

LP20 – CONVERSION DE PUISSANCE ÉLECTROMÉCANIQUE

31 mars 2017

Eric Brillaux & Benjamin Crinquand

Les instruments comprenaient : un thermomètre centigrade de Eigel, un manomètre à aire comprimé, un chronomètre de Boissenas, parfaitement réglé au méridien de Hamburg, deux boussoles d'inclinaison et de déclinaison, une lunette de nuit, deux appareils de Ruhmkorff. Les armes consistaient en deux carabines Purdley More et Co et de deux revolvers Colt. Les outils comprenaient deux pics, deux pioches, une échelle de soie, trois bâtons ferrés, une hache, un marteau, une douzaine de coins et pitons de fer, et de longues cordes à noeuds.
CONTENU DU SAC DE HERVÉ

Niveau : L2

Commentaires du jury

- **2016** : Afin de pouvoir aborder des machines électriques de forte puissance, le rôle essentiel du fer doit être considéré car les forces électromagnétiques ne se réduisent pas aux seules actions de Laplace s'exerçant sur les conducteurs traversés par des courants.
- **2015** : Il est souhaitable de préciser le rôle de l'énergie magnétique lors de l'étude des convertisseurs électromécaniques constitués de matériaux ferromagnétiques linéaires non saturés.
- **2014** : Dans le cas des machines électriques, les candidats sont invités à réfléchir au rôle du fer dans les actions électromagnétiques qui peuvent également être déterminées par dérivation d'une grandeur énergétique par rapport à un paramètre de position.

Bibliographie

- ⚡ *Électromagnétisme 3*, **BFR** → La bible de l'électromagnétisme simple, clair et concis. Bien pour réviser l'induction.
- ⚡ *Électronique II*, **HPrépa** → Très bien pour la machine à courant continu et la machine alternative. Les idées-forces sont bien mises en valeur.
- ⚡ *Électrotechnique PSI*, **Bréal** → Pour les rails de Laplace.

Prérequis

- Induction électromagnétique
- Forces de Laplace et de Lorentz
- Bases de l'électrocinétique
- Matériaux magnétiques
- L'addition et la multiplication

Expériences

- 👤 Rails de Laplace
- 👤 Mise en évidence du rôle du collecteur

Table des matières

1	Les idées-forces de la conversion	2
1.1	Bilan de puissance	2
1.2	Production de champs intenses	2
2	La machine à courant continu (MCC)	2
2.1	Description	3
2.2	Fonctionnement de la machine idéale	3
2.3	Bilan de puissance	3

3	Machine alternative synchrone	4
3.1	Champs tournants	4
3.2	Principe des machines synchrones	4

Introduction

✦ Hprépa

La conversion de puissance électromagnétique est à la base des machines utilisés dans l'industrie, le transport mais aussi des machines du quotidien. La conversion d'énergie électrique vers une énergie mécanique correspond au fonctionnement moteur, la conversion inverse correspondant au générateur.

1 Les idées-forces de la conversion

1.1 Bilan de puissance

✦ Bréal 2

Effectuons un bilan de puissance sur un conducteur dans un référentiel (R) supposé galiléen (par exemple, la tige mobile des rails de Laplace). Soit R_{mobile} le référentiel de la tige.

Hypothèses :

- ARQS magnétique
- Champ \mathbf{B} permanent

Si $\mathbf{v}_{/R} = \mathbf{v}/R_{mobile} + \mathbf{v}_0$ est la vitesse de la tige, la puissance de la force de Lorentz s'écrit :

$$P = \rho d\tau (\mathbf{v}_{/R} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{v}_{/R} = 0, \quad (1)$$

soit :

$$(\mathbf{j} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{v}_{/R_{mobile}} + \mathbf{j} \cdot \mathbf{E}_m = 0, \quad (2)$$

où \mathbf{E}_m est le champ électromoteur.

1.2 Production de champs intenses

✦ BFR, Hprépa

Pour obtenir des champs \mathbf{B} intenses, il est utile de recourir aux matériaux ferromagnétiques. En effet, les champs sont alors amplifiés par un facteur $\mu_r \sim 1000$.

Exemple sur le cas d'une pièce ferromagnétique en U, la longueur du circuit étant L et l'entrefer e .

$$B = \frac{NI\mu_0}{e + L/\mu_r} \quad (3)$$

L'énergie magnétique volumique vaut :

- $W_{air} = B^2/(2\mu_0) \sim 40 \text{ kJ.m}^{-3}$ dans l'entrefer ;
- $W \sim 40 \text{ J.m}^{-3}$ en l'absence de ferraille.

