

LP8 Conversion de
puissance électromécanique

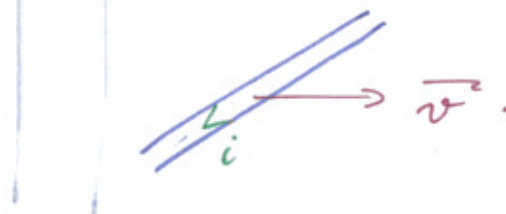
(1)

Niveau : CPGE

Prérequis : induction, force de Laplace, mécanique, élec

I - Principes généraux.1.1. Relation fondamentale.

"Considérons un fil conducteur"
dans un champ \vec{B} constant ici



- Du fait de la vitesse, il suit le champ électromoteur

$$\vec{E}_m = - \cancel{\frac{\partial A}{\partial t}}_{=0} + \vec{v} \wedge \vec{B}$$

donnant la f.e.m.

$$de = \vec{E}_m \cdot d\vec{l}$$

- Il suit aussi la force de Laplace, de puissance

$$\begin{aligned} d\mathcal{P}_L &= d\vec{f}_L \cdot \vec{v} \\ &= I(d\vec{l} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{v} \\ &= \underbrace{-I(\vec{v} \wedge \vec{B})}_{\substack{\text{produit} \\ \text{mixte}}} \cdot d\vec{l} \\ &\quad \quad \quad \vec{E}_m \end{aligned}$$

$$d\mathcal{P}_L = - \underbrace{I de}_{d\mathcal{P}_e} \rightarrow \text{puissance électrique}$$

\Rightarrow

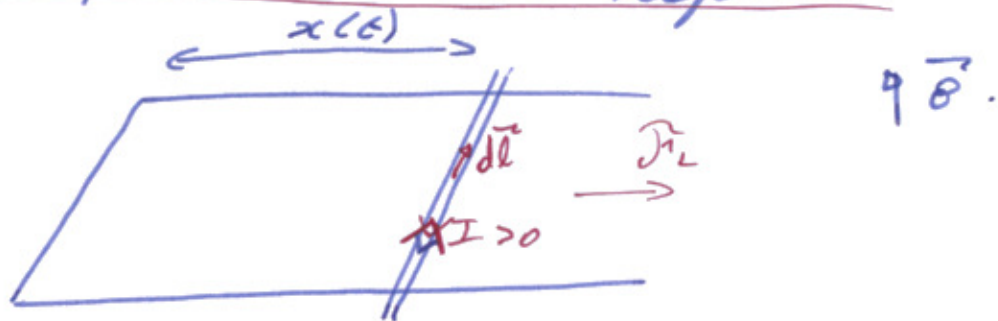
$$\boxed{\mathcal{P}_L + \mathcal{P}_e = 0.}$$

relation fondamentale de la conversion.

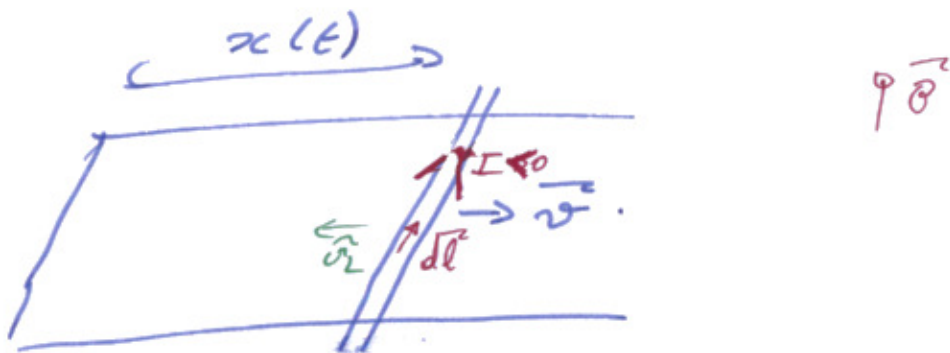
→ conversion de puissance élec en puissance mécanique et vice et versa. par des phénomènes inductif → champ \vec{B} !

