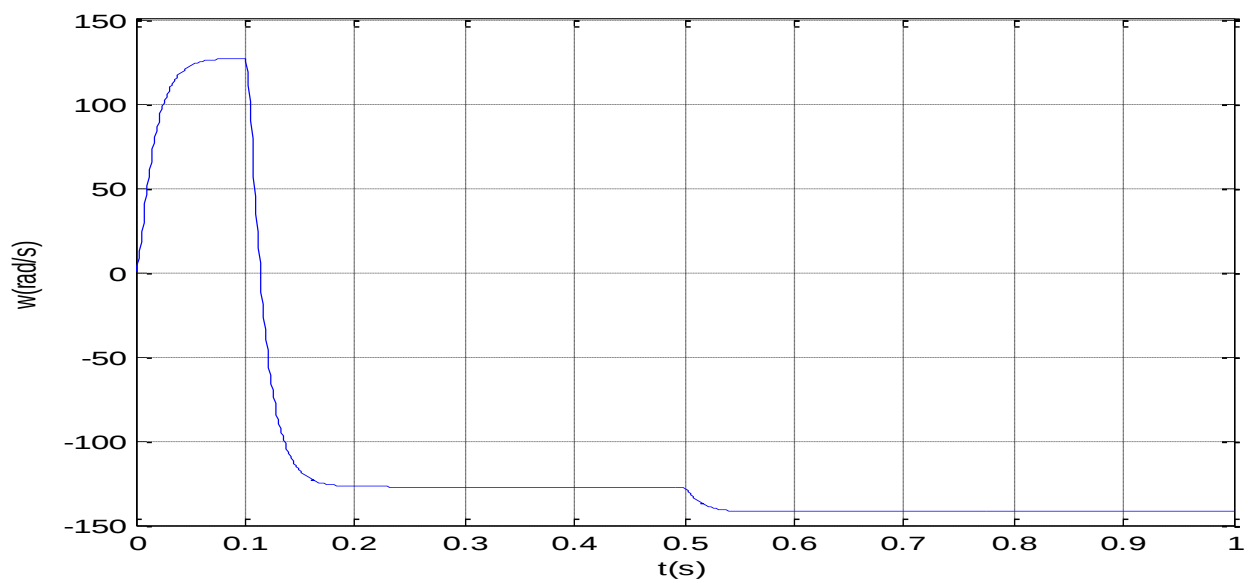


Figure II-8 La vitesse du MCC excitation séparée.

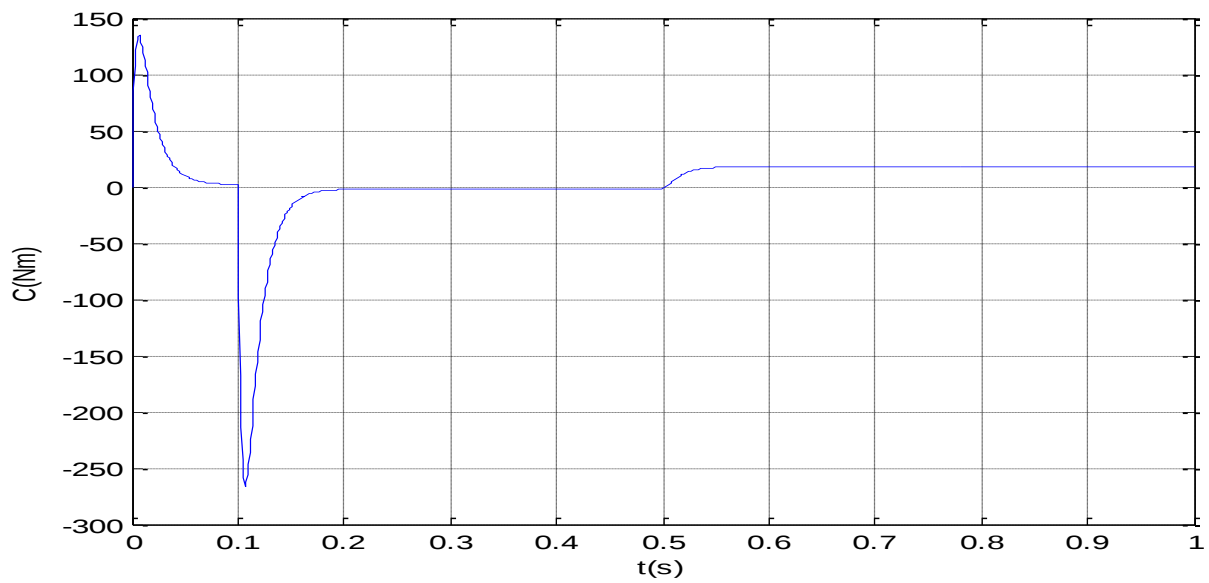


Figure II-9 Le couple du MCC excitation séparée.

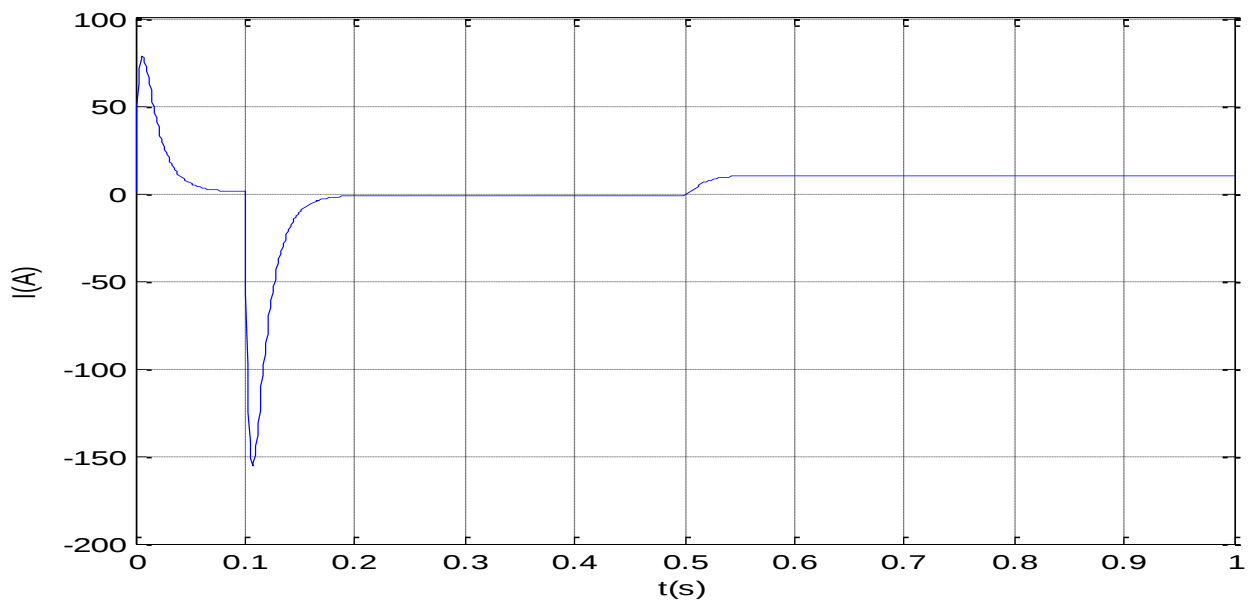


Figure II-10 Le courant du MCC excitation séparée.

