Suite cours conv élec-méca

Avec ça, on trouve C beaucoup ⊕ vite

III - Circuits magnétiques   Voir sur poly

→ 3.3) Problème : Ds les moteurs, les conducteurs en cuivre sont enfermés dans des encoches faites dans le matériau ferro

$\vec{B} = \vec{0}$!, pas de force de Laplace ...

→ Approche des travaux virtuels

IV - Conversion élec-méca ds les machines électriques

1) Architecture des moteurs électriques

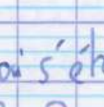
Moteur tournant = • STATOR : fixe ds le référentiel terrestre
(⇒ Solide arrimage pour contrer le Couple de réac°)

• Rotor : partie tournante mise en rotation par un couple moteur

• Circuit INDUCTEUR : élément (aimant) ou circuit qui magnétise le moteur → Assure l'établissement d'un chp inducteur dans l'entrefer

• Circuit d'induit : circuit électrique où s'établit f.e.m induite (générateur), ≡ où s'applique la Pélec à convertir

entrefer = cylindre en général et fin (qqmms à cms)
En général, épaisseur $e(\theta) = cst$ (machine à pôle lisse)
Parfois, $e(\theta) \neq cst$ (machine à pôle saillant)

ex : 

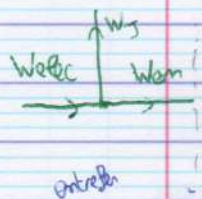
5/

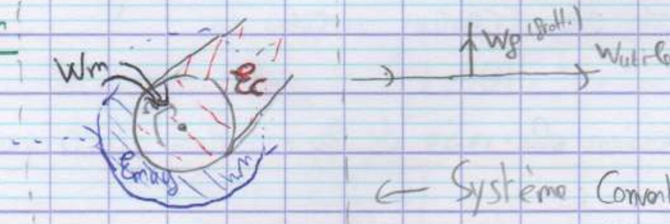
→ Le rotor peut porter le circuit inducteur et le stator l'induit :
Cas des machines synchrone / asynchrone

→ Si c'est l'inverse, machine à courant continu

2 "circuits" → couple de mutuelle (souvent $L \neq 0$)
Excep° : machines à reluctance variable, basée uniquement sur autoinductance

2) Bilan énergétique, perte, rendement





← Système Convertisseur électro-mécanique idéal

$$\mathcal{E}_{tot} = \mathcal{E}_{mag} + \mathcal{E}_c \qquad (\text{et } |Q_{perdu}| = |W_J| + |W_f|)$$

On néglige les pertes fer.

· Pour une évolution élémentaire du système pdt dt :

$$* \quad d\mathcal{E} = d\mathcal{E}_{mag} + d\mathcal{E}_c$$
$$= \delta W_{em} - \delta W_f - \delta W_{utile}$$

$$* \quad d\mathcal{E}_c = \delta W_m - \delta W_f - \delta W_{utile}$$
$$* \quad \delta W_{elec} = \delta W_{e.m} + \delta W_J$$
$$* \quad \delta Q = \delta W_J + \delta W_f$$

· On cherche à sortir δW_{em} :

$$\delta W_{em} = d\mathcal{E} + \delta W_f + \delta W_{utile}$$
$$= d\mathcal{E}_{mag} + d\mathcal{E}_c + \delta W_f + \delta W_{utile}$$ (on remplace)

$$\boxed{\delta W_{em} = d\mathcal{E}_{mag} + \delta W_m}$$

→ L'énergie apportée en entrée du convertisseur (idéal) est en partie stockée dans l'entrefer et en partie fournie à l'arbre du rotor

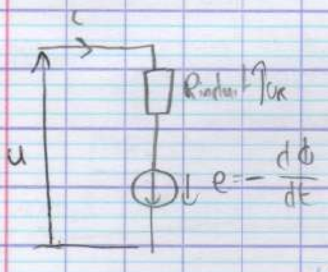
• Rendement : $\eta = \frac{W_{utile}}{W_{elec}} = 1 - \frac{W_J + W_f \; (+ W_{fer})}{W_{elec}}$

