

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



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

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

LICENCE ACADEMIQUE

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

Thème

**Modélisation et identification des
paramètre du moteur à courant
continu**

**Dirigé par:
M.r Lammouchi Zakaria..**

**Réalisé par:
Maamra Ali
Khennab Noureddine**

Soutenu 04 Juin 2013

Remerciements

À l'issue de cette fin d'étude, nous adressons nos sincères remerciements premièrement à dieu tout puissant qui nous à donné la santé, la volonté et la patience, ensuite à notre promoteur monsieur lamouchi zakaria pour son dévouement incessant, ses orientations et surtout sa gentillesse afin de nous permettre l'accomplissement de ce travail.

Qu'il nous soit permis aussi d'exprimer nos vifs remerciements et notre gratitude à tous ceux qui ont accepté de juger ce travail, ainsi qu'à ceux qui nous ont aidé de près comme de loin pour le mener à bien.

Maamra et Khennab

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I: Rappel théorique sur la machine à courant continu	
I-1-Introduction	2
I-2-Structure de la moteur à courant continu	2
I-2-1 L'inducteur	2
I-2-1-1 La carcasse	2
I-2-1-2 Les pôles inducteurs	2
I-2-1-3 Les bobines	3
I-2-2 L'induit	3
I-2-2-1 Encoche	4
I-2-2-2 Un enroulement	4
I-2-2-3 collecteur	4
I-3-Principe de fonctionnement	5
I- 3-1-Force électromotrice	5
I-3-2Couple électromagnétique	6
I-3-3Puissance électromagnétique	6
I-3-4-les différentes pertes	6
I-4- Bilant de Puissance de moteur à courant continu	7
I-4-1 La puissance absorbée	7
I-4-2 la puissance utile	7
I-4-3La puissance électromagnétique	7

I-4-4 Les pertes variables	8
I-4-5 Puissance mécanique	8
I-4-6 Vitesse de rotation	8
I-4-7 Le rendement	8
I-5-Mode d'excitation	9
I-5-1 Excitation série	9
I-5-2-Excitation séparée	9
I-5-3-Excitation shunte	10
I-5-3-Excitation compound	10
I-6- Les avantages et Les inconvénients de moteur à courant continu	10
I-6-1-Les avantages de moteur à courant continu	10
I-6-2-Les inconvénients de moteur à courant continu	11
Conclusion	11
Chapitre II: Modélisation du Moteur à Courant Continu	
II-1- Introduction	12
II-2- Modèle équivalent du moteur a excitation sépare	12
II-2-1- Fonction de transfert de la machine à courant continu	13
II-2-2 Le schéma bloc du moteur	13
II-2-3- Les paramètres du moteur	14
II-2-4- Les résultats de simulation	14
II-2-4-1- Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu	15
II-2-4-2- Les caractéristiques en charge du moteur à courant continu	16
II-2-4-3- Les caractéristiques avec un changement de sens de rotation	17
Conclusion	18

Chapitre III: Identification des paramètres de la Machine à courant continu

III-1- Introduction	19
III-2- Modélisation de la machine à courant continu	19
III-2-1-Equations de la machine à courant continu	21
III-3-Laboratoire : Etude de la MCC à excitation indépendante	21
III-3-1-Mise en œuvre du laboratoire	21
III-4-Identification des paramètres physiques de la machine	22
<i>III-4-1-La résistance d'induit</i>	<i>22</i>
<i>III-4-2-L'inductance</i>	<i>23</i>
<i>III-4-3-Détermination de la constante électromagnétique</i>	<i>24</i>
III-5-Détermination des paramètres mécanique	24
<i>III-5-1-Première mesure : Essais au ralentissement</i>	<i>24</i>
III-5-2-Deuxième relevé	25
Conclusion	28
Conclusion générale	29

Nations:

U	Tension aux bornes de la machine [V]
E'	Force électromotrice (f.e.m.) [V]
I_a	Courant dans l'induit [A]
E'_v	f.e.m. à vide [V]
E_v	f.c.e.m. à vide [V]
E'_{ch}	f.e.m. en charge [V]
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
a	Nombre de paire de voies en parallèles
N	Nombre total des conducteurs actifs
C_{em}	Couple électromagnétique [N.m]
C_r	Couple résistant [N.m]
C_m	Couple mécanique [N.m]
J	Moment d'inertie [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]
f	Coefficient de frottement
R_{exc}	Résistance d'excitation [Ω]
I	Courant de la charge [A]
k	Constant
C_f	Couple de frottement [N.m]

LISTE DES FIGURES

Chapitre I: Rappel théorique sur la machine à courant continu

Figure I-1- Schéma de composant d'inducteur	3
Figure I-2- Schéma de composant de l'induit	3
Figure I-3- Schéma d'un Encoche	4
Figure I-4- Le schéma de collecteur	4
Figure I-5- Schéma principe de fonctionnement d'une machine à courant continu	5
Figure I-6- Bilan des puissance du moteur à courant continu	7
Figure I-7- Modèle électrique du MCC à excitation série	9
Figure I-8- Modèle électrique du MCC à excitation séparée	9
Figure I-9- Modèle électrique du MCC à excitation shunte	10
Figure I-10- Modèle électrique du MCC à excitation Compound	10

Chapitre II: Modélisation du Moteur à Courant Continu

Figure II-1- Schéma équivalent d'une MCC (induit et inducteur bobiné)	12
Figure II-2- Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée	14
Figure II-3- Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée à vide	15
Figure II-4- La vitesse , Couple de charge , couple du moteur et le courant d'induit en à vide	15
Figure II-5- Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée en charge	16
Figure II-6- La vitesse, Couple de charge, couple du moteur et le courant d'induit en charge	16
Figure II-7- la vitesse du moteur à courant continu	17
Figure II-8- le couple du moteur à courant continu	17
Figure II-9- la courant du moteur à courant continu	17

Chapitre III: Identification des paramètres de la Machine à courant continu

Figure III-1- Le schéma technologique d'une MCC	20
Figure III-2 Les Appareilles nécessaire dans laboratoire	22
Figure III-3- Essais pour Obtenir la valeur de la résistance d'induit	22
Figure III-4 - Essais pour Obtenir la valeur de l'inductance d'induit (Rotor bloqué)	23
Figure III-5- l'allure du courant sur l'oscilloscope pour calculer le constante de temps	24
Figure III-6 - l'allure de vitesse pour calculer le constante de temps	26
Figure III-7- l'allure du courant en fonction de vitesse	27

Introduction Générale

La machine à courant continu sont des machines tournantes 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 moindre que ceux des moteurs à courant alternatif. On peut varier très rapidement la tension continue tout en disposant d'une puissance de commande très faible [9]. En effet, la modélisation réalisée à partir d'un comportement du système et ou de lois physiques, consiste à déterminer la structure des équations qui régissent le comportement de ce système, et aussi, à fixer, a priori la valeur de ses paramètres (longueurs, masses, inerties, capacités, résistances, frottements...). Mais, il est souvent impossible d'obtenir une connaissance a priori complète et précise de tous les paramètres du modèle. Pour affiner et compléter cette connaissance, il est alors nécessaire de procéder à une identification du système. À partir des essais on déduit les paramètres de la machine. La partie modélisation occupe une phase importante du travail car c'est sur elle que l'identification s'appuie [104]. En assurant alors à étudier la modélisation de la machine à courant continu d'une simulation faite par Matlab à l'aide. En partant d'une configuration qui se caractérise par un fonctionnement de système, c'est-à-dire, une perturbation de vitesse et de couple après l'application de la charge

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

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

Le deuxième chapitre, est consacré entièrement à la modélisation de la machine à courant continu et dans l'environnement Matlab /Simulink, Nous effectuons l'essai en à vide et en charge sur le moteur à courant continu.

Dans le troisième chapitre, nous appliquons les méthodes d'identification des paramètres à l'aide d'essais sur la Machine à courant continu.

Chapitre I

Rappel théorique sur la machine à courant continu

Introduction Générale

I-1-Introduction:

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. 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 où elle fonctionne en moteur (traction) ou en génératrice (freinage).

Ce chapitre représente des généralités sur la machine à courant .il traite exactement la structure de celle machine, le phénomène d'induction qui donne de sa principe de machine avec deux fonctionnements, la conversion d'énergie électromécanique qui considère comme le rôle de ces machines, le mode d'excitation, le bilan de puissance et on citons quelques avantages et quelque inconvénients de ces machine.

