

Chapitre 7 Moteur à courant continu - Hacheur

1- MOTEUR A COURANT CONTINU

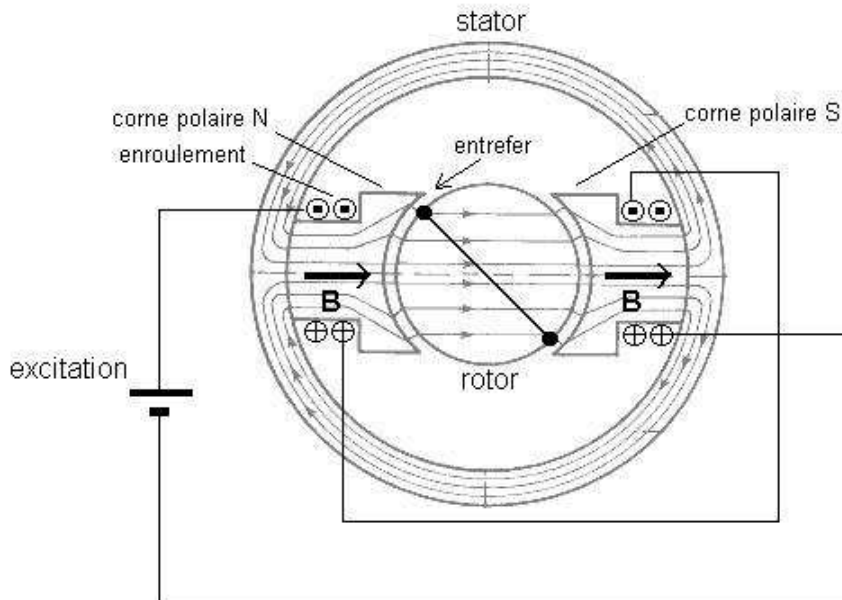
Il existe deux grandes familles de moteurs à courant continu, les moteurs à excitation indépendante (ou séparée) et les moteurs à excitation série.

1-1 Présentation

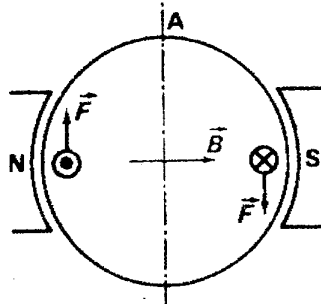
Un moteur à courant continu est un convertisseur électromécanique tournant transformant l'énergie électrique en énergie mécanique.

Il est constitué de deux parties :

- * **le stator.** C'est la partie fixe du moteur dans laquelle est créé le champ magnétique (à l'aide d'un bobinage formant un électroaimant ou d'un aimant permanent). Cette partie de la machine est aussi appelée l'inducteur.
- * **le rotor.** C'est la partie tournant de la machine constituée de conducteurs électriques soumis au champ magnétique créé par le stator. Cette partie de la machine est aussi appelée l'induit.

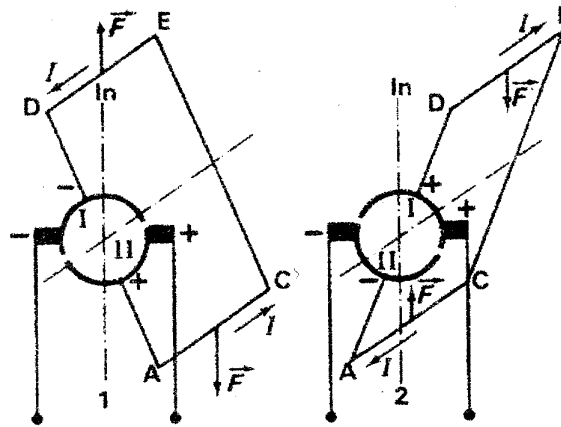


L'inducteur (excitation) crée un champ magnétique fixe dans la machine de sorte que les lignes de champ soient radiales pour le rotor. On fait circuler un courant dans l'induit. Ces courants parcourent le rotor en étant perpendiculaires à ces lignes de champ.



