

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'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Génie électrique

Spécialité : contrôle et diagnostic des systèmes
électriques

Présenté par : **ZELACI Saida**
MANANE Hamida

Thème

**Etude des caractéristiques du moteur à
courant continu
(à excitation séparée et shunt)**

Soutenu le 27 Juin 2009

Devant le jury composé de :

M.	HIMA Abd Kader	MA (A)	Président
M.	ZELLOUMA M ^{ed} Laid	MA (B)	Examineur
M.	MOHAMMEDI Massaoud	MA (A)	Examineur
M.	GUEDIRI Abd Elkarim	MA (A)	Rapporteur

2008-2009

Sommaire:

Introduction générale	1
-----------------------	---

CHAPITRE I: Généralités sur la machine à courant continu

1-Introduction	2
2-structure de la machine à courant continu	2
2-1-La construction d'inducteur:	3
2-2- La construction d'induit	4
3-Phénomène d'induction	5
3-1-Loi de LAPLACE	5
3-2-Principe de génératrice	6
4-Conversion d'énergie électromécanique	7
5-Classification des machines à courant continu	7
5-1-Classification selon la puissance	7
5-2-Classification selon la tension	7
5-3-Classification selon la vitesse	7
5-4-Classification selon le mode d'excitation	8
5-4-1-Moteur en dérivation	8
a)-A auto excitation	8
b)-A excitation séparée	9
5-4-2-Moteur série	9
5-4-3-Moteur à excitation composée	10
6-Caractéristiques usuelles des moteurs à courant continu	10
7- Les avantages et les inconvénients	12
8-Le bilan de puissance du moteur à courant continu	12
9-Conclusion	13

CHAPITRE II: Modélisation et simulation du moteur à courant continu

1-Introduction	14
2 -Simulation du moteur à courant continu à excitation séparée	14

Sommaire

2-1-Fonction de transfert de la machine à courant continu	14
2-2-Le schéma bloc du moteur	15
2-3-Les paramètres du moteur	15
2-4-Les résultats de simulation	16
2-4-1- Les caractéristiques à vide et en charge du moteur à courant continu	16
2-4-2-Avec un changement de sens de rotation	17
2-5-Interprétation	18
2-5-1-À vide	18
2-6-2-En charge	18
3- La simulation du moteur à courant continu à excitation shunt	18
3-1-Fonction de transfert	18
3-2-Le schéma bloc du moteur	19
3-3-Les résultats de simulation	20
3-3-1- Les caractéristiques à vide et en charge du moteur à courant continu	20
3-3-Remarque	21
3-3-1-A vide	21
3-3-2-En charge	21
4- Conclusion	21

CHAPITRE III: Etude pratique du moteur à courant continu

1 -Introduction	22
2-Test du moteur à courant continu	22
2-1-Le montage	22
2-2- L'essai à vide	22
2-2-1-Résultats des mesures	22
2-1-2-La caractéristique $N=f(I)_{exc}$	23
2-3-L'essai en charge	24
2-3-1-Résultats des mesures	24
2-3-2-La caractéristique $N=f(I)$	24
2-3-3-La caractéristique $C_u=f(I)$	24
2-3-4-La caractéristique $C_u=f(N)$	25
3-Conclusion	25
Conclusion générale	26

Notations

E	Force contre électromotrice (f.c.e.m.) [V]
I_a	Courant dans l'induit [A]
G	Générateur
M	Moteur
k'	Constante interne de la machine
Ω ou ω	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 d'induit [H]
P	Nombre de paire de pôles
C_{em}, C_e	Couple électromagnétique [N.m]
C_r	Couple résistant [N.m]
C_m	Couple mécanique [N.m]
U_{exc}, U_e	Tension d'excitation [V]
R_{exc}, R_e	Résistance de l'inducteur [Ω]
L_{exc}, L_e	Inductance d'inducteur [H]
I_{exc}, I_e	Courant d'excitation [A]
J	Moment d'inertie [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]
f	Coefficient de frottement
R_{ht}	Rhéostat de démarrage [Ω]
R_{exc}	Résistance d'excitation [Ω]
I	Courant de la charge [A]
k	Constant
C_f	Couple de frottement [N.m]
p	Opérateur de LAPLACE
F	Force électromotrice
L	Longueur de fils
I	Courant de fils
B	Induction du champ magnétique

Introduction générale

Le monde industrielle a été dominé pendant longtemps par les machines à courant continu. Grâce à leurs avantages relatifs 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.

Ce mémoire est composée de trois chapitres. Ils sont répartis comme suite :

Le premier chapitre c'est l'étude théorique de la machine à courant continu. Il constitue un rappel des généralités sur ces machines, en donnant la structure, le phénomène d'induction, les différents types selon quelques critères (la puissance et 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), dans ce chapitre on donne le modèle de ces moteurs à partir de 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) en utilisant le programme MATLAB/SIMILINK.

Le troisième chapitre c'est l'étude pratique du moteur à courant continu à excitation shunt, on réalise le montage et on mesure quelques grandeurs qui nous permet d'extraire les caractéristiques $N = f(I_{exc})$ à vide; $N = f(I)$, $C_u = f(I)$ et $C_u = f(N)$ en charge.

1-Introduction :

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 qui donne de ces principes de ces machines avec ces deux fonctionnements, la conversion d'énergie électromécanique qui considère comme le rôle de ces machines, le bilan de puissance et nous citons quelques avantages et quelques inconvénients de ces machines.

2-Structure de la machine à 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 une partie fixe de la machine. Ce champ magnétique est fixe. [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'un de l'autre par un entrefer. [2]