3) Calcul du couple par méthode énergétique variationnelle

→ Méthode des travaux virtuels (énergétique)

• Approche Laplace pas générale car pas tjrs $\vec{f}$ et champ $\vec{B}$ conducteurs externes = 0

Modèle machine



$$u(t) = + \frac{d\Phi}{dt} + Ri \quad . \text{ Durant } dt$$

$$\delta W_{elec} = u.i\,dt = Ri^2 dt + i\,d\Phi_T$$

d'où $\delta W_{em} = \delta W_{elec} - \delta W_J = i\,d\Phi_T$

δW_m = travail du couple moteur fourni au rotor durant dt

$$= C\,\Omega\,dt = C\frac{d\theta}{dt}dt = C\,d\theta$$

On a vu $d\mathcal{E}_{mag} = \delta W_{em} - \delta W_m$

$= i\,d\Phi_T - C\,d\theta$ On veut le couple

→ On exprime $\boxed{C = -\frac{\partial \mathcal{E}_{mag}(\theta)}{\partial \theta}\Big|_{\Phi_T}}$

→ Il suffit de connaître $\mathcal{E}_{mag} = f(\theta)$ à $\Phi_T = cst$

Pb : Peu praticable en pratique car la grandeur de contrôle d'une machine est le courant que j'impose et pas i...

→ On utilise la coénergie définie en II : $\mathcal{E}'_{mag} = i\,\Phi_T - \mathcal{E}_{mag}$.

$$d\mathcal{E}'_{mag} = i\,d\Phi_T + \Phi_T\,di - d\mathcal{E}_{mag} \quad \text{soit}$$

$$d\mathcal{E}'_{mag} = \Phi_T\,di + C\,d\theta$$

Donc $$C = + \left.\frac{\partial \mathcal{E}'_{mag}(\theta)}{\partial \theta}\right|_{i=cst}$$

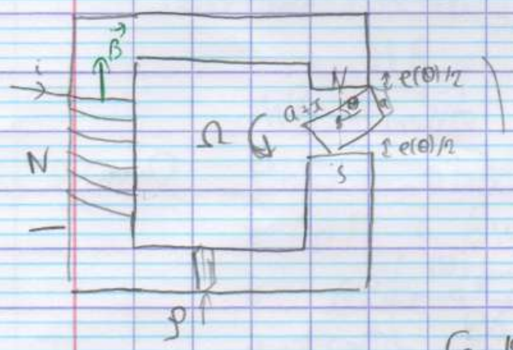
- En pratique, dans la zone linéaire, $\mathcal{E}'_{mag} = \mathcal{E}_{mag}$ donc

$$C = + \left.\frac{\partial \mathcal{E}_{mag}(\theta)}{\partial \theta}\right|_{i=cst}$$

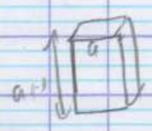
On a vu $\mathcal{E}_{mag} = \frac{1}{2} L_1(\theta)\, i_1^2 + \frac{1}{2} L_2(\theta)\, i_2^2 + M(\theta)\, i_1 i_2$

$$\rightarrow C = \underbrace{\frac{1}{2} i_1^2 \left.\frac{\partial L_1(\theta)}{\partial \theta}\right|_{i_1=cst} + \frac{1}{2} i_2^2 \left.\frac{\partial L_2(\theta)}{\partial \theta}\right|_{i_2=cst}}_{\substack{\text{Couple d'autoinductance} \\ (=0 \text{ ds machines à pôles lisses})}} + \underbrace{i_1 i_2 \left.\frac{\partial M(\theta)}{\partial \theta}\right|_{\substack{i_1=cst \\ i_2=cst}}}_{\text{Couple de mutuelle}}$$

