

Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

Nous allons étudier dans ce chapitre des dispositifs fonctionnant soit en générateur, quand ils transforment une puissance mécanique en puissance électrique, soit en moteur quand ils transforment une puissance électrique en puissance mécanique.

1. Conversion de puissance mécanique en puissance électrique

1.1. Rails de Laplace générateur (exemple de cours 1)

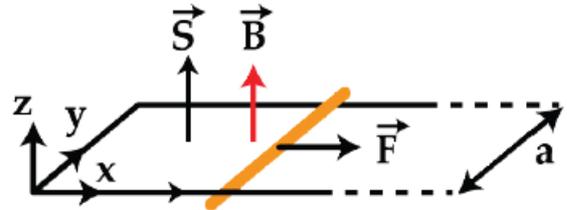
L'étude qui va suivre doit servir de modèle lorsqu'on aborde un système faisant intervenir à la fois le phénomène d'induction et un déplacement mécanique. On a déjà observé que l'application d'un courant dans un tel circuit permettait de mettre en mouvement la barre.

On va maintenant présenter le phénomène complet.

Énoncé

le dispositif employé, représenté ci-contre est horizontal. Il est constitué de deux rails conducteurs parallèles, distants d'une longueur a et reliés par un fil d'un côté. Le circuit de résistance R est fermé électriquement grâce à une tige mobile conductrice de masse m placée verticalement aux rails et tirée par une force constante $\vec{F} = F \vec{u}_x$.

L'ensemble est plongé à $t = 0$ dans un champ magnétique permanent $\vec{B} = B \vec{u}_z$. Le circuit est orienté, pour fixer le sens du vecteur surface.



- 1) Décrire le phénomène observé d'un point de vue électrique puis mécanique.
- 2) Établir l'expression de la fem induite en fonction B , a et $v(t)$ la vitesse de la barre suivant l'axe Ox .
- 3) En déduire l'équation électrique (EE) du circuit par application de la loi des mailles.
- 4) Exprimer la force de Laplace s'exerçant sur la barre en fonction de B , a , $v(t)$ et R .
- 5) En déduire par application de la 2^{ème} loi de Newton, l'équation mécanique (EM) du mouvement. Montrer que la vitesse de la barre tend vers une vitesse limite que l'on déterminera. Résoudre l'équation.
- 6) Montrer en faisant un bilan de puissance que : $F v = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) + R i^2$. Quelle est la signification physique de ce résultat ? Que se passe-t-il en régime permanent ?
- 7) Que représente le terme $bavi$? Pourquoi parle-t-on de conversion de puissance ?

✂-----

1.2. Freinage par induction

On l'a vu dans l'exemple précédent, la force magnétique qui peut apparaître à cause du phénomène d'induction s'oppose au mouvement du conducteur qui a été la cause du phénomène d'induction.

Dès qu'il y a conversion de puissance mécanique en puissance électrique, l'action mécanique de Laplace est une action de freinage, conformément à la loi de Lenz.

Cela a plusieurs applications intéressantes :

- Freinage par induction sur les TGV ou les camions
- Récupération d'énergie lors de ce freinage, afin de convertir l'énergie cinétique du véhicule en énergie électrique (voitures hybrides)

Courants de Foucault :

Lorsque le conducteur en mouvement n'est plus filiforme, la modélisation développée jusqu'à présent n'est plus valable, mais les phénomènes restent qualitativement les mêmes. Il y a apparition de courants induits à l'intérieur du conducteur, répartis dans tout le volume, et sont appelés courants de Foucault.

Ces derniers provoquent, du fait du champ magnétique, des efforts de Laplace qui vont s'opposer au mouvement.

On retrouve également les courants de Foucault lorsque le conducteur est fixe mais le champ magnétique non stationnaire, l'exemple le plus simple étant la plaque à induction, où le courant induit provoque l'échauffement de la casserole.