Interprétation: "ce qui est fourni en puissance élec à un système est converti via les forces de Laplace en puissance méca. au prix de la f. e. m. qui s'oppose au courant & ce qui est fourni en puissance méca est transformé en puissance élec par induction".

4.7. Exemple du rail de Laplace.



moteur • si on fait circuler un courant
→ force de Laplace déplace le barreau.
au prix de lutter contre la fem induit par l'induction car S varie.



générateur • si impose un mot (car S var)
→ courant induit ou circuit ou cont de devoir lutter contre la force de Laplace associée à la conutation du courant.

II - Moteur synchrone.

2.1. Structure.

→ slides

→ slides image

cm sur
ferro pour
analyser



Un moteur est composé d'une partie statique (stator) et d'une partie tournante (rotor).

Stator: ensemble de bobines créant un champ tournant \vec{B}_s

Rotor: boucle de courant alimentée par un courant continu \rightarrow électroaimant

\hookrightarrow "subit une force de Laplace de la part de \vec{B}_s "

OU de manière équivalente aimant permanent de moment \vec{M}_R car $\vec{M}_R = I \vec{S}$.

2.2. Stator



\rightarrow cf slide.

" $\frac{2\pi}{3}$ entre chaque bobine "

" Chaque bobine est déphasé de $\frac{2\pi}{3}$ "

" \hat{m} amplitude

$$\begin{aligned}\vec{B}_S &= \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 \\ &= B_S \left[\cos \omega t \vec{n}_1 + \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \vec{n}_2 + \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \vec{n}_3 \right]\end{aligned}$$

$$\xrightarrow{C} \vec{B}_S = \operatorname{Re}(\underline{B}_S) \vec{e}_x + \operatorname{Im}(\underline{B}_S) \vec{e}_y.$$

$$\text{avec } \vec{e}_x = \vec{n}_1$$

$$\underline{n}_2 = e^{i\frac{2\pi}{3}} = a$$

$$\underline{n}_3 = e^{i\frac{4\pi}{3}} = a^2$$

$$\begin{aligned}\rightarrow \underline{B}_S &= B_S \left(\frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2} + \frac{e^{j\omega t - j\frac{2\pi}{3}} - e^{-j\omega t + j\frac{2\pi}{3}}}{2} a \right. \\ &\quad \left. + \frac{e^{j\omega t - j\frac{4\pi}{3}} - e^{-j\omega t + j\frac{4\pi}{3}}}{2} a^2 \right)\end{aligned}$$

$$= \frac{B_S}{2} \left(e^{j\omega t} - e^{-j\omega t} + e^{j\omega t} - e^{-j\omega t + j\frac{4\pi}{3}} + e^{j\omega t} - e^{-j\omega t + j\frac{2\pi}{3}} \right)$$

$$= \frac{B_S}{2} \left(3e^{j\omega t} + e^{-j\omega t} \underbrace{(1 + a + a^2)}_{=0} \right)$$

$$\underline{B}_S = B_S \frac{3}{2} e^{j\omega t}$$

$$\text{2) 'où } \boxed{\vec{B}_S = B_S \frac{3}{2} (\cos \omega t \vec{e}_x + \sin \omega t \vec{e}_y)}$$

"Les trois bobines sont équivalentes à un champ tournant à ω ".