II-2-5-Interprétation

II-2-5-1-À vide

c'est-à-dire le couple résistant est nul.

Les figures (II.2), (II.3) et (II.4) montrent qu'il y a un fort appel du courant pendant l puis il revient à zéro. $I_m = 79A$ démarrage atteint jusqu'à

La forme du couple qui dépend du courant pendant le démarrage, sa valeur atteinte puis elle revient à zéro (couple à vide), jusqu'à ($C_{\max} = 135 \text{ N.m}$)

La vitesse angulaire augmente d'une façon presque linéaire puis se stabilise à ($w = 127 \text{ rad/s}$) qui correspond à la vitesse de la marche à vide idéal.

II-2-5-2-En charge

$$(C_r = 20 \text{ Nm})$$

Les figures [(II.5), (II.6) et (II.7)] met en évidence les conséquences d'un comportement d'un moteur entraînant une charge .On peut remarquer sur la caractéristique du moteur à courant continu, une demande du courant d'induit atteint à $12A$.

Par contre la vitesse charge de valeur en régime permanent ($w = 127 \text{ rad/s}$) .

La valeur ($k.\Phi$) reste constante, ce qui explique la diminution de la vitesse en charge. Pour le couple électromagnétique il prend le même comportement que le courant.

II-3-Simulation du moteur à courant continu à excitation shunt

II-3-1-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:

$$U_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (\text{II.12})$$

$$I_a = I - I_{exc} \quad (\text{II.13})$$

Après la transformation de LAPLACE :

$$U_a(p) = E(p) + (R_a + L_a \cdot p) \cdot I_a(p) \quad (\text{II.14})$$

$$I_a(p) = \frac{U_a(p) - E(p)}{R_a + L_a \cdot p} \quad (\text{II.15})$$

$$I_a(p) = I(p) - I_{exc}(p) \quad (\text{II.16})$$

L'équation de tension de l'inducteur est

$$U_a = U_e = R_e \cdot I_e + L_e \cdot \frac{dI_e}{dt} \quad (\text{II.17})$$

Le couple électromagnétique est donné par

$$C_e = k' \cdot \phi \cdot I_a \quad (\text{II.18})$$

Le couple de frottement visqueux est exprimé par

$$C_f = f \cdot \omega \quad (\text{II.19})$$

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

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + f \cdot \omega = C_e - C_r \quad (\text{II.20})$$

Après la transformation de Laplace:

$$C_e(p) - C_r(p) = J \cdot p \cdot \omega(p) \quad (\text{II.21})$$

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

Et d'autre part:

$$C_e = k' \cdot \phi \cdot I_a = k \cdot I_a \quad (\text{II.23})$$

$$E = k' \cdot \phi \cdot \omega = k \cdot \omega \quad (\text{II.24})$$

$$k' = k \cdot \omega \quad (\text{II.25})$$

II-3-2-Le schéma bloc du moteur

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

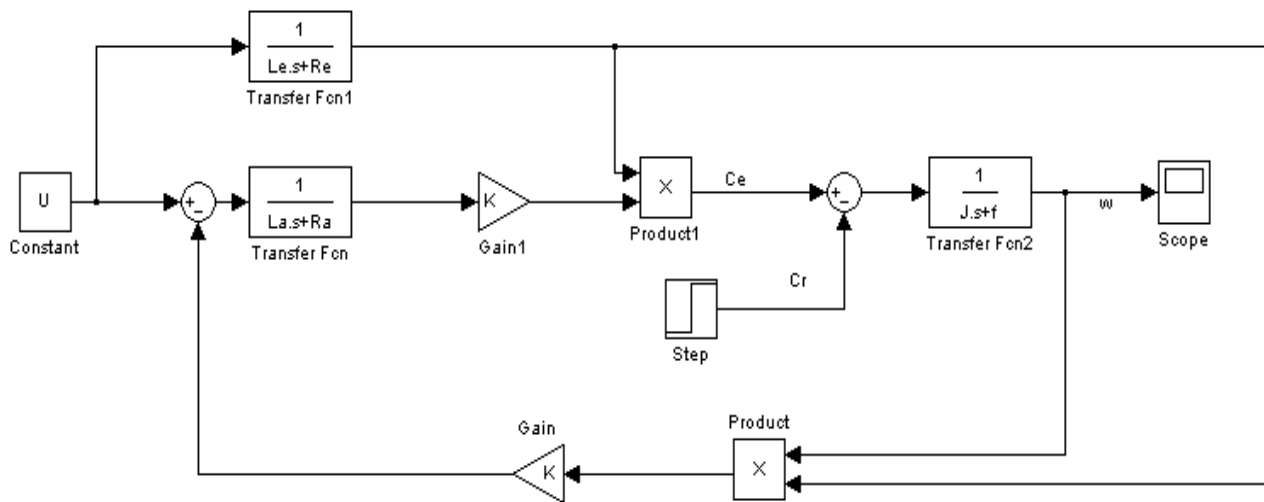


Figure II-11 Le schéma bloc de la machine à courant continu shunt.

II-3-3-Les paramètres du moteur

Les mêmes paramètres du moteur à courant continu séparé avec :