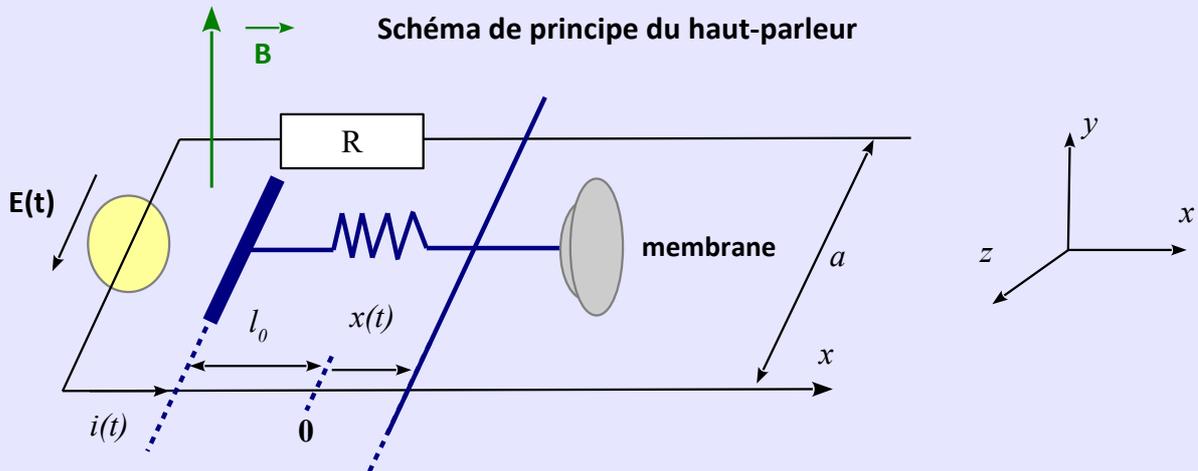
<https://www.youtube.com/watch?v=-kMYfodVWgI>

2. Conversion de puissance électrique en puissance mécanique :

2.1. Le haut-parleur électrodynamique (exemple de cours 2)

Énoncé

Un haut parleur est un appareil électromécanique qui transforme un signal électrique en signal sonore. On étudie le principe physique de fonctionnement dans la géométrie simplifiée des rails de Laplace. Le dispositif équivalent est représenté ci-dessous.



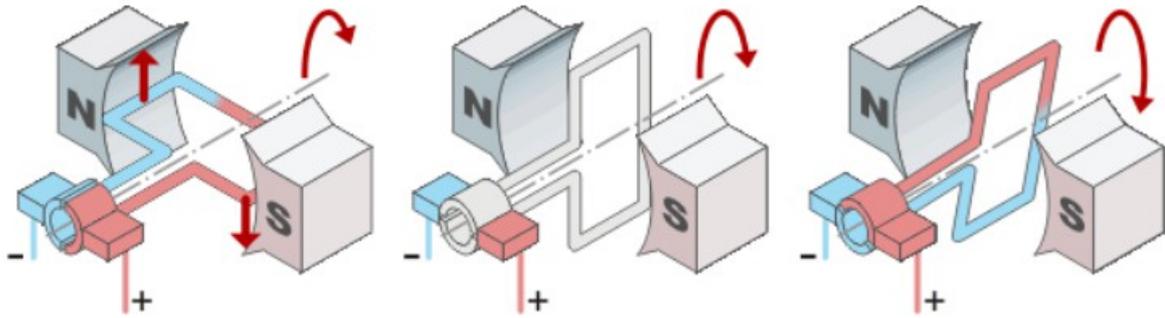
Le rail de Laplace est solidaire d'une membrane. L'ensemble a une masse m . Le rail est également relié à un bâti par l'intermédiaire d'un ressort de constante de rappel k .

Le générateur de tension $E(t)$ délivre le signal électrique à transformer en signal sonore.

- 1) Faire une analyse qualitative du phénomène
- 2) Déterminer la *fem* induite dans le circuit, en déduire l'équation électrique (EE)
- 3) Exprimer la force de Laplace. On rend compte de la perte d'énergie de la membrane liée à l'émission de l'onde par une force de frottements visqueux de la forme : $\vec{F}_f = -\alpha v \vec{u}_x$. Faire le bilan des forces s'exerçant sur le rail mobile en déduire l'équation mécanique du mouvement (EM)
- 4) Montrer que : $E(t)i = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2 \right) + \alpha v^2 + R i^2$. Quelle est la signification physique de cette équation ?

2.2. Le moteur à courant continu

Schéma de principe :



Une spire (le rotor ou l'induit) capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique créé par un aimant permanent (l'inducteur ou le stator).

Les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteurs.

La force de Laplace crée un couple moteur qui fait tourner la spire.

Quand la spire arrive dans sa position d'équilibre (verticale), le courant dans la spire est inversé grâce à une opération appelée commutation : chaque balai change de commutateur, ce qui permet de continuer la rotation.

Si le système balais-collecteurs n'était pas présent (simple spire alimentée en courant continu), la spire s'arrêterait de tourner en position verticale sur un axe appelé communément "ligne neutre".

Le système balais-collecteurs a pour rôle de faire commuter le sens du courant dans les deux conducteurs au passage de la ligne neutre. Le courant étant inversé, les forces motrices sur les conducteurs le sont aussi permettant ainsi de poursuivre la rotation de la spire.

<http://les-electroniciens.com/videos/le-principe-fonctionnement-d-un-moteur-courant-continu>