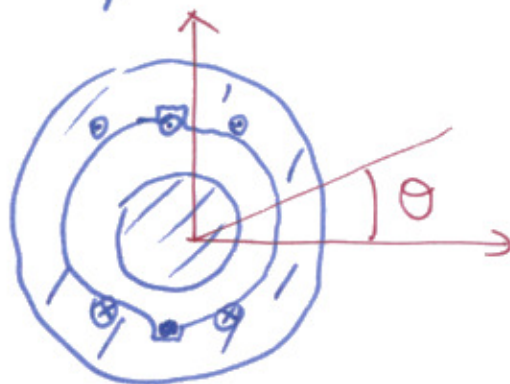
Rq: Une manière autre de faire ça \rightarrow en slide



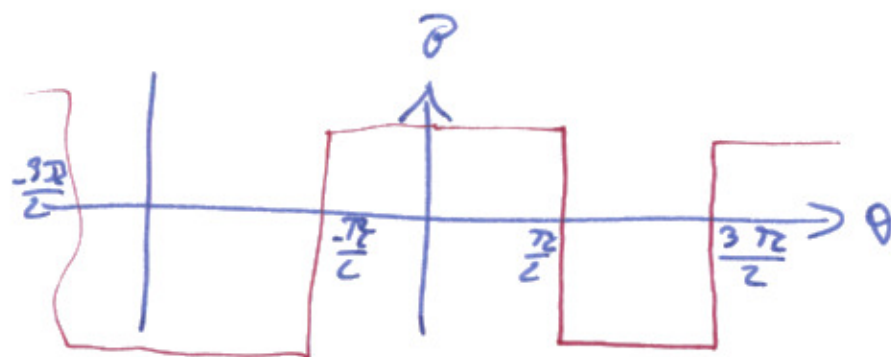
2.2. Stator

(5bis)

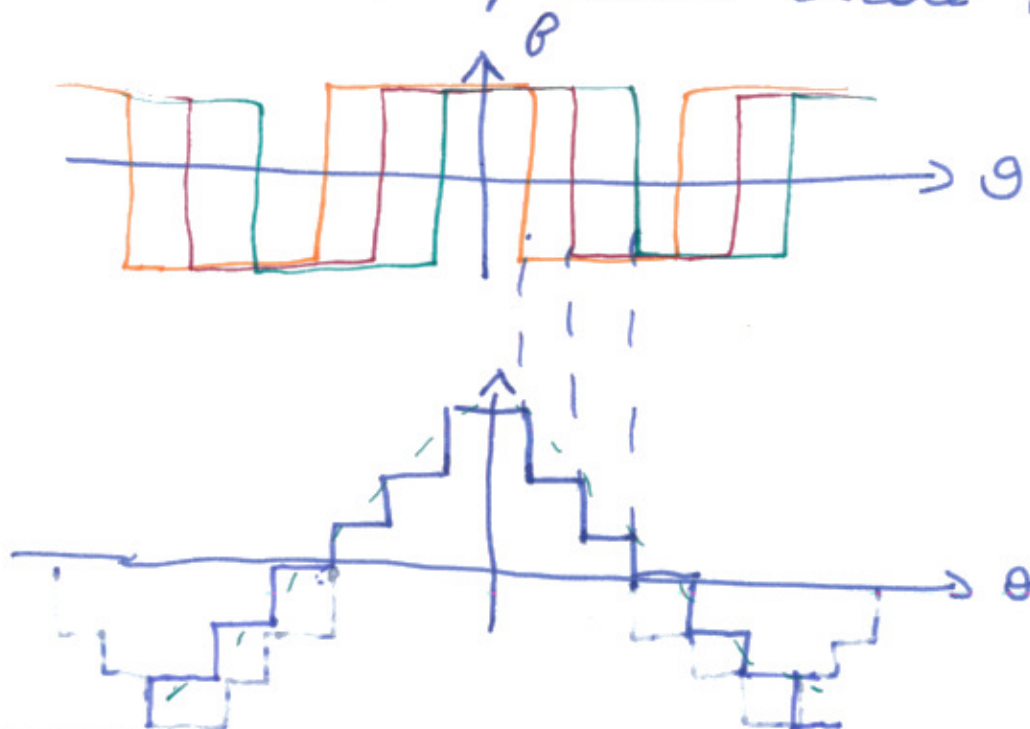
On va faire un bobinage autour d'un matériel ferro qui permettra de conduire lignes de champ.



