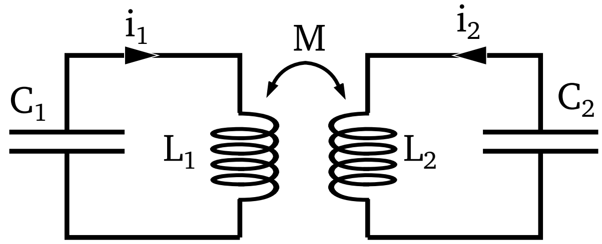
Induction mutuelle entre deux circuits

On considère les deux circuits LC suivants, composés de capacités C_1 et C_2 et de bobines d'inductance propre L_1 et L_2 et d'inductance mutuelle M.



- ♣ Qu'est-ce que l'inductance propre ? Leur induction mutuelle ? Quelle condition a t-on nécessairement entre L_1, L_2 et M ?

- ♣ Déterminer les équations différentielles satisfaites par i_1 et i_2.

On supposera dans la suite que $L_1 = L_2 = L$ et $C_1 = C_2 = C$.

- ♣ En proposant un changement de fonction bien choisi avec i_1 et i_2, trouver la solution générale pour i_1 et i_2. Pourquoi parle t-on de modes propres ?

- ♣ Quelle est l'allure du spectre de i_1 ? Dans le cas d'un faible couplage M, montrer que le spectre se scinde en deux harmoniques centrées autour de ω_0, séparées en fréquence de $\delta\omega$, que l'on déterminera.

- ♣ On suppose qu'à $t = 0$, les deux condensateurs sont déchargés. Pour quelles valeurs de $i_1(t = 0)$ et $i_2(t = 0)$ y a t-il qu'une fréquence dans le spectre de i_1 et i_2 ?

- ♣ Réaliser un bilan de puissance électrique et commenter.

On retourne au cas général : on suppose que $L_1 \neq L_2$ et $C_1 \neq C_2$.

- ♣ Montrer que l'on peut écrire le système d'équation différentielle vérifiée par i_1 et i_2 sous la forme :

$$\mathbf{M}\frac{\mathrm{d}\mathbf{I}^2}{\mathrm{dt}^2} + \mathbf{I} = 0$$

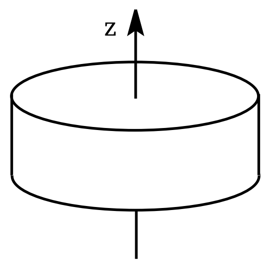
où $\mathbf{M}$ est une matrice 2×2 dont on précisera les coefficients et I est le vecteur :

$$\mathrm{I} = \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} \tag{1}$$

- ♣ Montrer que les vecteurs propres $\hat{i}_1$ et $\hat{i}_2$ de cette équation matricielle sont solutions d'une équation différentielle que l'on précisera ; expliciter des pulsations propres ω_1 et ω_2 et donner les expressions de $\hat{i}_1$ et $\hat{i}_2$

Courants de Foucault dans un cylindre en rotation

Un cylindre conducteur plein et de conductivité γ est en rotation de vitesse angulaire constante ω autour de son axe Oz. L'axe est en matière isolante.



Champ axial

Un champ magnétique uniforme $\vec{B} = B_0 \vec{e_z}$ est appliqué.

- ♢ En considérant la force de Lorentz qui s'exerce sur les électrons de conduction, analyser les effets de la rotation du cylindre pour justifier l'établissement d'un régime permanent. Existe t-il des courants des Foucault lorsque ce régime est établi ?
- ♢ En régime permanent, montrer à l'aide de la force de Laplace que l'effet du champ magnétique est équivalent à un champ électrique $\vec{E_m}$ dont on précisera l'expression. Quelle est alors la répartition des charges dans le cylindre ?

Champ transverse

On applique désormais un champ magnétique uniforme $\vec{B} = B_0 \vec{e_x}$ transverse à l'axe de rotation.

- □ Justifier l'existence de courants de Foucault dans ce cas en prévoyant leur allure. Quel est leur effet mécanique ?

Si le cylindre est très long, la densité de courant est de la forme $\vec{j} = j(r,\theta)\vec{e_z}$. On suppose de plus que les phénomènes électromagnétiques proches des extrémités supérieures et inférieures (les disques) sont négligeables par rapport à ceux ayant lieu le long du cylindre.

- □ Quelle est la relation entre $j(r,\theta)$ et $j(r,\theta+\pi)$?
- □ En déduire le champ électrique $\vec{E}(r,t)$ à l'intérieur du cylindre.
- □ Exprimer alors l'expression de $\vec{j}(r,\theta)$
- □ Quelle est la puissance dissipée dans le cylindre ?
- □ Déterminer le moment des efforts de Laplace par rapport à l'axe de rotation.

Canon électromagnétique

On considère un circuit électrique équipé d'un générateur et de deux rails parallèles sur lesquels se trouve un barreau mobile, se déplaçant suivant x. L'inductance $L(x)$ et la résistance $R(x)$ dépendent alors de x. Le générateur impose un courant $I(t)$ à travers le circuit.

Cas statique

On suppose dans un premier temps que le mobile est fixé à $x = x_0$ et ne peut pas se mouvoir.

- ♡ Exprimer le flux magnétique à travers le circuit et en déduire la force électromotrice d'auto-induction.
- ♡ Lors de l'établissement du courant de 0 à $I(t)$, le générateur doit fournir une énergie magnétique E_m en plus de l'énergie dissipée par effet Joule. Quelle est l'expression de E_m ?

Cas mobile

Le barreau est supposée désormais libre de ses mouvement selon l'axe x.

- △ Lorsqu'un courant électrique parcourt le circuit, le barreau se met en mouvement. Expliquer. Exprimer, à l'instant t, la puissance fournie par le générateur en sus de celle dissipée par effet Joule.
- △ Une partie de cette puissance correspond à la variation de E_m, une autre correspond à la puissance mécanique P_{mca} donnée au barreau. Donner l'expression de P_{mca}. Quelle force s'exerce sur le barreau ?

Étude du mouvement

On suppose que le générateur est constitué d'une dynamo couplée à une bobine d'inductance L_0 et de résistance R_0. Tant que l'interrupteur C est fermé, la dynamo impose un fort courant I_0 dans la bobine. A $t = 0$, où l'on ouvre C, le courant s'écoule alors dans les rails et accélère le barreau.

On suppose par ailleurs que $L(x) = L'x$ et $R(x) = R'x$, où L' et R' sont respectivement l'inductance et la résistance linéique du barreau.

- ♢ Écrire la force électromotrice du circuit déformable, puis l'équation électrique du circuit.
- ♢ Ecrire l'équation du mouvmeent du barreau. On notera sa masse M.
- ♢ Quelles sont les conditions initiales ? Existe t-il des solutions stationnaires ?
- ♢ On suppose que L_0 est très "grande". Justifier que $I(t) \simeq I_0$ et en déduire $\dot{x}(t)$ et $x(t)$.

Question supplémentaire : déterminer l'inductance et la résistance linéique dans le cas de deux rails cylindriques de rayon a, distants de b et de conductivité γ.