$$R_{exc} = 10\Omega, L_{exc} = 0.04H$$

II-3-4-Les résultats de simulation moteur shunt

II-3-4-1- Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu

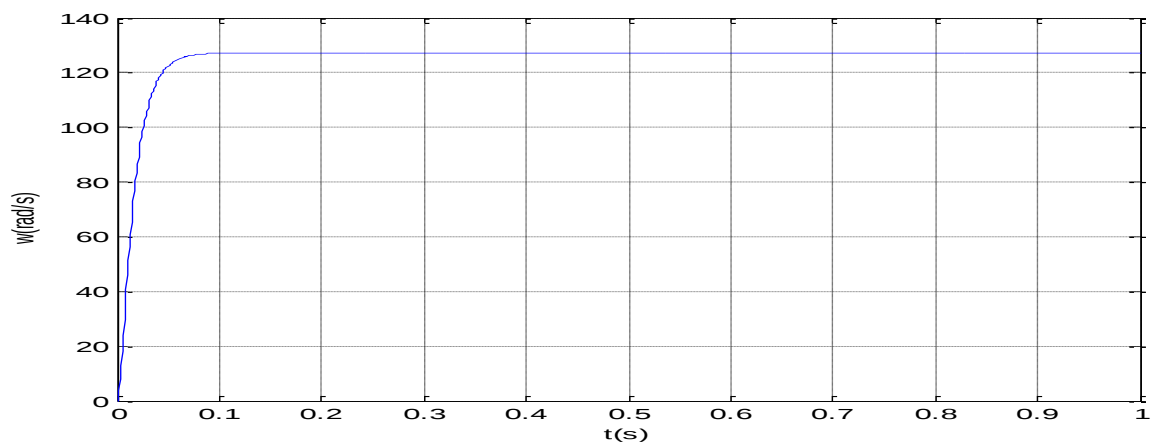


Figure II-12 La vitesse du moteur shunt

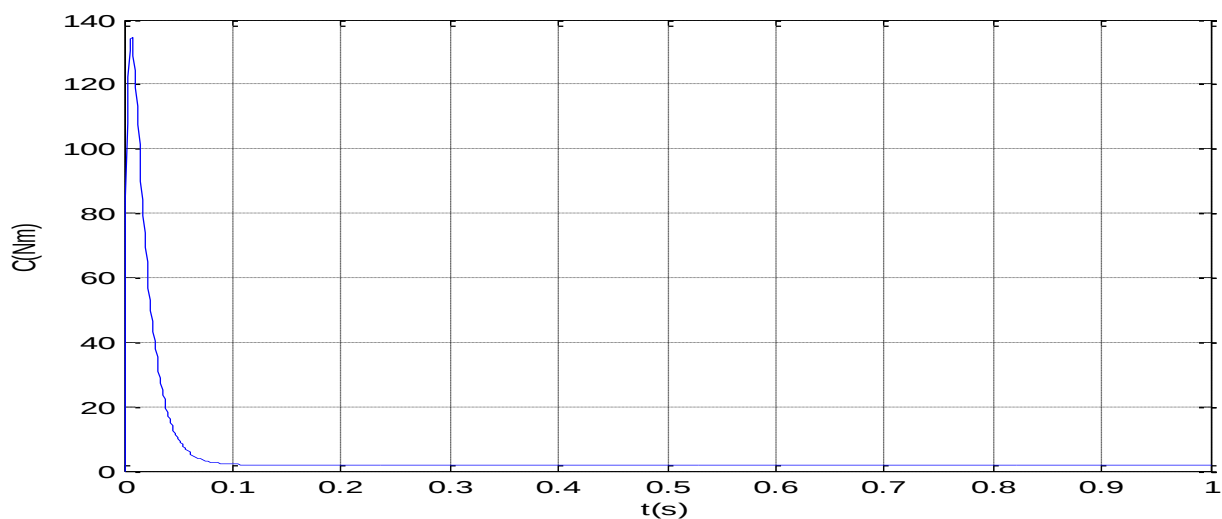


Figure II-13 Le couple du moteur shunt

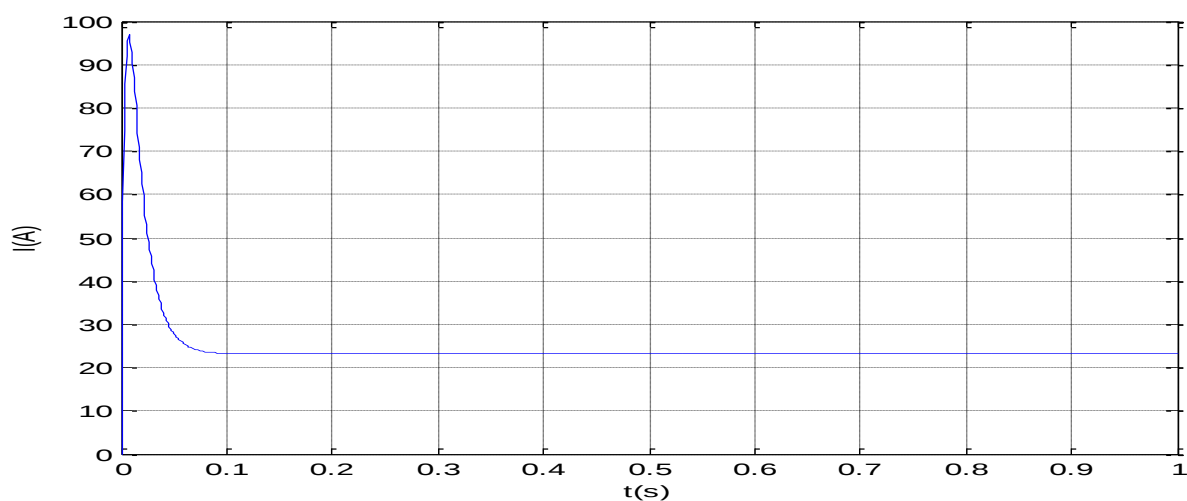


Figure II-14 Le courant du MCC shunt

II-3-4-2-Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu shunt

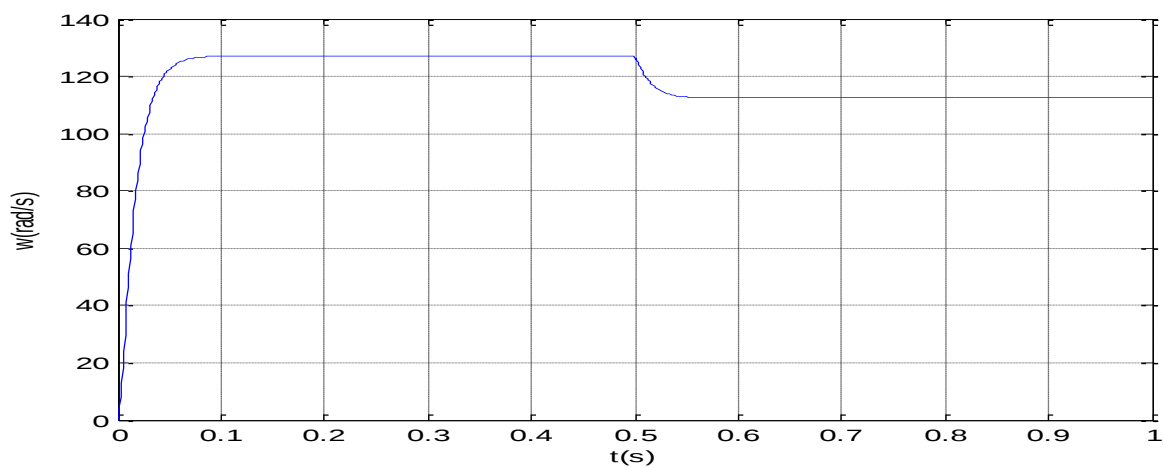


Figure II-15 La vitesse du MCC shunt

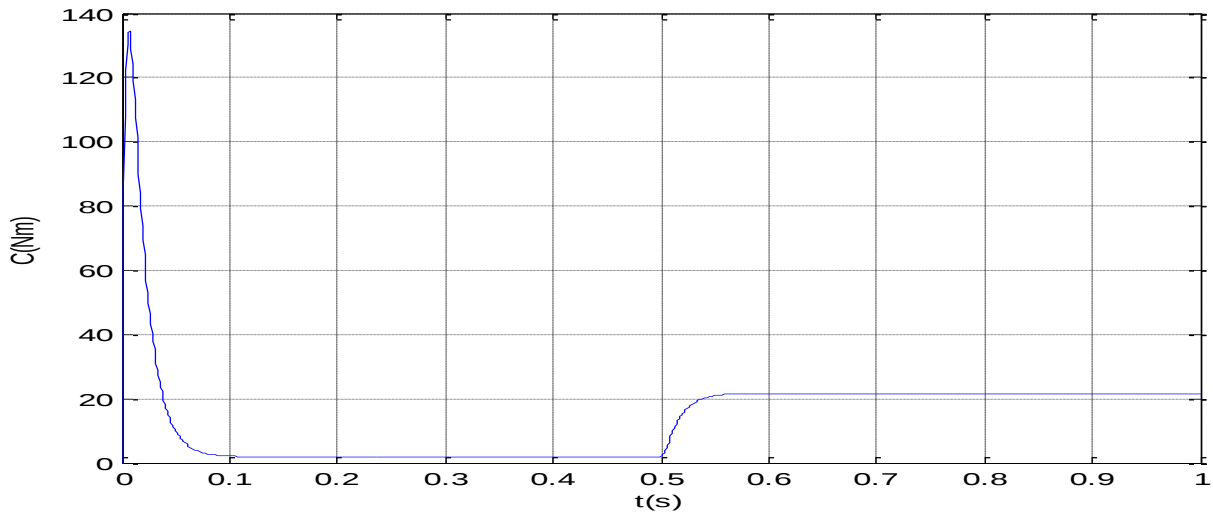


Figure II-16 Le couple du MCC shunt

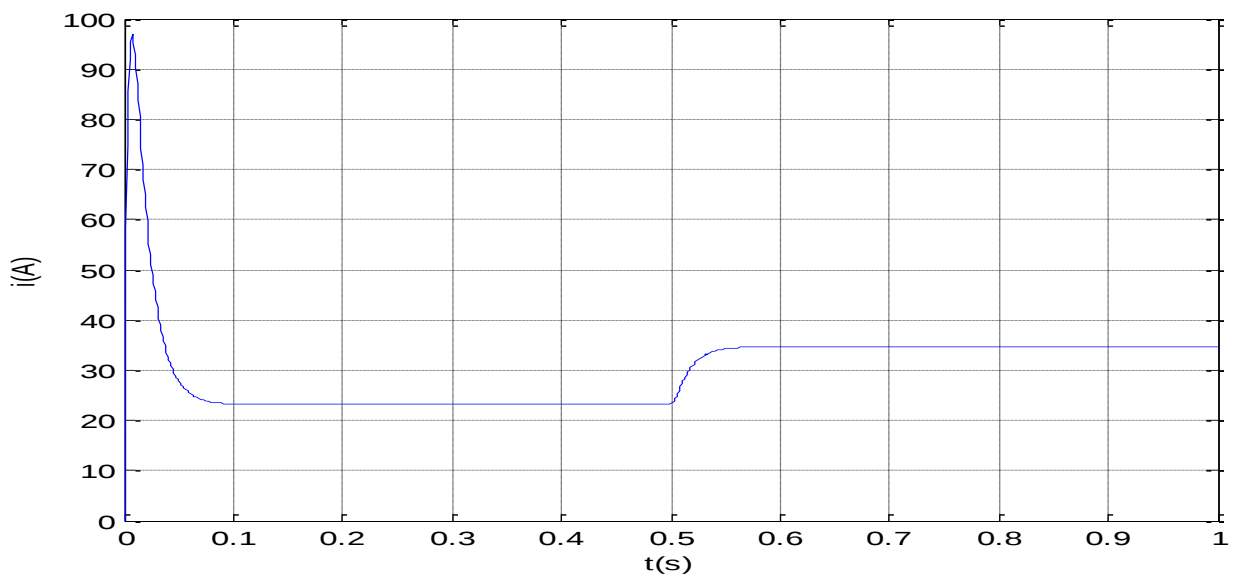


Figure II-17 Le courant du MCC shunt

II-3-5-Interprétation

Pour un moteur à courant continu à excitation shunt , on obtient les mêmes résultats de simulation mais avec une seule variation qui est reliée à le courant de la charge .

II -3-5-1-A vide :