I-2-Structure de la moteur à courant continu:

Les moteur à courant continu sont constituées de deux parties principales, l'inducteur et l'induit.

I-2-1-L'inducteur :

L'inducteur est constitué de la carcasse du moteur et du circuit magnétique proprement dit. Un circuit magnétique est constitué d'une structure ferromagnétique qui canalise le flux magnétique, créé par une source de champ magnétique : aimant permanent ou électroaimant. Le circuit magnétique du stator crée le champ magnétique appelé « champ inducteur » (B_s).

I-2-1-1-La carcasse:

C'est-à-dire la partie de la machine à laquelle sont fixes 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 est appelée culasse .[2]p:4

I-2-1-2-Les pôles inducteurs:

Les pôles inducteurs ont pour rôle de créer le flux inducteur dans la machine (entre la culasse et l'induit). [4]

- Ce flux est généré soit par des enroulements, soit par des aimants.
- Ce flux étant constant dans la partie portant les pôles inducteur et dans les pôles inducteur eux-mêmes.

I-2-1-3-Les bobines:

Sont réalisées avec du fil de cuivre isolé (vernis isolant) qui est enroulé autour du noyau polaire de telle sorte à réaliser un électroaimant.

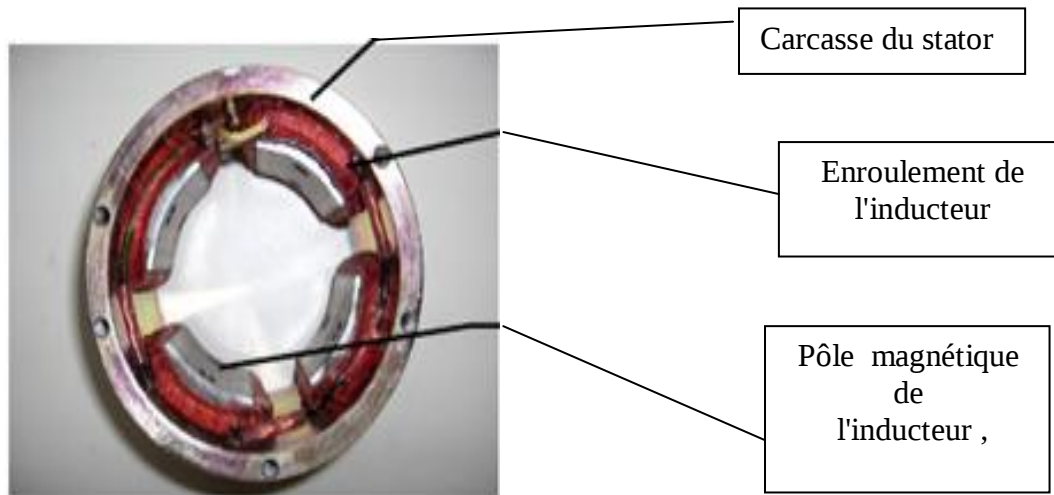


Figure I-1-Schéma de composant d'inducteur

I-2-2-L'induit :

L'induit c'est l'organe subissant le champ magnétique et en même temps le siège d'une f.e.m. induit alternatives .[1]et c'est un lieu de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique.[2]p:4

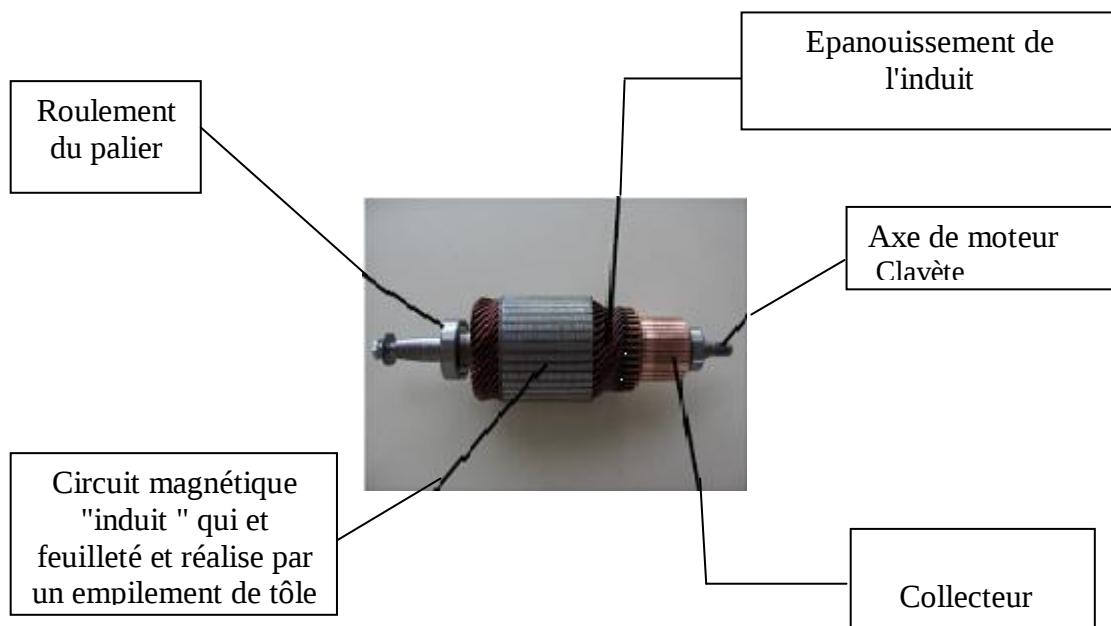


Figure I-2-Schéma de composant de l'induit

I-2-2-1-Encoche:

L'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.



Figure I-3-Schéma d'un Encoche

I-2-2-2-Un enroulement :

L'enroulement place sur cette armature (bobinage) , les conducteur sont réalisés à partir de fils ou de barres de cuivre , les fils sont bobinées directement sur l'induit.[2]p:5

I-2-2-3-collecteur :

Le collecteur est formé d'un certain nombre de lames en cuivre isolées les unes des autres et l'arbre par mica. Le collecteur est un redresseur mécanique. Sur le collecteur frottent des balais fixes à l'aide de porte – balais, qui relie l'enroulement d'induit au circuit extérieur.

1



Figure I-4- Le schéma de collecteur

I-3-Principe de fonctionnement :

I- 3-1-Force électromotrice:

L'inducteur (stator) crée un champ magnétique fixe B . ce stator peut être à aimants permanents ou constitué (**Figure I-5**)

L'induit (rotor) porte des conducteur parcourus par un courant continu (alimentation du moteur), ces spires, soumises à des forces ($F = B \cdot i \cdot l$), Entraînent la rotation du rotor, il en résulte une variation du champ magnétique à travers chaque spire, elle engendre une f.é.m. qui est redressée par l'ensemble {collecteur +balais} [3].

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

$$K = P \cdot N / 2\pi a \quad (I.1)$$

- P : le nombre de paires de pôles
- A : le nombre de paires de voir d'enroulement
- N : le nombre de conducteur
- Φ : flux maximum à travers les spires (WP)
- Ω : vitesse de rotation (en rad/s)

$$E = K \cdot \phi \cdot \Omega \quad (I.2)$$

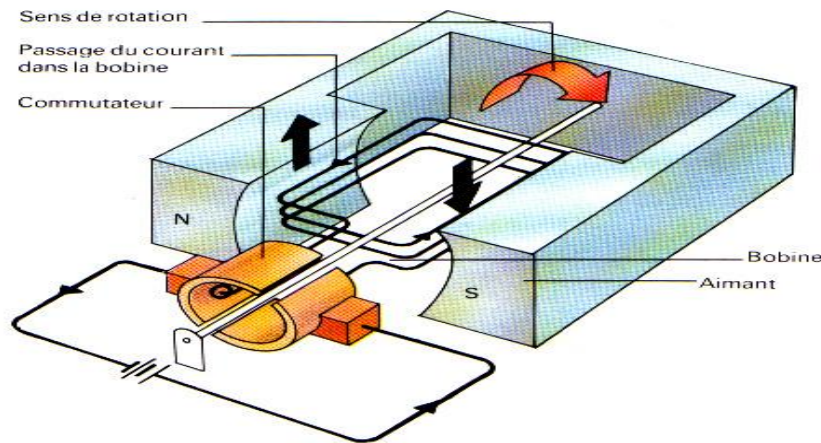


Figure I-5-Schéma principe de fonctionnement d'une machine à courant continu

Si de plus la machine la machine fonctionne à flux constants

$$E = K' \cdot \phi \quad (I.3)$$

Avec:

$$K' = K \cdot \phi \quad (I.4)$$

I-3-2-Couple électromagnétique :

Pour une spire : les deux brins d'une spire placées dans le champ magnétique B , subissent des forces de Laplace formant un couple de force pour une spire donc le couple électromagnétique total développé :

$$T_{em} = K \cdot \phi \cdot I \quad (I.5)$$

I-3-3-Puissance électromagnétique :

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

D'après le principe de conservation de l'énergie cette puissance est égale à la puissance développée par le couple électromagnétique [3]

$$P_{em} = E . I = T_{em} . \Omega \quad (I.6)$$

I-3-4-les différentes pertes:

Les différentes pertes sont groupées dans le tableau ci-dessous du MCC.[5]p:4

Pertes	<u>Pertes magnétiques P_{fer}</u>	<u>Pertes joules P_J</u>	<u>Pertes mécaniques</u>
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.

