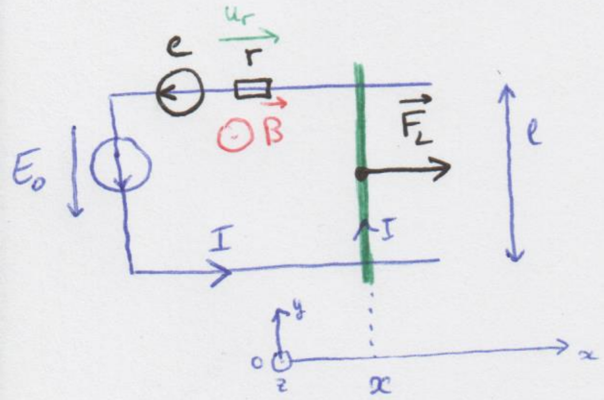
EM6 Conversion électromécanique

Ex 1 : Rails de Laplace utilisés comme moteur.



1. Equation mécanique (E.M) :

- système : {tige}
- référentiel : terrestre supposé galiléen
- bilan des forces :
  - poids : $\vec{P}\begin{pmatrix}0\\0\\-mg\end{pmatrix}$; réaction du support : $\vec{R}\begin{pmatrix}0\\0\\R\end{pmatrix}$
  - force de Laplace : $\vec{F_L}\begin{pmatrix}+IB\ell\\0\\0\end{pmatrix}$ ← à faire figurer sur le schéma.
- PFD : $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a} = m.\dfrac{d\vec{v}}{dt}$

sur l'axe Ox : $\boxed{I.B.\ell = m.\dfrac{dv_x}{dt}}$ (E.M)

2. Equation électrique (E.E) :

F.é.m. induite : $e = \dfrac{-d\phi_{circuit}(\vec{B})}{dt} \overset{\text{on néglige l'auto-induction}}{=} -\dfrac{d}{dt}(B\times \overbrace{\ell\times x}^{\text{surface du circuit}}) = -B.\ell\dfrac{dx}{dt} \Rightarrow \boxed{e = -B\ell.v_x}$

à faire apparaître sur le schéma

Loi des mailles sur le circuit : $E_0 + e - u_r = 0$

$$\Rightarrow \boxed{E_0 - B.\ell.v_x - r.I = 0} \text{ (E.E)}$$

3. Equation pour la vitesse :

(EE) $\Rightarrow I = \dfrac{E_0 - B.\ell.v_x}{r}$, en réinjectant dans (EM) : $\boxed{\dfrac{dv_x}{dt} + \dfrac{B^2\ell^2}{r.m}v_x = \dfrac{E_0.B\ell}{r.m}}$

Equation différentielle du 1er ordre de la forme : $\dfrac{dv_x}{dt} + \dfrac{1}{\tau}v_x = \dfrac{v_\infty}{\tau}$

avec $\boxed{\tau = \dfrac{r.m}{B^2.\ell^2}}$ le temps caractéristique

et $\boxed{v_\infty = \dfrac{E_0}{B.\ell}}$ la vitesse en régime stationnaire.

- solution équation sans second membre
  $\Rightarrow v_{x_{SSM}}(t) = A.e^{-t/\tau}$
- solution particulière (régime stationnaire)
  $v_{x_p} = v_\infty$

$\Rightarrow$ solution générale

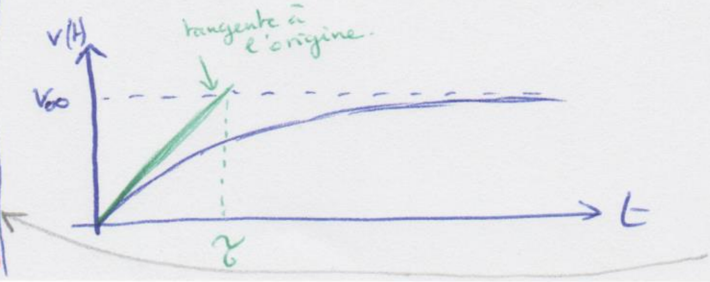
$v_x(t) = v_{x_{SSM}} + v_{x_p} = A.e^{-t/\tau} + v_\infty$

