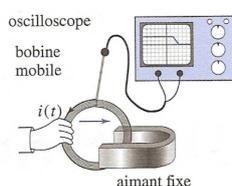


Induction électromagnétique Applications



	1
1 Haut-Parleur électrodynamique	1
1.1 Analyse physique	1
1.2 Fem induite et équation électrique	2
1.3 Force de Laplace et équation mécanique	2
1.4 Bilan de puissance	2
1.5 Régime harmonique et impédance du haut-parleur	3
1.6 Constitution : haut-parleur	4
2 Machine à courant continu à entrefer plan	5
2.1 Constitution et analyse qualitative	5
2.2 Couple électromagnétique	5
2.3 Force électromotrice induite	6
2.4 Réalisation et applications	7
3 Machine à Courant continu	8
3.1 Constitution	8
3.2 Principe de fonctionnement : machine élémentaire	9
3.3 Equations électrique et mécanique	12
3.4 Bilan de puissance	13
3.5 Réversibilité	13
3.6 Régime stationnaire et caractéristiques	15
3.7 Fonctionnement en régime transitoire	15
4 Machine Asynchrone	16
4.1 Constitution	16
4.2 Glissement	17
4.3 Principe de fonctionnement	18
4.4 Freinage	20

1. Haut-Parleur électrodynamique

Un haut-parleur est un appareil électromécanique qui doit convertir un signal électrique en signal mécanique (vibration d'une membrane pour émettre une onde sonore). C'est un transducteur électromécanique qui utilise les actions de Laplace et met en jeu les phénomènes d'induction.

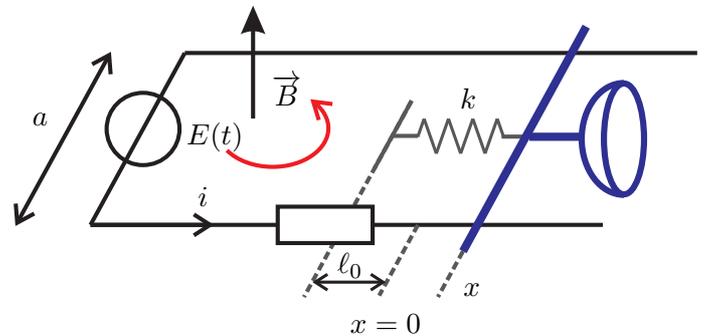
La géométrie des véritables haut-parleurs rend difficile, voire impossible le calcul du flux magnétique à travers le circuit mobile. Cela compromet l'application de la loi de Faraday $e = -\frac{d\Phi}{dt}$.

Pour contourner ce problème, on peut utiliser le bilan de puissance pour en déduire la fém e :

$$\mathcal{P}_{Lap} + \mathcal{P}_{Far} = 0$$

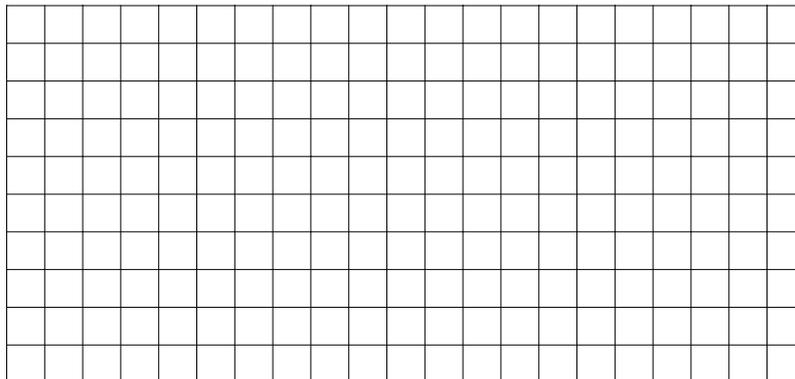
Nous allons ici nous intéresser à un haut-parleur à la géométrie simplifiée. Celle des rails de Laplace. Ce modèle permet d'obtenir des équations électriques et mécaniques analogues à celles d'un vrai haut-parleur.

