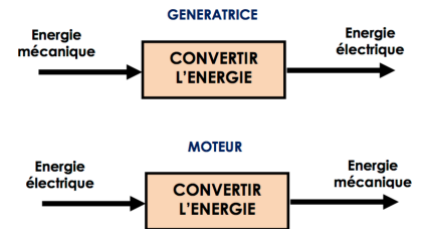
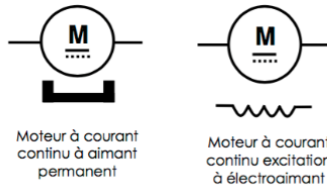


1. Introduction :

Les machines à courant continu sont réversibles. Elles peuvent devenir génératrice ou moteur.

Nous décrivons ici que son mode moteur.

Symbole

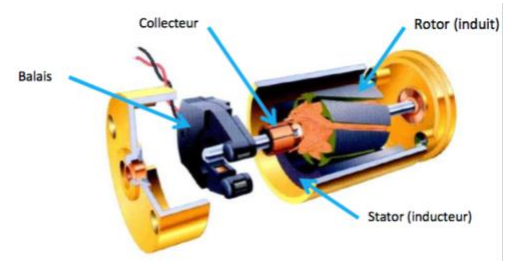


Nous décrivons ici que le moteur à aimant permanent.

Constitution

Les machines à courant continu sont essentiellement composées :

- D'un circuit électrique :
 - ✓ L'Inducteur porté par le stator, pour créer un flux magnétique
 - ✓ L'Induit porté par le rotor, pour créer un courant ou une force selon le mode de fonctionnement de la machine
 - ✓ De balais et d'un collecteur à lames pour distribuer le courant électrique au circuit inducteur tournant.
- D'un circuit magnétique pour canaliser le flux magnétique.
- D'une partie mécanique pour fixer les différents organes les uns par rapport aux autres.

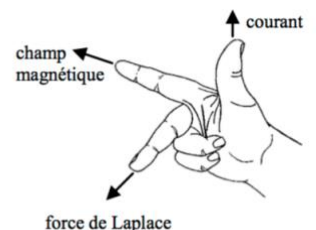
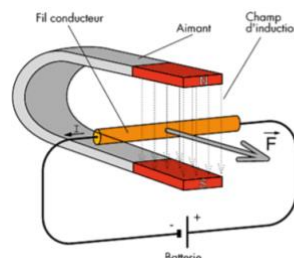


Principe physique

Un moteur à courant continu est mis en rotation grâce à une force magnétique induite : la force de LAPLACE.

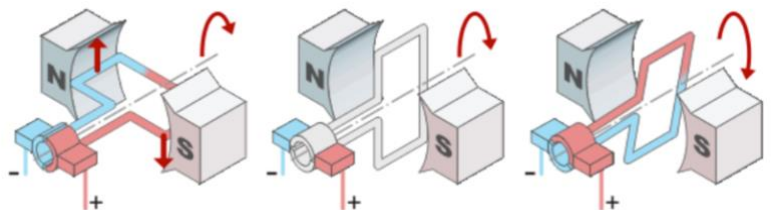
Cette force s'applique à un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique. L'orientation de cette force est donnée par la règle des trois doigts de la main droite :

- l'index est placé dans le sens du champ magnétique.
- le pouce donne le sens de parcours des lignes de champ.
- le majeur montre le sens de la force induite de Laplace.



Application au moteur à courant continu à aimant permanent

Les pôles Nord et Sud des aimants permanents créent un flux (champ magnétique : B) dans le moteur. La spire est alimentée et plongée dans ce flux. Elle est soumise à un couple de forces F (force de Laplace). Le moteur se met en rotation. On dit qu'il y a création d'un couple moteur. Compte tenu de la disposition des balais et du collecteur, le sens du courant I dans la spire change à chaque demi-tour, ce qui permet de conserver le même sens de rotation (sinon, la spire resterait en position d'équilibre).



Rq : Dans la pratique, pour que le moteur puisse démarrer sans être lancé, il faut disposer au minimum de trois bobinages disposés à 120° .

2. La force (contre-)électromotrice E (f.é.m) :

La force électromotrice E est la tension produite par le rotor (l'induit) lors de sa rotation dans le flux magnétique produit par la partie fixe (l'inducteur).

Elle dépend des éléments de construction de la machine. Avec :

2p : le nombre de pôles de l'inducteur
 2a : le nombre de voies d'enroulement
 ϕ : le flux moyen sous un pôle (en Weber : Wb)
 n : le nombre de conducteur de l'induit
 N : la fréquence de rotation de l'induit en tr/s
 Ω : la vitesse angulaire de l'induit en rad/s (ici $\Omega = 2\pi N$)

$$E = \frac{n}{2a} \cdot 2p \cdot \phi \cdot N$$

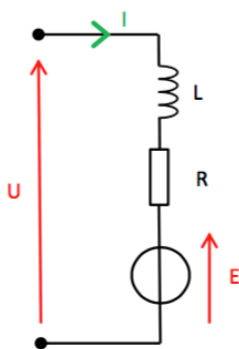
$$E = n \cdot \frac{p}{2\pi a} \cdot \phi \cdot \Omega$$

$$E = K_v \cdot \Omega$$

Dans le cas des moteurs à aimant permanent, ϕ est constant donc la f.é.m est proportionnelle à la vitesse de rotation.

$$K_v = n \cdot \frac{p}{2\pi a} \cdot \phi \quad \text{en V/(rad.s}^{-1}\text{)}$$

Modèle électrique de l'induit



$$U = E + R \cdot i(t) + \frac{L di(t)}{dt}$$

Avec

U : tension d'alimentation du moteur en volt (V)
 R : résistance de l'induit en ohm (Ω)
 i : courant traversant le moteur en ampère (A)
 L : inductance de l'induit en henry (H)
 E : force électromotrice en volt (V)

Le terme $L di(t)/dt$ n'existe que si le courant est variable, aux régimes transitoires (démarrage, freinage).