Tableau I-1- Les différentes pertes dans la machine

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 :

$$T_p = \frac{P_c}{\Omega} \quad (I.7)$$

I-4- Bilant de Puissance de moteur à courant continu :

Nous avons reporté sur la figure ci-dessous le bilan de puissance et des pertes d'un moteur à courant continu. Soient :[5]p:8

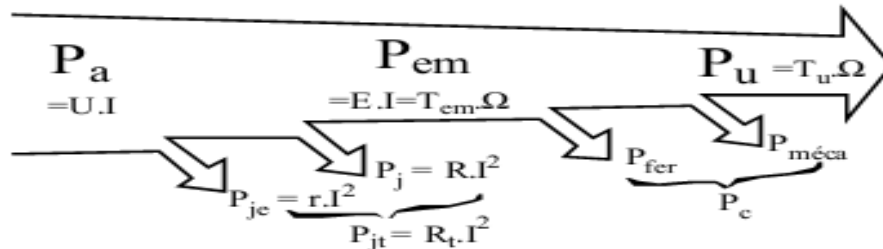


Figure I-6- Bilan des puissance du moteur à courant continu

I-4-1-La puissance absorbée :

C'est la puissance électrique absorbée par un moteur à courant continu ,cette puissance P_a est calculée par la relation suivante :

$$P_a = U . I \quad (I.8)$$

I-4-2-la puissance utile:

C'est la puissance utile qui fournit par un moteur à courant continu ,la puissance utile P_u se calcule par la relation suivante:

$$P_u = \frac{T_u}{\Omega} \quad (I.9)$$

I-4-3-La puissance électromagnétique :

La puissance électromagnétique P_{em} est donnée par les relations suivantes :

$$P_{em} = E . I = T_{em} . \Omega \quad (I.10)$$

I-4-4-Les pertes variables :

Ce sont les pertes par effet joule dans l'induit et dans l'inducteur . elles sont dissipées par les résistance équivalents des circuits ,de sorte que ,au stator (inducteur):

$$P_{js} = P_f . I^2 \quad (I.11)$$

Et au rotor (induit):

$$P_{jr} = P_a . I^2 \quad (I.12)$$

I-4-5 Puissance mécanique :

Puissance mécanique développée par le moteur est déterminée par l'équation :

$$P_m = T_{mec} \cdot \Omega \quad (I.13)$$

Ou :

T_{mec} : Couple moteur en $N.m$ (Newton .mètres);

Ω : Vitesse angulaire en rad/sec.

I-4-6 Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation est donnée par la relation suivante :

$$\Omega = \frac{(U - R \cdot I)}{K \cdot \phi} \quad (I.14)$$

- si le flux d'excitation ϕ (généré par l'inducteur) est constant on peut écrire .

$$E = K \cdot \Omega$$

Avec: K en Volt(rad/s) , Ω en rad/s

La f.e.m. E est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur .

I-4-7 Le rendement:

Le rendement η d'un moteur à courant continu est le rapport entre sa puissance utile(ce qu'elle délivre)et la puissance qu'elle consomme.

La relation du rendement d'un moteur à courant continu est :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + P_{jr} + P_{js} + P_m + P_f} = \frac{P_u}{P_a - P_{jr} - P_{js} - (P_m + P_f)} \quad (I.15)$$

I-5-Mode d'excitation :**I-5-1 Excitation série:**

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

Le bobinage inducteur comportée 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.[5]p5

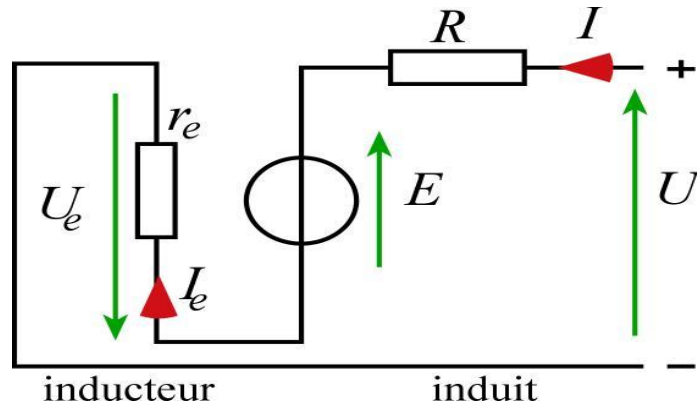


Figure I-7-Modèle électrique du MCC à excitation série

- Caractéristique :

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.

I-5-2-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.

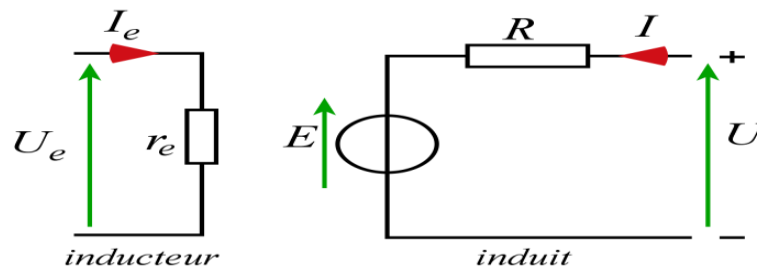


Figure I-8-Modèle électrique du MCC à excitation séparée

- Caractéristiques :

- l'inducteur est alimenté par une source indépendante .
- grande souplesse de commande .
- large gamme de vitesse.

I-5-3-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 :

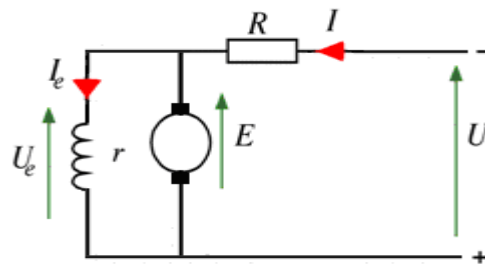


Figure I-9-Modèle électrique du MCC à excitation shunte

I-5-3-Excitation compound:

Le moteur compound porte un inducteur série et inducteur shunt, la F.M.M de l'enroulement série agit toujours dans le même sens que celle de l'enroulement shunt. La F.M.M de l'enroulement shunt est habituellement plus grand que celle du champ série. Même à pleine charge.

Le moteur compound sert à entraîner des machines en présentant une charge très élevée et de courte durée.

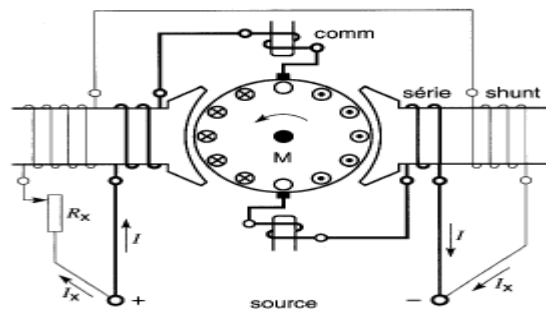


Figure I-10- Modèle électrique du MCC à excitation Compound

I-6- Les avantages et Les inconvénients de moteur à courant continu :

I-6-1-Les avantages de moteur à courant continu :

- Ce type de machines faciles à commande.
- Régulation précise du couple.
- Le rendement élevé du groupe convertisseur-moteur se traduit en un épargne en énergie électrique qu'est plus significatif si on adopte un convertisseur bidirectionnel marchant sur quatre quadrants en réalisant ainsi l'épargne d'énergie.
- Son indépendance par rapport à la fréquence du réseau fait de lui un moteur à large champ d'application.