La partie mobile constituée de la tige et de la membrane est de masse totale m_0 . La tige est reliée au bâti par l'intermédiaire d'un ressort de constante de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 . Le générateur de tension $E(t)$ délivre un signal électrique à transformer en signal sonore.



1.1. Analyse physique

- Le générateur impose une tension $E(t)$ et fait circuler un courant i .
- i et \vec{B} créent une force de Laplace \vec{F}_L .
- La tige et la membrane vibrent sous l'effet de la force de Laplace \vec{F}_L .
- La vibration de la membrane émet une onde sonore image du signal électrique $E(t)$.
- La tige devient un circuit mobile dans \vec{B} stationnaire : il apparaît dans le conducteur une fém induite e qui s'oppose à la tension $E(t)$ du générateur (loi de Lenz).

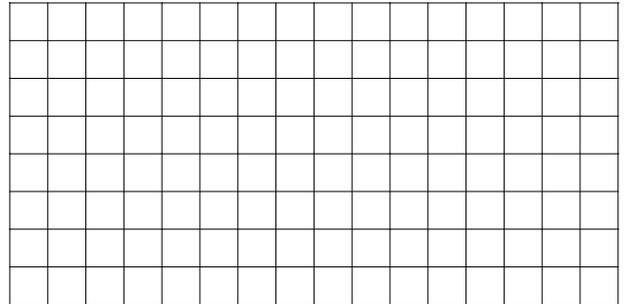


2. Machine à courant continu à entrefer plan

2.1. Constitution et analyse qualitative

On considère une roue munie de rayons constitués de conducteurs métalliques tous parcourus par un courant (courant radial). Cette roue peut tourner autour de son axe.

On plonge cette roue dans une zone où règne un champ magnétique uniforme et stationnaire.



◇ Fonctionnement en générateur :

.....

.....

.....

.....

.....

◇ Fonctionnement en moteur :

.....

.....

.....

.....

.....

Une machine à courant continu à entrefer plan réalise une conversion électromécanique entre une roue munie de conducteurs radiaux parcourus par un courant et une carcasse fixe munie d'aimants permanents qui créent un champ magnétique permanent.

2.2. Couple électromagnétique

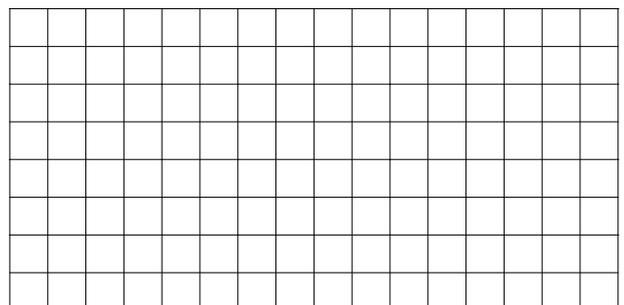
.....

.....

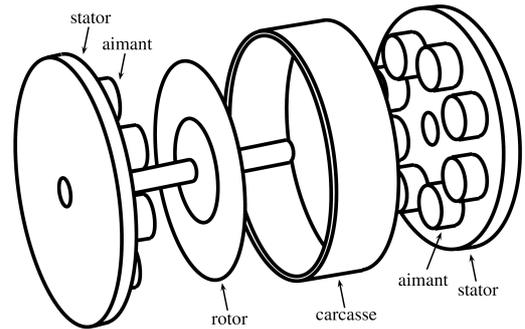
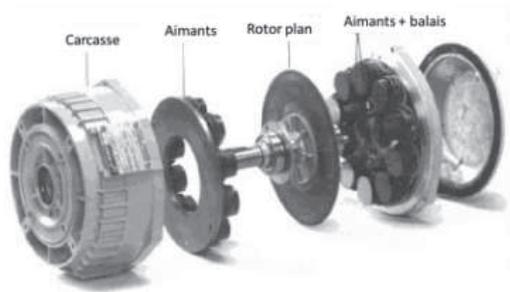
.....