le figure (II.13) montre qu'il y a un fort appel du courant pendant le démarrage atteint jusqu'à $I_m=97A$ puis il revient zéro.

II -3-5-2-En charge :

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

II-4-Moteur série

La construction d'un moteur série est identique à celle d'un moteur shunt, sauf en ce qui concerne l'inducteur. L'inducteur est connecté en série avec l'induit.

II-4-1-Equations électriques

$$\begin{aligned} U_s &= R_s I_q + L_s \frac{dI_q}{dt} \\ U_a &= R_a I_q + L_a \frac{dI_q}{dt} + \omega_r M_{sd} I_q \end{aligned} \quad (II.26)$$

$$C_e = M_{sd} I_q^2$$

$$I_s = I_q \quad (II.27)$$

$$U = U_s + U_a \quad (II.28)$$

On remplace les deux équations du système (II.26) dans (II.28) on obtient :

$$(L_s + L_a) \frac{dI_q}{dt} = U - (R_s + R_a) I_q - \omega_r M_{sd} I_q \quad (II.29)$$

II-4-2-Equations mécaniques

$$J \frac{d\omega}{dt} = C_e - C_r \quad (II.30)$$

$$\Rightarrow \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{sd} I_q}{J} - \frac{Cr}{J} \quad (II.31)$$