- Par un programme simple et visant à l'entretien contrôlée le moteur peut marcher pour plusieurs ans et les économies de coûts seront considérables. [4]

I-6-2-Les inconvénients de moteur 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.
- 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.[4]

Conclusion :

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

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

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

Chapitre II

Modélisation du Moteur à Courant Continu

II-1- Introduction:

Dans une machine à courant continu, l'inducteur est le stator, la partie fixe de la machine. Il crée une induction magnétique fixe dans l'espace à partir d'un bobinage (bobines excitatrices) parcouru par un courant d'excitation continu ou à partir d'aimants permanents [8]. Les caractéristiques électrique et mécanique de la machine sont liées à l'amplitude du flux inducteur. Un circuit magnétique permet de créer facilement une induction importante avec peu de conducteurs et de courant.

L'induit est la partie tournante de la MCC, son rotor. C'est le lieu de la conversion électromécanique. Il est constitué d'un circuit magnétique encoché où sont placés des conducteurs axiaux parcourus par un courant..

Dans ce chapitre, on a fait l'équation électrique et mécanique pour déduire le modèle du moteur à courant continu (à excitation séparée). 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...)

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

II -2- Modèle équivalent du moteur a excitation sépare:

Ce mode d'excitation est de loin le plus répandu car c'est le plus souple pour le pilotage de la MCC en vitesse, en position ou en couple. Une machine à courant continu à aimants permanents est assimilable à une machine à excitation indépendante (séparée) .

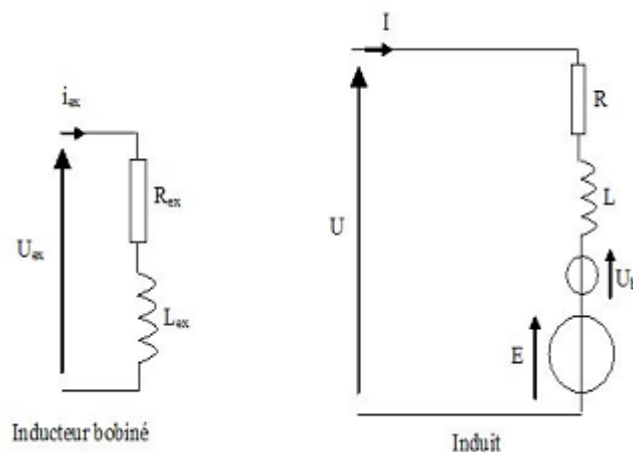


Figure II-1 – Schéma équivalent d'une MCC (induit et inducteur bobiné).

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.é.m., sa résistance et l'inductance par la formule suivante:

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

L'équation de tension de l'inducteur est

$$U_e = R_e \cdot I_e + L_e \cdot \frac{dI_e}{dt} \quad (\text{II.2})$$

Comme dans toutes les machines électromagnétique, le couple est proportionnel au flux crée par l'inducteur et au courant dans l'induit .Le couple électromagnétique est donné par :

$$C_e = k \cdot \phi \cdot I_a \quad (\text{II.3})$$

Si ϕ constant alors :

$$C_e = k \cdot \phi \cdot I_a = k' \cdot I_a \quad (\text{II.4})$$

Le couple de frottement visqueux est exprimé par

$$C_f = f \cdot \omega \quad (\text{II.5})$$

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

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + f \cdot \omega = C_e - C_r \quad (\text{II.6})$$

II-2-2-Le schéma bloc du moteur :

L'ensemble de ce qui précède nous permet de réaliser le modèle simulink (c'est à dire le modèle utilisé en simulation dans Matlab/Simulink) de la machine à courant continu comme suit:

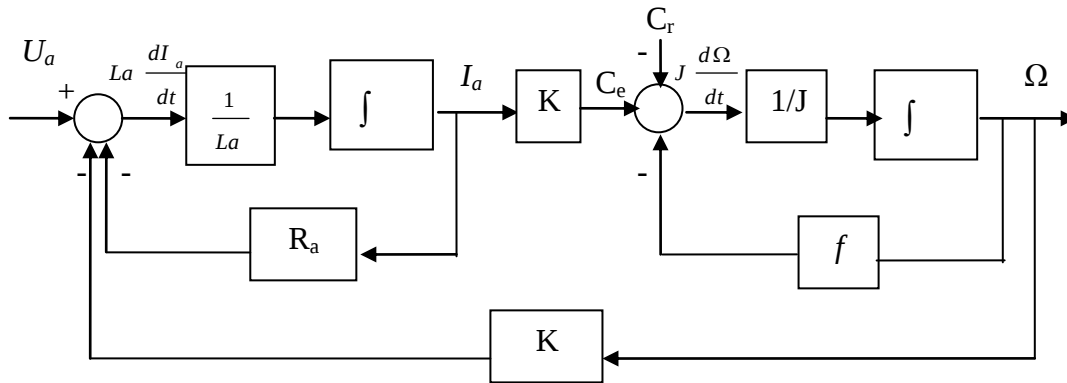


Figure II-2-Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée.

II-2-3- Les paramètres du moteur:

Les paramètres de la machine à courant continu résumé dans le tableau suivant :

La résistance d'induit	$R_a=8.13 \Omega$
L'inductance d'induit	$L_a=14.2 \text{ mH}$
Le constante de Couple	$K=0,16$
L'enértsie	$J=0,11. 10^{-3} \text{ kg/m}^2$
Le frottement	$f= 0,15 \text{ m.N.m/rd. s}^{-1}$

II-2-4- Les résultats de simulation:

Il est facile implanté les nouvelles bloc les équation dans le modèle Simulink , le schéma de bloc est représenté à la figure suivante :

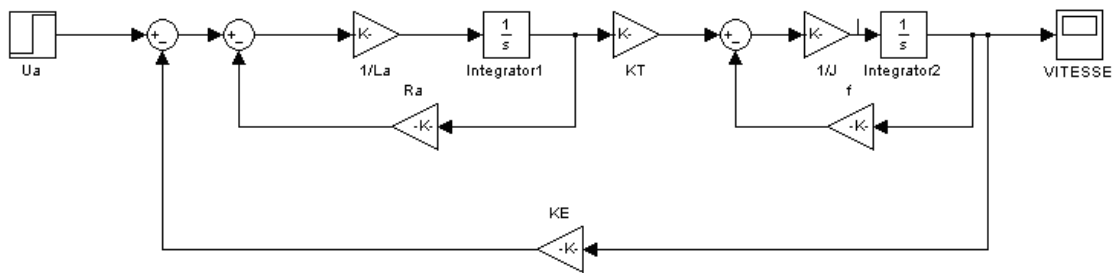


Figure II-3-Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée à vide .

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

* Les résultats du simulation :

Les caractéristiques à vide du moteur à courant continu :