En régime permanent établi ($i(t) = I = C^{te}$) il est alors possible de simplifier ce modèle :

$$U = E + R \cdot I$$

3. Couple électromagnétique et couple utile :

Couple électromagnétique : C_{em}

La puissance électromagnétique P_{em} (voir bilan des puissances plus loin) donne naissance au couple électromagnétique C_{em} . C'est cette puissance qui, aux pertes près, est transformée en puissance utile sur l'arbre.

On a : $P_{em} = E \cdot I = C_{em} \cdot \Omega$ Soit $C_{em} = E \cdot I / \Omega$ ou encore

$$C_{em} = \frac{\left(n \cdot \frac{p}{2\pi a} \cdot \phi \cdot \Omega\right) \cdot I}{\Omega} = \left(n \cdot \frac{p}{2\pi a} \cdot \phi\right) \cdot I$$

Dans le cas des moteurs à aimant permanent, ϕ est constant donc le C_{em} est proportionnelle à l'intensité du courant dans l'induit.

$$C_{em} = K_c \cdot I$$

à $\phi = C^{te}$, on a :

$$K = K_c = K_v$$

$$K_c = n \cdot \frac{p}{2\pi a} \cdot \phi \quad \text{en N.m/A}$$

Rq : dans les doc constructeurs, K est souvent donnée en V/(1000tr/min). Exemple : pour un moteur à aimant permanent dont le fém est de 18V/(1000tr/min), $K_c = K_v = 0,172 \text{ V/rad.s}^{-1}$ et $0,172 \text{ N.m/A}$.

Couple utile : C_u

Compte-tenu des pertes, le couple utile C_u (ou couple moteur C_m) dont on dispose sur l'arbre du moteur est en réalité légèrement inférieur au couple électromagnétique C_{em} .

$$C_u = C_{em} - C_p$$

Le couple de pertes ($C_p = C_{em} - C_u$) est dû :

- aux pertes ferromagnétiques dans le rotor (hystérésis et courants de Foucault)
- aux pertes mécanique : frottements aux paliers et aux contacts balais-collecteurs, ventilation

$$P_{fer} + P_{méca} = \text{"pertes collectives"} (P_c)$$

On peut considérer ces pertes constante à une vitesse donnée. Le couple de pertes se déduit d'un essai à vide (sans charge entraînée, $P_u = 0$) pour lequel le courant d'induit est égal à I_0 .

$$P_c = P_{em} - 0 = U_0 \cdot I_0 - R \cdot I_0^2 = E_0 \cdot I_0$$

Soit :

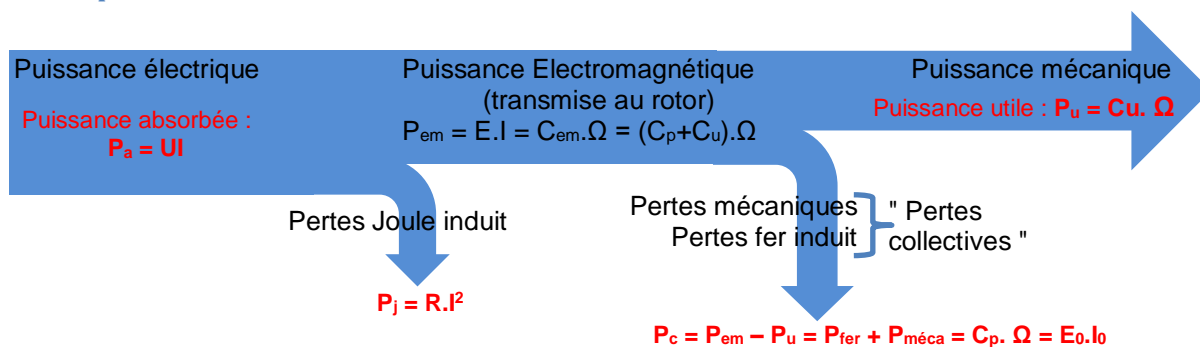
$$C_p = K \cdot I_0$$

ce qui conduit à :

$$C_u = K \cdot (I - I_0)$$

(attention $\neq C_{em}$)

Bilan des puissances



Si on s'intéresse à la transformation de l'énergie induit-arbre, on peut définir le rendement par

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Avec :

$$P_a = U \cdot I$$

$$P_u = C_u \cdot \Omega = U \cdot I - R \cdot I^2 - E_0 \cdot I_0$$

Une « approche mécanique » des pertes

Une approche mécanique du couple de pertes revient à considérer C_p comme la somme d'un couple de frottement sec et d'un couple de frottement visqueux.

$$C_p = C_{fs} + f \cdot \Omega$$

Avec :

f : coefficient de frottement visqueux (N.m.s)

Ω : vitesse de rotation moteur

C_{fs} : couple de frottement sec (N.m)

$$C_u = C_{em} - C_p$$

donc

$$C_u = KI - (C_{fs} + f \cdot \Omega)$$