Détermination de A :

condition initiale :
$v_x(0) = 0$
or $v_x(0) = A + v_\infty$
$\Rightarrow \boxed{A = -v_\infty}$

d'où

$\boxed{v_x(t) = v_\infty.\left(1 - e^{-t/\tau}\right)}$



4. • puissance mécanique de la Force de Laplace (fournie)

$$P_{méca}(\vec{F_L}) = \vec{F_L}\cdot\vec{v} = I.B.\ell \times v_x$$

• puissance électrique fournie par le générateur induit :

$$P_{élec}\begin{pmatrix}\text{générateur}\\ \text{induit}\end{pmatrix} = e.I = -B.\ell v_x.I$$ (négative car en réalité la puissance est reçue)

$$\Rightarrow \boxed{P_{méca}(\vec{F_L}) = -P_{élec}\begin{pmatrix}\text{générateur}\\ \text{induit}\end{pmatrix}}$$ résultat de cours !

5. Bilan de puissance :

on combine les 2 pour faire disparaître le terme de couplage :

$$\left.\begin{array}{ll}(E.M)\times v_x \Rightarrow & I.B.\ell.v_x = m.v_x.\dfrac{dv_x}{dt}\\ (E.E)\times I \Rightarrow & E_0\times I - IB\ell.v_x - r.I^2 = 0\end{array}\right\} \Rightarrow E_0\times I - m.v_x.\frac{dv_x}{dt} - r.I^2 = 0$$

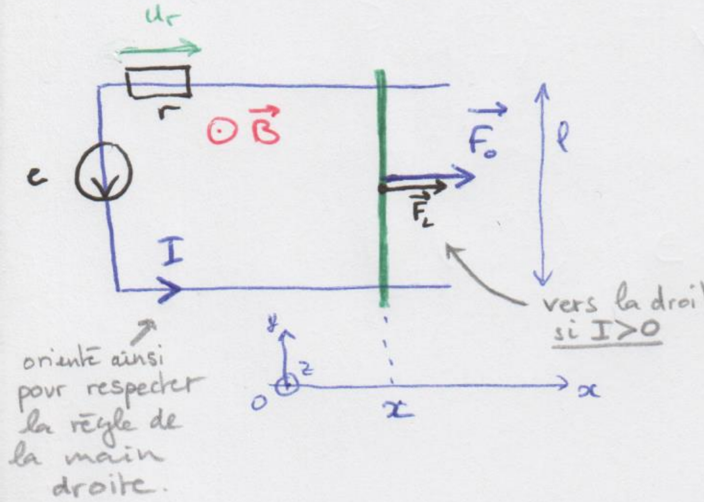
Interprétation :

$$E_0\times I = m.v_x.\frac{dv_x}{dt} + rI^2$$

$$\boxed{P_{élec}\begin{pmatrix}\text{générateur}\\ \text{alim.}\end{pmatrix} = \frac{dE_c}{dt} + P_{Joule}}$$

La puissance fournie par le générateur qui alimente le circuit permet de faire augmenter l'énergie cinétique de la tige ($E_c = \frac{1}{2}m.v^2$) mais une partie de la puissance fournie est dissipée par effet Joule à cause de la résistance électrique du circuit.

Ex2 : Rails de Laplace utilisés comme générateur



1. En utilisant la loi de Lenz, on trouve que le courant I doit être négatif.

Justification

La force $\vec{F_o}$ fait augmenter la surface du circuit et donc le flux de $\vec{B}$ à travers le circuit. Pour atténuer cette augmentation, le courant induit diminue le champ magnétique total en générant un champ $\vec{B}_{induit}$ qui s'oppose à $\vec{B}$: le courant induit tourne donc dans le sens horaire d'après la règle de la main droite.

2. Equation mécanique (E.M)

- système : tige.
- référentiel : terrestre supposé galiléen
- bilan des forces extérieures :

* poids : $\vec{P}\begin{pmatrix}0\\0\\-mg\end{pmatrix}$, * réaction du support $\begin{pmatrix}0\\0\\+R\end{pmatrix}$, * $\vec{F_o}\begin{pmatrix}+F_o\\0\\0\end{pmatrix}$, * force de Laplace : $\vec{F_L}\begin{pmatrix}+I.l.B\\0\\0\end{pmatrix}$ à mettre sur le schéma.

