1 Thermodynamique chimique

À diverses températures T, on relève les valeurs correspondantes des enthalpies libres standard $\Delta_r G^{o}$ relatives aux réactions (1) et (2) :

$$4\ Cu_{(s)} + O_{2(g)} = 2\ Cu_2O_{(s)} \quad (1)$$
$$2\ Cu_{(s)} + O_{2(g)} = 2\ CuO_{(s)} \quad (2)$$

Données :

T(K)	300	800
$\Delta_r G_1^{o}$ (kJ.mol^{-1})	-300	-230
$\Delta_r G_2^{o}$ (kJ.mol^{-1})	-260	-170

On suppose par ailleurs que $\Delta_r H^{o}$ et que $\Delta_r S^{o}$ sont indépendantes de T pour les deux réactions :

1) Déterminer $\Delta_r H_k^{o}$ et $\Delta_r S_k^{o}$ ($k = 1, 2$) pour les deux réactions.

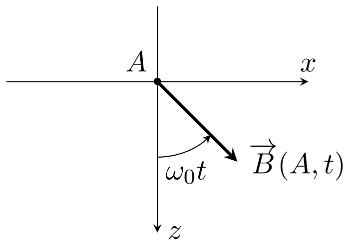
2) Soit $CuO_{(s)} + Cu_{(s)} = Cu_2O_{(s)}$. Déterminer $\Delta_r G_3^{o}(\mathrm{T})$ pour cette réaction.

3) Soit $2\ Cu_2O_{(s)} + O_{2(g)} = 4\ CuO_{(s)}$. Déterminer $\Delta_r G_4^{o}(\mathrm{T})$ pour cette réaction.

2 Principe du moteur asynchrone

I. Génération d'un champ magnétique tournant

On souhaite réaliser en un point A un champ magnétique tournant à la pulsation ω_0 tel que celui représenté sur la figure ci-dessous :



Il s'agit d'un champ magnétique de la forme :

$$\overrightarrow{B}(A,t) = B_0 \cos(\omega_0 t)\,\overrightarrow{e_z} + B_0 \sin(\omega_0 t)\,\overrightarrow{e_x}$$

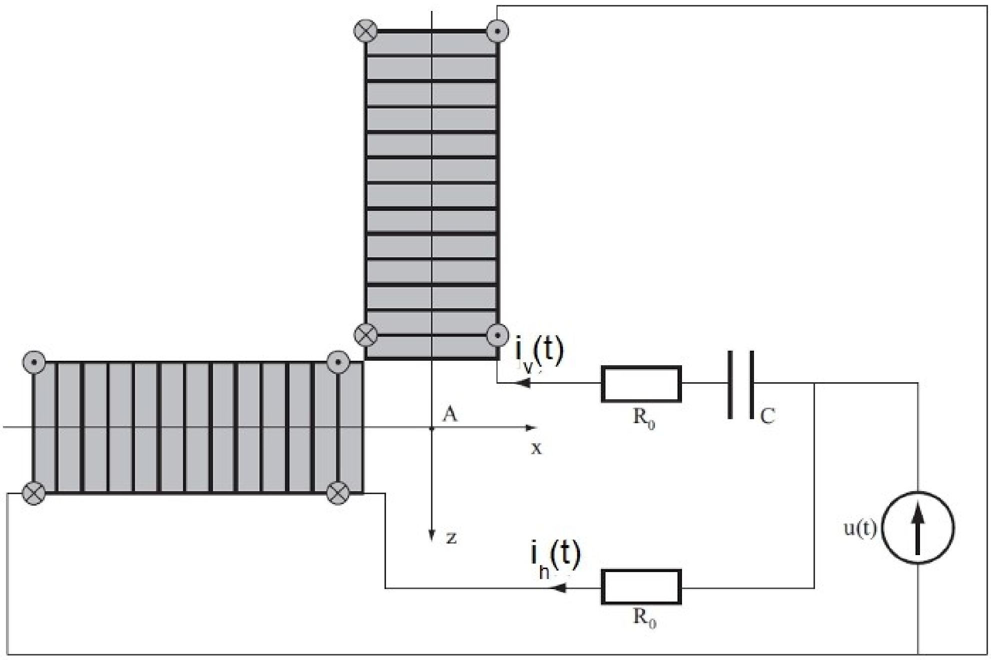
de norme B_0 constante.

Pour réaliser cela, on place deux bobines perpendiculairement l'une à l'autre, de façon à obtenir la configuration représentée sur la figure ci-dessous (page suivante). Le point A est placé à l'intersection de l'axe de symétrie des deux bobines. Chacune des deux bobines crée en A un champ magnétique dela forme :

$$\overrightarrow{B}_{1 \text{ ou } 2} = k\, i(t)\, \vec{e}_{x \text{ ou } z}$$

où k est une constante (la même pour les deux bobines), $i(t)$ l'intensité du courant dans chaque bobine.

Ces deux bobines sont placées dans un circuit contenant deux résistances identiques R_0 et une capacité C. Le circuit est alimenté par une source idéale de tension de f.é.m. sinusoïdale $u(t) = U\cos(\omega_0 t - \pi/4)$.



Chaque bobine est caractérisée par son inductance propre L et sa résistance interne R. En régime sinusoïdal forcé, la bobine verticale sur le schéma est parcourue par un courant sinusoïdal $i_v(t) = I_v \cos(\omega_0 t + \varphi_v)$ et la bobine horizontale (sur le schéma) par un courant sinusoïdal $i_h(t) = I_h \cos(\omega_0 t + \varphi_h)$.

1. Dessiner le schéma électrocinétique correspondant à ce circuit en y faisant figurer L et R.

2. Déterminer :

a) La valeur de R_0 pour que le courant $i_h(t)$ soit en retard de $\pi/4$ sur la tension $u(t)$.

b) La valeur de C pour que le courant $i_v(t)$ soit en avance de $\pi/4$ sur la tension $u(t)$.

