

CHAPITRE III : LES MOTEURS A COURANT CONTINU

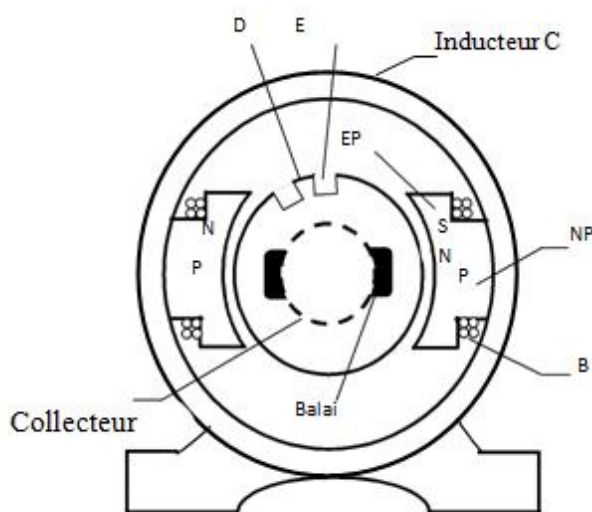
I – Introduction

Le moteur à courant continu est une machine tournante qui exploite le fait qu'un conducteur placé perpendiculairement à un champ magnétique et parcouru par un courant se déplace en fauchant le champ magnétique : il est donc capable de produire un effort mécanique.

La constitution d'un moteur électrique est identique à celle d'une dynamo, ce qui signifie que la même machine peut fonctionner soit comme un moteur, pour produire une force, soit comme un générateur de courant, comme dans la dynamo, le champ magnétique est produit par les pôles inducteurs du stator. On fait circuler un courant dans les conducteurs du rotor; ceux-ci, étant perpendiculaires au champ, sont soumis à une force magnétique. Le bobinage est réalisé de telle sorte que les forces de chacun des conducteurs s'additionnent. La force totale du moteur est la somme des forces qui s'exercent sur les conducteurs: on l'appelle couple du moteur.

Dans ce chapitre nous allons donner une modélisation du moteur à courant continu, mais avant tout nous donnerons sa structure, ses différents blocs ainsi que son principe de fonctionnement.

II - Constitution d'un moteur à courant continu : [10]



a)