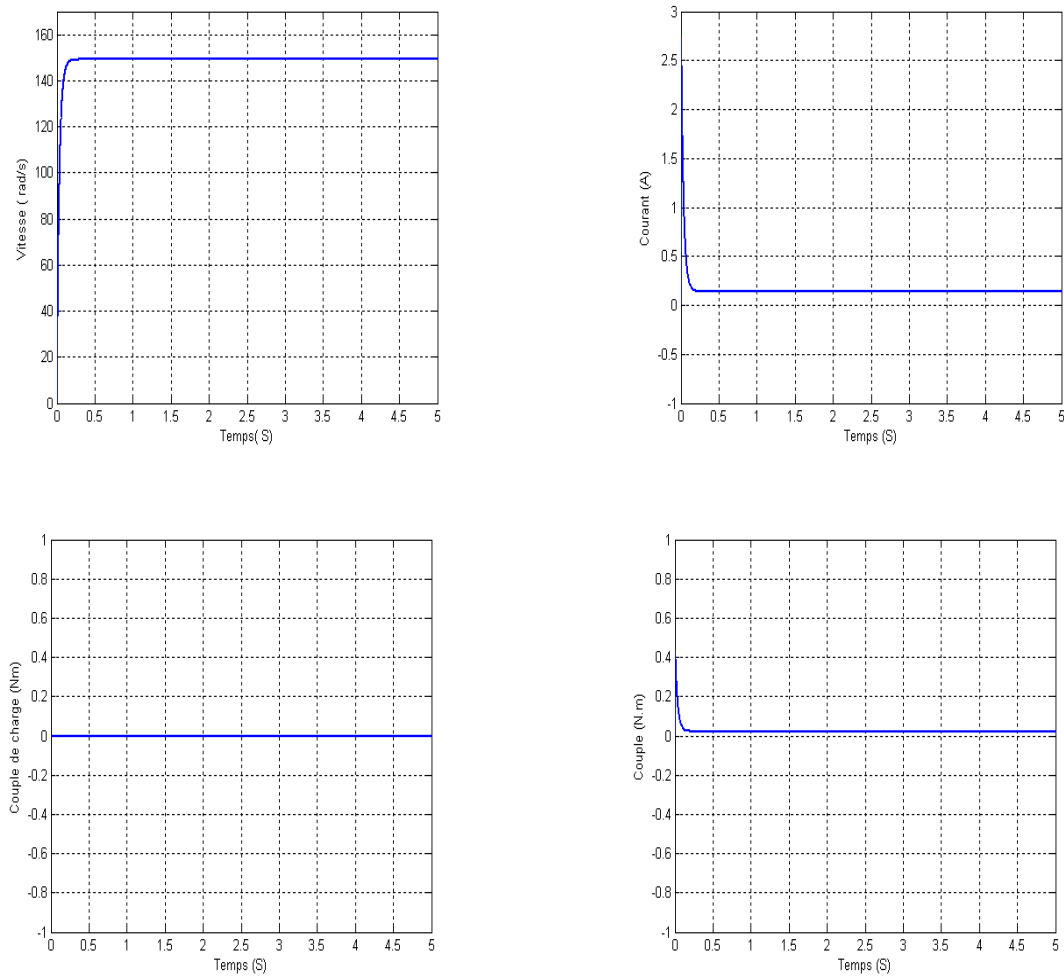


Figure: II-4-La vitesse , Couple de charge , couple du moteur et le courant d'induit en à vide

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

Cr=10Nm:

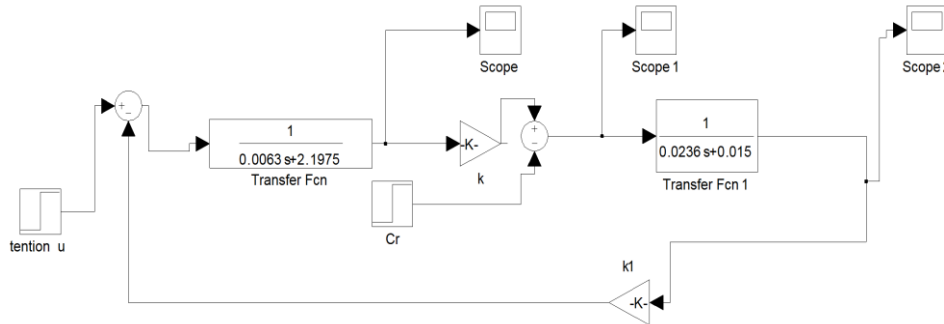


Figure II-5-Le schéma bloc de la MCC à excitation séparée en charge .

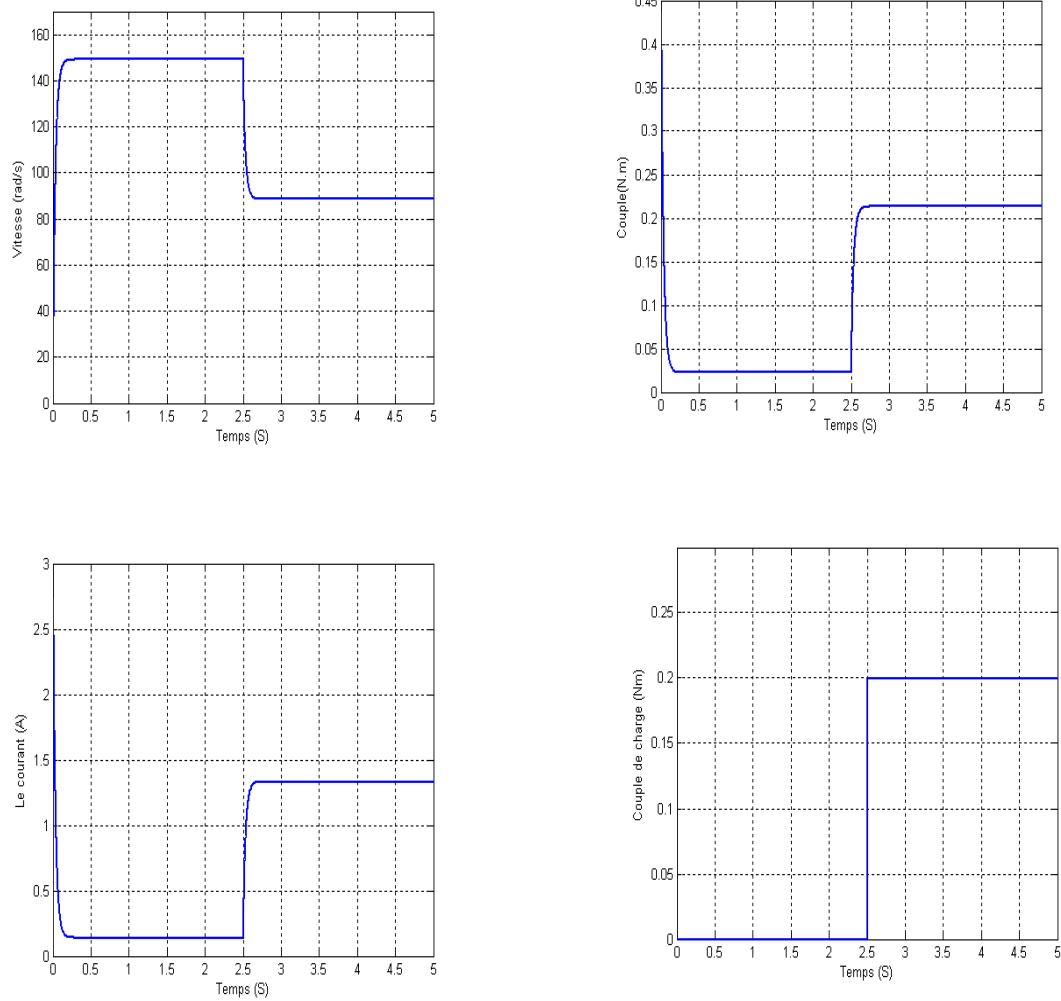
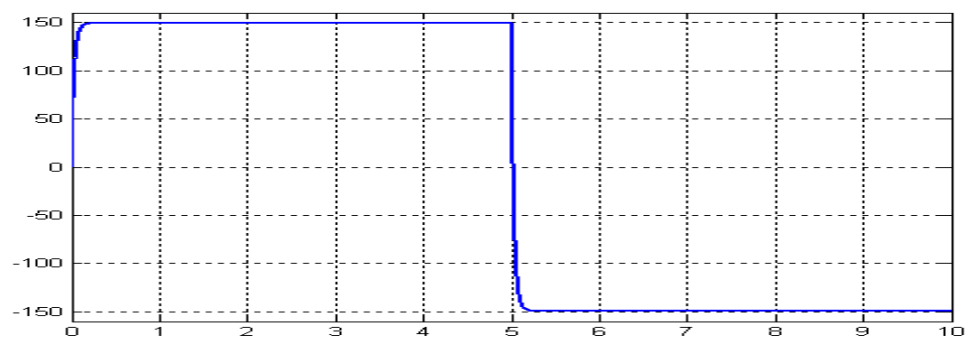
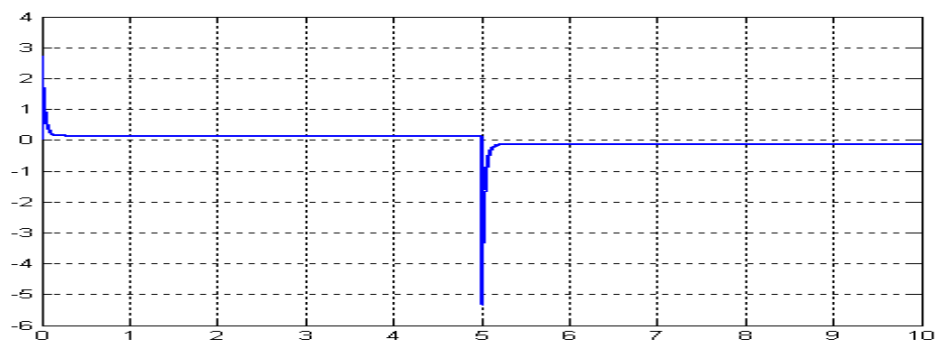


Figure II-6- La vitesse, Couple de charge, couple du moteur et le courant d'induit en charge

II-2-4-3- Les caractéristiques avec un changement de sens de rotation :**Figure II-7-la vitesse du moteur à courant continu**

i

Figure II-8-le couple du moteur à courant continu**Figure II-9-la courant du moteur à courant continu**

Interprétation :A vide :

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

Les figures (II-4) montrent qu'il y a un fort appel du courant pendant I puis il revient à zéro .