II-4-3-Schéma bloc du moteur série

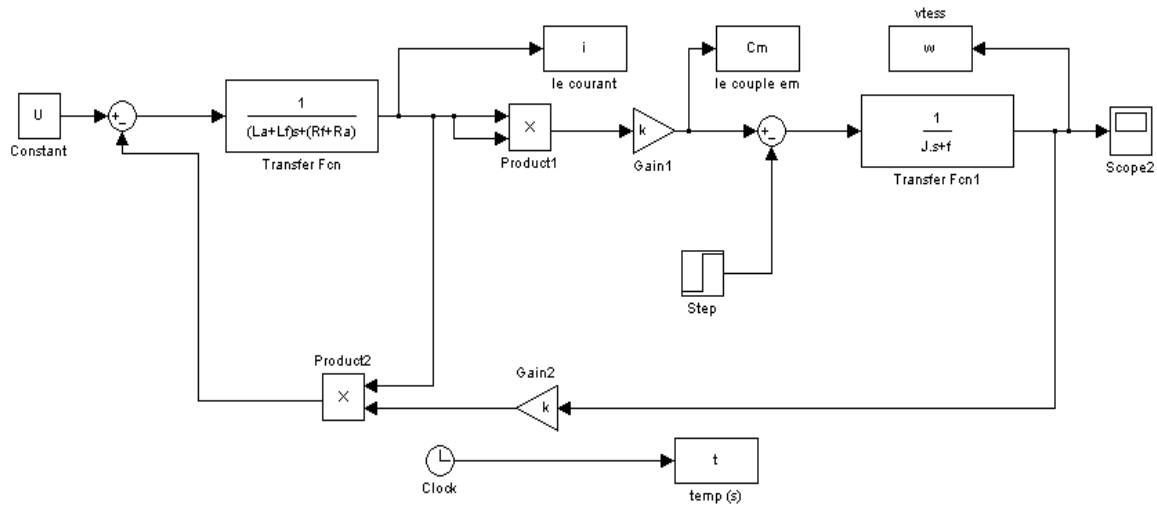


Figure II-18 Le courant du MCC série

Les mêmes paramètres du moteur à courant continu séparé et série avec :