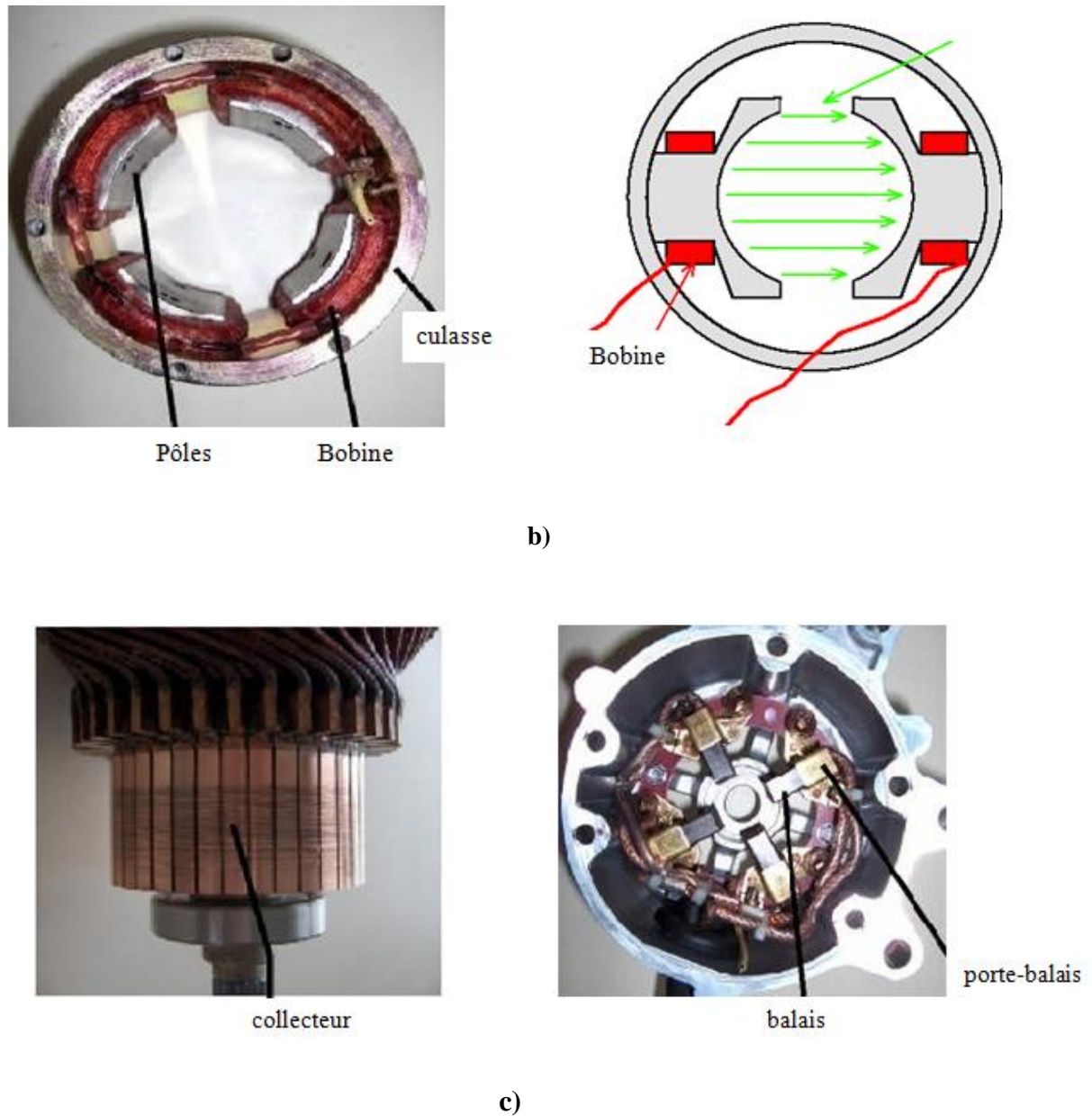


Figure ch.3-1 : constitution d'un moteur à courant continu

II-1- L'inducteur

L'inducteur (parfois appelé «champ») produit le flux magnétique dans la machine. Il est constitué d'un électro-aimant qui engendre la force magnétomotrice (FMM) nécessaire à la production du flux. Il est constitué par :

- **Une culasse en acier :**

C'est la carcasse de la machine, elle supporte toutes les deux flasques avec leurs paliers (non représentés) dans lesquels tourne l'arbre que porte le rotor. Culasse ferme le circuit magnétique de la moteur

- **Bobines inductrices :**

Elle sont placées autour des pôles. Les forces magnétomotrices qu'elles développent produisent le flux. Ces bobines figure (ch.3-1.b) sont telles que l'un des épanouissements polaires soit une face sud figure (ch.3-1.c).

- **Pôles principaux :**

Ils sont le plus souvent pour des raisons économiques, formés de tôles découpées puis assemblées. Sur chaque pôles figure (ch.3-1.b) on distingue deux parties : le noyau polaire (NP), sur lequel est logée la bobine inductrice .et l'épanouissement polaire, ou pièce polaire (EP).

II-2- L'induit

- **Feuilletage :**

L'induit tourne dans un champ magnétique fixe, il sera donc le siège de pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Ces derniers interdiraient pratiquement la rotation d'un cylindre plein. Les tôles de L'induit qui le constituent (0.2 à 0.5 mm) sont d'écopées à la presse, isolées les unes des autres par une mince pellicule de vernis, et assemblées. Pour réduire les pertes par hystérésis, ces tôles sont en acier au silicium. L'ensemble des pertes dans le fer y est de l'ordre de 2.5 watts par kilogrammes pour un champ magnétique de 1.4T et une fréquence de fonctionnement de 50HZ (50tr/s si la machine est bipolaire).