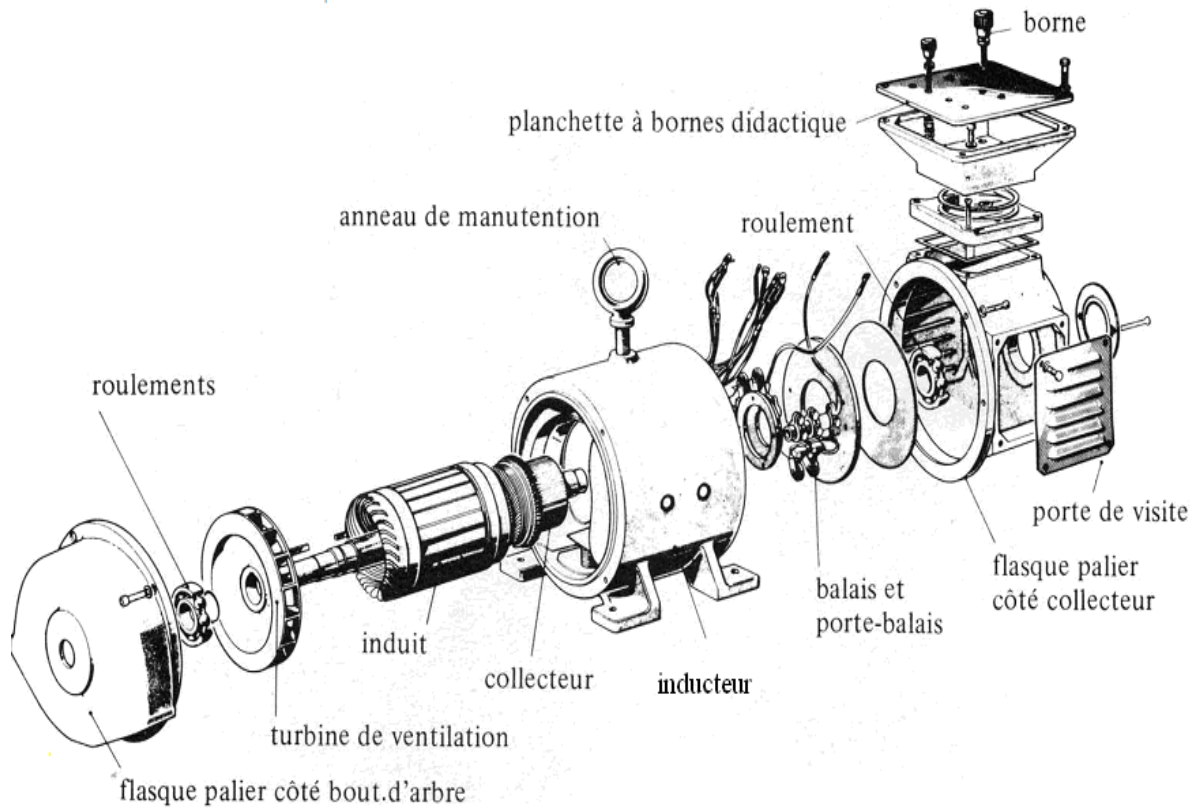


Fig : I.1.La construction de la machine à courant continu

2-1-Construction d'inducteur:

L'inducteur comprend:

2-1-1-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.

2-1-2-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]

2-1-3-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

***-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.

2-2- Construction d'induit:

L'induit comprend

2-2-1-Armature de l'induit (encoche):

réalisée à l'aide de tôles empilées, montrées directement sur l'arbre par insertion chaude, soit assemblées par que d'aronde pour des grandes machines. Les encoches fermées par des becs d'encoches peuvent être de forme arrondie ou rectangulaire.

2-2-2-Enroulement bobiné:

placé sur cette armature (bobinage), les conducteurs sont réalisés à partir de fils ou de barres de cuivre, les fils sont bobinées directement sur l'induit, les conducteurs sont isolés entre eux par un guipage (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]

2-2-3-Collecteur commutatif rotatif:***-Définition:**

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).

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 [3]

3-Phénomène d'induction:**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 [6]. C'est un phénomène de base à prendre en compte dans une conversion d'énergie électrique en énergie mécanique.[2]

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

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 d'une conversion de sens inverse, d'énergie mécanique en énergie électrique. [2]

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 est irréversible. Une machine électrique peut être conçue pour fonctionner en génératrice ou en moteur. La conversion électromécanique dépend de 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 le cas d'une génératrice, l'enroulement est entraîné mécaniquement dans le champ magnétique. Les entraînements sont alors modifiés, ce qui entraîne des tensions induites.

Dans le cas d'un moteur, le conducteur porteur de courant est admis à l'intérieur d'un champ magnétique. Par conséquent, le couple qui en résulte est produit pour agir sur l'induit. Qu'il s'agisse d'une génératrice ou d'un moteur, le conducteur porteur de courant se trouve à l'intérieur d'un champ magnétique. Les conducteurs et le flux se déplacent conjointement à une vitesse variable. Dans les machines tournantes, tension et couple sont générés. Seule la direction du flux de puissance détermine si la machine fonctionne en génératrice ou en moteur.

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 par 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. [5]

5-Classification des machines à courant continu:

En générale les machines à courant continu peuvent être classés de différentes manières selon :

5-1-Classification selon la puissance :

Micro-machines	P :quelques Watts
Machines de faible puissance	P :de 100 W à 10 KW
Machines de moyenne puissance	P :de 10 KW à 100 KW
Machines de grande puissance	P :de 100 KW à 1000 KW
Machines de très grande puissance	P :plus de 1 MW

5-2-Classification selon la tension:

Machine de très basse tension (T.B.T)	$U < 48 \text{ V}$
Machine de base-moyenne tension (BT-MT)	U : 220/380 V à 30 KV
Machine de haute tension (H.T)	$U > 30 \text{ KV}$

5-3-Classification selon la vitesse:

Machines de très lentes	$N < 100 \text{ tr/mn}$
Machines de lentes	N : 100 à 250 tr/mn
Machines de vitesse moyenne	N : de 250 à 1000 tr/mn
Machines rapides	N : de 1000 à 3000 tr/mn
Machines très rapides	$N > 3000 \text{ tr/mn}$ [1].

5-4-Classification selon le mode d'excitation :

5-4-1-Moteur en dérivation :

Dans ce type de machine, l'enroulement de champ est montré dans la culasse et l'enroulement d'induit sur le rotor. Ce type de moteur est utilisé lorsque la régulation de vitesse est importante.

a) A auto excitation:

l'enroulement de champ est connecté en parallèle (dérivation) avec l'enroulement d'induit sur la même alimentation. Modifier le courant de champ peut faire varier la vitesse ; le couple est proportionnel au courant d'induit. Ce type de moteur peut également fonctionner en génératrice. Pour limiter l'intensité du courant de démarrage du moteur, l'enroulement libère la tension dans la rampe. Dans ce type de moteur, une résistance variable est connectée en série avec le circuit d'inducteur, pour diminuer légèrement la valeur du flux et de la vitesse. [5] Alimentation commune pour l'induit et l'inducteur mais le réglage de la vitesse devient problématique car en baissant la tension en baisse aussi le flux et le couple deviennent faibles.