$$L_f = 0.868 \text{ H} \quad R_f = 1.158 \Omega$$

II-4-4-Résultats de simulation MCC série

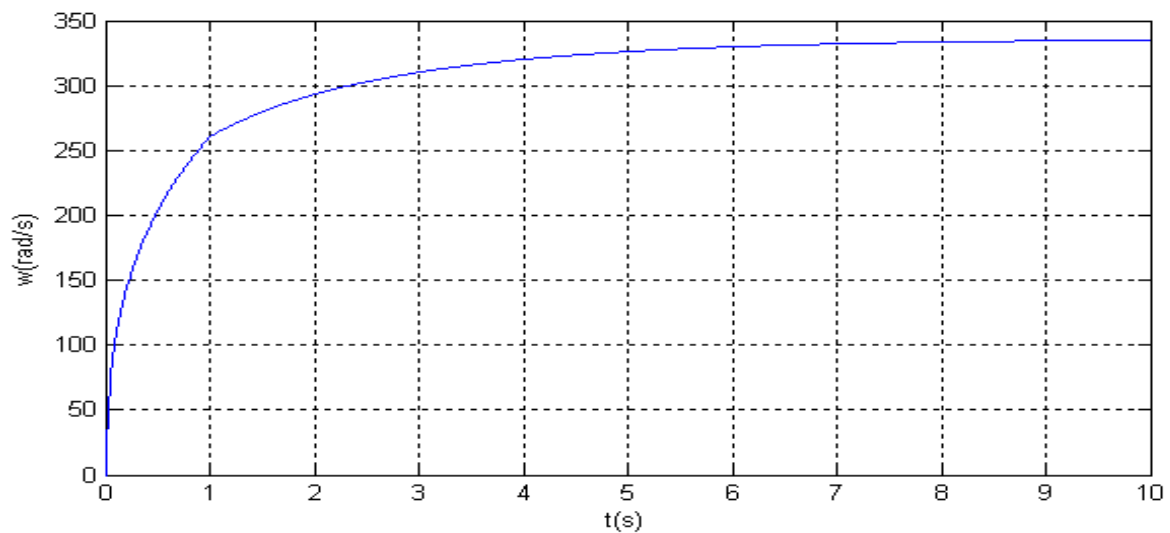


Figure II-19 La vitesse du MCC série

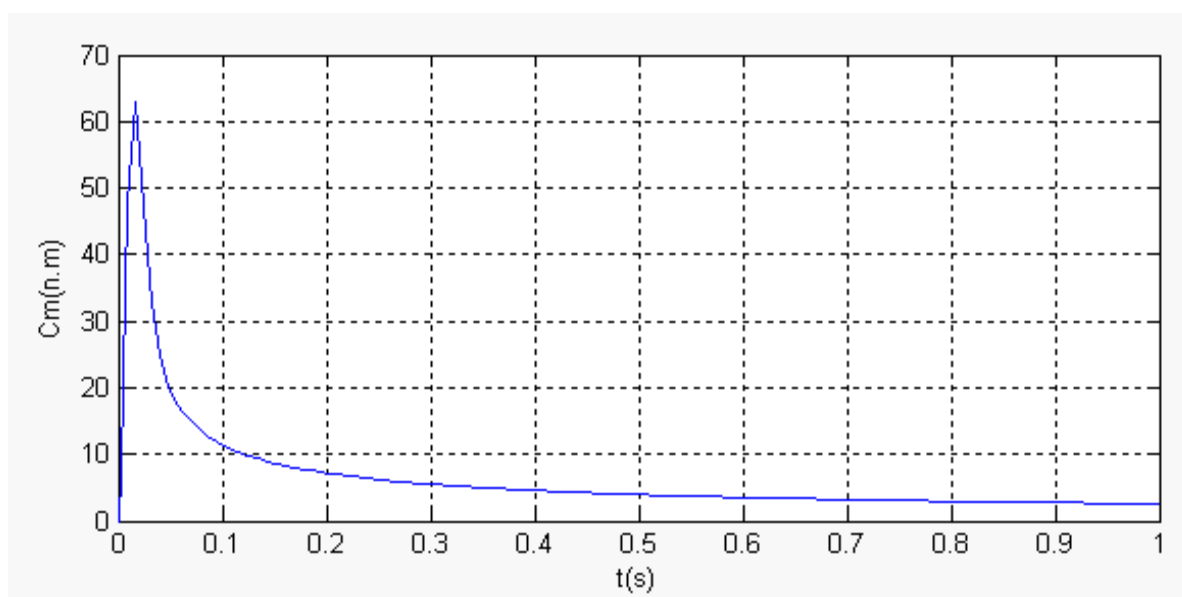


Figure II-20 Le couple du MCC série

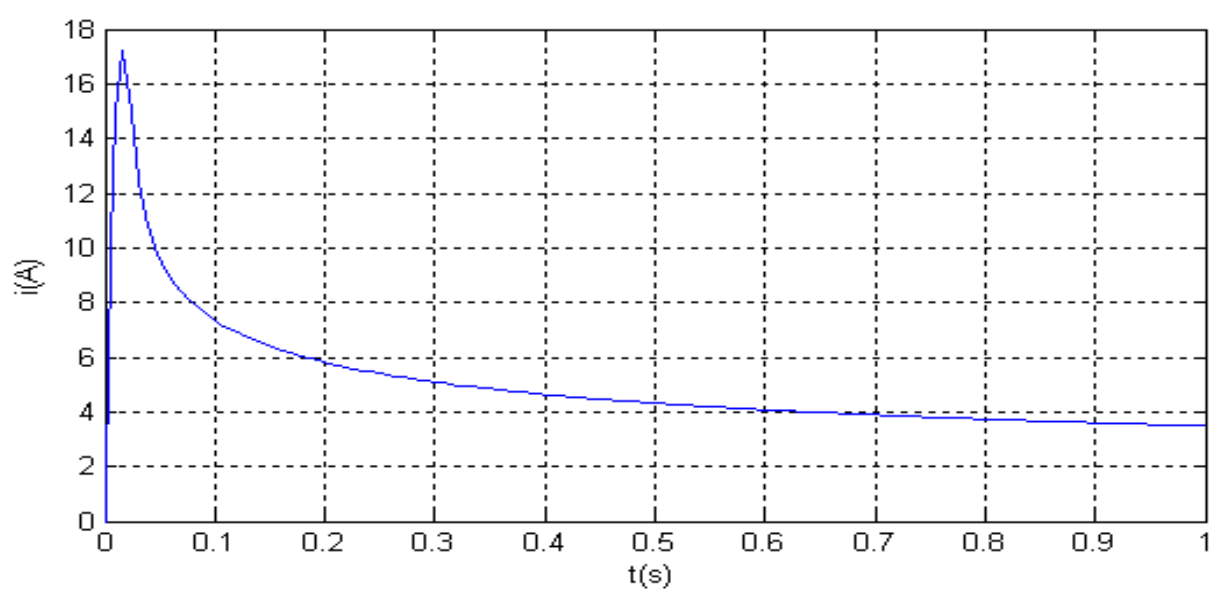


Figure II-19 Le courant du MCC série

II-4-5-Interprétation

Les figures (II.19), (II.20) et (II.21) montrent qu'il y a un fort appel du courant pendant l puis il revient zéro. $I_m = 19A$ démarrage atteint jusqu'à

La forme du couple qui dépend du courant pendant le démarrage, sa valeur atteinte puis elle revient à zéro (couple à vide), jusqu'à ($C_{max} = 165 \text{ N.m}$)

La vitesse angulaire augmente d'une façon presque linéaire puis se stabilise à ($w = 340 \text{ rad/s}$) qui correspond à la vitesse de la marche à vide idéal.

II-5-Excitation Composée

L'excitation composée est le jumelage des deux excitations composée et série, et sa représentation sur le système d'axes « d, q » est la suivante,[7].

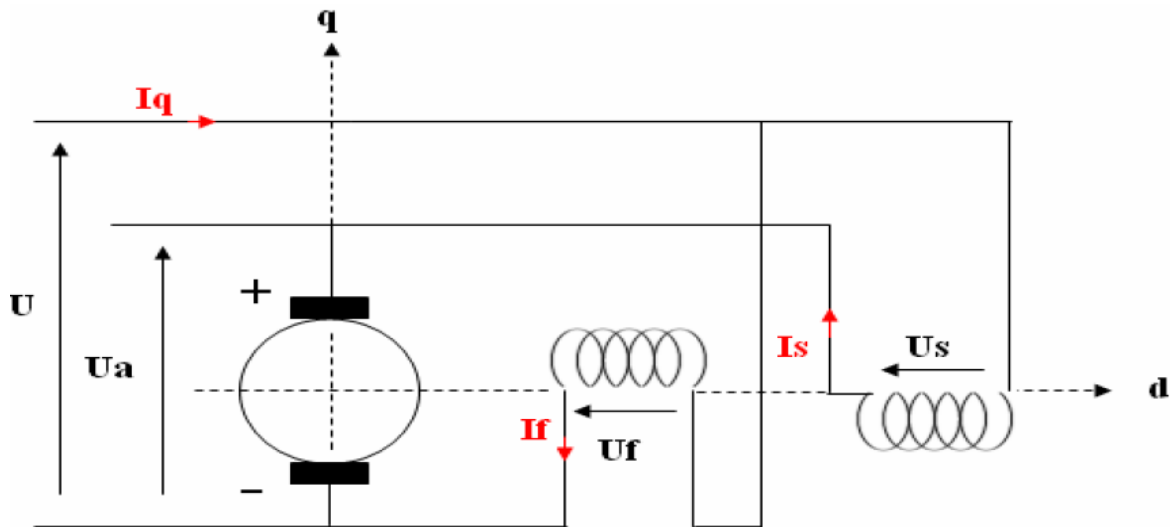


Figure II-22 Schéma du MCC à excitation composée

Du schéma de la figure précédente, on remarque que le courant est le même qui traverse la partie série et l'inducteur mais la tension est la somme des deux et est égale à celle de la partie parallèle, ce qui nous conduit à écrire :

$$\begin{cases} U = U_a + U_s \\ U = U_f \\ I_q = I_s \end{cases} \quad (\text{II.32})$$

II-5-1-Equations Electriques

$$\begin{cases} U_s = R_s * I_s + L_s * \frac{dI_s}{dt} + M_{fs} * \frac{dI_f}{dt} \\ U_a = (R_a + \omega_r * M_{sd}) * I_q + L_a * \frac{dI_q}{dt} + \omega_r * M_{fd} * I_f \\ U_f = R_f * I_f + L_f * \frac{dI_f}{dt} + M_{fs} * \frac{dI_q}{dt} \end{cases} \quad (\text{II.33})$$

A partir des systèmes d'équation (II.32) et (II.33), on peut écrire :

$$\begin{cases} U = (R_a + R_s + \omega_r * M_{sd}) * I_q + (L_a + L_s) * \frac{dI_q}{dt} + M_{fs} * \frac{dI_f}{dt} + \omega_r * M_{fd} * I_f \\ Ce = M_{fd} * I_f * I_q + M_{sd} * I_q^2 \end{cases} \quad (\text{II.34})$$

II-5-2 Equations mécaniques

$$J * \frac{d\omega_r}{dt} = Ce - Cr \quad (\text{II.35})$$

On remplace ce par son équation, on obtient :

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{M_{fd} * I_f * I_q + M_{sd} * I_q^2}{J} - \frac{Cr}{J} \quad (\text{II.36})$$

II-5-3-Schéma bloc moteur excitation composée

A partir des équations électriques et mécaniques qui décrivent le moteur à courant continu à excitation composée, on a construit le schéma bloc suivant :