.....

.....



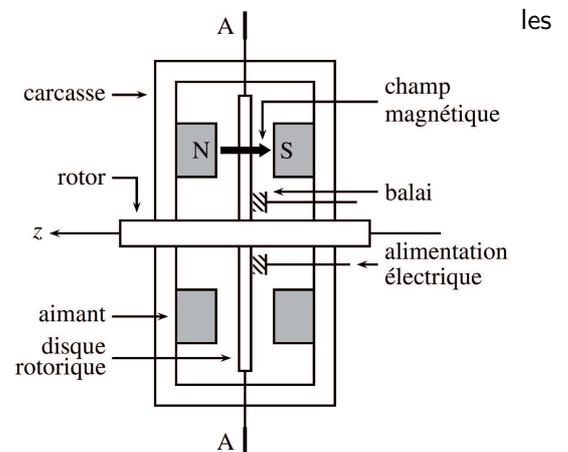
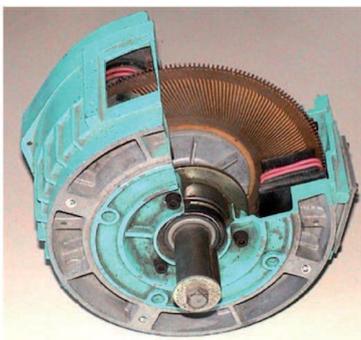
2.4. Réalisation et applications



Le stator est constitué d'une carcasse et de deux supports fixes circulaires sur lesquels sont montés des aimants permanents qui créent le champ magnétique uniforme et stationnaire.

Le rotor est constitué d'un axe de rotation et d'un disque solidaire de l'axe sur lequel sont imprimés de nombreux circuits électriques radiaux séparés par un isolant.

Des balais (contacts métalliques frottants) assurent le passage circuits électriques mobiles rotoriques.



La MCC est totalement réversible, elle peut servir soit en moteur soit en générateur. La MCC est la seule machine qui n'utilise pas de courants alternatifs (contrairement aux machines synchrones, ou asynchrones).

Rq

L'entrefer plan est une spécificité rare. la plupart des machines ont un entrefer cylindrique.

▪ **Avantages :**

- vitesse contrôlée et stable comprise entre 1 et 1.10^4 tr/min.
- très grande accélération angulaire .
- couple indépendant de la vitesse de rotation.
- coût faible
- faible inductance du rotor et faible moment d'inertie à l'origine de constantes électriques et mécaniques faibles :

$$\tau_e < 5.10^{-2} \text{ ms} \quad \text{et} \quad \tau_m \simeq 4 \text{ ms.}$$

▪ **Inconvénients :**

- puissance limitée à environ 1 kW.

La MCC à entrefer plan est utilisée lorsqu'il faut créer un mouvement de rotation soit de précision soit dans un volume limité.

La géométrie plate est utilisée pour la motorisation des vélos, des chaises roulantes. La précision de la rotation est appréciée en robotique industrielle, médicale (pompes à sang, respirateurs), informatique (rotation des disques de stockage), militaire.

3. Machine à Courant continu

Une machine à courant continu (MCC) est caractérisée par son couple, sa vitesse, sa tension et son courant de fonctionnement nominaux.

3.1. Constitution

Une machine à courant continu est formée d'un circuit magnétique d'un ou plusieurs circuits électriques et d'un collecteur.