- **Encoche :**

Sur la périphérique de l'induit on a découpé des encoches ou rainures (E) dans lesquelles viendront se loger les conducteur de l'induit. Le morceau de tôle restant entre deux encoches s'appelle une dent(D). Le diamètre extérieur de l'induit est à peine inférieur au diamètre inférieur de L'inducteur : quelques millimètres seulement qui constituent l'entrefer.

II-3- Le collecteur et les balais

– Le collecteur :

Placé à l'extrémité de l'induit et calé sur le même arbre figure (ch.3-1.d), il est formé de lames de cuivre. Elles sont isolées l'une de l'autre par de la mica. A l'arrière de la lame se trouve une ailette, usinée ou rapportée, dans laquelle sont soudées l'entrée d'une section et la sortie d'une autre. Il y a donc autant de lames de collecteur que de sections.

– Les balais :

Fixés sur la carcasse par l'intermédiaire de **porte-balais** figure (ch.3-1.e), ils sont en carbone et frottent sur le collecteur grâce à des ressorts. Le contact balais-collecteur n'est pas parfait, la surface qui assure effectivement le contact électrique est inférieure à la section totale des balais. En outre, puisque le collecteur tourne, ce contact électrique est inférieur à la section totale des balais. En outre, puisque le collecteur tourne, ce contact est glissant. De tout cela il résulte que la densité de courant admissible est faible : 10 A/cm^2 environ. Malgré cette précaution, l'échauffement sera important et la résistance de ce contact variera avec l'intensité du courant.[10]

III- Principe de fonctionnement [12]:

Lorsque l'inducteur est alimenté, il crée un champ magnétique (flux d'excitation) dans l'entrefer, dirigé suivant les rayons de l'induit. Ce champ magnétique entre dans l'induit du côté du pôle Nord de l'inducteur et sort de l'induit du côté du pôle Sud de l'inducteur. Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle inducteur (d'un même côté des balais) sont parcourus par des courants de même sens, et sont donc d'après la loi de Laplace, soumis à une force. Les conducteurs situés sous l'autre pôle sont soumis à une force de même intensité et de sens opposé. Les deux forces créent un couple qui fait tourner l'induit du moteur (figure ch3-2).

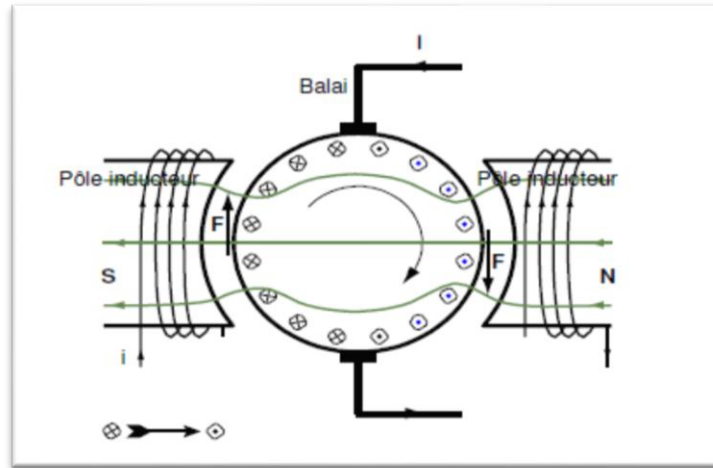


Figure ch.3-2 : Principe de fonctionnement de moteur à courant continu.

Lorsque l'induit du moteur est alimenté sous une tension continue ou redressée U , il produit une force contre-électromotrice e dont la valeur est :

$$e = U - RI \dots \dots \dots (1)$$

RI : représente la chute de tension ohmique dans l'induit. La force contre-électromotrice e est liée à la vitesse et à l'excitation par la relation :

$$e = K' \omega \Phi \dots \dots \dots (2)$$

Ou :

K' : est une constante propre au moteur,

ω : La vitesse angulaire,

Φ : Le flux.

Cette relation montre qu'à excitation constante la force contre-électromotrice e , proportionnelle à ω , est une image de la vitesse.

Le couple est lié au flux inducteur et au courant d'induit par la relation :

$$C_{em} = K' \Phi I \dots \dots \dots (3)$$

En réduisant le flux, le couple diminue.

