

Objectifs :

- Connaître les principes de la machine à courant continu.
- Différencier entre les modes d'excitation d'un moteur à CC ainsi que leur commande de vitesse.

PARTIE I. Rappels sur les caractéristiques des moteurs à courant continu

I.1 Moteur à courant continu

I.1.1 Présentation de la machine à courant continu

I.2 Grandeurs caractéristiques

1.2.1 Force contre-électromotrice (f.c.e.m)

1.2.2 Couple électromagnétique

1.2.3 Tension

1.2.4 Vitesse

1.2.5 Bilan de puissance et rendement

I.3 Caractéristiques des moteurs à courant continu

I.3.1 Modes d'excitation du moteur à courant continu

I.3.2 Caractéristique électromécanique de vitesse

I.3.3 Caractéristique électromécanique du couple

I.3.4 Caractéristique mécanique

I.4 Fonctionnement

I.5 Caractéristiques mécaniques des charges entraînées

I.6 Point de fonctionnement d'un groupe moteur- charge entraînée

I.7 Stabilité

I.8 Mode de fonctionnement

PARTIE II. Réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu

II.1 Introduction

II.2 Méthodes de réglage de la vitesse

II.2.1 Réglage rhéostatique

II.2.2 Réglage par le flux

II.2.3 Réglage par la tension d'induit

II.3 Variateurs de vitesse pour moteurs à courant continu

II.3.1 Variateurs à redresseurs

II.3.1.1 Montages non réversibles

A) Montages alimentés en monophasé

B) Montages alimentés en triphasé

II.3.1.2 Montages réversibles

A) Montage à inversion du courant inducteur

B) Montage à inversion du courant induit

C) Montage réversible tête-bêche

II.3.2 Variateurs à hacheurs

II.3.2.1 Hacheur série

II.3.2.2 Hacheur réversible en courant

II.3.2.3 Hacheur en pont

PARTIE III. Régulations des moteurs à courant continu

III.1 Schéma fonctionnel global du circuit de réglage

- III.1.1 Régulation à boucles convergentes
- III.1.2 Régulation parallèle
- III.1.3 Régulation en cascade
- III.2 Etude et Dimensionnement de la boucle de courant
- III.3 Etude et Dimensionnement de la boucle de vitesse
- III.4 Régulateurs
 - III.4.1 Action proportionnelle (Régulateur P)
 - III.4.2 Action Intégrale (Régulateur I)
 - III.4.3 Action dérivée (Régulateur D)
 - III.4.4 Action proportionnelle et intégrale (Régulateur PI)
 - III.4.5 Action proportionnelle et dérivée (Régulateur PD)
 - III.4.6 Action proportionnelle, intégrale et dérivée (Régulateur PID)



PARTIE I. Rappels sur les caractéristiques des moteurs à courant continu

I.1 Moteur à courant continu

C'est une machine électromagnétique qui transforme l'énergie électrique qu'elle reçoit sous forme de courant continu en énergie mécanique. Le couple est dû à l'action du flux du stator sur le courant constant du rotor.

I.1.1 Présentation de la machine à courant continu

a- Le stator (inducteur) : partie fixe, porte le bobinage (ou l'aimant permanent) qui crée le champ magnétique, on parle de flux d'excitation.

b- Le rotor (induit) : partie mobile, porte le bobinage qui subit les effets de ce champ magnétiques, cette partie représente le siège de la force électromotrice induite. Le rotor reçoit le courant de puissance par l'intermédiaire du collecteur assurant avec les balais un contact glissant.

c- Le système balais collecteur : Le **collecteur** et les **balais** permettent d'accéder au circuit électrique rotorique. Le collecteur est un commutateur mécanique qui inverse le sens du courant dans les conducteurs qui franchissent la ligne neutre. Le sens du courant dans un conducteur doit cependant s'inverser à chaque passage de la ligne neutre ;

d- Circuit magnétique et entrefer : Pour que le flux crée soit le maximum possible, il est canalisé par du fer tant au stator qu'au rotor. Ce fer constitue le circuit magnétique, de la machine, les fers du stator et du rotor sont séparés par l'entrefer.

I.2 Grandeurs caractéristiques

1.2.1 Force contre-électromotrice (f.c.e.m)

Nous savons qu'une bobine en mouvement dans un champ magnétique voit apparaître à ses bornes une force électromotrice (f.é.m.) donnée par la loi de Faraday, sur ce principe, la machine à courant continu est le siège d'une f.é.m. E

La somme des valeurs absolues des f.e.m engendrées dans les $n/2$ spires tournant à la vitesse N est :

$$\frac{n}{2} \frac{2\phi_e}{\frac{1}{2pN}} = 2pnN\phi_e$$

La f.e.m E entre les bornes de l'induit est la somme des f.e.m engendrée dans l'ensemble des spires divisée par le nombre de voies en parallèle (2a) :

$$E = \frac{p}{a} n N \phi_e = K \phi_e \Omega$$

$$K = \frac{np}{2a\pi}$$

On voit que : la F.E.M est proportionnelle à la vitesse et au flux.

