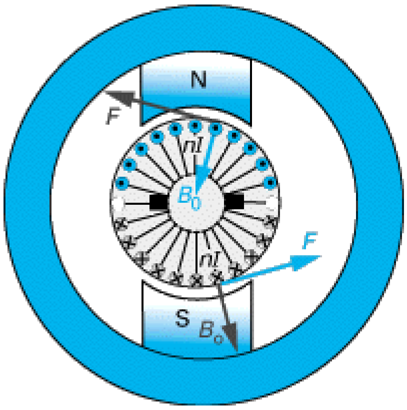
MODELISATION DE LA MACHINE A COURANT CONTINU

Nous allons procéder à une mise en équation simple de la machine à courant continu, à l'aide du modèle laplacien. Cette approche reste valable dans la plupart des cas, car les moteurs à collecteur ne sont en général pas beaucoup saturés et les interactions entre l'inducteur et l'induit restent faibles.

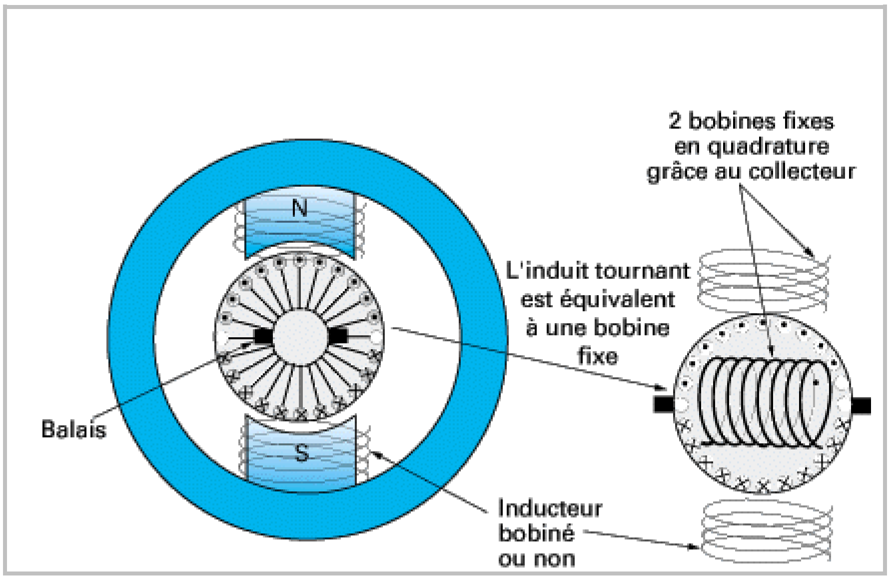
La structure du moteur à courant continu correspond à la configuration idéale pour la création d'une force électromagnétique : les vecteurs champ magnétique et courant perpendiculaires induisent une force *F* résultante tangentielle au rotor



Génération du couple dans l'induit d'un moteur bipolaire

I Calcul du couple

Dans un moteur industriel, tous les courants réels sont de même sens sous le pôle Nord et de sens opposé sous le pôle Sud. Par conséquent, les forces de Laplace appliquées aux conducteurs créent un couple résultant de même signe.



Reprenons donc l'expression de la force de Laplace (Voir cours de physique) :

$$dF = I\, dL \times B \;;$$

puis appliquons-la à un conducteur élémentaire de longueur L_{axiale} .

La force qu'il reçoit s'exprime alors par :

$$\frac{F}{L_{\text{axiale}}} = I B_0,$$

où B_0 est l'induction dans l'air au niveau du conducteur.

Pour une machine complète, la **force d'attraction** s'exprime par une sommation sur tous les *n* conducteurs actifs :

$$\frac{F_{\text{totale}}}{L_{\text{axiale}}} = (\Sigma nI)\, B_0$$

Elle correspond au **couple total** :

$$C = k'\, B_0\, I_{\text{induit}}$$

que nous écrivons sous une forme plus facile à **mémoriser** :

$$\boxed{C = k\, \Phi I}$$

où Φ est le flux inducteur et I le courant d'induit.

Notons que les constructeurs introduisent, pour les **servomoteurs à aimants**, le **coefficient de couple** (T *torque*) :

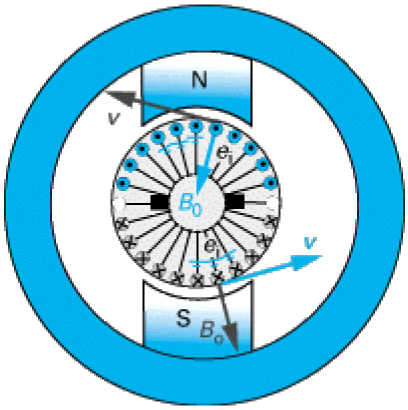
$$\boxed{k_T = k\,\Phi}$$

Les termes k , k' et k_T sont des paramètres qui dépendent de la géométrie du moteur. Dans l'expression précédente, ils sont quasiment constants, même si le circuit magnétique du moteur se sature.

En revanche, si nous exprimons la force par la relation :

$$C = h\, I_f\, I$$

en introduisant le courant inducteur I_f , la saturation de l'inducteur rend le terme *h* variable.



Génération de la force électromotrice dans l'induit d'un moteur bipolaire

Il faudra faire attention à ce phénomène lorsqu'un moteur à stator bobiné sera étudié : le courant inducteur est une grandeur accessible à la mesure, justifiant son utilisation dans un asservissement, au contraire du flux ou de l'induction.