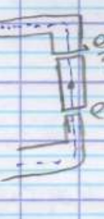
4) Exo TD : Couple de réluctance



Élement tournant



Cas $\theta = 0$



$\frac{e}{2} = \frac{e_{min}}{2}$

$e/2 = e_{min}/2$

$e_g = e_{g\,max}$

Cas $\theta = \frac{\pi}{2}$

$\frac{e_{max}}{2} = \frac{e_{min} + x}{2}$

$e_g = e_{g\,max} - x$

$e_{min} = 1$ mm

On a un entrefer variable d'épaisseur $e(\theta)$ On prent $a \simeq x \simeq 5$cm

On suppose lignes de champs entrefer reste ↓↓↓ (confiné ds une sec° d'entrefer a^2)

$$\varphi_{fer} = \varphi_e \Rightarrow B_{fer}\cancel{S_f} = B_e\cancel{S} \rightarrow B_f = B_e$$

Théorème d'Ampère :

$$Ni = \oint \vec{H}.\vec{dl} = H_{fer}\, \ell_f(\theta) + H_e\, e(\theta)$$

$$Ni = \ell_f(\theta)\frac{B_f}{\mu_0\mu_r} + e(\theta)\times\frac{B_e}{\mu_0} = B\left(\underbrace{\cancel{\frac{\ell_f(\theta)}{\mu_0\mu_r}}}_{}^{\mu_r \text{ très grd}} + \frac{e(\theta)}{\mu_0}\right)B$$

$$\Rightarrow B(\theta) = \frac{\mu_0 Ni}{e(\theta)} \quad \text{On a } \overset{\phi \text{ tot ts les spires}}{\phi_T} = NB(\theta)\times S = Na^2B(\theta) = L(\theta)\, i$$

$$\mathcal{L}(\theta) = \frac{a^2\mu_0 N^2}{e(\theta)}$$

Hypothèse : circuit magnétique en zone linéaire :

$$\mathcal{E}'_{mag} = \mathcal{E}_{mag} = \frac{1}{2}L(\theta)\, i^2$$

· Evolu° de $L(\theta)$ modélisé à la 1ère harmonique

$\to \theta = 0$ et $\theta = \pi$ $\quad L(\theta) = L_{max} = \dfrac{a^2\mu_0 N^2}{e_{min}}$

$\to \theta = \pi/2$ et $\theta = 3\pi/2$ $\quad L(\theta) = L_{min} = \dfrac{a^2\mu_0 N^2}{e_{min} + x}$

Postulons $\quad L(\theta) = L_{min} + (L_{max} - L_{min})\cos(2\theta)$.

· Expression du couple : $C(\theta) = +\left(\dfrac{\partial \mathcal{E}_{mag}}{\partial\theta}\right)_{i=cst}$

Soit $\quad C(\theta) = \dfrac{1}{2}i^2\dfrac{\partial\mathcal{L}(\theta)}{\partial\theta} = \cancel{\dfrac{1}{2}}\, i^2 \times [-\cancel{2}(L_{max} - L_{min})\sin(2\theta)]$

· Couple moyen à vitesse de rotation cste : $\theta = \Omega t + \varphi$

$$C_{moyen} = \frac{1}{T}\int_0^T -(L_{max} - L_{min})\, i^2 \sin(2\Omega t + 2\varphi)\, dt$$

· Si $i = cst$: $C_{moyen} = 0$ donc régime alternatif

· Si $i(t) = I_0\sin(\omega t) \to i^2(t) = \frac{I_0^2}{2}[1 - \cos(2\omega t)]$

$$\Rightarrow C_{moyen} = \frac{I_0^2}{2T}(L_{max} - L_{min})\int_0^T \cos(2\omega t)\sin(2\Omega t + 2\varphi)\, dt$$

91

Machine à réluctance variable =

$C_{moyen} \neq 0$ ssi $\Omega = \omega$ Condition de synchronisme

$\rightarrow C_{moyen} = \frac{I_0^2}{4}(L_{max} - L_{min})\sin(2\psi)$) Très général