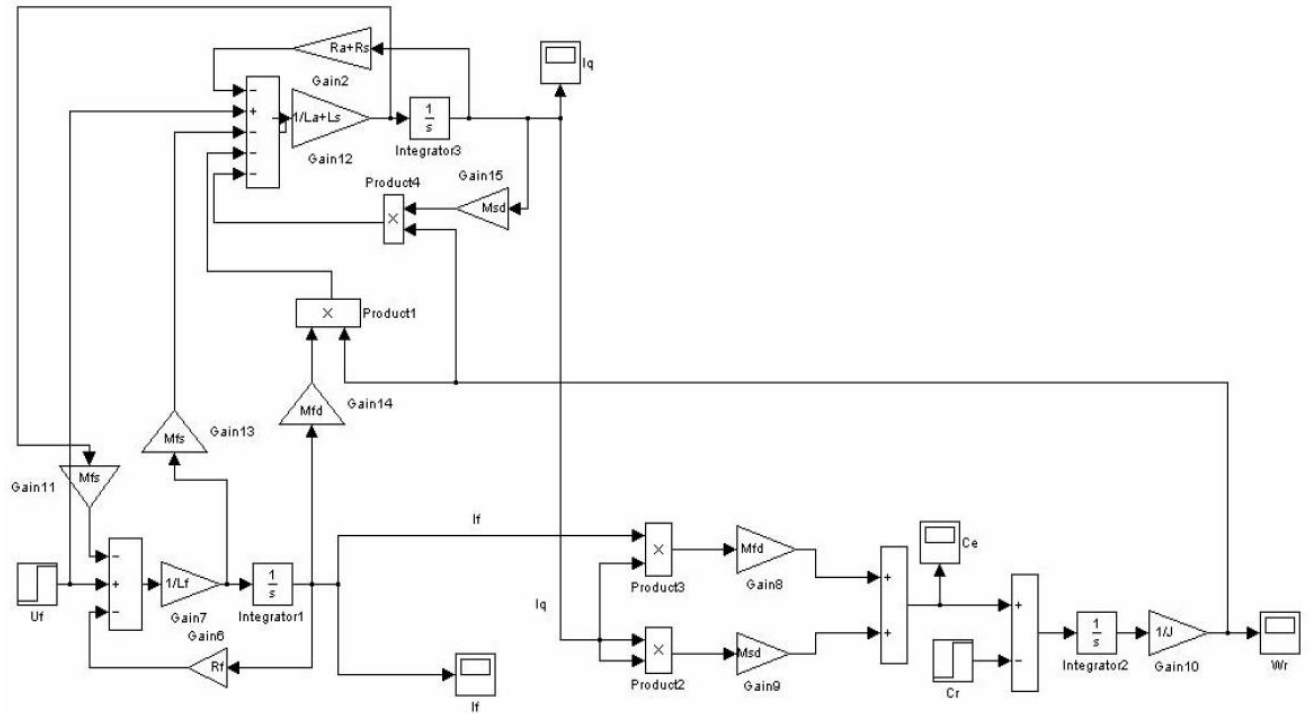


Figure II-23 Schéma block du MCC à excitation composée

II-5-4-Les paramètres du moteur

$L_s=0.0868$; $L_a=0.198$; $L_f=55.366$;
 $M_{sd}=0.2125$; $J=0.0398$; $R_a=6.67$;
 $R_f=880$; $M_{fd}=5.213$; $M_{fs}=1.12$;
 $R_s=1.158$;

