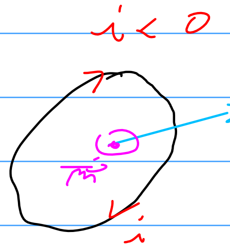
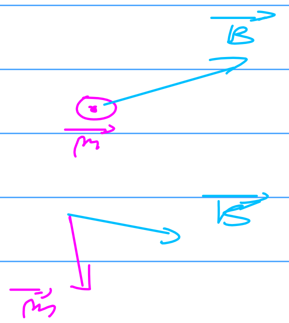
1. Action mécanique subie par un dipôle dans un champ magnétique.



$\Longleftrightarrow$



1.1. Résultante.

1.1.1. $\vec B$ non uniforme.

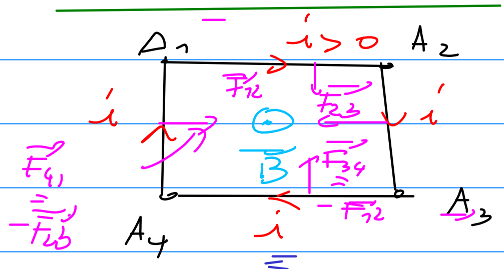
$$\vec F = -\overrightarrow{grad}(\vec m \cdot \vec B)$$

$\Rightarrow$ $\vec m$ est attiré vers les zones de champ fort.

1.1.2. $\vec B$ uniforme.

$\vec B$ uniforme, $\boxed{\vec F = \vec 0}$

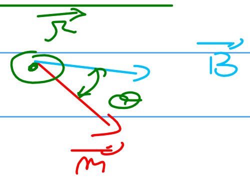
Cas particulier. Mq que la résultante des forces de Laplace est nulle.



$$\vec F = \sum_i \int_{A_i}^{A_{i+1}} i\,d\vec l \wedge \vec B = \vec 0$$

dipôle magnétique (voir graphe)

1.2. Moment



moment magnétique

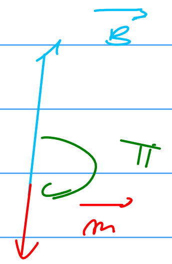
$$\boxed{\vec \Gamma = \vec m \wedge \vec B}$$

moment de force subi

Si $\vec{m} \,//\, \vec{B}$ alors $\vec{\Gamma} = \vec{0}$

Position d'équilibre :

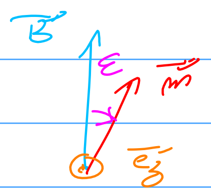
$\theta = 0$



$\theta = \pi$

Stabilité :

$\theta = 0$



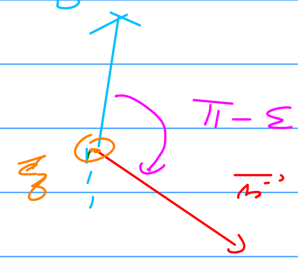
$\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B}$

$= mB\sin\varepsilon\, \vec{e_z}$

↳ tend à diminuer ε

(si $\varepsilon > 0$, fait tourner ds le sens trigo,
si $\varepsilon < 0$, fait tourner ds le sens horaire)

$\theta = \pi$



$\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B}$

$= mB\sin(\pi - \varepsilon)\, \vec{e_z}$

$= mB\sin\varepsilon\, \vec{e_z}$

⟶ idem

$\boxed{\vec{m} \text{ col à } \vec{B} \text{ de } \bar{m} \text{ sens : éq stable.}}$

$\boxed{\vec{m} \text{ anti col à } \vec{B} \text{ éq instable.}}$

1.3. Energie d'un moment magnétique plongé dans un champ magnétique.

$$\boxed{E_{mag} = -\,\vec{m}\cdot\vec{B}}$$

$\vec{m}$ col à $\vec{B}$ de m̂ sens : $E_{mag} = - mB$

Minimale

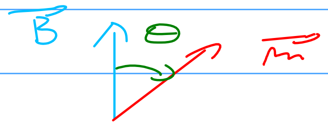
↳ eq stable

$\vec{m}$ col à $\vec{B}$ de sens opposé : $E_{mag} = + mB$

Maximale

↳ eq instable.