- PFD : $\sum \vec{F_{ext}} = m.\vec{a} = m\dfrac{d\vec{v}}{dt}$

sur l'axe Ox : $F_o + F_L = m.a_x \Rightarrow \boxed{F_o + I.l.B = m.\dfrac{dv_x}{dt}}$ (E.M)

3. Equation électrique (E.E) :

on néglige l'auto induction

F.e.m induite : $e \overset{\text{loi de Faraday}}{=} \dfrac{-d\varnothing_{circuit}(\vec{B})}{dt} = -\dfrac{d}{dt}(B.l.x) = -B.l.\dfrac{dx}{dt} = -B.l.v_x$

Loi des mailles sur le circuit :

$$e - u_r = 0 \Rightarrow \boxed{-B.l.v_x = r.I} \text{ (E.E).}$$

4. Expression du courant en fonction du temps :

D'après (E.E) : $v_x = -\dfrac{r.I}{B.l}$ donc en réinjectant dans (E.M) : $F_o + I.l.B = -\dfrac{r.m}{B.l}.\dfrac{dI}{dt}$

$$\hookrightarrow \boxed{\frac{dI}{dt} + \frac{B^2.l^2}{r.m} = -\frac{F_o.B.l}{r.m}}$$

Equa. diff. de la forme : $\dfrac{dI}{dt} + \dfrac{1}{\tau}.I = \dfrac{I_\infty}{\tau}$

avec • temps caractéristique : $\boxed{\tau = \dfrac{r.m}{B^2.l^2}}$ ← identique au fonctionnement en moteur !

• courant en régime stationnaire : $\boxed{I_\infty = \dfrac{-F_o}{B.l}}$ ← valeur négative ↳ cohérent avec Q1.

Résolution de l'équation :

- solution sans second membre :

$$I_{SSM}(t) = A \cdot e^{-t/\tau}$$

- solution particulière (régime stationnaire)

$$I_p(t) = I_\infty$$

$$I(t) = I_{SSM}(t) + I_p(t) = A \cdot e^{-t/\tau} + I_\infty$$

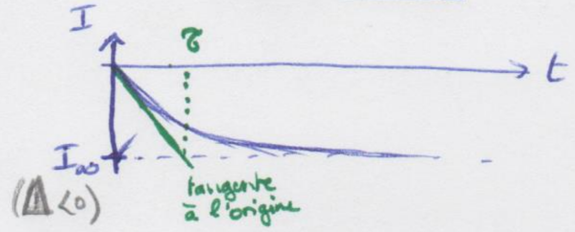
$\Downarrow$

détermination de A grâce aux conditions initiales

$$\begin{cases} I(0) = 0 & \text{d'après l'énoncé} \\ I(0) = A + I_\infty & \text{d'après l'équation ci-dessus} \end{cases}$$

$\Rightarrow$ $\boxed{A = -I_\infty}$

$\Rightarrow$ $\boxed{I(t) = I_\infty \left(1 - e^{-t/\tau}\right)}$



5. · puissance mécanique fournie par la force de Laplace :

$$P_{méca}(\vec{F_L}) = \vec{F_L} \times \vec{v} = I.B.\ell.v_x$$

⚠ $P_{méca} < 0$ car $I < 0$.

· puissance électrique fournie par le générateur induit :

$$P_{élec}\begin{pmatrix}\text{générateur}\\ \text{induit}\end{pmatrix} = e \times I = -B.\ell.v_x.I$$

⚠ $P_{élec} > 0$ car $I > 0$.

