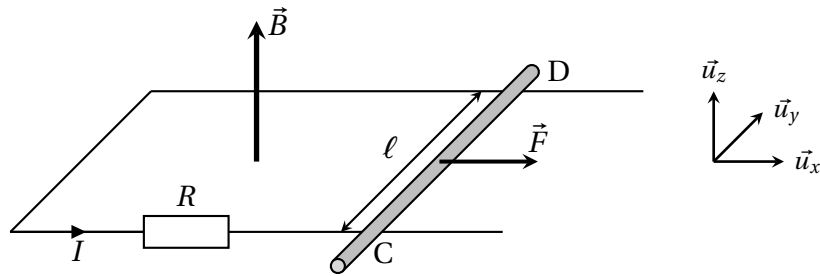


Chapitre 30 : Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

1 Conversion de puissance mécanique en puissance électrique

1.1 Rails de Laplace en fonctionnement générateur

1.1.1 Expression du courant induit



Dans le chapitre 27, nous avons vu qu'un champ magnétique pouvait exercer une action mécanique sur un conducteur parcouru par un courant. Les lois de l'induction vues au chapitre 28 prévoient la possibilité d'observer le phénomène inverse. En l'absence de générateur dans le circuit, si un opérateur extérieur met en mouvement la tige mobile en exerçant sur elle une force \vec{F} , il doit apparaître un courant induit.

L'étude électrique du circuit aboutit aux résultats suivants : la fem e et le courant induit i dans le circuit vérifient :

$$e = -Blv \quad i = -\frac{Blv}{R}$$

où v est la vitesse de translation de la tige.

1.1.2 Actions de Laplace

Suite à l'apparition de ce courant induit, le champ \vec{B} exerce une force de Laplace sur la tige (qui s'oppose à \vec{F} d'après la loi de Lenz). On montre que la puissance de la force de Laplace \mathcal{P}_{lap} vérifie l'égalité suivante :

$$\mathcal{P}_{\text{lap}} + ei = 0$$

Ce résultat peut s'interpréter de la manière suivante : la champ \vec{F} agit sur le circuit :

- en produisant un courant électrique par induction,
- en exerçant une force de Laplace sur le conducteur en mouvement.

Or, ces deux effets viennent de la même origine physique : l'action de la force $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$ sur les électrons libre du conducteur, qui ne travaille pas. Par conséquent, la puissance totale cédée par le champ \vec{B} au circuit est nulle.

1.1.3 Bilan de puissance global

Le système fonctionne comme un générateur qui convertit l'énergie mécanique fournie par l'opérateur pour déplacer la tige en énergie électrique. On montre que le bilan de puissance s'écrit sous la forme :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} mv^2 \right) + ei = \mathcal{P}_{\text{op}}$$

où m est la masse de la tige mobile et \mathcal{P}_{op} est la puissance fournie par l'opérateur.

Rq : En régime permanent ($v = \text{Cste}$), l'intégralité de la puissance fournie par l'opérateur est convertie en énergie électrique. Le principe de cette conversion énergie mécanique/énergie électrique permet d'envisager un rendement théorique égal à l'unité!

1.2 Spire rectangulaire en rotation uniforme

L'étude de la spire de courant est analogue à celle des rails de Laplace. L'étude électrique et mécanique du circuit aboutit à nouveau à l'égalité : $\mathcal{P}_{\text{ap}} + ei = 0$. Le bilan de puissance global s'écrit désormais sous la forme :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} J\omega^2 \right) + ei = \mathcal{P}_{\text{op}}$$

où ω est la vitesse de rotation de la spire. En régime permanent ($\omega = \text{Cste}$), ce système modélise le fonctionnement d'un *alternateur*.

Des deux exemples précédents, on retient le résultat suivant :

Lorsqu'un phénomène d'induction apparaît dans un circuit électrique, la puissance cédée par le champ magnétique au circuit est nulle, ce qui implique que la puissance des forces de Laplace vérifie :

$$\mathcal{P}_{\text{lap}} + ei = 0$$

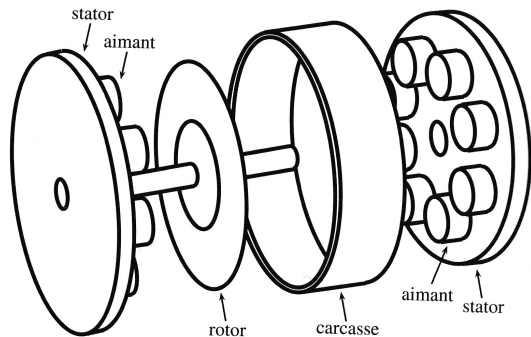
A retenir : Contrairement à la loi de Faraday, cette relation est *toujours vérifiée*. Elle permet notamment de déterminer l'expression d'un courant induit dans le cas où la loi de Faraday ne s'applique pas.

