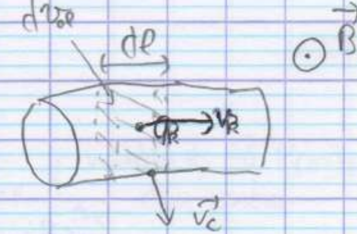
Julien Fade

Cours Conversion électromécanique

II- Principe de la conversion électromécanique

2.1) Force de Laplace

Conducteur placé ds un champ $\vec{B}$ constant



Vitesse d'un porteur de charge par rapport au conducteur : $\vec{v_k}$
(// direc° du conducteur.

$\vec{V_k} = \vec{v_k} + \vec{v_c}$: vitesse du porteur de charge / ref fixe.

$$\rightarrow \vec{f}_{Lorentz,k} = q_k(\vec{V_k} \wedge \vec{B}) = \underbrace{q_k(\vec{v_k} \wedge \vec{B})}_{\text{force} \perp \text{conducteur filiforme}} + q_k\underbrace{(\vec{v_c} \wedge \vec{B})}_{\text{Champ électromoteur } \vec{E}_{m} \text{ d'induc° Donc force élect mot}}$$

· Puissance échangée par le porteur

$$\delta W_{Lor} = \vec{f}_{Lorentz} \cdot \vec{V_k} \overset{\perp}{=} 0 = q_k(\vec{V_k} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{V_k}$$

Sur l'élément de volume $d\tau_e$, d'épaisseur $d\ell$:

"Def" : $$d\vec{f}_{Laplace} = \sum_{k \in d\tau_e} \vec{f}_{Lorentz,k} = \sum_k q_k(\vec{v_k} \wedge \vec{B}) + \underbrace{\left[\sum_k q_k\right]}_{0 \text{ (neutralité)}}(\vec{v_c} \wedge \vec{B})$$

et $\sum q_k \vec{v_k} = \vec{j}\, d\tau_e = i\, d\vec{\ell}$ et donc

$$\boxed{d\vec{f}_{Laplace} = i\, d\vec{\ell} \wedge \vec{B}}$$

Donc $\vec{f}_{Laplace} = \sum \vec{f}_{Lorentz}$

2.2) Principe du couplage électroméca.

À l'échelle d'un porteur, $\overset{\text{puissance}}{p_k} = 0 = \underbrace{q_k(\vec{v_k} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v_c}}_{\substack{\text{Puissance fournie}\\ \text{au conducteur par la}\\ \text{force } \perp \text{ au conduct.}}} + \underbrace{q_k(\vec{v_c} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v_k}}_{\substack{q_k \vec{E}_{em} \cdot \vec{v_k} \\ \text{Puissance fem du}\\ \text{mvmt des porteurs / conduc}\\ \Rightarrow \text{fournie au courant}}}$

Sur $d\ell$: $\delta p = \sum_{\substack{k \\ \text{dans } d\ell}} p_k \overset{\delta W_{\text{Lorentz}} = 0}{=} 0 = \sum_k q_k(\vec{v_k} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v_c} + \sum_k \vec{E}_{em} \cdot q_k \cdot \vec{v_k}$

$$0 = i(\vec{d\ell} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v_c} + \vec{E_{em}} \cdot i \cdot \vec{d\ell}$$

$$0 = \overrightarrow{dF_{Laplace}} \cdot \vec{v_c} + i\, dU_{em}$$

Soit $0 = \delta p_{méca} + \delta p_{élec}$

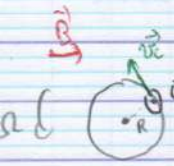
$0 =$ puissance force de Laplace fournie au conducteur $+$ $\mathcal{P}$ f.é.m fournie au courant

$\Rightarrow$ Principe de Conservation de la puissance par couplage électromeca.
Vient du jeu entre force Lorentz et induc°

Rq : · Ici on a négligé les pertes
· Calcul $f_{Laplace}$ pas tjrs applicable

Au niveau d'un circuit fermé, on intègre :

$$p_e = \oint_{\text{circuit}} \delta p_e = \oint_C i\, \vec{E}_{em} \cdot \vec{d\ell} = i\, \overset{\text{Volt}}{\overline{U_{em}}}$$



$P_m = \oint_{\text{circuit}} d\vec{f}_{Laplace} \cdot \vec{v_c}$. Pour 1 mach. tournante (vitesse Ω), circuit indéform.

$$V_c = R.\Omega.\vec{e_\theta}$$

suivant $\vec{e_\theta}$ — couple total exercé sur circuit

Soit $p_m = \oint_e R\Omega \, d\vec{F}_{Laplace} \cdot \vec{e_\theta} = \Omega \oint_e R \, dF_{Laplace} = \Omega C$