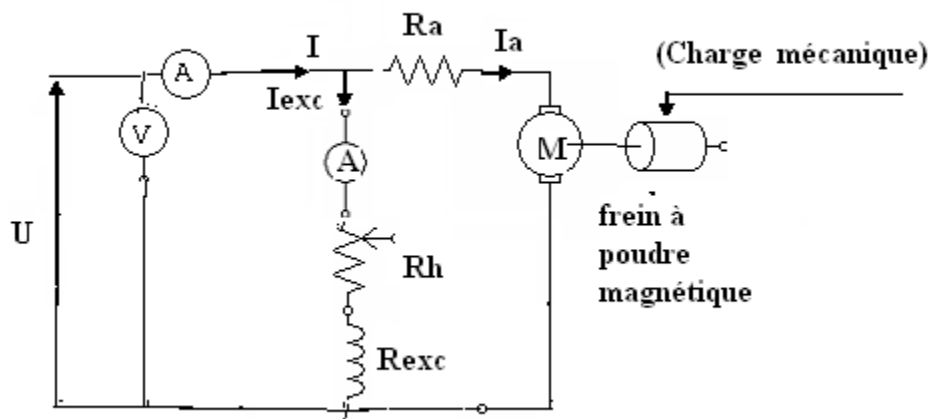


Fig. I.2.moteur à courant continu à excitation shunt

b) A 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.[5]. 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.

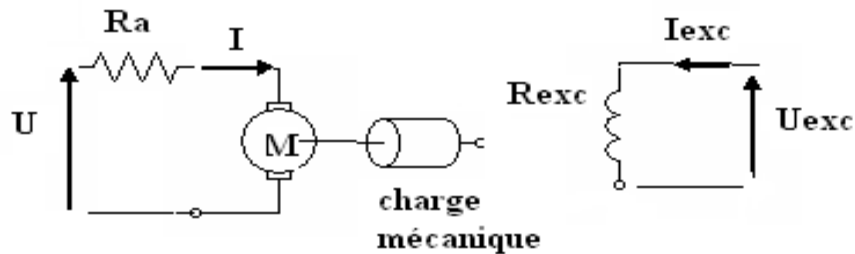


Fig : I.3. Moteur à courant continu à excitation séparée

5-4-2-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 [5]

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.

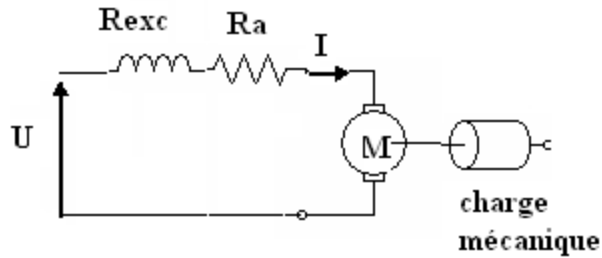


Fig : I.4. Moteur à courant continu à excitation série

5-4-3-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.[5]

Ces types des moteurs sont plus coûteux. Par rapport les types des moteurs précédents

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

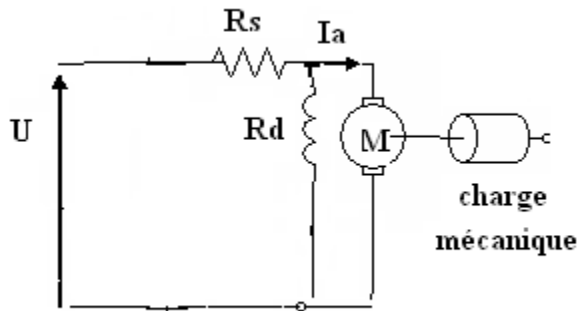


Fig : I.5. Moteur composé à courte dérivation

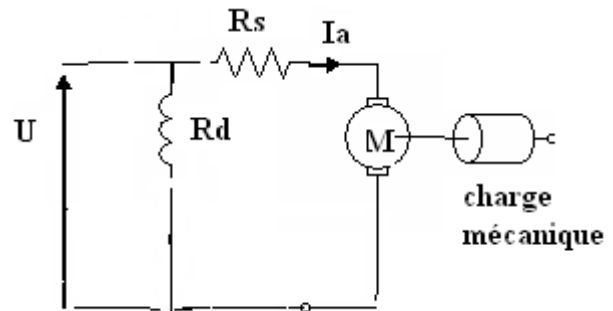


Fig : I.6. moteur composée à longue dérivation

6-Caractéristiques usuelles des moteur à courant continu

- * Les moteurs à courant continu offrent un bon couple de démarrage, ainsi que des capacités de régulation de vitesse.
- * Les moteurs à courant continu à aimant permanent sont utilisés pour le positionnement exact d'objets avec des couples de fonctionnement élevés.

- * Les moteurs en série ont un couple de démarrage élevé et peuvent par conséquent démarrer avec des charges importantes.
- * Les moteurs en série fonctionnement à vide peuvent atteindre des vitesses élevées, ce qui endommage le moteur.
- * Les moteurs en dérivation offrent une bonne régulation de vitesse.
- * Il est possible d'inverser le sens de marche d'un moteur à courant continu en modifiant les fils de l'induit ou du champ.
- * La vitesse d'un moteur à courant continu peut varier si l'on modifie la tension de l'induit ou le courant de champ.
- * Si la tension de l'induit augmente, jusqu'à la vitesse nominale et inversement.
- * De même, la vitesse peut être augmentée au-delà de la vitesse de base en diminuant le courant de champ.
- * Dans les moteurs en dérivation, le couple proportionnel à l'intensité de courant d'induit.
- * Dans les moteurs en série, le couple proportionnel au carré de l'intensité de courant d'induit. [5].
- * 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 par un «variateur de vitesse », c'est par la variation de tension U qu'on règle la vitesse Ω .
- * Autrefois on envisageait surtout l'alimentation de la machine sous une tension «constante» fournie par un réseau continu
- * 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.
 - 3)-Les caractéristiques mécaniques qui sont les plus importantes car elles montrent l'évolution du couple en fonction de vitesse pour un fonctionnement donné.[2]

7- Les avantages et les inconvénients :

L'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation .

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 ;
- aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement ;

Un autre problème limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque l'induit est bobiné.

Un certain nombre de ces inconvénients ont partiellement été résolus par des réalisations de moteurs sans fer à l'induit.

Les inconvénients ci-dessus ont été radicalement éliminés grâce à la technologie du moteur à courant continu sans balais .