$I_m = 2.5A$ 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 ($C_{max} = 0.2 \text{ N.m}$)

La vitesse augmente d'une façon presque linéaire puis se stabilise à ($\omega = 150 \text{ rad/s}$) qui correspond à la vitesse de la marche à vide idéal.

En charge :

Les figures (II-6) 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 2 A

Par contre la vitesse charge de valeur en régime permanent ($\omega = 150 \text{ rad/s}$)

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

Conclusion :

La simulation de la machine est un moyen important pour extraire les caractéristiques des machines après la formation de schéma bloc à partir du modèle électrique. L'environnement qu'est MATLAB/SIMULINK, est un bon moyen d'étude du fonctionnement des MCC.

La condition nécessaire pour obtenir d'un modèle mathématique du système réel (on réalise une modélisation). Un système est un objet dans lequel des variables de différents types interagissent et produisent des signaux observables [7]. Lorsque le modèle du système n'est pas connu, il est nécessaire de procéder à son identification. Ce projet représente notre chapitre prochain.

Chapitre III

Identification des paramètres de la Machine à courant continu

III-1- Introduction:

L'identification, bien que représentant un des grands chapitres de l'automatique, ne peut plus être considérée comme seulement une partie intégrante de cette discipline, à l'usage essentiel des stratégies de commande ou de diagnostic. Son emploi en sciences de l'ingénieur, parfois avec une terminologie différente, montre qu'elle constitue une discipline à part entière des sciences expérimentales, intimement associée à la modélisation [9].

L'Identification, ou la recherche de modèles à partir de données expérimentales, est une préoccupation majeure dans la plupart des disciplines scientifiques. Elle désigne à la fois une démarche scientifique et un ensemble de techniques visant à déterminer des modèles mathématiques capables de reproduire aussi fidèlement que possible le comportement d'un système. [7]

Ce travail de maîtrise a été accompli au Laboratoire d'Electrotechnique du Département de génie électrotechnique de l'Université d'ELOUED

III-2- Modélisation de la machine à courant continu :

La machine à courant continu peut être modélisée par le biais d'équations électrique, électromécanique et mécanique. Ces trois groupes d'équations nous permettront de mieux appréhender la machine à courant continu dans son fonctionnement réel. [6]

Du côté électrique nous pouvons dire que la machine à courant continu se définit par un circuit d'induit et un circuit inducteur ; l'induit de la MCC peut être vu comme une résistance R et une inductance L en série avec une source de tension proportionnelle à la vitesse.

Du côté mécanique, nous représentons la machine à courant continu par l'inertie de l'induit augmentée de celui de la charge entraînée.

III-2-1-Equations de la machine à courant continu :

Notons d'abord que dans notre modélisation nous allons utiliser le moteur à courant continu afin d'établir les équations et ce qui s'en suit. Du fait que, par des changements de connexions entre l'induit et l'inducteur on aboutit aux autres types de MCC (par rapport à l'excitation) et que les MCC sont réversibles, nous pourrions donc obtenir les autres modèles moyennant des modifications à partir du premier.

Le schéma technologique d'une MCC est représenté sur la figure suivante :

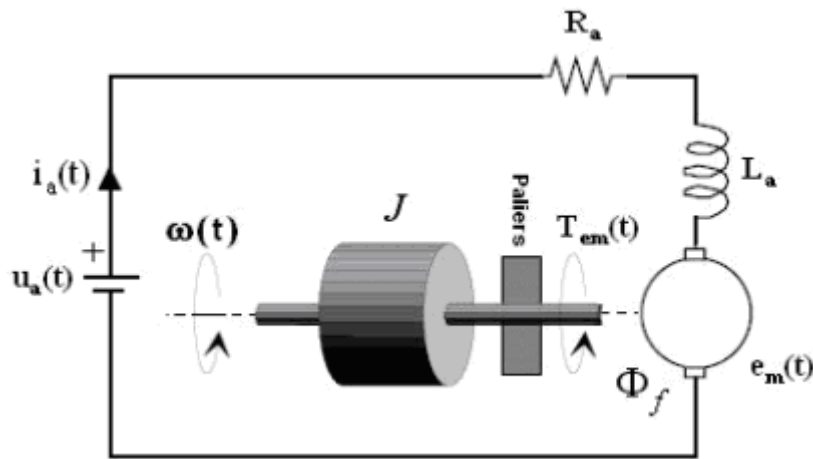


Figure III-1- Le schéma technologique d'une MCC

- La tension aux bornes de l'induit u_a
- le circuit électrique de l'induit, faisant apparaître :
 - La résistance de l'induit R_a ;
 - L'inductance de l'induit L_a ;
 - Une tension e_m appelée f.e.m. (force électro-motrice), proportionnelle à la vitesse angulaire
- .- Le courant traversant le circuit d'induit I_a
- Le couple électromagnétique instantané T_{em}
- L'inducteur, fixé au stator, créant un flux magnétique d'excitation Φ_f
- La charge mécanique, dépendante de l'application (inertie J , frottement visqueux, élasticité de la transmission, etc.) .

• Equations électriques

Prenant en compte la résistance R_a et l'inductance L_a du circuit d'induit, du collecteur, des balais et des connexions, et en les supposant toutes deux constantes (pas de variation due à l'échauffement ni à la saturation magnétique), l'équation de tension induite s'écrit :

$$U_a(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \frac{d \Psi}{dt} = R_a \cdot i_a(t) + \frac{d (N \cdot \Phi_f)}{dt} \quad (\text{III. 1})$$

$$U_a(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \frac{d i_a}{dt} + e_m(t) \quad (\text{III.2})$$

• Equations électromécaniques

La tension induite e_m , appelée FEM ("force électromotrice" dans l'optique de l'exploitation en générateur) est proportionnelle à la vitesse angulaire $\omega(t)$ et au flux inducteur Φ_f :

$$e_m(t) = k \cdot \Phi_f \cdot \omega(t) \quad (\text{III.3})$$

k est une constante dépendant de la construction de la machine.

Le couple électromagnétique T_{em} développé a pour expression :

$$T_{em}(t) = k \cdot \Phi_f \cdot i_a(t) \quad (\text{III.4})$$

• Equation mécanique

Le moteur en rotation est décrit par l'équation (de la dynamique) d'équilibre suivante:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_{em}(t) - B_m \cdot \omega(t) - T_r(t) - T_f(t) \quad (\text{III.5})$$

Où

J : inertie totale entraînée

B_m : coefficient de frottement visqueux

T_r : couple résistant

T_f : couple de frottement de coulomb

Voilà en somme les équations régissant le fonctionnement du moteur.

III-3-Laboratoire : Etude de la MCC

Ce travail de maîtrise a été accompli au Laboratoire d'Electrotechnique du Département de génie électrotechnique de l'Université d'ELOUED et résultat obtenu en Laboratoire d'Electrotechnique de l'Université des Science Technologies de Lille.

III-3-1-Mise en œuvre du laboratoire :

Le laboratoire comprend des appareille représentent à la figure se dessous (Figure III-2):

- Une machines à courant continu DC .
- Deux sources de tension continue (U_a pour l'alimentation de l'induit de la machine, U_e pour l'alimentation de l'enroulement d'excitation).
- Un oscillographe Scope pour visualiser les processus .

- Les appareils de mesure : Multimètres pour la mesure de tension, de courant et de résistance.