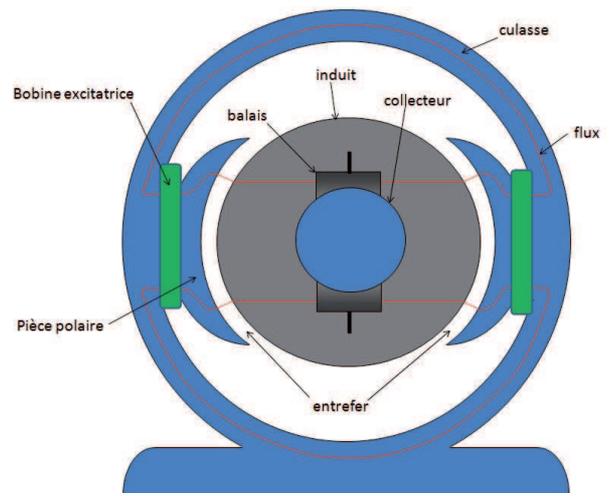
Le circuit magnétique est constitué de deux parties :

- une partie fixe : le stator = inducteur de la machine.
- une partie mobile : le rotor = induit de la machine.

Ces deux parties sont séparées par un entrefer.

L'inducteur peut être constitué d'aimants permanents (la machine a alors un seul circuit électrique celui du rotor qui est l'induit) ou d'électro-aimants (un courant traverse alors un bobinage et la machine a deux circuits électriques).

Le collecteur par l'intermédiaire des balais permet la liaison de l'induit au circuit électrique extérieur à la machine.



Le collecteur est un ensemble de lames en cuivre isolées latéralement les unes des autres et disposées suivant un cylindre en bout de l'axe du rotor. Ces lames sont reliées au circuit induit en des points régulièrement espacés. Les balais conducteurs, fixés sur le stator frottent sur les lames du collecteur. Ces contacts glissants permettent de relier électriquement le circuit induit qui tourne avec le milieu extérieur.

Le nombre de paires de balais est égal au nombre de paires de noyaux polaires.

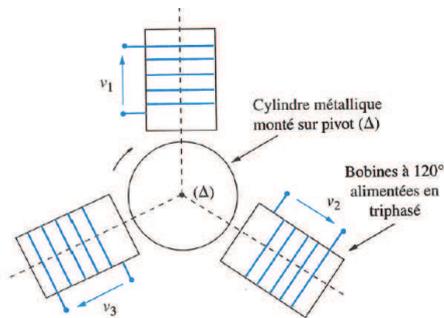


Dans le cas d'une machine à deux circuits électriques, il existe plusieurs possibilités de branchement. Par exemple :

- inducteur indépendant de l'induit : machine à excitation séparée.
- inducteur et induit en série : machine à excitation série.

4. Machine Asynchrone

4.1. Constitution



Les trois bobines sont alimentées par un système de tensions triphasé équilibré. Le cylindre monté sur une liaison pivot d'axe vertical se met à tourner.

Si on inverse deux phases au niveau des bobines, on constate que le rotor tourne en sens inverse.

Interprétation :

Les trois bobines produisent au centre du dispositif un champ tournant à la fréquence de rotation n_s (en tour par seconde) égale à la fréquence f du réseau alimentant les trois bobines.

Dès que les bobines sont alimentées, le cylindre métallique est balayé par un champ magnétique tournant. Il est soumis à un champ magnétique variable dans le temps et donc à un flux variable. Il est donc le siège de courants de Foucault qui circulent dans le métal (de manière à s'opposer à la cause qui leur a donné naissance).

Le cylindre est soumis à des forces de Laplace et tourne donc à la poursuite du champ tournant.

Le rotor peut-il tourner exactement à la même vitesse que le champ tournant ?

Non, car le champ magnétique serait fixe par rapport au rotor : si le balayage du cylindre par le champ cesse, il n'y a plus de courants de Foucault et le cylindre métallique n'est plus entraîné.

La fréquence de rotation du rotor est donc légèrement inférieure à celle du champ tournant (d'où le nom de machine asynchrone).



- **Stator :**

Le stator est analogue à celui d'une machine synchrone. Il comporte trois enroulements placés dans les encoches d'une carcasse ferromagnétique.

