

Conversion de puissance électromécanique

June 7, 2025

Référence

Expérience : Mesure du rendement du moteur asynchrone

Livre :

- Physique PSI/PSI* Tout-en-un, Dunod, 2022
- Électrotechnique, Wildi, DeBoeck Université
- Cours de Jérémy Neveu

Prérequis :

- Induction
- Électromagnétisme
- Mécanique

Niveau : PSI

Introduction

Intro sur la production d'énergie en France

1 Rail et forces de Laplace

1.1 Présentation du système

Induction : variation de flux $e = -\frac{d\phi}{dt}$

Force de Laplace : $d\vec{F}_L = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$

Schéma du rail de Laplace (de longueur a et parcouru par un courant I) Explication de la conversion entre énergie électrique et énergie mécanique

1.2 Modes de fonctionnement

On peut présenter les deux modes en une seule fois et faire attention à l'absence de charge dans le mode générateur

Mode générateur : On applique une force et on récupère de l'énergie électrique

PFD sur le rail dans le réf du labo (galiléen)

$$m \frac{dv}{dt} = F_{ext} + F_L = F_{ext} + I a B$$

$$I = \frac{e}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\phi}{dt} = -\frac{1}{R} * a v B$$

Le champ B est constant mais le mouvement de la barre va modifier le flux à travers le circuit.

Ainsi on obtient : $\frac{dv}{dt} + \frac{a^2 B^2}{m R} v = F_{ext} / m$

$$v(t) = \frac{R F_{ext}}{a^2 B^2} \left[1 - e^{-\frac{a^2 B^2}{m R} t} \right]$$

On a l'apparition d'un temps caractéristique : $\tau = \frac{m R}{a^2 B^2}$

AN numérique où $m=100g$; $a=10cm$; $B=1T$; $R=50 \text{ Ohm}$ -> $\tau = 500s$ (c'est un temps assez long)

Pour évaluer le rendement, on se place en régime permanent :

$$P_{elec} = RI^2 \text{ et } P_{mca} = F_{ext}v$$

Le rendement vaut : $\eta = \frac{P_{elec}}{P_{mca}} = \frac{a^2 B^2 v}{RF_{ext}} = 1$ en régime permanent car on ne met pas de charge dans le circuit électrique

Mode moteur : On applique une tension électrique et on récupère un mouvement

Schéma électrique du rail de Laplace dans ce cas

On a toujours le PFD et on a aussi : $U = RI + e = RI - aBv$

Le courant s'exprime ainsi : $I = \frac{U}{R} + \frac{aBv}{R}$

En combinant comme pour le mode générateur l'équation électrique et l'équation mécanique, on trouve :

$$\frac{dv}{dt} + \frac{a^2 B^2 v}{mR} = \frac{F_{ext}}{m} - \frac{aBU}{mR}$$

Le rendement maintenant correspond au rapport entre puissance mécanique sur puissance électrique.

$$\eta = \frac{F_{ext}v}{UI} = 1 - \frac{RF_{ext}}{aBU}$$

Le rendement ici en régime permanent est généralement inférieur à 1 et donc on a une asymétrie entre mode moteur et mode générateur.

2 Machine à champ tournant

2.1 Généralités

Rappel sur le moment magnétique : $\vec{M} = I\vec{S}$ La force s'écrit : $\vec{F} = (\vec{M} \cdot \vec{\nabla})\vec{B}$ Le couple s'écrit : $\vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B}$

Il faut pour avoir un couple que le moment magnétique et le champ B ne soient pas colinéaires (dans l'idéal, ils sont orthogonaux).

Plusieurs solutions : -Moteurs à courant continu avec une ruse

-Faire tourner le champ B Pas si évident à priori mais si on prend trois bobines placées en symétrie circulaire à 120° chacune et en les déphasant de $\pi/3$, ça marche

Théorème de Ferraris: Trois bobines déphasées de $2\pi/3$ et placés tous les $2\pi/3$ génèrent un champ B tournant à la même fréquence.

2.2 Moteur asynchrone

Présentation sur slide des éléments du moteur asynchrone

Le rotor est juste un circuit qui va tourner grâce à l'induction du champ tournant. Il ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ tournant car sinon il serait immobile par rapport au champ et donc il n'y aurait pas de courant induit.

Donc $\theta_s(t) = \omega_s t$ et $\theta_r(t) = \omega_r t$ où $\omega_r < \omega_s$

On peut calculer le flux dans le rotor qui dépend de la fréquence de glissement (différence entre fréquence du stator et celle du rotor) et donc remonter à la force électromotrice.

On peut représenter le rotor par un circuit électrique et avec la même méthode que pour le rail de Laplace, on peut calculer une équation reliant mécanique et électrique :

$$\Gamma = \frac{\Phi_m^2}{2} \frac{R\omega_g}{R^2 + L^2\omega_g^2} \text{ (Détails du calcul pas montré au tableau)}$$

Manipulation expérimentale : présentation de la manip et mesure d'un point pour le rendement.

Conclusion avec ouverture sur les moteurs synchrones et à courant continu.

Expérience quantitative

Objectif de l'expérience

Mesurer le rendement du moteur en fonction de la puissance mécanique utile -> à comparer à la puissance nominale donnée par le constructeur

Matériels

- Moteur asynchrone
- Wattmètre

- Voltmètre x2
- Alimentation à courant continu (6V,8A) pour le frein à poudre
- Variateur
- Fils de sécurité

Protocole

Mettre la vitesse sur le variateur à 50Hz Bien vérifier les branchements sur la notice Faire varier la tension pour le frein à poudre et prendre les valeurs de tension pour le couple, la vitesse de rotation et la puissance électrique. Calculer la puissance mécanique reçue à partir de la tension du couple et du dynamomètre. Tracer le rendement en fonction de la puissance électrique.

Précautions expérimentales

Bien brancher les masses entre elles sur tous les appareils
Ne pas dépasser 4V pour le frein à poudre