$\Rightarrow$ $\boxed{P_{méca}(\vec{F_L}) + P_{élec}\begin{pmatrix}\text{générateur}\\ \text{induit}\end{pmatrix} = 0}$

6. Bilan de puissance

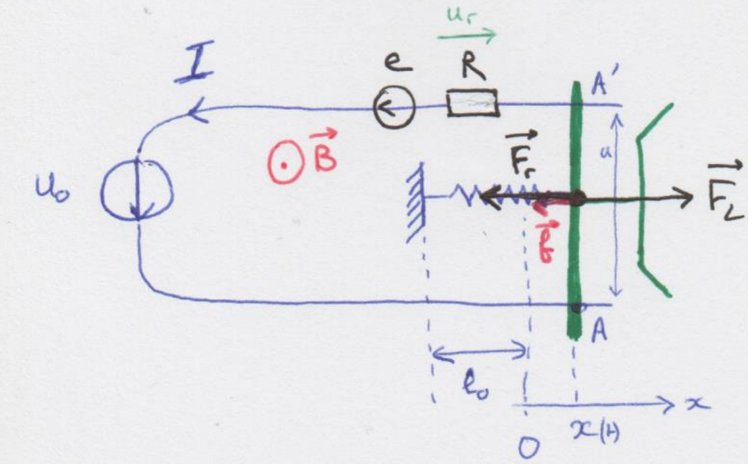
$$\left.\begin{aligned} (E.M) \times V_x &\Rightarrow F_0.v_x + I\ell B v_x = m.v_x.\frac{dv_x}{dt} \\ (E.E) \times I &\Rightarrow -I.\ell.B.v_x = r.I^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow F_0.v_x = r.I^2 + m.v_x\frac{dv_x}{dt}$$

$$\boxed{P_{méca}(\vec{F_0}) = P_{Joule} + \frac{dE_c}{dt}}$$

la puissance mécanique apportée par la force $\vec{F_0}$ fait augmenter l'énergie cinétique de la tige

génère de la puissance électrique qui est ici totalement dissipée par effet Joule (absence de charge).

Ex 4 : Haut-parleurs "de Laplace"



1. F.é.m. induite : Loi de Faraday

$$e = -\frac{d\phi_{circuit}(\vec{B})}{dt} = -\frac{d}{dt}\left(B.(S_0 + a.x(t))\right)$$

surface du circuit quand le ressort est au repos

$$\hookrightarrow \boxed{e = -B.a.\frac{dx(t)}{dt}}$$

2. Equation mécanique (E.M)

système : {tige + membrane}
référentiel : terrestre supposé galiléen
bilan des forces extérieures

· poids $\vec{P}\begin{pmatrix}0\\0\\-mg\end{pmatrix}$ · réaction du support $\vec{R}\begin{pmatrix}0\\0\\+R\end{pmatrix}$ · force de Laplace $\vec{F_L}\begin{pmatrix}Ia.B\\0\\0\end{pmatrix}$ voir schéma (règle de la main droite pour le sens) · force de rappel du ressort $\vec{F_r}\begin{pmatrix}-k.x\\0\\0\end{pmatrix}$

· Force de frottement $\vec{f}\begin{pmatrix}-\alpha.v_x\\0\\0\end{pmatrix}$

$$\left(3.\ a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2}\right)$$

· PFD : $\sum \vec{F_{ext}} = m.\vec{a}$

Sur Ox : $$\boxed{Ia.B - k.x - \alpha v_x = m.a_x = m.\frac{d^2x(t)}{dt^2}} \quad (E.M)$$

Equation électrique (E.E)

Loi des mailles dans le circuit : $u_0 + e - u_r = 0$

$$\hookrightarrow \boxed{u_0 - B.a.\frac{dx(t)}{dt} - R.I = 0} \quad (E.E)$$

4. Equation différentielle régissant $x(t)$

D'après (E.E) : $I = \frac{u_0}{R} - \frac{B.a}{R}\frac{dx(t)}{dt}$ donc en insérant dans (E.M) :

$$\frac{u_0.a.B}{R} - \frac{B^2a^2}{R}\frac{dx(t)}{dt} - k.x - \alpha.\frac{dx(t)}{dt} = m.\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

qu'on peut écrire sous la forme :

terme lié à l'induction
↳ même effet que les Frottements mécaniques

$$\frac{d^2x}{dt} + \left(\frac{B^2.a^2}{Rm} + \frac{\alpha}{m}\right)\frac{dx}{dt} + \frac{k}{m}.x = \frac{u_0.a.B}{R.m}$$