$$B = \frac{\mu_0 i}{2 R}$$



Si on en met plusieurs décalé de θ



Si on augmente bobinage \rightarrow tend vers sinusoidal

(Sliz)

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 N i}{2R} \cos \theta \vec{e}_n$$

En fait on utilise deux bobinage comme ça décalé de $+\frac{\pi}{2}$ et dont γ déphasé de $\frac{\pi}{2}$ alternatif

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 N i_1}{2R} \cos \theta \vec{e}_n$$

$$\vec{B}_2 = K i_2 \underbrace{\cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)}_{\sin \theta} \vec{e}_n$$

$$\text{avec } i_1 = i \cos \omega t$$

$$i_2 = i \underbrace{\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)}_{\sin \omega t}$$

$$\vec{B}_S = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

$$= K i (\cos \theta \cos \omega t + \sin \theta \sin \omega t) \vec{e}_n$$

$$\vec{B}_S = K i \cos(\theta - \omega t) \vec{e}_n$$

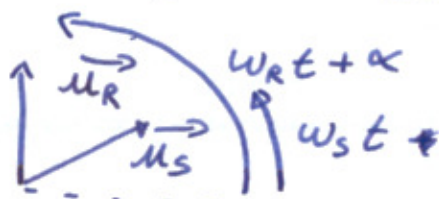
2.3. Action sur le rotor.

(6)

→ $\vec{I} \rightarrow \vec{S} \rightarrow \vec{M}$ moment magnétique permanent.

Version ancien prog: RP \Rightarrow tourne à ω_R et ω_S .

$$\begin{aligned}\vec{I} &= \vec{M} \wedge \vec{B} \\ &= \frac{3}{2} M B_S \vec{\mu}_{\theta_S} \wedge \vec{\mu}_{\theta_R}\end{aligned}$$



$$\vec{I} = \frac{3}{2} M B_S \sin[(\omega_R - \omega_S)t + \alpha] \vec{\mu}_h$$

→ La moyenne temporelle du moment est non nulle ssi $\boxed{\omega_R = \omega_S}$ condition de synchronisme.

$$\rightarrow \boxed{|\vec{I}| = \frac{3}{2} M B_S \sin \alpha}$$

2.4. Mise en pratique.

exp: verif que $\omega_R = \omega_S$

\hookrightarrow mesure ω_S avec TF.

Version nouvelle prog. → sur slide.
 of Heven. of 740 PSI

(6b)

$$\Gamma = \frac{\partial \bar{E}_{\text{entrefor}}}{\partial \alpha_R}$$

$$\alpha_R = \omega_R t + \alpha.$$

$$\bar{E}_{\text{entrefor}} = \iiint \frac{B^2}{2\mu_0}.$$

$$= \int_{\theta=0}^{2\pi} \frac{(\vec{B}_S + \vec{B}_R)^2}{2\mu_0} \times e \times R d\theta \times l$$

\uparrow \uparrow \uparrow
 épaisseur rayon longueur
 entrefor spire entrefor.

$$= \frac{e R l}{2\mu_0} \int_{\theta=0}^{2\pi} (\underbrace{B_S^2 + B_R^2}_{\propto \cos^2(\dots)} + \vec{B}_S \cdot \vec{B}_R) d\theta$$

$\int d\theta = t_e.$

$$E = t_e + \frac{e R l}{2\mu_0} \int_{\theta=0}^{2\pi} \underbrace{B_{S0} B_{R0} \cos \theta - \omega t}_{\text{integ nulle.}} \cos(\theta - \alpha_R) d\theta$$