IV- Différents types d'excitation de moteur à courant continu : [11][13]

Une machine à courant continu comporte deux circuits électriques indépendants : l'un alimente les bobines magnétique, c'est le circuit inducteur (ou circuit d'excitation), l'autre alimente les brins actifs de l'armateur, c'est le circuit induit. On peut brancher ces deux circuits l'un par rapport à l'autre de différentes façons :

IV-1- Moteur à courant continu à excitation parallèle :

Les bobinages, induit et inducteur, sont connectés en parallèle. L'inversion du sens de rotation s'obtient par l'inversion de l'un ou de l'autre des enroulements, en général par inversion de la tension d'induit en raison des constantes de temps beaucoup plus réduites. La majorité des variateurs bidirectionnels pour moteur à courant continu travaillent de la sorte.

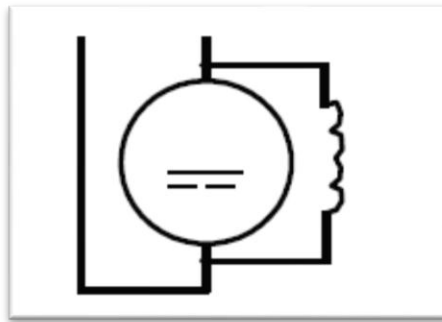


Figure Ch3-3 : Moteur à courant continu à excitation parallèle.

IV-2- Moteur à courant continu à excitation série :

Ce moteur est de construction semblable à celle du moteur à excitation séparée. Le bobinage inducteur est connecté en série avec le bobinage induit, d'où son appellation. L'inversion du sens de rotation est obtenue indifféremment par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur. Il est essentiellement utilisé en traction, en particulier sur les chariots alimentés par batteries d'accumulateurs.

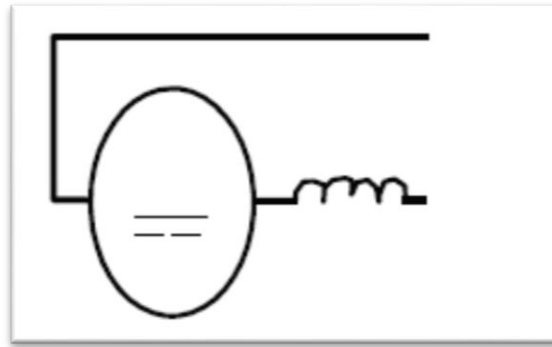


Figure ch3-4 : Moteur à courant continu à excitation série.

IV-3- Moteur à courant continu à excitation composée ou « compound » :

Cette technologie permet de réunir les qualités du moteur à excitation série et du moteur à excitation parallèle. Ce moteur comporte deux enroulements par pôle inducteur. L'un est en parallèle avec l'induit. Il est parcouru par un faible courant au regard du courant de travail. L'autre est en série avec l'induit. Le moteur est à flux additif si les ampères-tours des deux enroulements ajoutent leurs effets. Il est à flux soustractif dans le cas contraire, mais ce mode de montage est très rarement utilisé car il conduit à un fonctionnement instable pour les fortes charges.

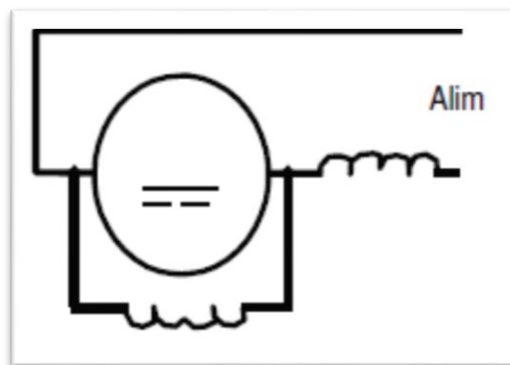


Figure ch3-5 : Moteur à courant à excitation composé.

IV-4- Moteur à courant continu 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.

L'inversion du sens de rotation est obtenue indifféremment par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur.