à comparer à la forme canonique de l'équation d'un <u>oscillateur amorti</u> :

$$\frac{d^2x}{dt} + \frac{\omega_0}{Q}.\frac{dx}{dt} + \omega_0^2.x = x_\infty.\omega_0^2$$

avec $\begin{cases} \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} & \text{la pulsation propre} \\ Q = \dots & \text{le facteur de qualité} \\ x_\infty & \text{la position obtenue en régime stationnaire.} \end{cases}$

5. <u>Bilan de puissance</u> :

$$\left.\begin{array}{l} (EE)\times I \Rightarrow u_0\times I - B.I.a.V_x - RI^2 = 0 \\ (EM)\times V_x \Rightarrow IaB.V_x - k.x.V_x - \alpha.V_x^2 = mV_x.\frac{dV_x}{dt} \end{array}\right\} \Rightarrow \text{on combine les 2.}$$

↳

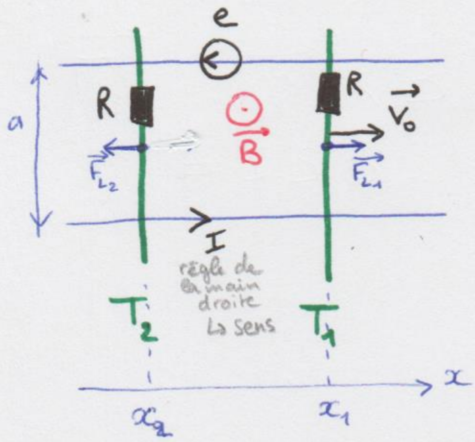
$$\underbrace{u_0.I}_{\text{Puissance fournie par le générateur}} = \underbrace{RI^2}_{\text{Puissance perdue par effet Joule}} + \underbrace{k.x.\frac{dx}{dt}}_{\frac{dE_{pe}}{dt}} + \underbrace{\alpha.V_x^2}_{P} + \underbrace{m.V_x.\frac{dV_x}{dt}}_{\frac{dE_c}{dt}}$$

$\frac{dE_{pe}}{dt}$: Dérivée par rapport au temps de l'énergie potentielle élastique ($E_{pe} = \frac{1}{2}k.x^2$)
⇓
Stockage/Destockage d'énergie dans le ressort

P : Fournie à l'air par les Frottements
⇓
$\boxed{\text{Puissance acoustique}}$

$\frac{dE_c}{dt}$ ↘ Puissance stockée sous forme d'énergie cinétique.

ex 6 : Double rails de Laplace :



- Equation électrique : (E.E)

f.é.m. induite : $e = -\dfrac{d\,\emptyset_{circuit}(\vec{B})}{dt} = \dfrac{-d}{dt}\left(B.a(x_1-x_2)\right)$

$$\hookrightarrow \boxed{e = B.a.\left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt}\right)}$$

Loi des mailles :

$$e = 2R.I \Rightarrow \boxed{B.a.(V_2 - V_1) = 2R.I}$$
(E.E)

- Equation mécanique pour T_1 :
- système : { tige T_1 }
- référentiel : terrestre supposé galiléen
- bilan des forces :

poids $\vec{P_1}\begin{pmatrix}0\\0\\-mg\end{pmatrix}$, réaction du support $\vec{R_1}\begin{pmatrix}0\\0\\+R_1\end{pmatrix}$, force de Laplace $\vec{F_{L_1}}\begin{pmatrix}IaB\\0\\0\end{pmatrix}$

- PFD $\sum \vec{F_{ext}} = m.\vec{a_1}$

Sur Ox : $\boxed{I a.B = m.\dfrac{dV_1}{dt}}$ (EM1)

Equation mécanique pour T_2 :
- système : { tige T_2 }
- référentiel : terrestre supposé galiléen
- bilan des forces

poids $\vec{P_2}\begin{pmatrix}0\\0\\-mg\end{pmatrix}$, réaction du support $\vec{R_2}\begin{pmatrix}0\\0\\R_2\end{pmatrix}$, Force de Laplace $\vec{F_{L_2}}\begin{pmatrix}-IaB\\0\\0\end{pmatrix}$ ⚠ voir schéma