8-Le bilan de puissance du moteur à courant continu :

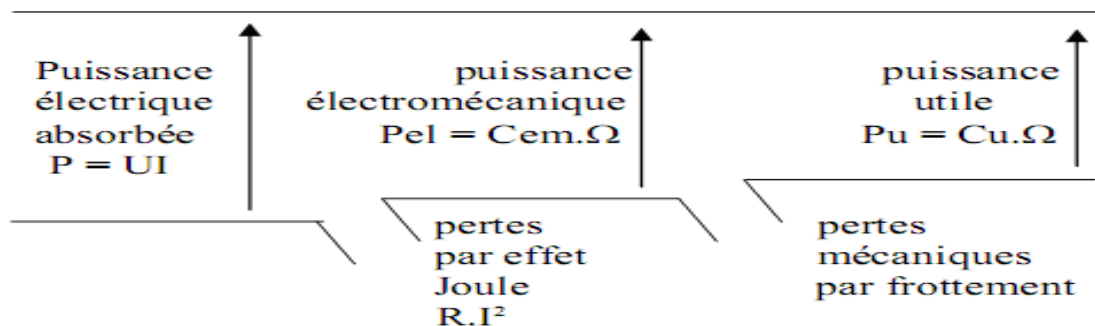


Fig : I.7. Bilan de puissance du moteur à courant continu.[6]

9-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, le principe de fonctionnement, la conversion d'énergie électromécanique, les avantages et les inconvénient).

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

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). A partir ce modèle, on trace le schéma bloc qu'il permet d'obtenir les caractéristiques de ces machines (le courant, le couple utile et la vitesse de rotation).

2 -Simulation du moteur à courant continu à excitation séparée :

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:

$$(II.7) J \cdot \frac{dw}{dt} + f \cdot w = C_e - C_r$$

Après la transformation de Laplace:

$$C_e(p) - C_r(p) = J \cdot p \cdot w(p) + f \cdot w(p) \quad (II.8)$$

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

Et d'autre part:

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

$$E = k' \cdot \phi \cdot w = k \cdot w \quad (II.11)$$

$$(II.12) k = k' \cdot \phi \text{ Où :}$$

2-2-Schéma bloc du moteur :

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

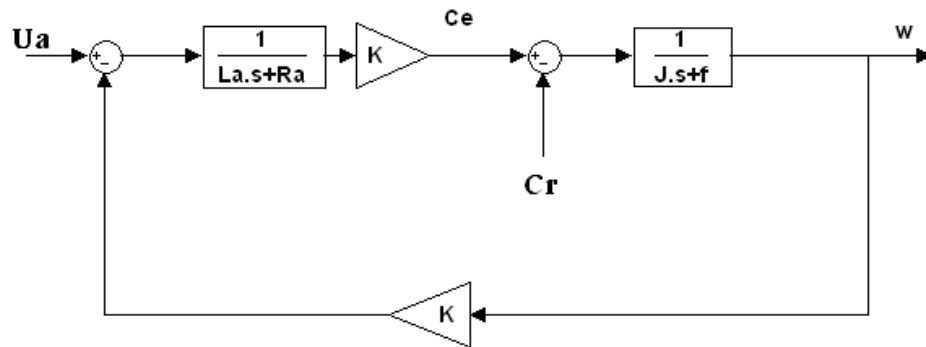


Fig : II.1.Schéma bloc d'un moteur à courant continu à excitation séparée.

2-3-Les paramètres du moteur :

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

$$R_e = 10\Omega, L_e = 0.04\text{H}$$

2-4-Les résultats de simulation : On applique un charge à l'instant $t=0.5$ s

2-4-1- Les caractéristiques à vide et en charge du moteur à courant continu :

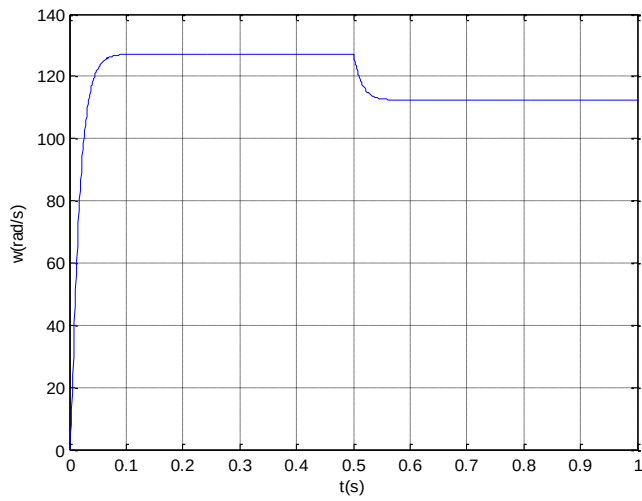


Fig : II.2.La vitesse du moteur à courant continu

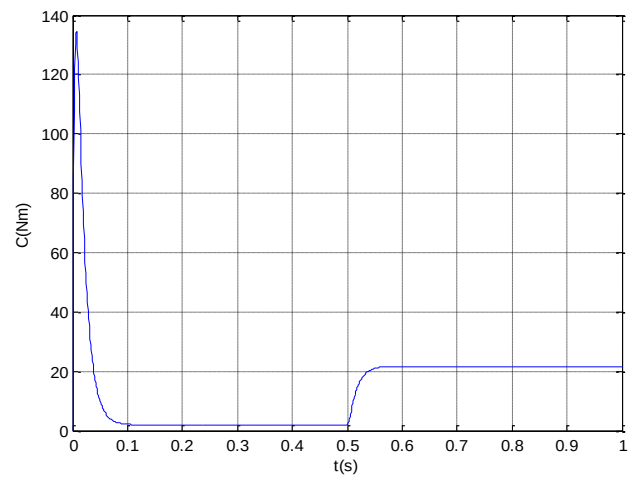


Fig : II.3. Le couple du moteur à courant continu

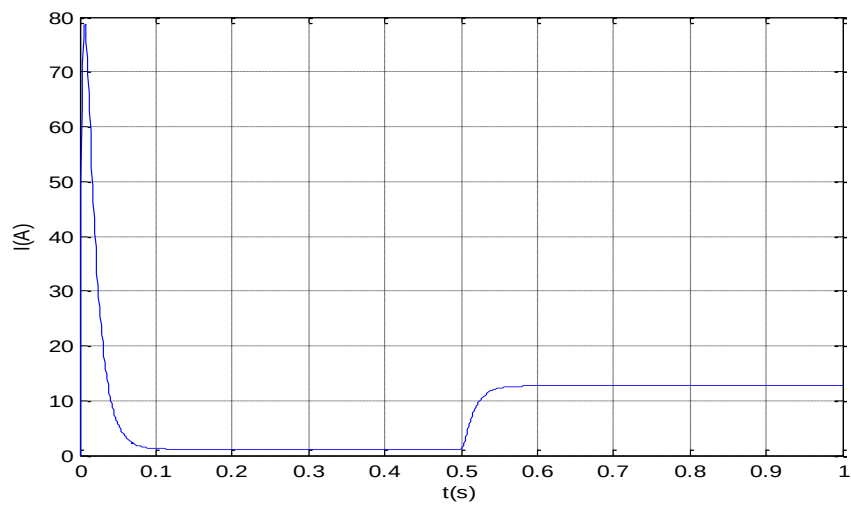


Fig : II.4.Le courant du moteur à courant continu

2-4-2-Avec un changement de sens de rotation :