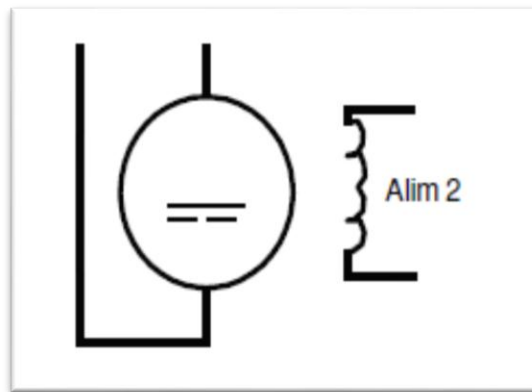


Figure ch3-6 : Moteur à courant continu à excitation séparé.

V- Réglage de la vitesse des moteurs à courant continu par variation de :

- Flux d'excitation ;
- La résistance du circuit d'induit (R_d).
- La tension d'alimentation du circuit d'induit.

V-1- Réglage par variation du flux d'excitation : [14]

On peut réaliser cette méthode soit on alimentant le circuit d'excitation par un convertisseur ou bien insérant une résistance réglable; on constate que la variation du flux ne peut être effectué que dans le sens de sa diminution par rapport au flux nominal (on raison du phénomène de saturation) donc $V (\phi < \phi_n)$.

Cette méthode présente un grand avantage qu'elle est très économique quelque soit le procédé utilisé car le courant d'excitation représente 10 % du courant nominal d'induit, mais tout de même elle présente des inconvénients suivants :

- La diminution de la rigidité de la caractéristique mécanique.
- La diminution de la capacité de surcharge.
- Le réglage de la vitesse peut être effectué uniquement dans le sens de l'augmentation.

V-2- Réglage de la vitesse par variation de la résistance du circuit d'induit :

Cette méthode est réalisée à l'aide d'une résistance réglable insérée dans le circuit d'induit, c'est une méthode très simple qui permet le réglage dans le sens de la diminution par rapport à sa vitesse nominal. Toute fois elle présente les inconvénients suivant :

- La diminution de la rigidité de la caractéristique mécanique.
- La diminution de la capacité de surcharge.
- Des grandes pertes d'énergie par effet joule.

V-3- Réglage par variation de la tension d'alimentation du circuit d'induit :

Les procédés utilisés pour la réalisation de cette méthode sont le système génératrice moteur (procédé presque abandonné) et le réglage dans le système est convertisseur moteur. Cette méthode présente les avantages suivants :

- La même quantité de pertes nominale pour les différentes vitesses.
- La rigidité de la caractéristique mécanique ne varie pas.
- Très économique.
- Le réglage est effectué dans le sens de la diminution par rapport à la vitesse nominale.

Et son inconvénient est lié à la diminution de la capacité de surcharge.

Dans le cas de la commande des moteurs à courant continu nous disposons de deux moyens de réglage de la vitesse, soit par variation de la tension aux bornes du circuit d'induit, soit par variation du flux d'excitation. Il n'est pas indifférent d'employer l'un ou l'autre de ces deux procédés celui qui convient le mieux dépend de la machine que le moteur entraîne et dans le cas où le domaine de variation de la vitesse exige l'emploi des deux méthodes, il y a encore lieu de déterminer celui qu'il faut choisir. Parmi les différents types de moteurs, les plus utilisés dans l'industrie sont ceux à excitations série, et séparée.

VI- Commande du moteur à courant continu (à excitation séparée) : [14]

VI-1- Schéma général d'une commande de machine électrique :

Le schéma classique et générale d'un système de commande de machine DC est donné en figure ch3-7.