- PFD : $\sum \vec{F_{ext}} = m.\vec{a_2}$

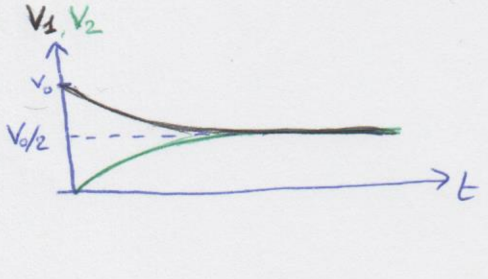
Sur Ox : $\boxed{-I.a.B = m.\dfrac{dV_2}{dt}}$ (EM2)

(EM1) et (EM2) $\Rightarrow \boxed{\dfrac{dV_1}{dt} = -\dfrac{dV_2}{dt}} \Longrightarrow V_1 = -V_2 + c^{ste}$

or à $t=0$ $\left.\begin{matrix}V_1 = V_0\\ \text{et } V_2 = 0\end{matrix}\right\} \Rightarrow c^{ste} = V_0$

$$\hookrightarrow \boxed{V_1 = V_0 - V_2} \;(3)$$

(E.E.) + (3) $\Rightarrow I = \dfrac{B.a}{2R}.(V_0 - 2V_1)$ en réinjectant dans (EM1) $\Rightarrow \boxed{\dfrac{dV_1}{dt} + \dfrac{B^2a^2}{R.m}.V_1 = \dfrac{B^2a^2}{R.m}.\dfrac{V_0}{2}}$



solution : $\boxed{V_1(t) = \dfrac{V_0}{2}\left(1 + e^{-t/\tau}\right)}$ avec $\tau = \dfrac{R.m}{B^2.a^2}$

donc $\boxed{V_2(t) = V_0 - V_1(t) = \dfrac{V_0}{2}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)}$

3. Bilan d'énergie :

- $E_{initial} \overset{T_2 \text{ immobile}}{=} E_{c_1} = \frac{1}{2} m \times V_0^2$

- $E_{final} = E_{c_1} + E_{c_2} = \frac{1}{2} \cdot m \times \left(\frac{V_0}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{V_0}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \times E_{initial}.$

l'énergie est répartie équitablement entre les 2 tiges

↳ Où est passée l'énergie manquante ?

Elle a été dissipée par effet Joule :

$$E_{Joule} = \int_0^{\infty} P_{Joule} \times dt = \int_0^{\infty} 2 R \cdot I_{(t)}^2 \, dt$$

or

$$I(t) = \frac{m}{a.B} \cdot \frac{dv_1}{dt} = -\frac{V_0}{2} \times \frac{B.a}{R} \cdot e^{-t/\tau}$$

Rmq : $I < 0$
↓
F_{L_1} vers la gauche et F_{L_2} vers la droite
↓
cohérent !

donc $$E_{Joule} = \frac{V_0^2 \times B^2 \times a^2}{2R} \int_0^{\infty} e^{-\frac{2t}{\tau}} . dt$$

$$= \frac{V_0^2 \times B^2 \times a^2}{2R} \times \left[-\frac{\tau}{2} \cdot e^{-\frac{2t}{\tau}} \right]_0^{\infty}$$

$$= \frac{V_0^2}{4} \times \underbrace{\frac{B^2 \times a^2}{R} \times \tau}_{} \times (-0 + 1)$$

$$= \frac{1}{4} \times m \times V_0^2$$

$$\boxed{E_{Joule} = \frac{1}{2} \times E_{initial}}$$

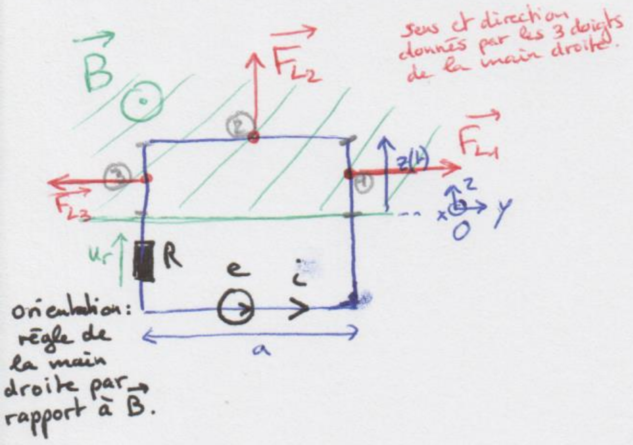
↳ $$\boxed{E_{initial} = E_{Joule} + E_{c_1} + E_{c_2}}$$