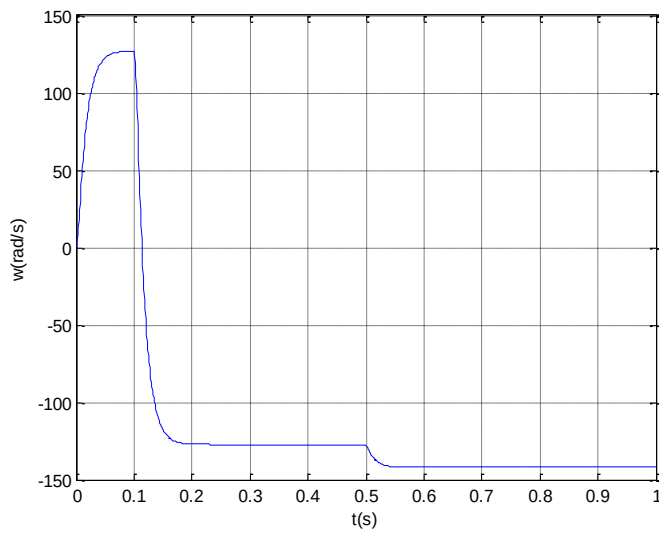


Fig : II.5.La vitesse du moteur à courant continu

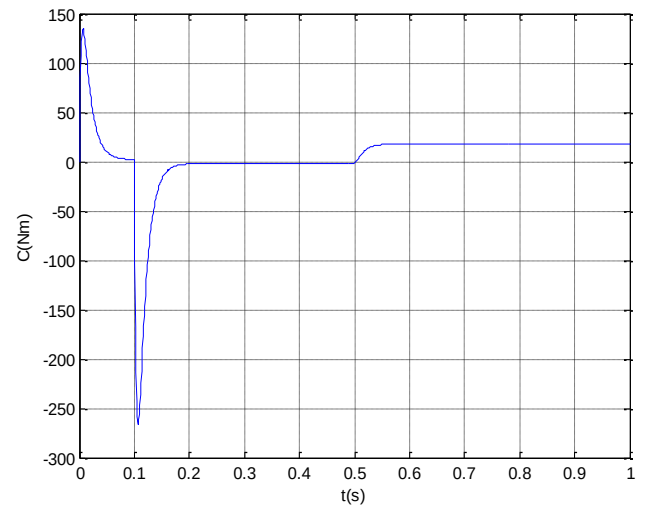


Fig: II.6.Le couple du moteur à courant continu

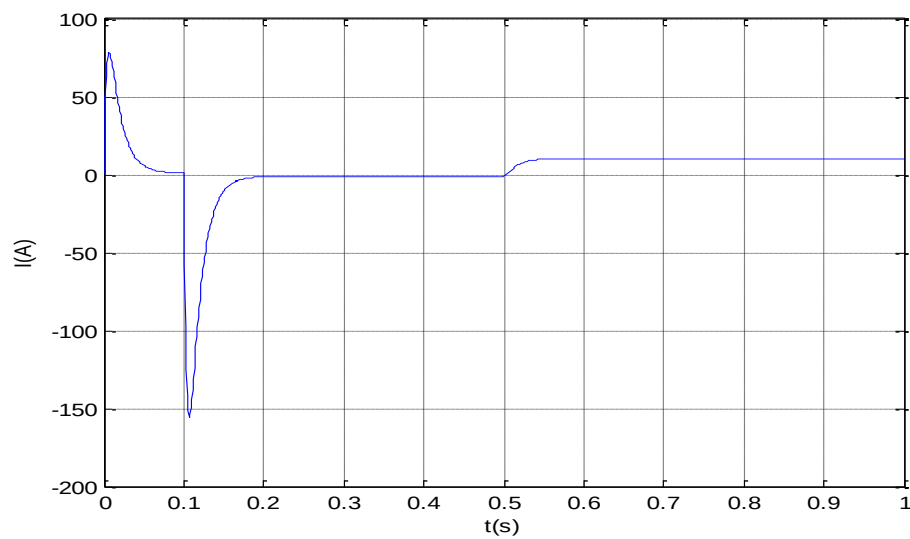


Fig : II.7.Le courant du moteur à courant continu

2-5-Interprétation:

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 le démarrage atteint jusqu'à $I_m = 97A$; puis il revient zéro.

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

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.

2-6-2-En charge : ($C_r = 20Nm$)

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) reste constante, ce qui explique la diminution de la vitesse en charge. Pour le couple électromagnétique il prend le même comportement que le courant.

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

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:

$$U_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_a \quad (\text{II.13})$$

$$I_a = I - I_e \quad (\text{II.14})$$

Après la transformation de LAPLACE :

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

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

$$I_a(p) = I(p) - I_e(p) \quad (\text{II.17})$$

L'équation de tension de l'inducteur est :

$$U_a = U_e = R_e \cdot I_e + L_e \cdot \frac{dI_e}{dt} \quad (\text{II.18})$$

Après la transformation de LAPLACE :

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

$$I_e(p) = \frac{U_a(p)}{R_e + L_e \cdot p} \quad (\text{II.20})$$

Le couple électromagnétique est donné par:

$$C_e = k' \cdot \phi \cdot I_a \quad (\text{II.21})$$

Le couple de frottement visqueux est exprimé par:

$$C_f = f \cdot \omega \quad (\text{II.22})$$

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

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + f \cdot \omega = C_e - C_r \quad (\text{II.23})$$

Après la transformation de Laplace:

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

$$\omega(p) = \frac{C_e(p) - C_r(p)}{J \cdot p + f} \quad (\text{II.25})$$

Et d'autre part:

$$C_e = k' \cdot \phi \cdot I_a = k \cdot I_a \quad (\text{II.26})$$

$$E = k' \cdot \phi \cdot \omega = k \cdot \omega \quad (\text{II.27})$$

$$k' = k \cdot \phi \quad (\text{II.28})$$

3-2-Schéma bloc du moteur :

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

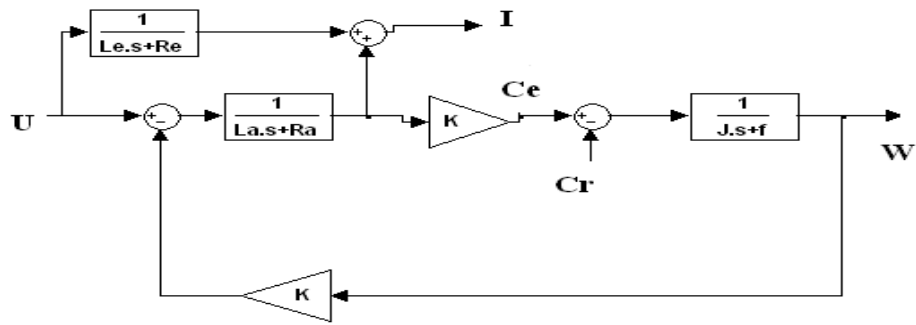


Fig : II.8.Schéma bloc d'un moteur à courant continu à excitation shunt.