1.2.2 Couple électromagnétique

C'est le couple qui correspond à la puissance passée de la forme électrique à la forme mécanique. Il est dû à l'interaction stator-rotor ; il est égal à la puissance transformée $E I_a$ divisée par la vitesse angulaire de rotation Ω .

$$C = \frac{E I_a}{\Omega} = K \phi_e I_a$$

$$K = \frac{np}{2a\pi}$$

Le couple électromagnétique C est proportionnel au flux inducteur et au courant dans l'induit.

1.2.3 Tension

En régime transitoire

$$U_a = E + rI + L \frac{dI}{dt}$$

En régime permanent (établi), l'énergie emmagasinée dans le circuit magnétique de l'induit est constante ; toute la puissance $U_a I_a$ fournie au circuit de l'induit est

- Soit transformée en puissance mécanique ;
- Soit transformée en pertes Joules.

On a donc

$$U_a I_a = E I_a + r I_a^2$$

D'où l'équation des tensions :

$$U_a = E + rI$$

1.2.4 Vitesse

Le sens de rotation dépend :

- Du sens du flux, donc du sens du courant d'excitation I_e ;
- Du sens du courant d'induit I .

L'expression de la vitesse est donnée par :

$$\begin{cases} U_a = E + rI \\ E = K\phi_e \Omega \end{cases} \text{ et donc, } \Omega = \frac{U_a - rI}{K\phi_e} = \Omega_0 - \frac{rI}{K\phi_e}$$

$$\text{Avec } \Omega_0 = \frac{U_a}{K\phi_e}$$

La vitesse est proportionnel à la FEM E , et inversement proportionnelle au flux ϕ_e

1.2.5 Bilan de puissance et rendement

Une machine à courant continu comporte des :

- Pertes cuivre induit (pertes joule) : $P_j(P_{Jind}) = r_a I_a^2$
- Pertes d'excitation, pour les machines à excitation réglable $P_{exc}(P_{Je}) = r_e I_e^2$
- Pertes par courant de Foucault ou perte fer et perte par hystérésis (perte magnétique), proportionnel à Ω^2 , généralement confondu avec les pertes mécanique $P_f(P_{magn})$.
- Pertes mécanique, appelé aussi pertes constantes p_{mec} .

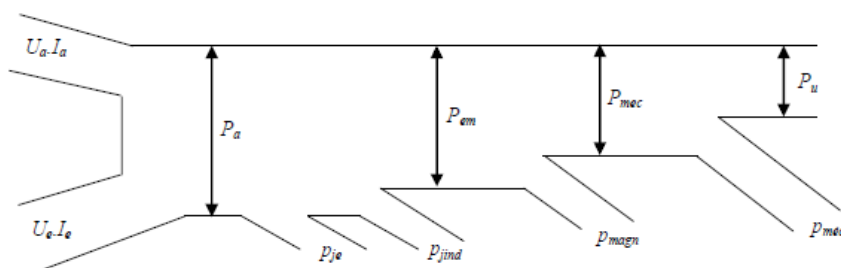


Figure 1. Bilan de puissance d'un moteur à courant continu.

Les puissances sont définies comme suit :

- La puissance absorbée : c'est la somme des puissances absorbées par le moteur, dans le cas d'une excitation réglable $P_a = U_a I_a + U_e I_e$
- La puissance électromagnétique : c'est la puissance transmise, elle est responsable de la création du couple électromagnétique, $P_{em} = P_a - P_j = P_a - P_{jind} - P_{je}$
- La puissance mécanique : c'est la puissance résultante de la soustraction des pertes magnétique de la puissance électromagnétique, $P_{mec} = P_{em} - P_f$
- La puissance utile : c'est la puissance réellement utilisée, elle est égale à

$$P_u = P_{em} - p_{mec}$$

Le rendement est toujours définit par la relation $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

En génératrice le rendement est donnée par

$$\eta_g = \frac{U_a I_a}{P_m + U_e I_e}$$

$$\eta_g = \frac{U_a I_a}{U_a I_a + P_j + P_f + p_{mec} + U_e I_e}$$

En moteur le rendement est donnée par

$$\eta_m = \frac{P_u}{U_a I_a + U_e I_e}$$

$$\eta_m = \frac{U_a I_a - (P_j + P_f + p_{mec})}{U_a I_a + U_e I_e}$$