1.3 Application : freinage par induction

Dans un conducteur non filiforme en mouvement dans un champ \vec{B} stationnaire, il apparaît également des courants induits surfaciques ou volumiques appelés **courants de Foucauld**. Ces courants sont également à l'origine de l'apparition d'actions de Laplace, toujours résistantes selon la loi de Lenz (effet de freinage).

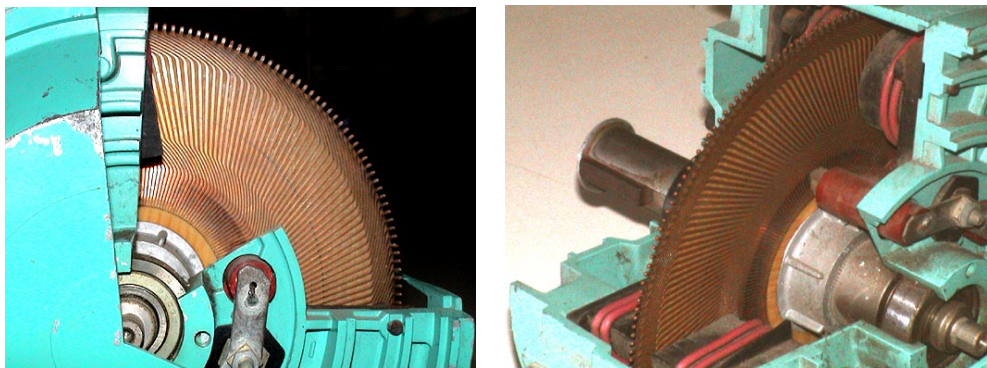
2 Conversion de puissance électrique en puissance mécanique : moteur à courant continu (MCC) à entrefer plan

2.1 Description



Vue éclatée d'une MCC à entrefer plan.

La MCC à entrefer plan est constituée de deux disques fixes sur lesquels sont placés des aimants permanents (éléments inducteurs), créant un champ stationnaire parallèle à l'axe de rotation de la machine. Ces éléments constituent le stator.



Le rotor est constitué d'un axe et d'un disque, solidaire de l'axe, sur lequel sont imprimés des circuits électriques radiaux (éléments induits), entourés d'isolant, imposant le passage du courant selon les rayons du disque.

Des contacts métalliques frottants, appelés balais, permettent le passage du courant entre la partie fixe du circuit et les conducteurs mobiles.

L'entrefer est la zone qui sépare les aimants, c'est-à-dire celle dans laquelle se trouve le rotor.

Ce moteur est réversible. Il peut fonctionner soit en moteur, soit en génératrice de courant continu.

2.2 Étude mécanique et électrique

Le passage d'un courant continu i dans les circuits radiaux impose des actions de Laplace qui mettent la machine en rotation à la vitesse angulaire ω .

Dans une machine à courant continu :

- le couple (donc la puissance) des actions de Laplace est proportionnelle à l'intensité du courant,
- le couple est indépendant de la vitesse de rotation,
- la force contre-électromotrice du moteur est proportionnelle à la vitesse de rotation.

2.3 Bilan

La MCC à entrefer plan possède plusieurs avantages :

- elle peut fonctionner sur un grand intervalle de vitesse de rotation (1 à 4000 tours/mn),
- le rotor possède une inductance faible, par conséquent le flux magnétique produit par le courant induit est négligeable devant celui créé par les aimants (faible réaction magnétique d'induit),
- la faible inductance du rotor permet d'avoir des temps de réponse électriques très courts (inférieur à 1 ms),
- la résistance du rotor est faible, ce qui limite les pertes par effet Joule,
- l'utilisation d'aimants comme source de champ magnétique permet également d'éviter les pertes par effet Joule dans l'inducteur.
- le moment d'inertie du rotor est faible, ce qui permet d'avoir des temps de réponse mécaniques très courts (de l'ordre de qq ms), cela permet également de produire des accélérations angulaires importantes (jusqu'à $150 \cdot 10^3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$)
- le couple développé est indépendant de la vitesse de rotation, ce qui permet un contrôle plus aisé de la valeur de ω ,
- la géométrie plane permet d'obtenir un faible encombrement.

Toutefois, ce type de machine est limitée en puissance ($\mathcal{P} < 1 \text{ kW}$). L'agilité de ce type de moteurs est utile pour l'industrie robotique, l'informatique (rotation de disque de stockage). Son faible encombrement lui permet d'être installé sur des bicyclettes, des chaises roulantes. Il est également utilisé dans le milieu médical (pompe à sang, respirateur).