$\rightarrow \cos(2\theta - \omega t - \alpha_R) + \cos(\alpha_R - \omega t)$

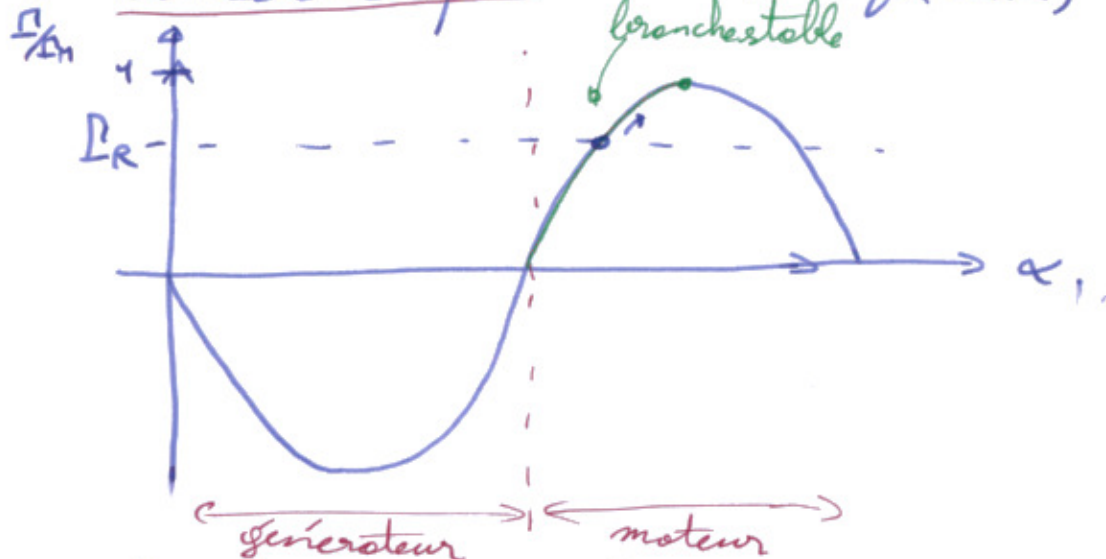
$$= t_e(\alpha_R) + \frac{e R l}{2\mu_0} B_{S0} B_{R0} \cos(\underbrace{\omega t - \alpha_R}_{-}) \times 2\pi.$$

$$\Gamma = -e R l \pi B_{S0} B_{R0} \underbrace{\sin(\alpha_R - \omega t)}_{\sin(\omega_R t + \alpha)}$$

III - Propriétés de la machine synchrone.

(7)

3.1. Caractéristique $\rightarrow \Gamma = f(\sin \alpha)$



α est définie par la charge que l'on met au moteur, si $\Gamma_R = 0 \rightarrow \alpha = 0$ (pas de couple nécessaire à maintenir le mot).

Plus $\Gamma_R \uparrow$, plus couple nécessaire $\rightarrow \alpha$ grand "plus grand déphasage entre rotor et stator".

Stabilité: on perturbe α , e.g. $\alpha \uparrow$, $\Gamma \uparrow$ et permet de retrouver le retard. retard

3.2. Bilan de puissance

Ici on fournit un travail électrique pour faire circuler courant dans le stator (ce qui crée un champ variable \rightarrow force fem à l'arbre)

puissance
syst elec

$$P_{\text{elec}} \text{ est } \underbrace{> 0}_{\text{puissance}} \neq \underbrace{P_J}_{< 0} = -P_{e, \text{ utile}} \quad \text{si } P_{e, \text{ utile}} < 0$$

$$P_J = R_R I_R^2 + R_S I_S^2$$

Machine réçoit

$$P_e = -P_{e, \text{utile}} > 0.$$

et cède $P_M < 0$

→ relation fonda : $P_e + P_M = 0.$

pour noter :

$$\underbrace{P_{\text{mech, utile}}}_{< 0} + \underbrace{P_{\text{frot}}}_{< 0} + \underbrace{P_{\text{fer}}}_{< 0} = - \underbrace{P_{M, \text{utile}}}_{> 0} \quad \text{--- } P_M.$$

du à aimentation
(hysteresis, frottement)
dans