

LPS 10 : Induction électromagnétique.

Alexandre Pricoupenko - Rémi de Guiran

Niveau : L2

Prérequis :

Electrocinétique. Champ/Flux magnétique. Force de Lorentz / Laplace

Expérience quantitative : Mesure de L avec un RLC.

Table des matières

I Phénomènes d'induction	2
I.1 Loi de Faraday	2
II Circuit fixe dans champ magnétique variable	2
II.1 Autoinductance	2
II.2 Induction mutuelle	3
II.3 Transformateur	3
III Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	3
III.1 Questions	5
III.2 Cadre de l'étude	5

Introduction

Au début du XVIIIe on comprend qu'un courant électrique génère un champ magnétique. Une des questions qu'on se pose alors est : l'inverse est il possible? Autrement dit, peut on produire de l'électricité à partir d'un champ magnétique? On se propose de reproduire approximativement les expériences de Faraday qui ont conduit à répondre à cette question.

Expérience : Galvanomètre (ou oscillo sinon mais alors on regarde aux bornes d'une résistance pour avoir i ?) + Spire + Aimant.

- Aimant fixe (champ B fixe) $\rightarrow$ On n'observe aucun courant dans la spire.
- Aimant en mouvement $\rightarrow$ Courant (induit) dans la spire!
- Amplitude du courant qui dépend de la vitesse.
- Sens du courant $\neq$ si l'aimant s'approche ou s'éloigne.
- Mêmes constats si on déplace le circuit dans le champ B de l'aimant stationnaire.

Ccl : Un champ B stationnaire ne crée pas de courant dans un circuit à proximité. C'est en fait la variation du flux magnétique à travers la spire qui est associée à l'apparition d'un courant induit.

I Phénomènes d'induction

I.1 Loi de Faraday

Les variations de flux magnétique à travers un circuit induisent une force électromotrice e :

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} \quad \phi = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1)$$

Schéma spire et circuit électrocinétique équivalent $e_{ind} = Ri$.

Attention : Toujours orienter e_{ind} et i dans le même sens. Choix de surface $\mathbf{S}$ (cf contour orienté) qui fixe le sens de i .

Illustration de cette loi et signification du signe $-$?

Schéma spire aimant. 2 cas. spire NS. on approche, on s'éloigne. Sens de $\mathbf{B}_{ind}$ et $\mathbf{B}_{aimant}$ contraires/similaires . Utiliser couleurs. (sens du courant exp. intro ok)

Y a t il un moyen de comprendre ce qu'il se passe sans calculs ?

→ Loi de Lenz : L'ensemble des phénomènes d'induction ont des conséquences qui s'opposent aux causes qui leur ont donné naissance (loi de modération).

Dans l'exemple précédent, le système s'oppose à la variation du flux magnétique en créant $\mathbf{B}_{ind}$ dans le sens contraire ou similaire au champ $\mathbf{B}_{aimant}$.

Donc Attention : Il ne faut pas aller trop vite et raisonner en termes de champ magnétique, mais vraiment en termes de variation de flux!!

II Circuit fixe dans champ magnétique variable

II.1 Autoinductance

Le flux propre d'un circuit s'écrit

$$\phi_P = Li \quad (2)$$

L coefficient d'autoinduction.

Mq que L est tjrs positif si $i > 0$ ou $i < 0$.

Cas solénoïde N spires de longueur l. On suppose le solénoïde infini.

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} i \mathbf{e}_z \quad (3)$$

$$\phi_P = N \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} i \rightarrow L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (4)$$

On retrouve $u = L \frac{di}{dt}$. (cf convention récepteur)

EXPERIENCE QUANTITATIVE. Mesure de L via RLC : Générateur + Boite Capacité tension aux bornes de R, passe bande du 2 e ordre. (Schéma tableau) Methode Lissajou (mode XY). Valeurs des composants ? VALEURS ??? Si Q grand methode XY tres correct, incertitude sur la valeur de C (formule propagation incertitudes)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

$$L = \dots \pm \dots mH \quad (6)$$

II.2 Induction mutuelle

Schéma 2 circuit c1 et c2 et champ de B1 qui passe dans 2
Les flux d'induction mutuels s'écrivent

$$\phi_{1 \rightarrow 2} = M_{1 \rightarrow 2} i_1 \quad \phi_{2 \rightarrow 1} = M_{2 \rightarrow 1} i_2 \quad M_{1 \rightarrow 2} = M_{2 \rightarrow 1} = M \quad \text{Th. de Neumann} \quad (7)$$

Calcul 2 spires imbriquées, ref??

$$M = \mu_0 \frac{N_1 N_2 S_2}{l_1} \quad (8)$$

II.3 Transformateur

(attention ça peut partir en question sur les ferros et faut justifier le choix du ferro si cest des L1, un peu en mode bon cest un materiau qui permet de blablabla etc)

schéma primaire ferromagnétique secondaire attention sens i_1 et i_2 regle main droite

schéma electrocinétique equivalet

R_1, L_1, M_1 et R_2, L_2, M_2

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \quad u_2 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \quad (9)$$

$$P = u_1 i_1 + u_2 i_2 \quad (10)$$

R_1 et R_2 nuls et $M = \sqrt{L_1 L_2}$

$$u_1 = -e_1 = +N_1 \frac{d\phi_1}{dt} \quad u_2 = -e_2 = -N_2 \frac{d\phi_2}{dt} \quad (11)$$

flux magnétique est conservé cf ferromagnétique $\phi_1 = \phi_2$

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{e_2}{e_1} = \frac{N_2}{N_1} = m \quad (12)$$

m est appelé rapport de transofmation

?? Manipulation. Valeur de m??

III Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

Ici l'idée va etre d'introduire la conversion de puissance electromecanique qui est une des applications phares de l'induction dans l'industrie (attention a pas trop montrer qu'on recycle l'autre leçon mais pour moi ce choix se défend de ouf et c'est dans le salamito 5e editions PCSI de 2016 par exemple donc a voir si cest tjrs dans le programems (et je crois mais a verifier) mais osef on est en physique et on place ça en L1 basta.

Rails de Laplace

Cas générateur

Cas freinage (et donc on introduit la notion de freinage par induction c'est cool)

Conclusion

Insister sur le fait qu'on utilise tout le temps de phenomenes d'induction etc ...!!

Si on est chauds, on peut ouvrir sur les courants de foucault (champ magnetique variable dans circuit fixe) et application pour chauffage a induction (mais pas evident tous els phenomenes en jeu, mais bon, soef ptetre, au moins savoir le calcul classique en cylindrique exemple (voir femto physique induction ou autre ref) . Je decide de pas le faire dans le cours ici car on a pas introduit le potentiel vecteur par exemple, mais pour les questions avoir vu tout ça (+ Conducteur Calcul cylindre. Calcul E Calcul P moyen)!

Casserole conductrice (ferro pourquoi?)

femtophysique :

Dans la pratique, le fil formant la bobine est résistive. C'est pourquoi, on modélise une bobine réelle en ajoutant en série une résistance r , appelée résistance interne de la bobine. Généralement, cette représentation convient à basse fréquence.

À moyenne et haute fréquence, deux phénomènes parasites apparaissent :

1. En régime variable, le courant ne se distribue plus de façon uniforme dans le conducteur : c'est l'effet de peau. Ce phénomène produit une augmentation de la résistance r avec la fréquence.

2. Un effet capacitif se produit entre les différentes spires de la bobine. On modélise ce phénomène en ajoutant un condensateur en parallèle

III.1 Questions

III.2 Cadre de l'étude

Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires (ARQS) magnétique :

- Phénom. de propag. des champs négligeables : $\tau \gg L/c$

où τ est le temps carac. de variation des sources et L la distance typique de l'objet $\rightarrow$ Champs uniformes dans le circuit, qui ne dépendent que du temps.¹

ODG : ARQS en RSF $L = 1m$ $f \ll 300MHz$

- Les effets des courants dominent les effets de charges : $|j| \gg \rho c$.

$$\text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} \quad (13)$$

ARQS elec : $\rho c > j$

ARQS magn : $\rho c < j$

ARQS simple : on néglige propagation

Connaitre transformation galiléenne (R, R') des champ (E, B) cf invariance force entre ref galiléens
+ addition des vitesses

$$\begin{aligned} \mathbf{E}' &= \mathbf{E} + \mathbf{v}_e(R'/R) \wedge \mathbf{B} \\ \mathbf{B}' &= \mathbf{B} \end{aligned} \quad (14)$$

Loi d'Ohm pour le conducteur en mvt dans le ref R du laboratoire

(cf $\mathbf{j}' = \sigma \mathbf{E}'$ et limite classique $\mathbf{j} = \mathbf{j}'$)² :

$$\mathbf{j} = \sigma \left(\mathbf{E} + \mathbf{v}_e(R'/R) \wedge \mathbf{B} \right) = \sigma \left(-\text{grad}V + \mathbf{E}_m \right) \quad (15)$$

Où on appelle $\mathbf{E}_m$ le champ électromoteur :

$$\mathbf{E}_m = \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \mathbf{v}_e(R'/R) \wedge \mathbf{B} \quad (16)$$

On définit alors la force électromotrice e_{AB} comme la circulation du champ électromoteur entre A et B (orientation A vers B).

$$e_{AB} \equiv \int_A^B \mathbf{E}_m \cdot d\mathbf{l} \quad U_{AB} = V_A - V_B = R_{AB} i_{A \rightarrow B} - e_{AB} \quad \text{Circuit fermé } e = Ri \quad (17)$$

A, E et B champ dans le réf R du laboratoire et R' le ref du conducteur.

1. Peut être ne pas trop développer ici mais être prêt pour les questions

2. mmh mais est ce que σ ne change pas d'un ref à un autre?