Nous avons découvert ainsi une caractéristique importante des moteurs à courant continu : le **couple** est indépendant de la vitesse de rotation ; il n'est lié qu'au courant et au champ d'entrefer résultant.

Cette conclusion se généralise à la plupart des autres machines électriques tournantes. En effet, tant que la source de tension d'alimentation peut fournir le courant requis, le couple peut être maintenu.

II Calcul de la tension d'induit dans une machine à aimants permanents

Reprenons le modèle décrit précédement , puis calculons les tensions élémentaires qui apparaissent dans les bobines actives de l'induit. Pour cela, nous négligerons les pertes fer au rotor, en supposant que ce dernier soit isolant.

Considérons un conducteur traversant à la vitesse *v* un champ d'induction B_0 constant. Il est le siège d'une force électromotrice induite :

$$e_i = d\Phi/dt = B_0\, L\, v.$$

En considérant des associations parallèle-série des conducteurs élémentaires, la somme *E* de toutes les tensions élémentaires au niveau des balais s'écrit donc :

$$\frac{E}{L_{axiale}} = B_0 v$$

Nous en déduisons la relation générale :

$$\boxed{E = k\,\Omega\,\Phi}$$

où la constante *k* est la même que celle utilisée relation du Chapitre I et où Ω est la vitesse de rotation angulaire (exprimée en rad/s).

En prenant les mêmes précautions qu'au paragraphe précédent, nous pouvons exprimer cette **tension d'induit** en fonction du courant d'inducteur :

$$E = h\,\Omega\, I_f$$

Nous avons découvert une autre caractéristique importante du moteur à courant continu : la **tension induite** est indépendante du couple fourni ; elle n'est liée qu'à la vitesse de rotation et au champ d'entrefer.

Nous concluons qu'un moteur électrique à courant continu est un actionneur commandé en vitesse par sa tension d'induit. Une commande en position le verra donc comme un intégrateur vis-à-vis de cette même tension d'induit.

III Calcul de la puissance d'induit

Reprenons les expressions précédentes :

$$C = k\,\Phi\,I$$

et :

$$E = k\,\Omega\,\Phi\,,$$

où nous avons **négligé les pertes fer au rotor** , et exprimons à partir d'elles :

- la puissance mécanique :

$$P = C\,\Omega$$

- la puissance électromagnétique injectée dans l'entrefer :

$$P = E\,I\,.$$

On en déduit :

- dans le premier cas :

$$P = (k\,\Phi\,I\,)\Omega$$

- dans le second cas :

$$P = (k\,\Omega\,\Phi\,)I$$

Ces expressions étant identiques, la constante *k* du moteur est la même dans les deux relations (même remarque pour *h*). Il faut malgré tout faire attention à exprimer la vitesse de rotation en rad/s.

On en déduit finalement le schéma équivalent complet du moteur , où l'on a :

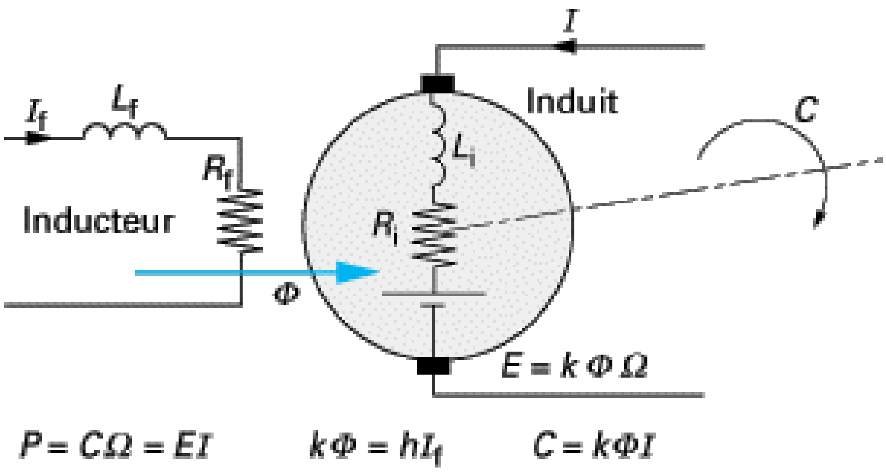


Schéma équivalent d'un moteur à courant continu

Avec :

R_f résistance de l'inducteur ;

R_i résistance de l'induit ;

L_i et L_f inductances des bobinages d'induit et d'inducteur ;

Φ flux émis par l'inducteur.

L'expérience montre que si l'inductance d'induit peut être faible dans les *bons* moteurs, en revanche celle de l'inducteur est toujours grande. La constante de temps correspondante L_f / R_f est souvent voisine de la seconde, d'où une grande difficulté à contrôler rapidement un moteur par son inducteur.

Si nous voulons introduire les **pertes fer et mécaniques** , il faut soustraire au couple sur l'arbre les couples équivalents $C_{\text{perte fer}}$ et $C_{\text{perte méca}}$.

Nous obtenons l'expression dynamique complète suivante :

$$\boxed{C = J\frac{d\Omega}{dt} + C_r + C_{\text{perte fer}} + C_{\text{perte méca}}}$$

avec C_r couple résistant

J moment d'inertie ramené à l'arbre.