2 La machine à courant continu (MCC)

✦ Hprépa 3

2.1 Description

La MCC est constituée de la façon suivante :

Circuits **magnétiques**

- **Stator** : c'est la partie statique, qui produit le champ magnétique ;
- **Rotor** : c'est la partie mobile ;
- **Entrefer** : aussi petit que possible afin de limiter les pertes de flux.

Circuits **magnétiques**

- **inducteur** : bobines en série alimentés en DC. Ici on ne considère qu'une machine **bipolaire**. Le stator est le circuit inducteur en fonctionnement moteur.
- **induit** : enroulement de spires qui permet la conversion par induction. C'est le rotor en fonctionnement moteur.

À ces pièces sont associés un dispositif de **commutation** (collecteur + balais). L'illustrer expérimentalement sur le dispositif prévu à cet effet.

2.2 Fonctionnement de la machine idéale

On considère une spire en rotation dans le champ magnétique.

Hypothèses

- Pour simplifier le problème, on suppose que le champ est radial et de valeur constante, sauf près des lignes neutre. Attention le champ change de signe à la traversée des lignes neutres.
- On considère un induit d'une seule spire et une machine dipolaire.

Alors la fem s'écrit :

$$e = 2hRB\omega \quad (4)$$

avec R le rayon de la spire, h sa longueur, ω la vitesse de rotation.

La généralisation est :

$$e = k\Phi\omega, \quad (5)$$

où k est une constante géométrique et $\Phi = 2\pi RhB$ est le flux utile (ce n'est pas le flux à travers la spire!).

On calcule de même le couple :

$$\Gamma = k\Phi I, \quad (6)$$

qui vérifie par ailleurs la conservation de l'énergie.

Les équations de fonctionnement pour une MCC à excitation indépendante sont :

- équation électrique : $u = Ri + k\Phi\omega$ avec R la résistance du circuit induit ;
- équation mécanique : $J \frac{\partial \omega}{\partial t} = k\Phi i - \Gamma_r$ avec Γ_r le couple mécanique résistant.

On en déduit le point de fonctionnement en régime stationnaire, par exemple à Γ et u/Φ donnés.

2.3 Bilan de puissance

Le rendement n'est pas de 1 à cause des pertes :

- Cuivre Ri^2 ;
- Fer, dues aux courants de Foucault (limités par feuilletage) et aux pertes par hystérésis (d'où l'utilisation de fer doux) ;
- mécanique (frottements).

ODG : $\eta = 90\%$ pour les MCC de train électrique.

3 Machine alternative synchrone

⚡ Hprépa

3.1 Champs tournants

Définition : un champ tournant est un champ magnétique de norme constante et tournant dans l'espace avec une vitesse angulaire constante et contrôlable.

Démontrer les théorèmes de Leblanc (champ monophasé) et de Ferraris (champ triphasé).

3.2 Principe des machines synchrones

L'action d'un champ tournant sur un moment magnétique constant M se traduit par l'existence d'un moment :

$$\Gamma = MB \sin((\omega - \omega_0)t + \theta_0) \quad (7)$$

avec ω la pulsation du champ et ω_0 la vitesse de rotation de l'aimant. À l'équilibre, $\Gamma = \Gamma_r$, le couple résistant et aimants et champs tournent à la même vitesse angulaire : on parle de **synchronisme**.

Illustration expérimentale avec le champ triphasé et l'aiguille. Celle tourne à la vitesse de synchronisme

Si le couple résistant est supérieur au couple de décrochage MB , le moteur s'arrête. Tracer la courbe $\Gamma = f(\theta_0)$ et montrer les points de fonctionnement stable et instable.

Intérêt :

- bon rendement (95%)
- vitesse réglable

Défauts

- démarrage non autonome (a contrario des machines asynchrones)
- risque de décrochage (a contrario des MCC)

Conclusion

Les MCC sont aujourd'hui obsolètes (dixit M. Bob Condo) et remplacés par les machines alternatives, beaucoup plus souples d'emploi et de meilleur rendement. Cependant, l'utilisation massive des machines alternatives n'a pas se faire qu'après le développement de l'électronique de puissance.