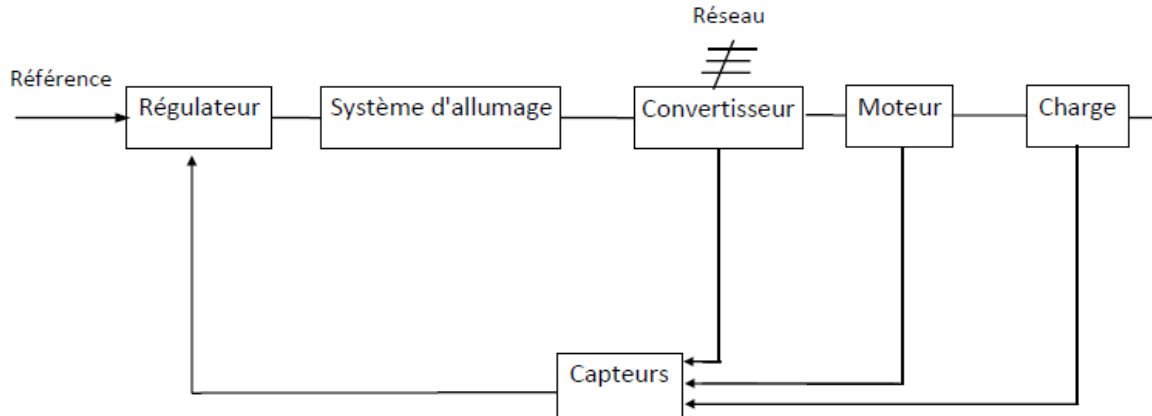


Figure ch3-7 : Schéma classique général d'une commande de machine électrique.

Le schéma de la figure (ch3-7), est très général et, les éléments sont différents suivant les applications du système. Pour qu'on puisse établir la commande du moteur, on a intérêt à connaître la fonction de transfert de ce dernier, ce qui nous amène à faire la modélisation du moteur.

VI-2- Modélisation du moteur à courant continu :

Le fonctionnement du moteur à courant continu étant connu, nous nous contenterons de rappeler les équations de la machine [11], [14]. Soit le schéma suivant :

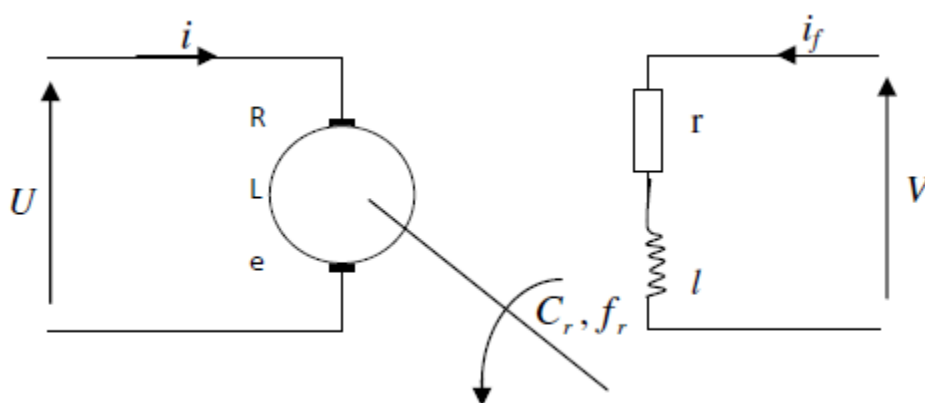


Figure ch.3-8 : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu à excitation séparée.

La machine à courant continu à excitation indépendante est décrite par les équations suivantes:

VI-2-1- Equation électrique de l'induit:

$$U = Ri + L \frac{di}{dt} + e = Ri + L \frac{di}{dt} + K' \Phi \Omega \dots\dots\dots(4)$$

Où :

i : Le courant d'induit (le courant principal qui passe dans le moteur).

R : La résistance du circuit induit (rotor).

L : L'inductance du circuit induit.

K' : Un coefficient qui dépend des caractéristiques constructives de la machine (diamètre de rotor, longueur axial, constitution du bobinage d'induit).

Φ : Le flux produit par l'enroulement inducteur.

Ω : La vitesse de rotation du moteur (vitesse angulaire).

e : Force contre électromotrice créée par la rotation du moteur

VI-2-2- Equation électrique de l'inducteur:

$$V = r i_f + l \frac{di_f}{dt} \dots\dots\dots(5)$$

Où :

i_f : Le courant inducteur (courant d'excitation du moteur)

r : La résistance du circuit inducteur (stator).

l : L'inductance du circuit inducteur.