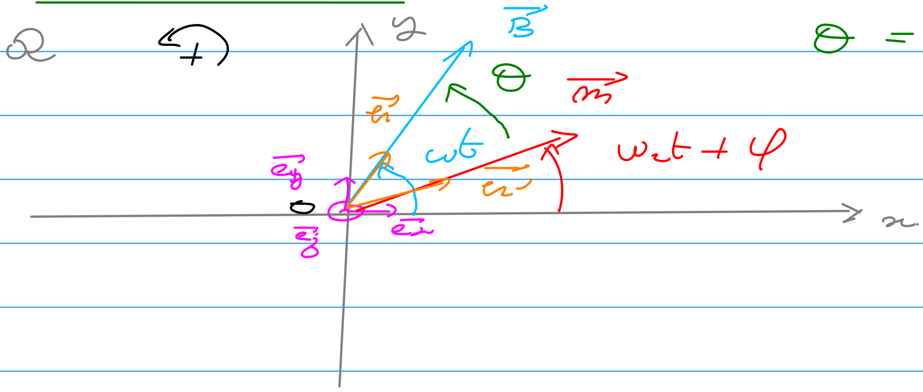
Cas général :



$E_{mag} = - mB\cos\theta$.

2. Principe du moteur synchrone.

2.1. Architecture.



$\theta = (\omega - \omega_r)t - \varphi$

$\vec{B} = B\,\vec{e_r}$, tourne à la vitesse angulaire $\omega =$ cste.

$\vec{m} = m\,\vec{e_r}'$ tourne à la vitesse angulaire $\omega_r =$ cste.

Vocabulaire :

* $\vec{m}$ moment magnétique de la partie mobile du moteur : le rotor.
* $\vec{B}$ est engendré un bobinage fixe : le stator.

2.2. Couple subi par le rotor – condition de synchronisme.

$$\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B} = m B \sin\theta \, \vec{e_z}$$
$$\vec{\Gamma} = m B \sin\left((\omega - \omega_r)t + \varphi\right)$$

Hyp : $\omega \neq \omega_r$
$\langle \vec{\Gamma} \rangle = \vec{0}$
↳ mvt de rotation uniforme du rotor impossible !

Donc il faut : $\boxed{\omega_r = \omega}$ condition de synchronisme

→ voir pb du démarrage du moteur.

Condition supposée vérifiée.

⇒ $\forall t$, $\boxed{\vec{\Gamma} = -m B \sin\varphi}$

Max pour $\varphi = -\frac{\pi}{2}$

+ discussion de la stabilité.

2.2. Mouvement du rotor

TMC appliqué au rotor par rapport à $\Delta = (O, \vec{e_z})$ ds le ref du stator.

$$\left.\frac{dL_\Delta}{dt}\right|_{\mathcal{R}} = \sum \mathcal{M}_{\Delta, i}$$

avec $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = \vec{0}$ $(G \in \Delta)$

$\mathcal{M}_{liaison, \Delta} = -C\omega$ (dissipation)

$\Gamma_\Delta = (\vec{m} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{e_z} = -m B \sin\varphi$

avec $L_\Delta = J_\Delta \omega$: moment cinétique du rotor. (J_Δ : moment d'inertie du rotor.)

$$J_\Delta \dot{\omega} = -C\omega - mB\sin\varphi$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\dot{\omega} + \underbrace{\frac{C}{J_\Delta}}_{1/\tau}\omega = -\frac{mB}{J_\Delta}\sin\varphi.}$$

Régime transitoire.

$$\underbrace{\omega(t) = \underbrace{Ae^{-t/\tau}}_{\text{régime libre.}} - \underbrace{\frac{mB}{C}\sin\varphi}_{\text{régime établi}}}_{\text{régime transitoire.}}$$

Vitesse angulaire en régime établi

Après 99τ : $\Gamma_{\text{moteur}} + \Gamma_{\text{résistant}} = 0$

soit $\boxed{\omega = -\frac{mB\sin\varphi}{C}.}$

$\omega > 0 \Rightarrow \sin\varphi < 0$

$\Rightarrow \varphi \in [-\pi, 0]$

↳ rotor en retard de phase sur le champ tournant.

+ reste à discuter la stabilité...