3-3-Les résultats de simulation : On applique un charge à l'instant $t=0.5$ s

-Les caractéristiques à vide et en charge du moteur à courant continu

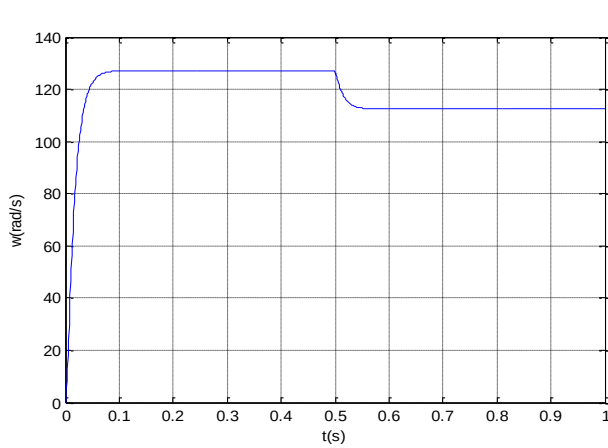


Fig : II.9.La vitesse du moteur à courant continu

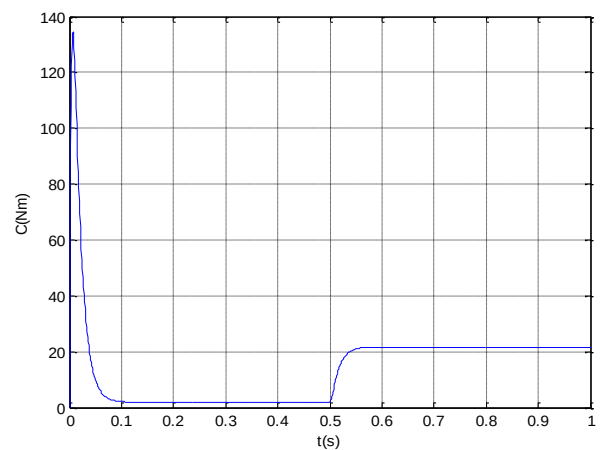


Fig : II.10.Le couple du moteur à courant continu

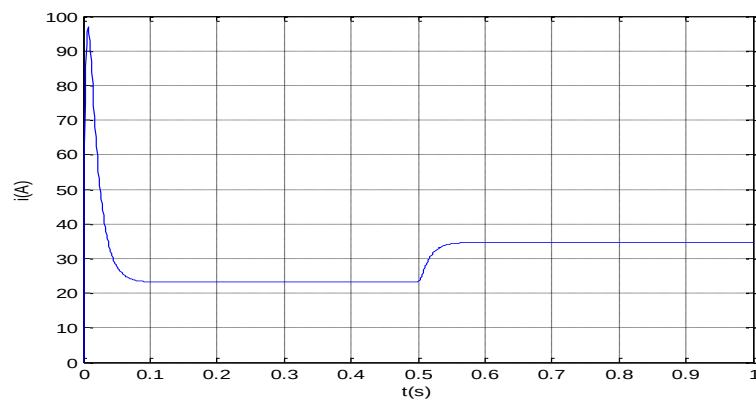


Fig : II.11.Le courant du moteur courant continu

3-3-Remarque :

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 .

3-3-1-A vide :

Le figure (II.14) montre qu'il y a un fort appel du courant pendant le démarrage atteint jusqu'à $I_m=97A$ puis il revient 23A.

3-3-2-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.

4- 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 du modèle électrique qui représente la transformation de LAPLACE d'équation électrique et mécanique.

Malgré la validation de simulation avec le programme MATLAB/SIMILINK mais elle ne remplace pas les essais pratiques de ces machines. Ce projet représente notre chapitre prochaine.

1 -Introduction :

Ce chapitre représente l'étude pratique du moteur à courant continu à excitation shunt .Dans cette partie on réalise le montage de ces moteurs pour obtenir leur caractéristiques. En régime à vide, on mesure la vitesse pour quelques valeurs des courants d'excitation (On a fait la commande du courant d'excitation grâce un rhéostat d'excitation).Lorsqu'on charge le moteur on mesure courant de la charge, la vitesse de rotation et le rendement pour quelques valeurs de couple.

2-Test du moteur à courant continu :

2-1-Le montage:

On réalise le montage suivant :