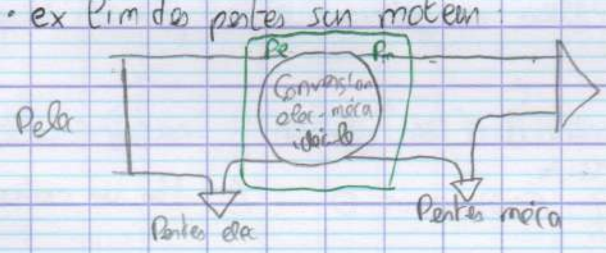
$\rightarrow \quad \boxed{0 = u_{em} i + C\Omega}$

2.3) Notion de réversibilité

$\Rightarrow p_e = -p_m$, Réversibilité en puissance (valable ds la limite des pertes)

- Si $p_m > 0$, $p_e < 0$: mode moteur
- Si $p_e > 0$, $p_m < 0$: mode générateur

· ex lim des pertes sur moteur :

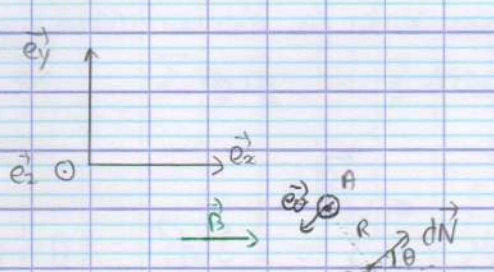


Pertes élec — Pertes Joules — pertes magnétiques (Foucault, Hyster.) — Inductance de fuite

Pertes méca — Frottements — Pertes au niveau des balais/collecteurs

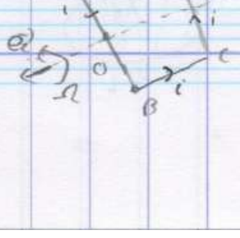
· Rendement : $\boxed{\eta = \frac{P_{utile}}{P_{elec}} = 1 - \frac{P_{perte}}{P_{elec}}}$

2.4) Exemple



On rpz 1 spire rectangulaire, rota° autour de $\vec{e_z}$ à la vitesse Ω, placé dans $\vec{B}$ cst selon $\vec{e_x}$

3D



$OA = R$

$BC = DA = \ell$

$S = \ell \times 2R$

nb de spire

en fixe et inciform

$\cdot\ P_{méca} = N\oint_{spire} i\, \delta \vec{F}_{Laplace} \cdot \vec{v_c} = N \cancel{\int_A^B} + \int_B^C + \cancel{\int_C^D} + \int_D^A (\delta \vec{F}_{Laplace} \cdot \vec{v_c})$

$= N \int_B^C + \int_D^A (\vec{v_c} \cdot \delta \vec{F}_{Laplace}) = N \int_A^B i\,d\ell\, ((-\vec{e_z}) \wedge B . \vec{e_x}) . R\Omega (+\vec{e_\theta})$

$i B d\ell R \underbrace{\vec{e_y} \cdot \vec{e_\theta}}_{-\sin\theta} R\Omega$

$+ N \int_D^A i\,d\ell\,((\vec{e_z}$ ... Même résultat

Puissance d'un couple : $P = C\Omega$

$\rightarrow\ P_{méca} = 2 N i BR\Omega(-\sin\theta)\ell = N S i B \Omega = C\Omega$

On obtient $C = -N S i B \sin\theta < 0$ → opposé sens de rota°

→ Rqs : • Couple ∝ flux magnétique capté par les N spires $\Phi = NB\sin\theta S$

• Valeur moyenne de C en rotation ? → $\theta = \Omega t$

$\langle C \rangle_{1 tour} = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_0}^{\theta_0 + 2\pi} C(\theta)\, d\theta = 0$ ⚠ Pas un moteur, embalant

Car valeur moyenne du couple nulle ..

↳ Nécessité d'un champ $\vec{B}$ inducteur tournant → Machines synchrone et asynchrone

ou

↳ Nécessité de commuter le sens des courants → Machines à courant continues

"redressement mécanique" (balais-collecteurs)

Pq ça marche ?

Pr démo, on peut aussi passer par moment magnétique :

2.5] Moment mag

Spire de courant → $\vec{M} = i \cdot \vec{S} = i \int d\vec{S}$ (A.m²)

Sous ac° de $\vec{B}$ $\begin{cases} E_{pot} = -\vec{M}\cdot\vec{B} \\ \vec{C} = \vec{M} \wedge \vec{B} \\ \vec{F} = -\vec{grad}(E_p) \end{cases}$ → On trouve C ⊕ rapidement !

41