donc

$$\begin{tikzcd}
 & & E_{c_1} \\
 & E_{cinétique} \arrow[ur, "1/2"] \arrow[dr, "1/2"'] & \\
E_{initial} \arrow[ur, "1/2"] \arrow[dr, "1/2"'] & & E_{c_2} \\
 & E_{Joule} &
\end{tikzcd}$$

Rmq : on dit qu'il y a équipartition de l'énergie.

Freinage par induction :



zone avec champ $\vec{B}$ ($z>0$) — zone sans champ $\vec{B}$ ($z<0$)

Q1 : a. $\underbrace{\phi_{spire}(\vec{B}) = B \times z(t) \times a}_{\text{zone avec champ } \vec{B}\ (z>0)} + \underbrace{0}_{\text{zone sans champ } \vec{B}\ (z<0)}$

b. Fém. induite : loi de Faraday

$$e = -\frac{d\phi_{spire}(\vec{B})}{dt} = -B.a.\frac{dz}{dt}$$

c. $\underset{\text{loi des mailles}}{u_r = e} \underset{\text{loi d'Ohm}}{= R.i}$ $\Rightarrow$ $\boxed{i(t) = -\frac{B.a}{R} \cdot \frac{dz}{dt}}$

Q2 : Forces de Laplace :

tronçon 1 : $\vec{F_{L1}} = i(t) \times z(t) \times B \times \vec{u_y}$

tronçon 2 : $\vec{F_{L2}} = i(t) \times a \times B \times \vec{u_z}$

tronçon 3 : $\vec{F_{L3}} = -i(t) \times z(t) \times B \times \vec{u_y}$

les forces sur les tronçons 1 et 3 se compensent.

$\Rightarrow$ $\boxed{\vec{F_{L_{tot}}} = \vec{F_{L2}} = i(t) \times a \times B \times \vec{u_z}}$

$\Rightarrow$ $\vec{F_{L_{tot}}} = -\frac{B^2.a^2}{R} \times \frac{dz}{dt} \times \vec{u_z}$

Q3 : On observe un phénomène de modération (Lenz) : si la vitesse verticale est positive alors la force de Laplace est orientée vers le bas et s'oppose ainsi au déplacement. Si la vitesse verticale est négative alors la force de Laplace est orientée vers le haut.
On peut donc utiliser ce système comme amortisseur.
Contrairement à un système classique avec piston, ce système basé sur le phénomène d'induction peut fonctionner sans contact : on évite ainsi l'usure des pièces.

Q4 : Pour une force de frottement fluide : $\vec{f} = -h \times \vec{v}$

donc ici $h = \frac{B^2 \times a^2}{R}$ $\Rightarrow$ $\boxed{B = \sqrt{\frac{R \times h}{a^2}}}$

Q5 : AN : $B = \sqrt{\frac{10^{-4} \times 10^{4}}{(0{,}10)^2}} = 10\,T$

Pour un aimant permanent $B \sim 1T$

Une telle intensité du champ magnétique peut être générée par un électroaimant mais nécessite des installations particulières (supraconducteur, bobine énorme, ...) qui ne peuvent pas être envisagées pour l'application traitée ici.

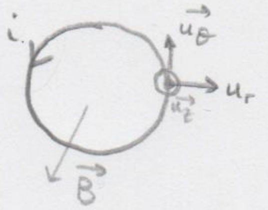
EM6

Haut - parleur

Q1 : Le son à émettre est codé sous forme de tension électrique. Cette tension est appliquée aux bornes de la bobine mobile ; un courant électrique circule alors dans la bobine. Puisque cette dernière est placé dans l'entrefer d'un aimant permanent, elle subit une force de Laplace qui la met en mouvement, déplaçant également la membrane qui permet d'émettre le son.