II-5-5-Résultats de simulation moteur a vide

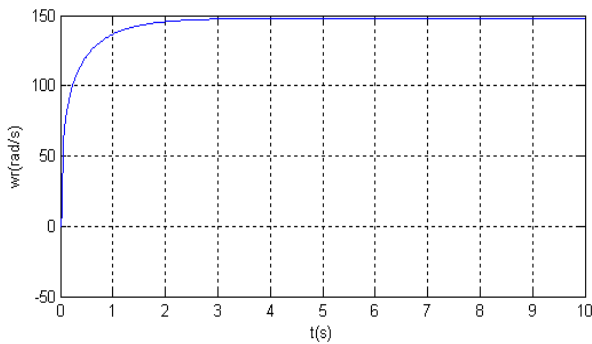


Figure II-24 vitesse de rotation

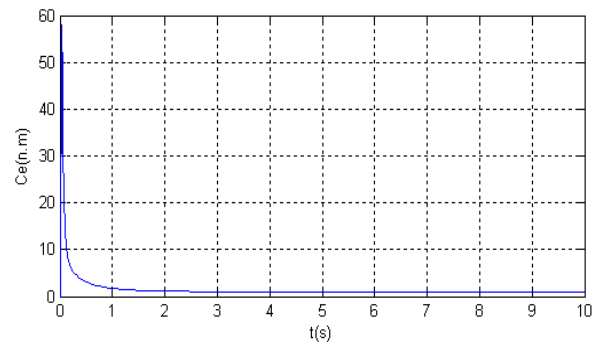


Figure II-25 couple moteur

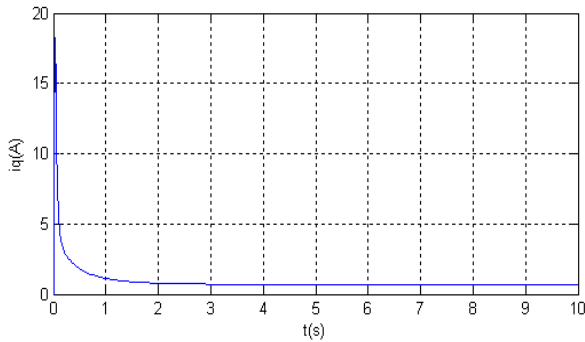


Figure II-26 Le courant partie série

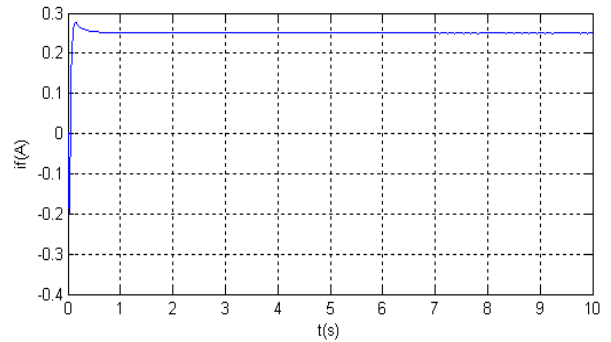


Figure II-27 Le courant partie shunt

II-5-6-Résultats de simulation moteur en charge

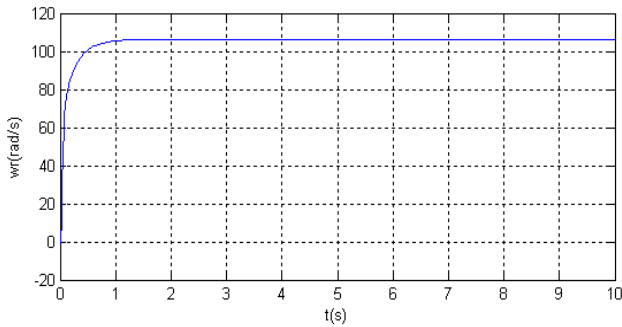


Figure II-28 vitesse de rotation

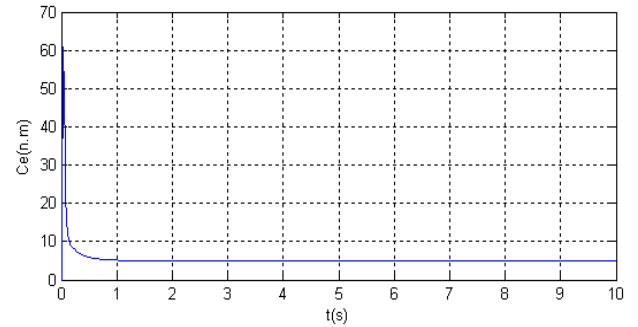


Figure II-29 Le couple de moteur

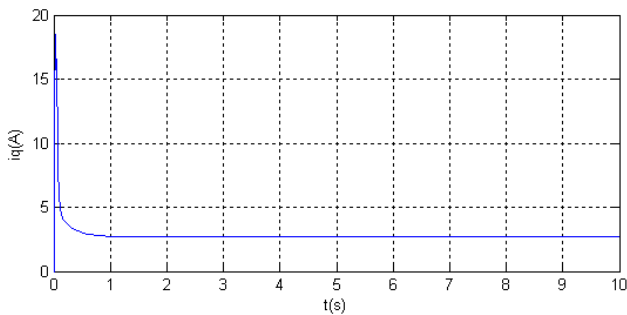


Figure II-30 courant partie série

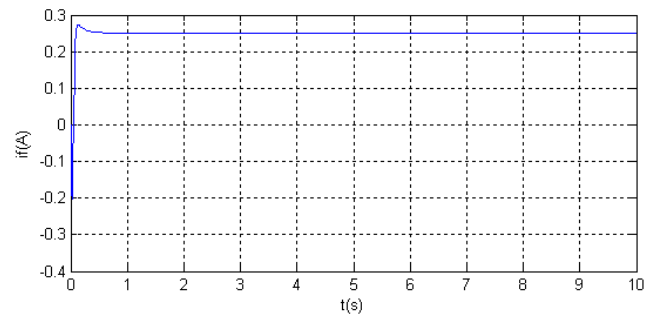


Figure II-31 courant partie shunt

II-5-7- Interprétation

Les avantages du moteur série et du shunte sont réunis dans le moteur à excitation composée, un couple de démarrage très fort, un courant faible tout en éliminant le phénomène d'emballement.

Si on visualise les résultats donnés par le modèle Matlab Simulink, on peut voir que la vitesse du moteur sans charge atteint un niveau constant

« $\Omega = 165 \text{ rad/s}$ » au régime permanent ce qui justifie l'élimination du phénomène d'emballement, le couple est grand au démarrage et le courant absorbé ne dépasse pas trois fois le courant nominale.

En ajoutant la charge au moteur, on remarque que la vitesse diminue « $\Omega = 90 \text{ rad/s}$ »

mais le couple de démarrage reste le même qu'à vide ; c'est la caractéristique principale du moteur shunte « couple constant quelque soit la charge ».

En analysant ces résultats, on peut dire que les modèles du moteur composé obtenu sont acceptables.

II-6-Conclusion

La simulation de la machine à courant continu est un moyen important pour extraire les caractéristiques de ces machines après la formation de schéma bloc à partir le modèle électrique qui représente la transformation de LAPLACE d'équation électrique et mécanique.

Conclusion générale

Malgré la dispersion d'utilisation des machines asynchrone, l'étude et l'utilisation des machines à courant continu restent indispensable grâce à leurs caractéristiques uniques.

Cette mémoire est composé de deux chapitres dont les résultats sont résumés comme suit:

Le premier chapitre contient des généralités sur la machine à courant continu c'est-à-dire que ce chapitre traite (la structure interne de la machine à courant continu, le principe de fonctionnement de ces machines avec ces deux cas (fonctionne comme génératrice et comme moteur), la conversion d'énergie électromécanique, leurs classification selon différents critères.

Le deuxième chapitre contient la transformation de LAPLACE des équations électriques et mécaniques, les schémas blocs et les caractéristiques de la vitesse, de la couple utile et du courant de charge; on a choisis la machine à flux constant c'est-à-dire à excitation séparé et à excitation shunt, à excitation série, à excitation composée. On a extrait les caractéristiques précédents dans les cas: à vide, en charge et inversement de vitesse.

On propose comme complémentation de ce projet l'étude de commande du moteur à courant continu avec les différentes techniques de commande PI, PD, PID et la commande par logique flux.

Les référence

- [1] [http:// www.phisique. Ens-cachan.Fr/ pargreg p/ enseignement /elec/ eletrotech/cours-Mcc.pdf](http://www.phisique.ens-cachan.fr/pargregp/enseignement/elec/eletrotech/cours-Mcc.pdf).
- [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] Guy SEGUIER, Francis NOTELET « ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE ».
- [5] R.Abdessemed & M.Kadjoudj « modélisation des machines électriques ».
- [6] Théodore WILDI Avec la collaboration de Gilbert Sybille. 3 édition «ÉLECTROTECHNIQUE»
- [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

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE LMD EN ELECTROTECHNIQUE

OPTION : COTROLE ET DIAGNOSTIC DE SYSTEME ELECTRIQUE

Proposé et dirigé par :

GUEDIRI.Abd Elkarim

Etudié par:

✓ HENKA Hamza

✓ BAKER Adel

Thème:

Machine à courant continu étude et simulation

Résumé:

Les machines électriques de en deux parties (types) ,machines a courant alternative et machines a courant continu .

La machine à courant continu est une machine électrique tournante qui fonctionne, comme son nom l'indique, à partir de tensions et de courants continus.

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

Ce présent travail est consacré à l'étude la modélisation et simulation de la machine à courant continu en cas moteur.

Mots clés :

La machine à courant continu, l'étude la modélisation et la simulation.

ملخص:

الآلات الكهربائية لها نوعين، آلات التيار المتردد و آلات التيار المستمر، آلات التيار المستمر هي آلات دوارة تعمل بجهد والتيار مستمرين آلات التيار المستمر الدوارة هم محولات للطاقة، إذا كان التحويل من الطاقة الكهربائية إلى الطاقة الميكانيكية تكون الآلة تعمل كمحرك، وإذا كان التحويل من الطاقة الميكانيكية إلى الطاقة الكهربائية تكون الآلة تعمل كمولد في هذا البحث سنقوم بنمذجة و محاكاة آلة التيار المستمر في حالة محرك.
كلمات مفتاحية: آلة التيار المستمر، دراسة النمذجة و المحاكاة.