2.4. Puissance mécanique du moteur.

Puissance reçue des actions du champ magnétique :

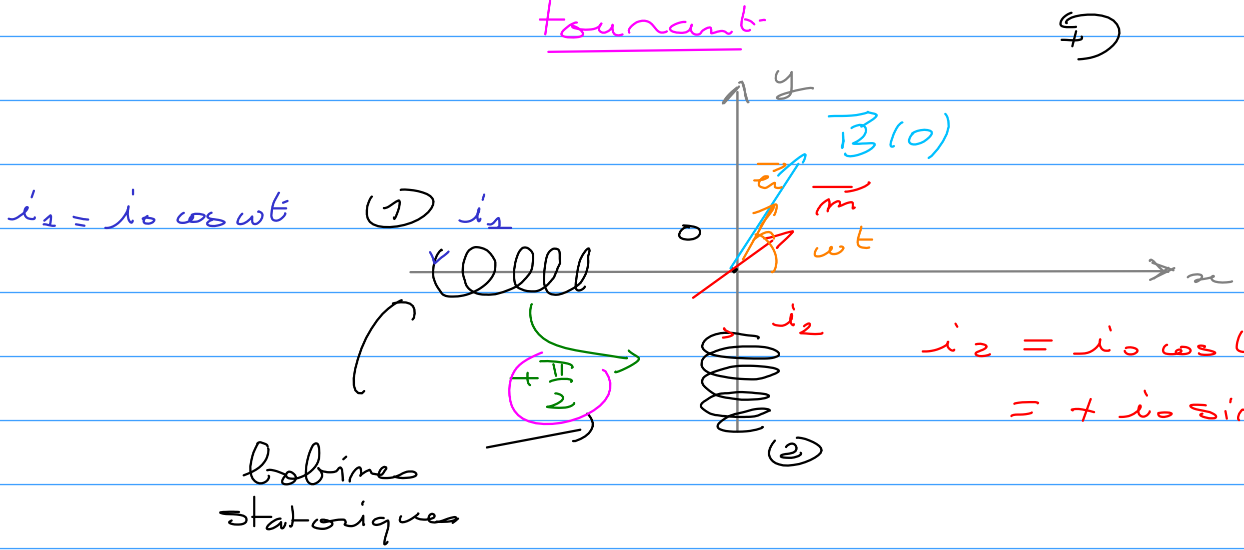
$$P_m = \Gamma \times \omega$$

Régime établi $P_m = +\frac{(mB)^2}{C}\sin\varphi$.

D'où vient cette energie ?
Energie électrique nécessaire pour alimenter le stator.

2. 5. Le stator

2. 5. 1. Engendrer un champ tournant



$i_2 = i_0 \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$
$= + i_0 \sin(\omega t)$

Bobines identiques, équidistantes de O.
En O se trouve le rotor.

Evaluons $\vec{B}(O)$.

$$\vec{B}(O) = \vec{B_1}(O) + \vec{B_2}(O)$$

bobines identiques + équidistante de O

avec $\vec{B_1}(O) = k i_1 \vec{e_x}$
$\vec{B_2}(O) = k' i_2 \vec{e_y}$ avec $k' = k$

D'où $\vec{B}(O) = k i_0 (\cos \omega t \, \vec{e_x} + \sin \omega t \, \vec{e_y})$

$$\boxed{\vec{B}(O) = k i_0 \vec{e_r}}$$

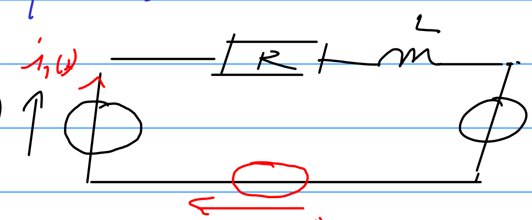
Champ magnétique tournant à la vitesse angulaire ω.

2.5.2. Aspect énergétique

Puissance électrique à fournir pour faire fonctionner le moteur :

$$\underbrace{P_e}_{} = \underbrace{P_m}_{\Gamma\omega} + \underbrace{P_J}_{\text{eff Joule}}$$

Origine de physique. Schéma électrique du stator ou d'une bobine statorique : (×2)



alimentation de la bobine.

$e_{s1} = -\dfrac{d\Phi_{12}}{dt} = -M\, i_2$

induction mutuelle entre la bobine 1 et la bobine 2

$e_r(t) = -\dfrac{d\Phi_R}{dt}$

fem d'induction résultant du mvt du rotor.

↳ loi de Lenz : s'oppose à $E(t)$ (à l'origine du mvt du rotor).

Bilan d'énergie en régime établi :

$$E i = -e_r i + R i^2$$

apporté de l'ext

transformé en puissance mécanique i.e. $\boxed{e_r(t)\, i(t) = \Gamma\omega}$

↳ $e_r(t) = \dfrac{\Gamma\omega}{i}$