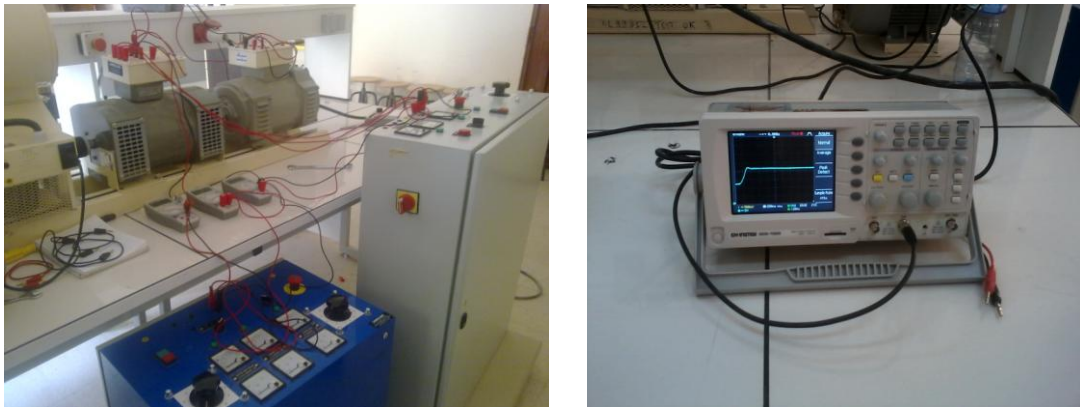


Figure III-2 Les Appareils nécessaires dans laboratoire

III-4-Identification des paramètres physiques de la machine:

III-4-1-La résistance d'induit:

Pour obtenir la résistance de la machine, il faut parvenir à l'alimenter en continu sans qu'elle puisse tourner.

En effet dans ce cas, seule la résistance d'induit sera prise en compte pas de force électromotrice à vide et inductance d'impédance nulle en continu : [10]



Figure III-3- Essais pour Obtenir la valeur de la résistance d'induit

Après avoir fait tourner le moteur pendant 10 mn, nous le déconnectons de l'alimentation et branchons un ohmmètre à ses bornes, nous prenons plusieurs mesures en tournant le rotor à la main ; en effet la résistance d'induit dépend de la position des balais et du collecteur de la machine

Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5
8,11 Ω	11.27 Ω	10 Ω	3.14 Ω	5.62 Ω

Pour Obtenir la valeur de la résistance d'induit, nous effectuons la moyenne des résultats :

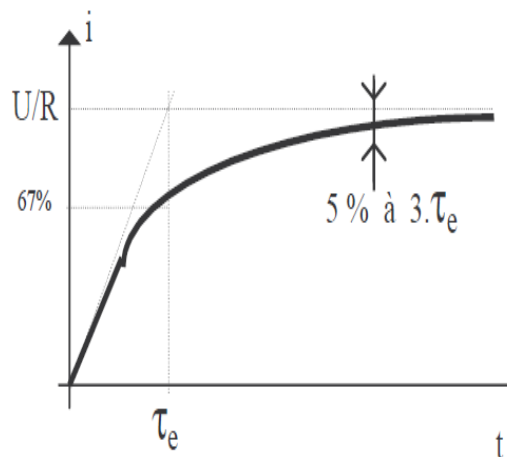
$$R_{may} = (8.11+11.27+10+3.14+5.62)/5 = 8.13\Omega$$

$$R_{may}=8.13\Omega$$

III-4-2-L'inductance:

Nous allons identifier l'inductance de la machine. Nous l'appellerons L . On réalise le montage suivant, dans lequel on pensera à ajouter les capteurs nécessaires.

On effectue donc un relevé du courant, rotor bloqué pour connaître La constante de temps électrique et donc l'inductance :



On règle la tension aux bornes du moteur a 15 V (pas plus sinon l'appel de courant serait trop important). Ensuite on bloque le rotor en main, et on relève sur l'oscilloscope (mode monocoup) l'allure du courant, on éteint aussitôt pour ne pas faire surchauffer le moteur et la source de tension :



Figure III-4 - Essais pour Obtenir la valeur de l'inductance d'induit (Rotor bloqué)

On sait que :

$$U_a = E + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (\text{III.6})$$

si rotor bloqué

$$E = K . \Omega = 0 \quad (\text{III.7})$$

d'où

$$U_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (\text{III.8})$$

avec

$$\tau_e = L_a / R_a \quad (\text{III.9})$$

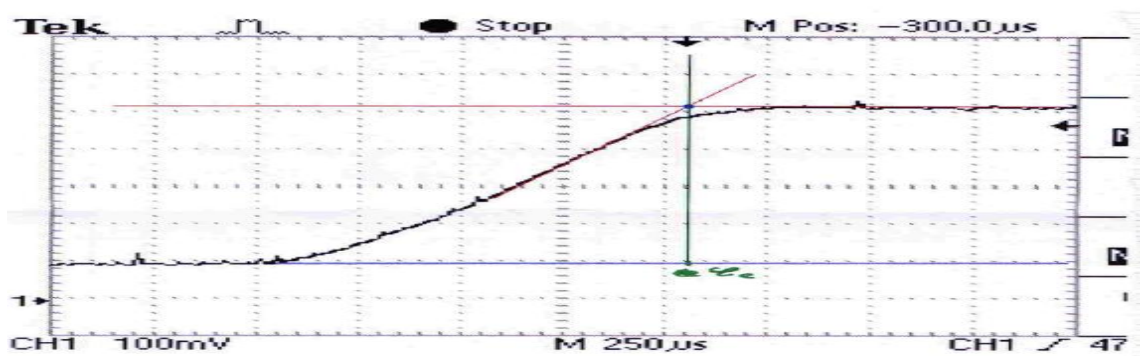


Figure III-5- l'allure du courant sur l'oscilloscope pour calculer le constante de temps

Donc : $\tau_e = 1780 \mu s$.

Comme :

$$L_a = \tau_e * R_a \quad , \quad \text{et} \quad R_a = 8.13 \, \Omega \quad , \quad \tau_e = 1780 * 10^{-6} \, s$$

On déduire L' inductance d'induit :

$$L_a = 8.13 \times 1780 \times 10^{-6} = 0.0142$$

Donc : $L_a = 14.2 \text{ mH}$

III-4-3-Détermination de la constante électromagnétique :

On mesure la constante électromagnétique K par un essai en génératrice, on relève la tension aux bornes de la machine à vide en fonction de la vitesse (donnée par la dynamo bathymétrique)

pour plusieurs valeurs croissantes de E pour tracer $E(\Omega)$ et en déduire K : [11]

$$K = E / \Omega \quad (\text{III.10})$$

$E(V)$	10	20	30	50
$\Omega \text{ (tr/min)}$	600	1260	1800	3000
$K \text{ (V/rad/s)}$	0.16	0.151	0.16	0.16

On effectue la moyenne des mesures :

$$K = \frac{0.16 + 0.16 + 0.16 + 0.151}{4} = 0.16 \text{ V / rd/s}$$

Donc : $K = 0.16 \text{ V / rd/s}$

III-5-Détermination des paramètres mécanique :

Pour cela il nous faut faire 2 mesures : - un essai au ralentissement $\Omega = f(t)$ et un relevé de $I = f(\Omega)$

III-5-1-Première mesure : (Essais au ralentissement) :

On fait tourner le moteur à sa vitesse nominale et on coupe l'alimentation, On mesure τ_m par un essai au ralentissement, circuit induit ouvert et à vide ($C_c = 0$)
on a donc :

$$-C_s = j * \frac{d\Omega}{dt} + f * \Omega \quad (\text{III.11})$$

avec $\tau_m = J/f$

d'où

$$\tau_m = \frac{t_1}{\ln \left(\frac{\Omega(t_1) - \Omega_0}{\Omega(t_2) - \Omega(t_1)} \right)} \quad (\text{III.12})$$

$$\Omega(t) = (\Omega_0 + C_s) * e^{\frac{-t}{\tau_m}} - C_s / f \quad (\text{III.13})$$

si $t_2 = 2.t_1$ alors

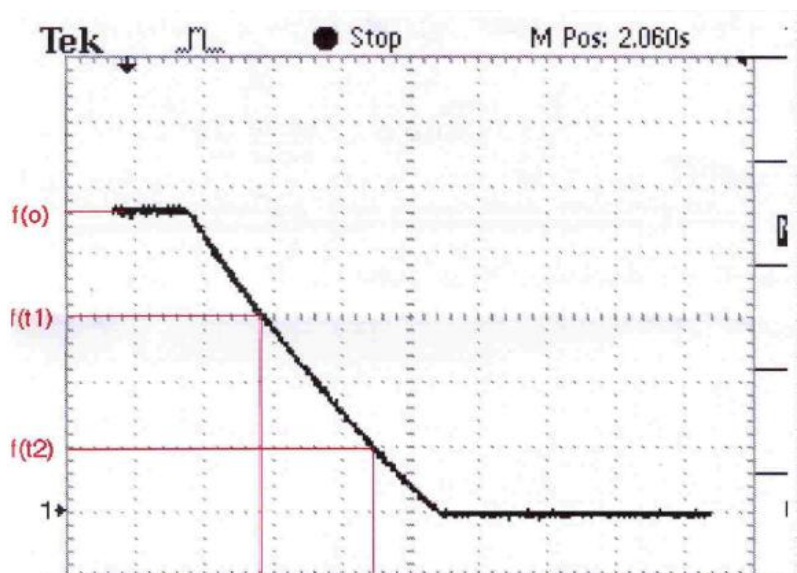


Figure III-6 -l'allure de vitesse pour calculer le constante de temps

Va partie l'allure de vitesse on prend trois valeur de vitesse dans trois instants (t_0, t_1, t_2) :