Q2 : $\overrightarrow{F_L} = \int_{\substack{\text{longueur} \\ \text{de la} \\ \text{bobine}}} i.\overrightarrow{dl} \wedge \overrightarrow{B} = \int_0^{\ell} i.dl.\overrightarrow{u_\theta} \wedge B\overrightarrow{u_r} \underset{\overrightarrow{u_\theta} \wedge \overrightarrow{u_r} = -\overrightarrow{u_z}}{=} -i.\ell.B\overrightarrow{u_z}$

D'après la vue de face :

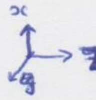


avec $\ell = N \times 2\pi \times a$

$\Rightarrow$ $\boxed{\overrightarrow{F_L} = -i \times N \times 2\pi \times a \times B\overrightarrow{u_z}}$

Q3 : <u>Equation mécanique</u> :

- <u>système</u> : {bobine mobile + membrane}
- <u>référentiel</u> : terrestre supposé galiléen



- <u>bilan des forces</u> :

* poids $\overrightarrow{P}\begin{pmatrix} -mg \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ * réaction du support $\overrightarrow{R}\begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ * force de Laplace $\overrightarrow{F_L}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -i \times N \times 2\pi \times a \times B \end{pmatrix}$

* force de rappel $\overrightarrow{F_e}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -kz \end{pmatrix}$ * frottements $\overrightarrow{F}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -f\dfrac{dz}{dt} \end{pmatrix}$

- <u>PFD</u> : $\Sigma \overrightarrow{F_{ext}} = m.\overrightarrow{a}$

sur Oz : $\boxed{-i.N.2\pi.a.B - k.z - f.\dfrac{dz}{dt} = m.\dfrac{d^2z}{dt^2}}$ (1)

Q4 :

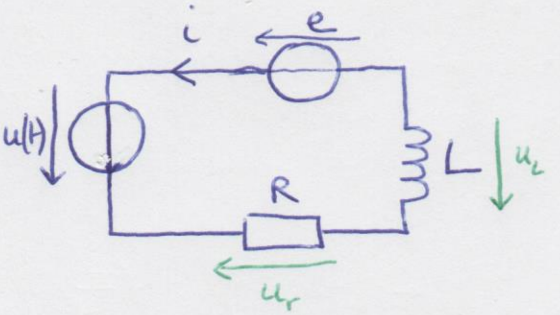
$$\underset{\text{méca}}{P}(\vec{F_L}) = -P_{\text{élec}} \left(\begin{smallmatrix}\text{générateur}\\ \text{induit}\end{smallmatrix}\right)$$

$$\vec{F_L} \cdot \vec{v} = -e \times i$$

↓ $\vec{F_L}$ et $\vec{v}$ colinéaires

$$-i.N.2\pi.a.B.v = -e \times i \quad \Rightarrow \quad \boxed{e = 2\pi.N.a.B.v(t)}$$

Q5 :



Q6 : Loi des mailles

$$u - u_r - u_L + e = 0$$

$$(2) \quad \boxed{u - R.i - L.\frac{di}{dt} + 2\pi.N.a.B.v = 0}$$

Q7 :

$\underline{v} = j\omega\underline{z}$ car $v = \frac{dz}{dt}$

$$(1) \rightarrow \quad -N.2\pi.a.B.\underline{i} - k.\underline{z} - jf\omega\underline{z} = -m.\omega^2\underline{z} \qquad (3)$$

$$(2) \rightarrow \quad \underline{u} - R.\underline{i} - jL\omega\underline{i} + j.2\pi NaB.\omega.\underline{z} = 0 \qquad (4)$$

$$(3) \rightarrow \quad \underline{z} = \frac{2\pi.N.a.B}{m\omega^2 - k - jf\omega}\,\underline{i}$$

dans (4) $\rightarrow$

$$\underline{u} = R.\underline{i} + jL\omega\underline{i} - j\omega \times \frac{(2\pi NaB)^2}{m\omega^2 - k - jf\omega}\,\underline{i}$$

$$\boxed{\underline{Z} = \frac{\underline{u}}{\underline{i}} = R + jL\omega + \underbrace{\frac{(2\pi NaB)^2}{mj\omega + \frac{k}{j\omega} + f}}}$$

ce terme est lié à la conversion électromécanique. On parle d'impédance motionnelle.