

Conversion de puissance électromécanique

①

Niveau : CPGE, 2^e année

Prérequis : - Electromag
- Induction
- Forces de Laplace
- F.e.m.
- Transformateur
- Milieux magnétiques

Biblio : o Desnod, PSI - PSI*
o Cours Jeremy Navau
o Cours Naval
o Machines électriques, Niard (p40)

Notion de puissance en entendre dans le sens de dépassement des capacités humaines.
Domaine de l'électrotechnique/génie électrique.

L'induction électromagnétique a mis en évidence la possibilité de conversion d'énergie : Électrique \longleftrightarrow Mécanique.

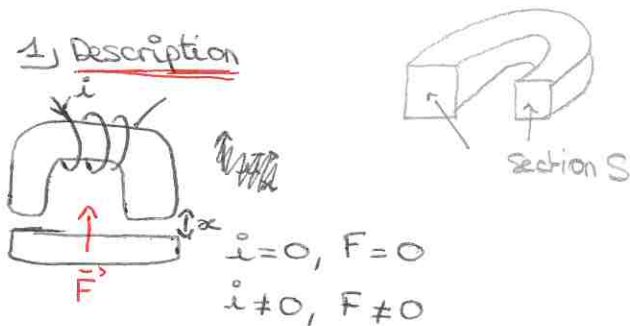
Vidéo : Induction Rail de Laplace.

I/ Le contacteur électromagnétique

Sert d'interrupteur dans des dispositifs de sécurité électrique (Porte des immeubles)

Slide : Contacteur

1) Description



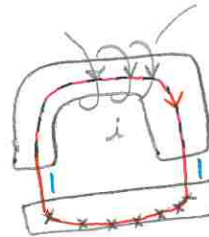
2) Force électromagnétique

Énergie du champ B : $E_B = \frac{1}{2} L i^2$

$$\vec{F} = \left(\frac{\partial E_B}{\partial x} \right) \vec{u}_x$$

En supposant que milieu magnétique est linéaire.

Démonstration : $L(x) = \frac{\mu_0 \mu_r S N^2}{l_1 + l_2 + 2x \mu_r}$



ligne de champ moyenne

--- : l_1
— : $2x$
xx : l_2

Hypothèse : * Section constante $S \rightarrow B_{\text{fer}} = B_{\text{m}} = B_{\text{air}}$

Théorème d'Ampère :

* Pour un fer : $\frac{B}{\mu_r \mu_0} l = N i$

* Pour un l'air : $\frac{B}{\mu_0} l = N i$

La : $\frac{B_f}{\mu_r \mu_0} l_1 + \frac{B_m}{\mu_r \mu_0} l_2 + \frac{B_a}{\mu_0} 2x = N i$

Or, $B_f = B_m = B_a$:

$$B_f \left(l_1 + l_2 + 2x \mu_r \right) = N i \mu_0 \mu_r$$

$$B_f = N i \mu_0 \mu_r \times \frac{1}{l_1 + l_2 + 2x \mu_r}$$

et $\Phi_B = L i$
 et $\Phi_B = NBS$

Donc $L(x) = \frac{N^2 S \mu_0 \mu_r}{l_1 + l_2 + 2\mu_r x}$

Donc: $E_B = \frac{1}{L} \times \frac{N^2 S \mu_0 \mu_r}{l_1 + l_2 + 2\mu_r x} i^2$
 $F_B = \left(\frac{\partial E_B}{\partial x} \right)_i = \frac{\mu_r^2 \mu_0 N^2 S}{(l_1 + l_2 + 2\mu_r x)^2} i^2$

⊖ : La force est attractive.

ODG : $i = 1A$ $N = 100$ $l_1 + l_2 = 50cm$
 $\mu_r = 3 \cdot 10^3$ $S = 25 cm^2$ (ferro de labo)
 $\hookrightarrow F_{max} = -1,1kN$
 \sim souève 115kg

~~Puissance~~ $\frac{dE_B}{dt}$

II / La machine à courant continu (1871)

Utilisée dans les premiers TGV.

1) Principe

→ On voit apparaître 2 modes de fonctionnement :

→ On alimente le rotor qui se met à tourner : Moteur

→ On alimente fait tourner le rotor ce qui produit un courant : Génératrice

Mettre en évidence avec le moteur pédagogique

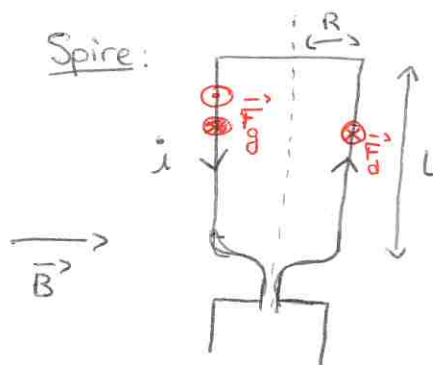
$\left[d\vec{F}_{\text{Lap}} = i d\vec{\ell} \wedge \vec{B}_{\text{ext}} \right]$: vidéo

Montrer que quand on inverse les balais, ça tourne dans l'autre sens

Mise en équations
 2) Le moteur à courant continu

2

Couple dans le rotor : $\Gamma_{em} = k i$
 avec k : constante de couplage



Flux moyen de B à travers la spire est nul.