Lorsque un courant électrique circule dans un conducteur soumis à un champ magnétique, il apparaît une force perpendiculaire au conducteur et au champ magnétique (Force de Laplace).

Le sens du courant dans un conducteur doit s'inverser à chaque passage de la ligne neutre si on veut que les forces soient toujours orienter de la même manière. L'alimentation de l'induit du moteur étant de nature continue, c'est le système balais –collecteur qui permet de réaliser cette commutation.



1-2 Propriétés

On montre que lorsque le champ magnétique est constant - courant d'inducteur constant ou machine à aimant permanent, on dira que la machine est à flux magnétique ϕ constant – on a :

$$E = k\phi\Omega = K\Omega$$

- E : force électromotrice du moteur (c'est un dipôle actif récepteur) en V ;
- Ω : vitesse angulaire de rotation de la machine en rad.s^{-1} ;
- K : constante de la machine en V.s.rad^{-1} .

On désigne comme couple électromagnétique, noté T_{em} , le couple résultant des forces de Laplace, et la puissance électromagnétique P_{em} comme la puissance développée par ce couple.

Ces grandeurs sont reliées par les relations suivante :

$$T_{em}.\Omega = P_{em} \text{ et } P_{em} = E.I$$

On en déduit que pour une machine à flux constant :

$$T_{em}.\Omega = K\Omega I$$

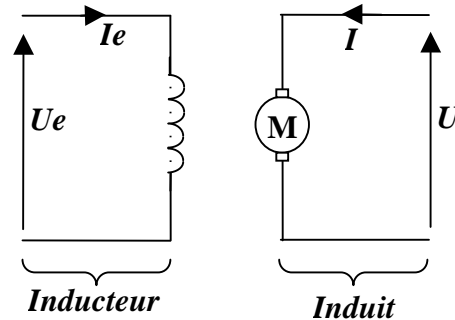
et donc

$$T_{em} = K.I$$

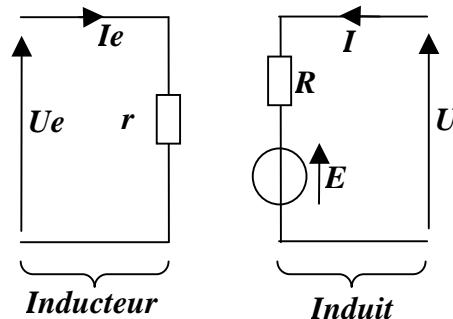
- T_{em} : couple électromagnétique en N.m ;
- P_{em} : puissance électromagnétique en W ;
- I : courant d'induit en A.

1-3 Modèle équivalent

On représente un moteur à courant continu à excitation indépendante comme deux circuits électriques :



On représente l'inducteur comme une résistance r et l'induit comme un dipôle actif récepteur constitué d'une force électromotrice E et d'une résistance R .



On peut en déduire les deux relations électriques suivantes :

$$\boxed{U_e = r \cdot I_e} \text{ et } \boxed{U = E + R \cdot I}$$

1-4 Bilan de puissance et rendement

Un moteur absorbe de la puissance électrique (induit et inducteur) et restitue de la puissance mécanique (couple utile moteur T_u et vitesse angulaire de rotation Ω).

On distingue plusieurs causes de pertes dans un moteur électrique :