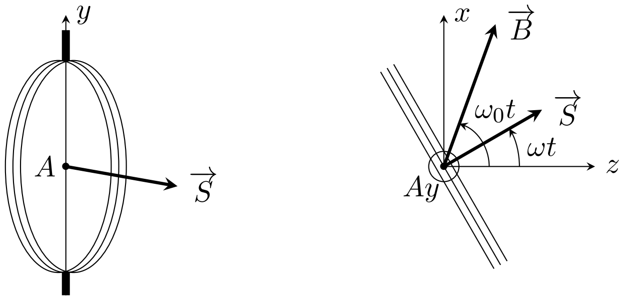
c) Application numérique : $L = 200$ mH, $R = 0{,}5\ \Omega$ et $f_0 = \omega_0/2\pi = 100$ Hz. Calculer R_0 et C.

d) Montrer que les amplitudes I_h et I_v sont identiques lorsque les conditions précédentes sont remplies.

3. Montrer que le champ magnétique total $\overrightarrow{B}(A,t)$ créé au point A par l'ensemble des deux bobines est un champ magnétique tournant (c'est à dire que l'extrémité de $\overrightarrow{B}(A,t)$ décrit un cercle) dont on précisera le sens de rotation.

II. Principe du moteur asynchrone

On considère un enroulement (E) de N spires dont on supposera l'épaisseur négligeable. Chaque spire possède une surface S et un vecteur surface $\overrightarrow{S}$. Le fil constituant l'enroulement est mis en court-circuit. Cet enroulement a une résistance R_s, une inductance L_s. On le considère comme un solide pouvant tourner autour de l'axe (Ay) grâce à un mécanisme pivot. On notera J le moment d'inertie de ce solide par rapport à (Ay).



La rotation de (E) autour de l'axe (Ay) est repérée par l'angle $(\overrightarrow{e_z}, \overrightarrow{S}) = \beta(t)$. On va étudier dans cette partie une situation dans laquelle (E) est animée d'une vitesse angulaire constante ω, ce qui signifie que $\beta(t) = \omega t$.

On soumet cet enroulement au champ magnétique tournant de norme B_0 étudié dans la partie **I.** que l'on supposera uniforme sur toute la surface S des spires.

4. Déterminer la force électromotrice induite dans (E) par le champ magnétique tournant. En déduire que (E) est parcouru par un courant induit $i(t)$ vérifiant l'équation différentielle :

$$L_s \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + R_s i = \Phi_0 \Omega \, \sin(\Omega t)$$

où $\Omega = \omega_0 - \omega$. On donnera l'expression de la constante Φ_0 en fonction de N, S et B_0.

5. On se place en régime sinusoïdal forcé. L'intensité du courant dans (E) est alors sinusoïdale de pulsation Ω et de la forme :

$$i(t) = \lambda \cos(\Omega t) + \mu \sin(\Omega t)$$

où λ et μ sont deux constantes.

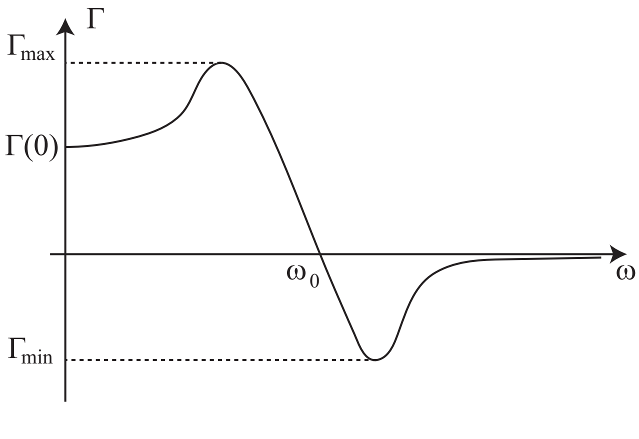
Déterminer les expressions de λ et μ en fonction de Φ_0, Ω, L_s et R_s.

6. Donner l'expression du moment magnétique $\overrightarrow{m}$ de l'enroulement (E). En déduire le moment des forces de Laplace $\overrightarrow{\Gamma}(t)$ exercé par le champ magnétique tournant.

7. En réalité le dispositif possède une grande inertie mécanique et la grandeur significative à considérer est la valeur moyenne $< \overrightarrow{\Gamma} >$ de $\overrightarrow{\Gamma}(t)$. Montrer que :

$$< \overrightarrow{\Gamma} > = \Gamma \, \overrightarrow{e_y} \quad \text{avec} \quad \Gamma = \frac{\Omega \, R_s \Phi_0^2}{2\,(R_s^2 + L_s^2 \Omega^2)}$$

8. On donne ci-dessous l'allure du moment moyen Γ en fonction de la vitesse angulaire ω de (E).



Quelle est la plage de pulsations ω pour lesquelles ce moment est effectivement moteur ?

9. Le mécanisme pivot n'est pas parfait et il exerce un moment mécanique résistant constant $\overrightarrow{\Gamma_r} = -\,\Gamma_r\,\overrightarrow{e_y}$ ($\Gamma_r > 0$) en raison de frottements. On suppose que :

$$\Gamma(0) < \Gamma_r < \Gamma_{\max}$$

À l'aide du théorème du moment cinétique et en ne considérant que le moment moyen pour les forces de Laplace, établir l'équation qui découle de la constance de ω. Utiliser le graphe précédent pour montrer qu'il n'y a alors que deux valeurs possibles ω_1 et ω_2 de la vitesse angulaire de rotation.

10. Étudier la stabilité de chacun de ces deux régimes de fonctionnement.