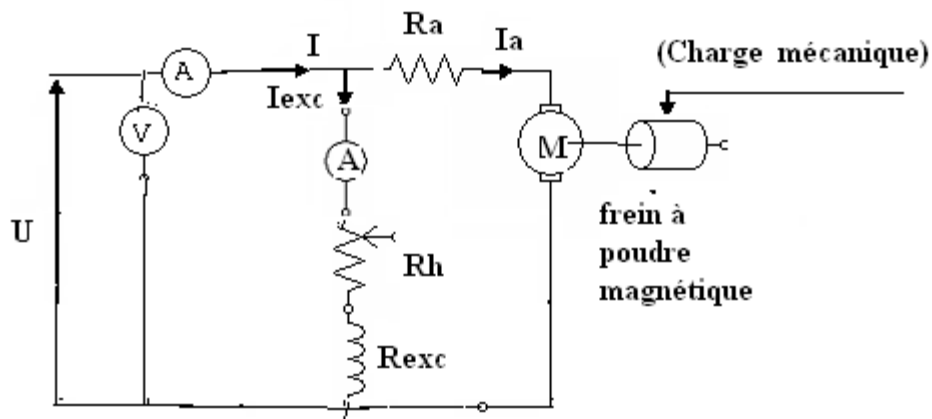


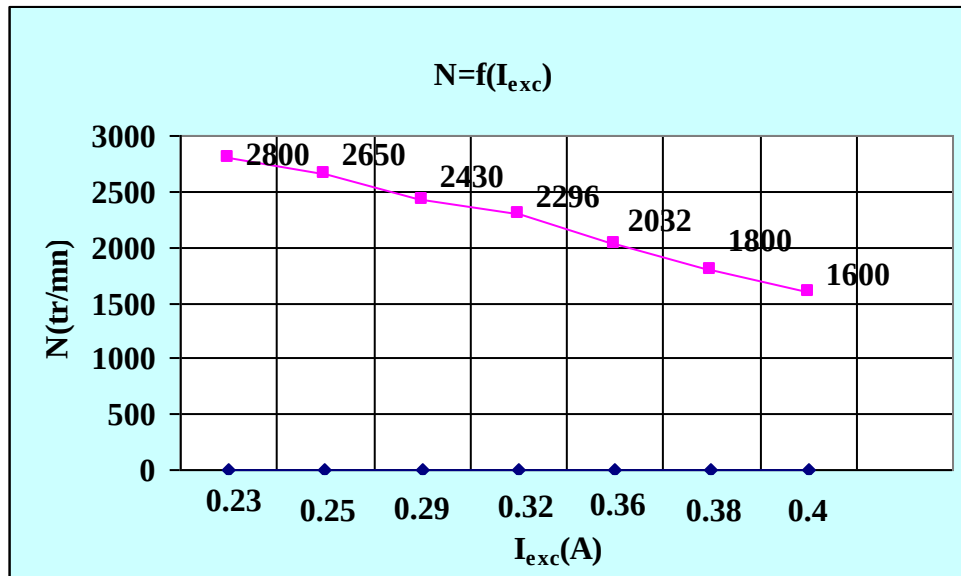
Fig. III.1.moteur à courant continu à excitation shunt

2-2- L'essai à vide :

Pour cet essai la charge mécanique est découplée du moteur. On alimente le moteur sous la tension nominal maintenue constante, ensuite on a varié le courant d'excitation I_{exc} à l'aide du rhéostat de champs R_h et on relève la vitesse N , mesurée au moyen d'une dynamo tachymétrique (GT), pour chaque variation de I_{exc} .

2-2-1-Résultats des mesures :

$I_{exc} (A)$	0.4	0.38	0.36	0.32	0.29	0.25	0.23
$N(tr/mn)$	2800	2650	2430	2296	2032	1800	1600

2-1-2-La caractéristique $N=f(I_{exc})$ avec U constante:Fig : III.2.La caractéristique à vide $N=f(I_{exc})$

- Interprétation de la caractéristique $N=f(I_{exc})$:

Sous tension U constante, N est inversement proportionnel au flux. Si le circuit magnétique du moteur n'est pas saturé, est proportionnel au courant d'excitation I_{exc}

$\Phi = \alpha \cdot I_{exc}$, donc

I_{exc} augmente est nécessaire de Φ élevé et N réduire. La relation entre la vitesse et le courant d'excitation est donnée par la relation suivante :

$$E = U - R_a \cdot I_a = k \cdot N \cdot \Phi \quad (III.1)$$

$$\text{donc, } N = \frac{U - R_a \cdot I_a}{k \cdot \phi} \quad (III.2)$$

$$\text{Généralement } R_a \cdot I_a \ll U \text{ alors, } N \approx \frac{U}{k \cdot \phi} \quad (III.3)$$

2-2-L'essai en charge :

La charge du moteur est un frein à poudre magnétique. La vitesse et le couple du moteur shunt à étudier sont mesurés à l'aide d'instruments grâce à l'unité de commande qui fournit le courant de freinage nécessaire au frein. On a varié le couple à l'aide d'unité de commande. Pour chaque variation, mesurez N , I pour $U = c^{te}$ et $(R_h + R_{exc}) = c^{te}$.

2-2-1-Résultats des mesures :

$U = 220V$; $N = 3000 \text{ tr/mn}$; $I_{exc} = 0.65A$; $m = 1.525g$;

L (m)	0	10	18	25	35	46	62	70
C_u (N.m)	0	0.1525	0.2745	0.38	0.53	0.7	0.94	1.06
N (tr/mn)	2936	2930	2923	2920	2907	2900	2890	2880
I (A)	0	0.3	0.5	0.7	1	1.3	1.6	2

2-2-2-La caractéristique $N=f(I)$ pour $U=c^{te}$ et $(R_h+R_{exc})=c^{te}$:

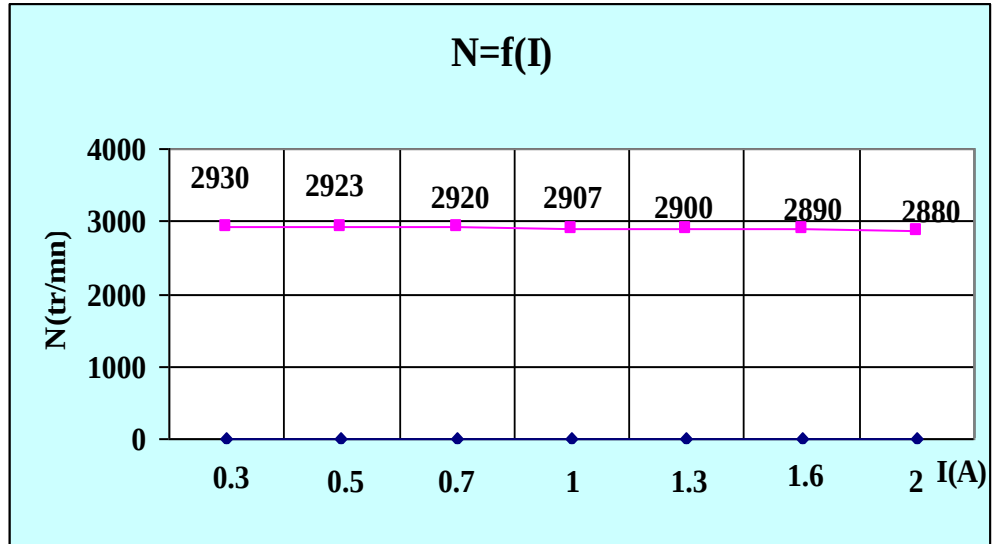


Fig: III.3.La caractéristique en charge $N=f(I)$

- **Interprétation de la caractéristique $N=f(I)$:**

Pour l'augmentation de la charge on remarque l'augmentation du courant de la charge et la diminution de la vitesse de rotation légèrement du moteur à courant continu.