* **Pertes par effet Joule**

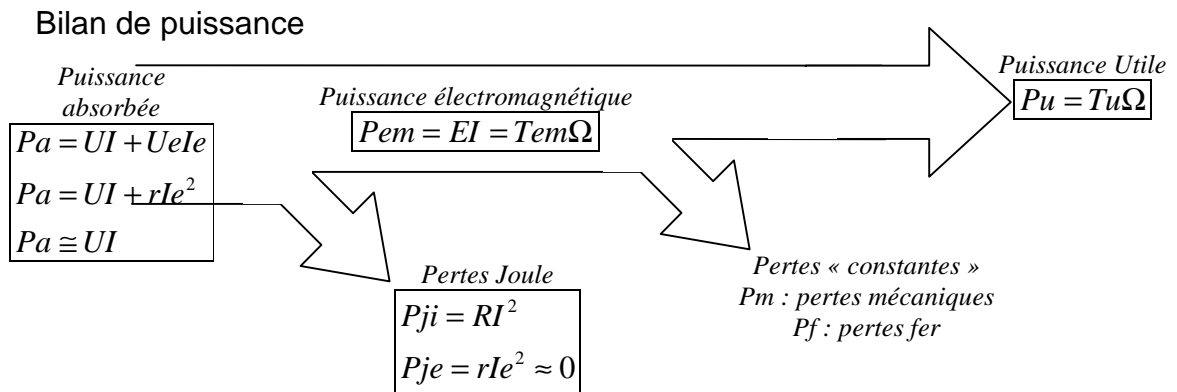
Elle se produisent dans les enroulements de la machine. La puissance perdue par effet Joule dans l'inducteur est souvent négligée (elle n'existe pas dans un moteur à aimant permanent).

* **Pertes magnétiques**

Ce sont les pertes dans le fer. Elles sont dues au courant de Foucault et aux phénomènes d'hystérésis. Ces phénomènes se produisent lorsque le flux magnétique est variable donc principalement au rotor (les pertes fer stator sont toujours négligées)

* **Pertes mécaniques**

Elles sont dues aux frottements. Elles varient avec la vitesse de rotation de la machine. Elles sont aussi localisées au rotor.



Les puissances sont reliées par les relations suivantes :

$$P_a = P_u + \Sigma \text{pertes} = P_u + P_{je} + P_{ji} + P_m + P_f$$

$$P_{em} = P_a - \text{pertes Joules}$$

Les pertes dites constantes (elles varient peu pour un moteur donnée fonctionnant près du régime nominal) sont associées à un couple de pertes

$$T_p = \frac{P_c}{\Omega} = \frac{P_m + P_f}{\Omega}$$

Ce couple de perte est lié aux deux autres couples par la relation suivante :

$$T_u = T_{em} - T_p$$

Le rendement du moteur est souvent assimilé au rendement de l'induit du moteur :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \approx \frac{T_u \Omega}{UI}$$

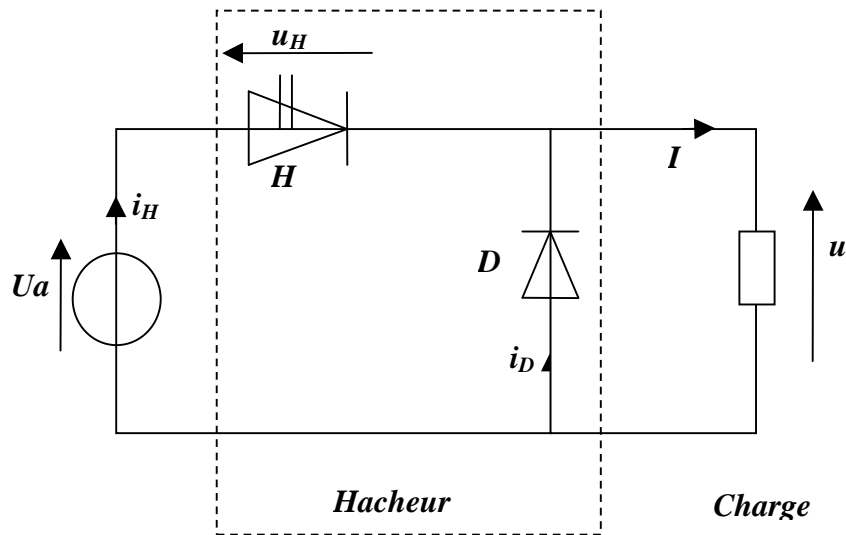
2- HACHEUR SERIE

2-1 Principe

Un hacheur série est un convertisseur statique tension - tension. Il permet d'obtenir une tension de valeur moyenne réglable à partir d'une tension continue constante. Il assure la liaison entre une source de tension continue et un récepteur traversé par un courant continu.