Le stator constitue l'inducteur du moteur et a pour rôle de créer un champ tournant dans l'entrefer de la machine.

Alimentés par un réseau triphasé équilibré, les enroulements génèrent dans l'entrefer du moteur un champ tournant dont la vitesse de rotation Ω_s (vitesse de synchronisme) est fonction de la pulsation ω du réseau et du nombre de paires de pôles p du stator.

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} \quad \text{ou} \quad n_s = \frac{f}{p}$$

f fréquence du réseau, n_s fréquence de rotation du champ tournant (en tr/s)

Application I

Quel est le nombre de pôles d'un moteur asynchrone qui, alimenté par un réseau 50 Hz génère un champ tournant à 1000 tr/min ?

.....

.....

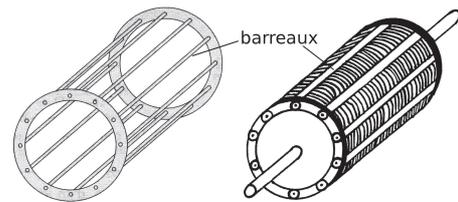
.....

.....

• **Rotor :**

Il existe deux types de rotor :

→ Rotor à cages d'écureuil : des barres de cuivre (ou en aluminium) logées dans les encoches d'un cylindre ferromagnétique sont mises en court-circuit par des anneaux de cuivre.



→ Rotor bobiné : trois enroulements sont logés dans les encoches d'un cylindre ferromagnétique feuilleté constituant le rotor. Celui-ci présente le même nombre de pôles que le stator. Ces enroulements rotoriques sont reliés à trois bornes par l'intermédiaire de bagues solidaires du rotor et de balais frottant sur ces bagues.

Le rotor bobiné doit être fermé sur lui-même directement (mis en court-circuit) ou par l'intermédiaire de résistances.

Le moteur asynchrone à cage d'écureuil est évidemment plus simple à réaliser. Il est plus robuste (pas de contacts glissants). Il présente l'avantage d'être beaucoup moins coûteux.

Le développement de l'électronique de puissance a permis d'étendre le domaine d'application des moteurs à cage d'écureuil au détriment des moteurs à rotor bobiné (et des moteurs à courant continu).

4.2. Glissement

La vitesse de rotation du rotor est forcément différente de la vitesse de synchronisme.

Un observateur lié au rotor voit donc un champ tournant créé par le stator glissé par rapport à lui.

Définition

On définit le glissement comme la grandeur sans dimension suivante :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Application 2

Quel est le glissement d'un moteur asynchrone tétrapolaire alimenté par un réseau de fréquence 50 Hz et qui tourne à 1420 tr/min.

.....

.....

.....

.....

Fréquence des courants rotoriques :

La vitesse relative à laquelle le champ tournant balaie les conducteurs du rotor vaut $\Omega_s - \Omega$. La pulsation ω_R des courants induits est égale à

$$\omega_R = p (\Omega_s - \Omega) = \omega_s \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \qquad \omega_R = g\omega_s$$

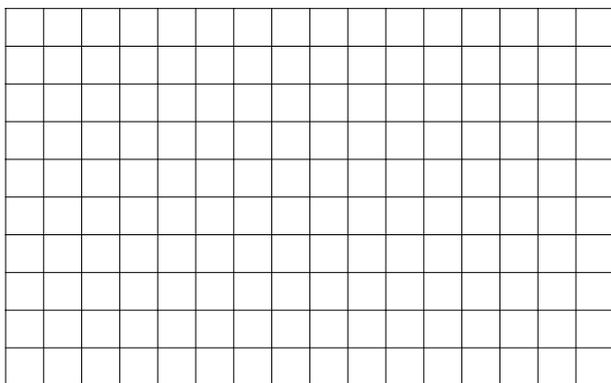
Cette fréquence varie donc avec le glissement.

.....

.....

.....

4.3. Principe de fonctionnement



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