2-2-3-La caractéristique $I=f(C_u)$ pour $U=c^{te}$ et $(R_h+R_{exc})=c^{te}$:

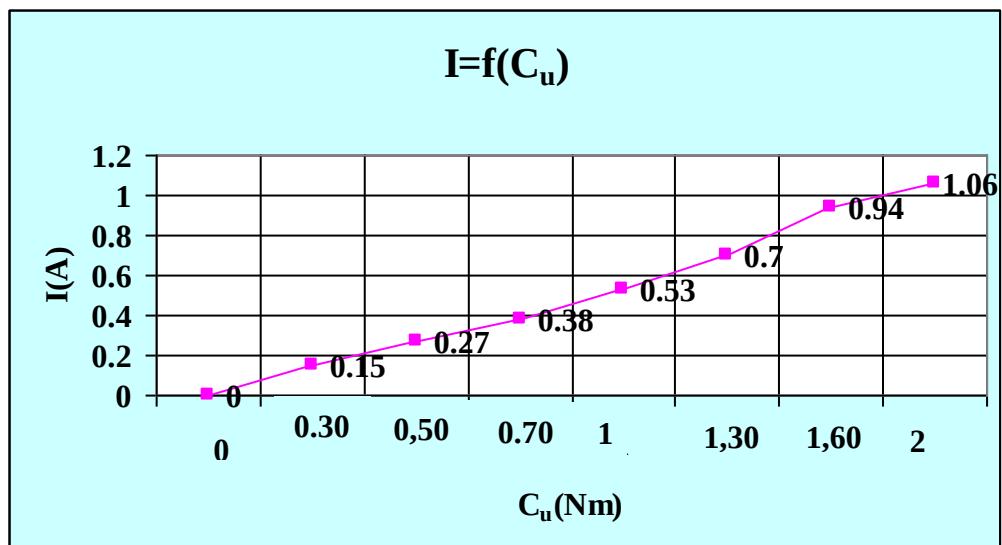


Fig: III.4.La caractéristique en charge $I=f(C_u)$

- **Interprétation de la caractéristique $I = f(C_u)$:**

Dans la figure (III.4) on remarque la caractéristique en charge $C_u = f(I)$ pour l'augmentation de la charge, le courant et le couple sont augmentés parce que il existe une relation proportionnelle entre le couple et le courant.

2-2-4-La caractéristique $N = f(C_u)$ pour $U = c^{te}$ et $(R_h + R^{exc}) = c^{te}$:

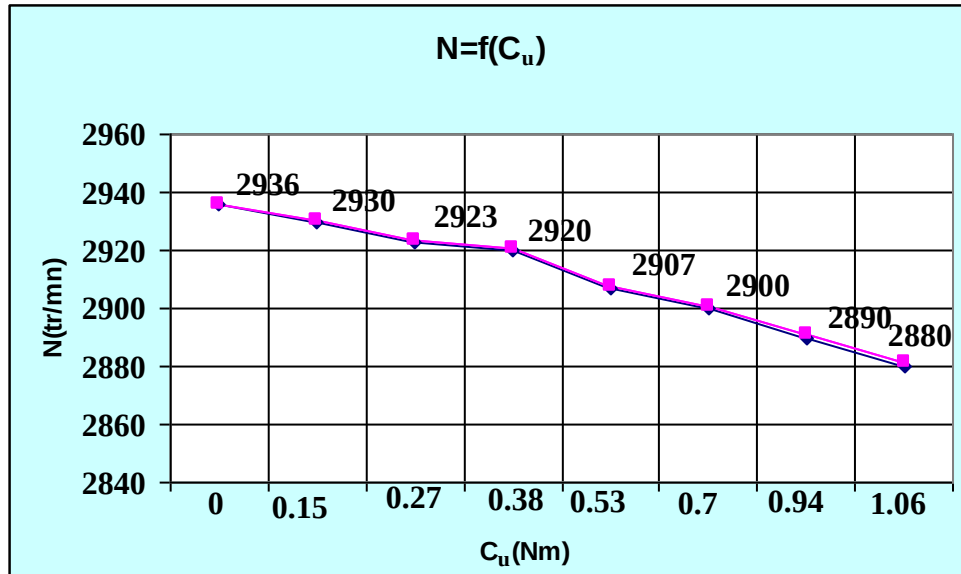


Fig: III.5. La caractéristique en charge $N = f(C_u)$

- **Interprétation de la caractéristique $N = f(C_u)$:**

La figure présente montre que la vitesse en fonction de couple. Pour l'augmentation du couple on remarque la diminution de la vitesse de rotation du moteur à courant continu.

Conclusion :

Ce chapitre représente un test du moteur à courant continu à excitation shunt. Dans cette partie on a réalisé le montage et on a mesuré quelques grandeurs principales tels que le courant d'excitation et la vitesse de rotation à vide pour extraire la caractéristique $N = f(I_{exc})$ et la vitesse de rotation, le courant de la charge, la puissance absorbée et la puissance utile lorsqu'on charge le moteur pour déduire les caractéristiques $N = f(I)$, $I = f(C_u)$ et $N = f(C_u)$.

Conclusion générale

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

Ce mémoire est composé de trois chapitres qui 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 de la courant de charge; on a choisis la machine à flux constant c'est-à-dire à excitation séparé et à excitation shunt .On a extrait les caractéristiques précédents dans les cas: à vide, en charge et inversement de vitesse.

Le troisième chapitre c'est un test du machine à courant continu; on a choisis la moteur à courant continu à excitation shunt .Dans notre chapitre on a relevé la caractéristique à vide $N=f(I_{exc})$ et les caractéristiques en charge $C_u=f(I)$ et $C_u=f(N)$ chaque caractéristique suivi a sa interprétation.

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 références :

- [1]A.BENNOUDJIT," Introduction_aux machines électriques à courant continu 1", Presses de l'université de Batna, . Octobre1995
- [2]A.BEN AMOR, M.BOUGHAZALA MOHAMMED , "commande linéaire d'un moteur à courant continu à flux constant (synthèse et régulateurs)", EL-OUED, 2008
- [3] T. WILDI, G. SYBILLE " ÉLECTROTECHNIQUE", 4^{ème} édition, de boeck, Paris, juin 2005.
- [4]P.MAYE, "Moteur électrique pour la robotique", Paris, France.
- [5]M.BROWN, J.RAWATNI, D.PATIL, Juillet 2006, "Maintenance électrotechnique", DUNOD, Toulouse, France, Avril 2006.
- [6] Machine -à -courant continu .pdf