Force: $\vec{F}_{g/d} = B i L \vec{e}_\theta$

Couple: $\vec{\Gamma} = 2(R \vec{e}_r \wedge B i L \vec{e}_\theta)$
 $= 2RB i L \vec{e}_z$
 $\vec{\Gamma} = \Phi_B i$

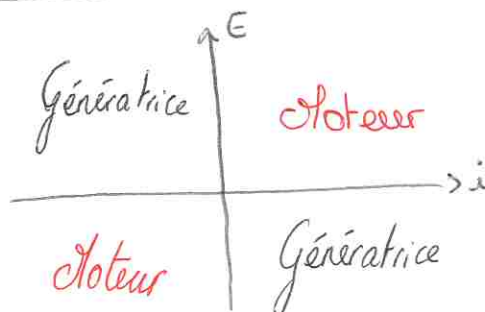
Puissance mécanique: $\mathcal{P}_m = \Gamma \Omega$
 Ω : rotation rotor.

Puissance électrique: $E : F.E.H \Rightarrow \mathcal{P}_e = E i$
 En l'absence de pertes: $\mathcal{P}_e = \mathcal{P}_m$

$\Gamma \Omega = E i$
 $\Rightarrow \Phi_B \Omega = E$

→ $E i > 0$ on fournit de la puissance électrique : Moteur

→ $E i < 0$: Génératrice



Pertes: • chimiques $\rightarrow P_e = \mathcal{M} \dot{i} = (E + Ri) \dot{i}$

• fer
• ...
• hystérésis

• frottements
• courants de Foucault

cf Benod, PSI, 2014 p. 489

0: angle \vec{B}_s et \vec{M} . lié au bâti

(3)

α : Retard de phase de \vec{M} % à \vec{B}_s

Rôle fer: $M_{\text{ferro}} \gg 1$

$$\rightarrow B_{\text{air}}^{\text{Tang}} \ll B_{\text{ferro}}^{\text{Tang}}$$

→ "annulation" de la composante tangentielle à l'interface, dans l'air.

cf: épreuve A, 1991

3) Rendement

$$P_{\text{utile}} = \Gamma_{\text{u}} \Omega = mgv$$

$$P_{\text{fournie}} = \mathcal{M} \dot{i}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{fournie}}}$$

Expérience: on varie m et on mesure v , i et on fixe ω ($=12V$)

→ Haute de fonctionnement nominal
vs grandeurs constructeur

(Ccl)

ou

III / Machine synchrone

aussi appelé
alternateur

Machine réversible: générateur: ~~voiture~~ produit courant alternatif

moteur: voiture

Utilisé ds des TGV après MCC. (mais asynch aujourd'hui)
On crée un champ B tournant.

1888: Brevets de Nikola Tesla.

1) Principe

• Le Rotor a un moment magnétique permanent \vec{M}

• Le stator crée un champ magnétique tournant \vec{B}_s à l'aide de courants alternatifs.

2) Couple

Angle champ statorique: $\theta_s = \omega_s t - \theta$

Angle de \vec{M} : $\theta_R = \omega_R t + \alpha - \theta$

$$\Gamma_z = (\vec{M} \wedge \vec{B}_s) \cdot \vec{u}_z$$

$$= B_s M (\vec{u}_M \wedge \vec{u}_{B_s}) \cdot \vec{u}_z$$

$$= B_s M \sin(\omega_R - \omega_s)t + \alpha$$

$$\langle \Gamma_z \rangle \neq 0 \text{ si } \omega_R = \omega_s:$$

Le rotor tourne à la même pulsation que le champ statorique mais est en retard sur ce dernier d'un angle α . → Machine synchrone

$$\Gamma_{\text{moy}} = B_s M \sin(\alpha)$$

• $\alpha > 0$: $\Gamma_{\text{moy}} > 0$, moteur

• $\alpha < 0$: $\Gamma_{\text{moy}} < 0$, alternateur (couple résistant)

3) Avantages / Inconvénients

• Le couple, au démarrage, est de valeur moyenne nulle

↳ On préfère la machine asynchrone

• Bon rendement (jusqu'à 90%)

Bilan énergétique:

$$\underbrace{u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3 + u_R I_R}_{P_{fournie}} = \underbrace{r_1 i_1^2 + r_2 i_2^2 + R_R I_R^2}_{P_{Joule}} + \underbrace{B_3 \omega \sin(\alpha) \omega}_{P_{méca}}$$

cci

Annexe: Les pertes (cf machines électriques

* Effet Joule \equiv Pertes cuivre
Niard, Nathan Techniq p40

* Pertes mécaniques (frottements)

* Pertes magnétiques \equiv pertes fer

hystérésis

$P_{\text{perte}} \propto B^2 \omega$

Courants de Foucault

$P \propto B^2 \omega^2$