Dans la pratique c'est un interrupteur commandé électriquement périodiquement. Cet interrupteur commandé est généralement réalisé à l'aide d'un transistor fonctionnant en saturé - bloqué ou d'un thyristor pour les fortes puissances.

Sur une période de conduction l'interrupteur sera fermé pendant un temps αT et ouvert sur le reste de la période. En réglant le rapport cyclique on réglera la tension moyenne reçue par la charge.

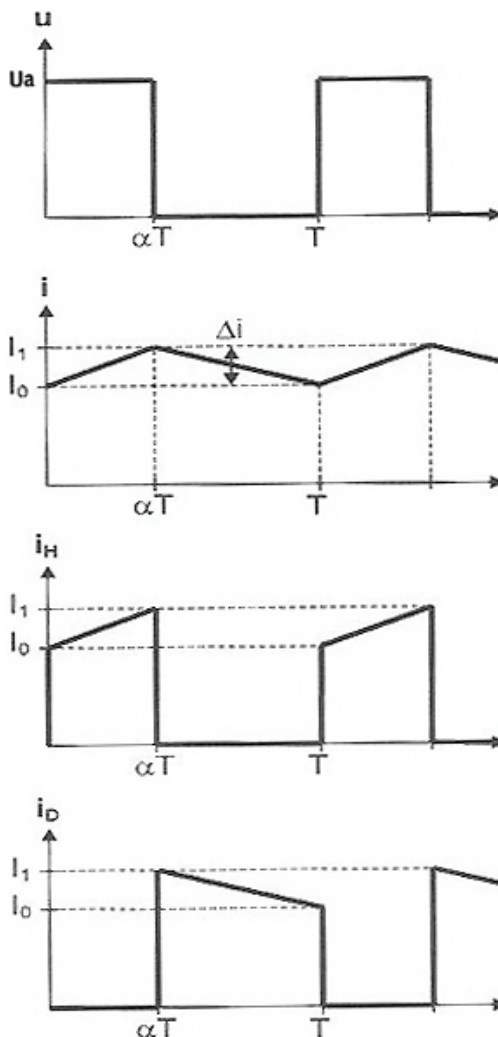


H est l'interrupteur commandé

D est une diode de roue libre permettant la circulation continue du courant dans la charge lorsque H est ouvert (cas le plus courant d'une charge inductive en condition de conduction continue).

Si H est fermé (pour t compris entre 0 et $t_1 = \alpha T$) $u = Ua$, si H est ouvert $u = 0$. La tension aux bornes de la charge est donc une tension en créneaux. Si la charge est suffisamment inductive, le courant dans la charge est continu.

2-2 Hacheur série sur charge active inductive



Si la charge est inductive, ce qui est le cas lorsque un hacheur alimente un moteur à courant continu, le courant dans la charge n'est jamais nul.

On montre simplement que la valeur moyenne de u est égale à $\bar{u} = \alpha Ua$

Lorsque la charge est l'induit d'un moteur à courant continu (R,L,E) on peut écrire :

$$u = u_L + Ri + E$$

$$\langle u \rangle = \langle u_L \rangle + \langle Ri \rangle + \langle E \rangle$$

si le courant est périodique,

$$\langle u_L \rangle = \langle L \frac{di}{dt} \rangle = 0, \text{ et comme}$$

$$E = K\Omega = kn$$

$$\langle u \rangle = R \langle i \rangle + kn$$

et donc

$$n = \frac{\langle u \rangle - R \langle i \rangle}{k} = \frac{\alpha Ua - RI}{k}$$

La vitesse est donc proportionnelle au rapport cyclique du hacheur.