VI-2-3- Modélisation en régime dynamique du moteur à courant continu :

A vitesse variable, la machine est associée à des convertisseurs et des régulateurs, dont il faut déterminer les paramètres: c'est la synthèse du système. Dans une première approche, cela ne peut se faire raisonnablement que dans le cadre des systèmes linéaires continus, à coefficients constants. Une analyse physique précise conduit à des modèles non linéaires. Il

faut simplifier les équations; on ne représentera pas les effets de la saturation ou de la réaction d'induit (on aura donc le flux d'excitation qui sera proportionnel au Courant)

$$i_f (\Phi = k' . \alpha . i_f).$$

On considérera que l'inductance de l'induit L est constante et on regroupe en une expression du premier degré : $f_r \Omega + C_0$ l'ensemble du couple de frottement et du couple de charge. On se ramène alors à des équations différentielles linéaires à coefficients constants. Etant donné que le courant d'excitation est constant et en posant $K' . \alpha = K''$, le modèle dynamique complet du moteur à courant continu à excitation indépendante sera:

$$\begin{cases} U = Ri + L \frac{di}{dt} + K'' i_f \Omega \\ C_{em} = K'' i_f i = f_r \Omega + J \frac{d\Omega}{dt} + C_r \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

En posant $K'' i_f = K$ on aura:

$$\begin{cases} U = Ri + L \frac{di}{dt} + K \Omega \\ C_{em} = K i = f_r \Omega + J \frac{d\Omega}{dt} + C_r \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

En appliquant la transformation de Laplace (avec des conditions initiales nulles) on aboutit à:

$$\begin{cases} U = RI(p) + LpI(p) + K \Omega(p) \\ p \Omega(p) = \frac{1}{J} KI(p) - \frac{f_r}{J} \Omega(p) - \frac{1}{J} C_r(p) \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

De ce qui précède, on constate que le moteur à courant continu a deux entrées U et C_r et deux variables de sorties i et Ω .

VI-2-4- Schéma block du moteur DC :

Le Schéma block du moteur DC précédemment peuvent être représentés sous forme de fonction de transfert. Le schéma suivant montre ces différentes fonctions.

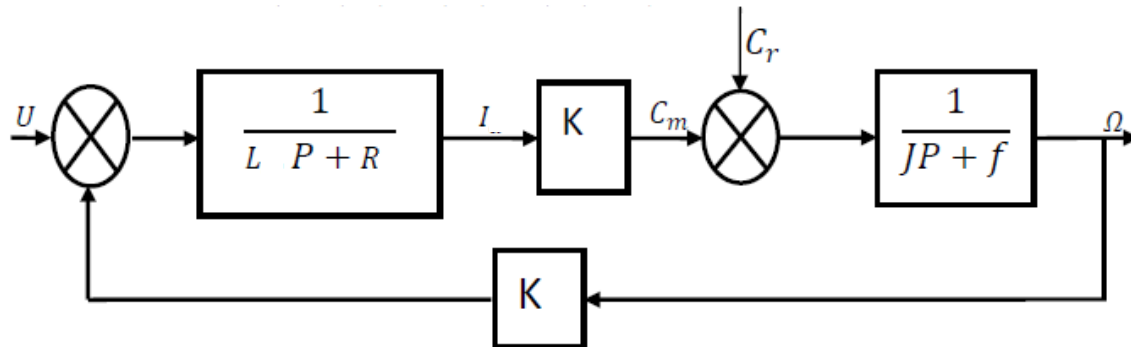


Figure ch.3-9 : Schéma block du moteur DC

VII- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons traité en détail les moteurs travaillant sous courant continu. En effet après une description des différents éléments constituant le moteur DC, nous avons donné son principe de fonctionnement, les différentes méthodes avec lesquelles il est excité, puis nous avons abordé les méthodes utilisées pour le réglage de sa vitesse et à la fin nous avons donné son modèle mathématique. L'étude détaillée des méthodes d'excitation d'un moteur à courant continu nous a permis de mieux réaliser notre carte de commande à base de microcontrôleur 16f876A.