* $\Omega(t_0) = 95 \text{ rd/s}$

* $\Omega(t_1) = 73 \text{ rd/s}$

* $\Omega(t_2) = 169 \text{ rd/s}$

* $t_1 = 500 \text{ ms}$

* $t_2 = 1 \text{ s}$

On calcule la valeur de τ_m :

$$\tau_m = \frac{500}{\ln\left(\frac{73 - 93}{169 - 73}\right)} = 744 \text{ ms}$$

$$\tau_m = 744 \text{ ms}$$

III-5-2-Deuxième relevé : courbe $I = f(\Omega)$ à vide ($C_c=0$) de l'ensemble électromécanique :

$I(A)$	0.68	0.72	0.76	0.8	0.84	0.9
$N(tr/min)$	770	1155	1530	200	2305	3000
$\Omega (rad/s)$	80.63	120.9	160.2	209.4	241.3	314.1

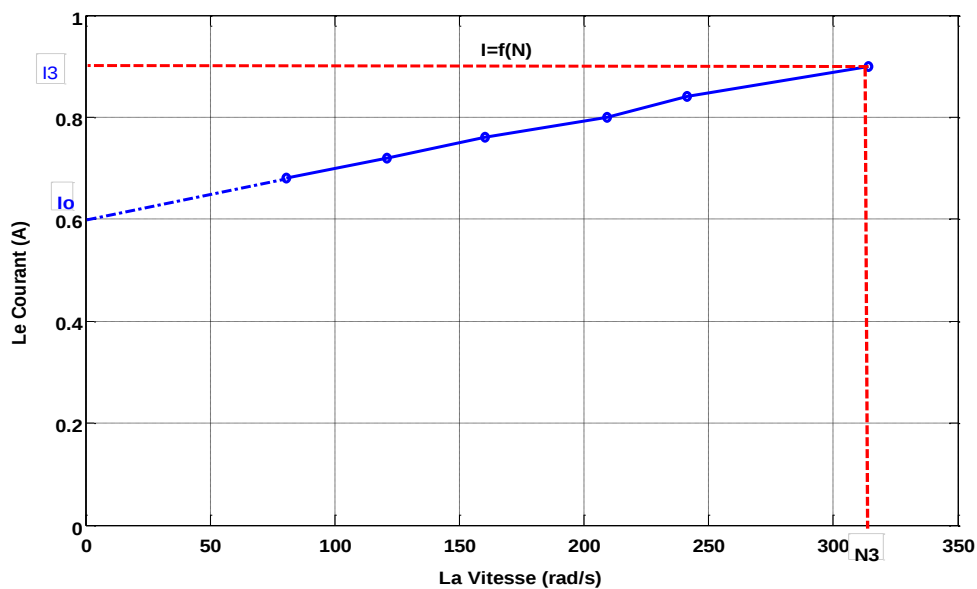


Figure III-7- l'allure du courant en fonction de vitesse

En statique :

$$K.I - C_s = f.\Omega \quad (\text{III-14})$$

d'où

$$C_s = K.I_0 \quad (\text{III-15})$$

$$f = K * \frac{\Delta I}{\Delta \Omega} = K * \frac{I_3 - I_0}{\Omega_3} \quad (\text{III-16})$$

$$J = f. \tau_m \quad (\text{III-17})$$

Avec K = constante électromagnétique : ($K = 0,16$)

$$I_0 = 0,6 \text{ A}$$

$$I_3 = 0,9 \text{ A}$$

$$\Omega_3 = 314,3 \text{ rd/s}$$

On en déduit les valeur de

$$C_s = 96 \text{ m.Nm}$$

$$f = 0,15 \text{ m.N.m/rd. s}^{-1}$$

$$J = 0,11. 10^{-3} \text{ kg/m}^2$$

Donc les paramètres de la machine à courant continu résumé dans le tableau suivant :

La résistance d'induit	$R_a = 8.13 \Omega$
L'inductance d'induit	$L_a = 14.2 \text{ mH}$
Le constante de Couple	$K = 0,16$
L'inertie	$J = 0,11. 10^{-3} \text{ kg/m}^2$
Le frottement	$f = 0,15 \text{ m.N.m/rd. s}^{-1}$

Conclusion :

L'identification de la machine à courant continu dans ce chapitre a été abordée par des essais classiques (essais moteur à vide , essais à rotor bloquer , essais génératrice sans charge...)

Les résultats obtenus nous montrent les paramètres réels de la machine

Il y a des autres technique d'identification donne de très bons résultats, on trouve les algorithmes d'identification, s'ils sont bien utilisés.

Conclusion générale

Les machines à courant continu sont peu à peu remplacées par les machines asynchrones dans certains processus. Pourtant leur étude s'avère nécessaire car elles sont toujours utilisées dans plusieurs domaines où elles sont les mieux adaptées.

Cette mémoire est composée de trois parties qui résument notre travail.

La première partie contient des généralités sur la machine à courant continu c'est-à-dire traite la structure interne de la machine et le principe de fonctionnement,

La deuxième partie contient les équations électriques et mécaniques de la machine (modélisation de la machine), On a extrait les caractéristiques de la vitesse, couple et flux dans les cas à vide, en charge et inversement de vitesse, l'environnement MATLAB/SIMULINK, est un bon moyen d'étude du fonctionnement des MCC.

. En fin dans la troisième partie on a montré comment trouver les paramètres réels de la machine à partir des méthodes classiques d'identification à l'aide des essais classiques (essais moteur à vide, essais à rotor bloqué, essais génératrice sans charge....

On propose comme complément de ce projet l'étude de l'identification des machines à l'aide de calculateurs, en revanche de décrire leurs propriétés à l'aide de valeurs mesurées.

Référence

- [1]: Lous : (commande des machine à courant continu à vitesse variable); Méthode pratique de l'ingénieur; 1990.
- [2]: Gustave monod : (actionneurs machine à courant continu avec balais), science de l'ingénieur terminal S année 2002/2003.
- [3]: F. Bernot : Machine à courant continu (constitution et fonctionnement).
Technique de l'ingénieur.
- [4]: D. Arzelier : Représentation et analyse des systèmes linéaire . LASS –CNRS
<http://www.laas.fr/arétier>.
- [5]: cours_machine_cc, pdf .
- [6]: Dr. Ing. Adama Fanhrii SANGARE, Etude d'un laboratoire virtuel de simulation des machines à courant continu . Ph.D in Electrical Engineering and Automation . Bamako ENI-
- [7]: Projet de fin d'étude de DEMBELE Abdoulaye, Mise en place d'une plate forme de simulation de commande de machines à courant continu, Bamako ENI-ABT, 2002. 110p
- [8]: Conversion électromécanique d'énergie La Machine ` a Courant Continu Lycée Richelieu TSI 1 Sébastien GERGADIER 2006 – 2007
- [9]: Henri BOURLES , Introduction aux systèmes et mathématiques pour l'automatique – Cours B2 d'automatisme industriel , – Octobre 2001
- [10]: Davide Aggila , Identification des paramètre du Motors à induction , Université Laval mémoire 2004
- [11]: Amine, HADJ ABDELKADER , Identification des Systèmes Linéaires, Document de cours pour les étudiants de M1 en 'Contrôle des Processus. Octobre 2007 ABT, 2008.