

MP20 : INDUCTION ET AUTO-INDUCTION

25 janvier 2019

Florine Dubourg & Vincenzo Aronica

Zak, j'ai envie de baiser ton visage!
RUBEN, SEMAINE SKI

Questions et commentaires du Jury

Cf fin du poly

Bibliographie

- ⚡ *Cours électromag dans le vide*, J.Ferrand →
- ⚡ *Électromagnétique 2*, HPrépa →
- ⚡ *Quaranta iV*, →
- ⚡ *BUP 536*, →

Table des matières

1 Introduction	1
2 Vérification de la Loi de Faraday	2
3 Auto Induction : Mesure de coefficients d'inductance	3
3.1 Mesure inductance propre	3
3.2 Mesure d'inductance mutuelle	4

1 Introduction

⚡

Les phénomènes d'induction repose sur la loi de Maxwell-Faraday :

$$\vec{rot}(\vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Il s'agit d'un effet du couplage entre \vec{E} et \vec{B} . Le signe moins dans l'expression est la signature de la loi de modération de Lenz qui stipule que Le courant induit a un sens tel que le flux induit qu'il crée s'oppose aux variations du flux inducteur. On distingue deux types d'induction : induction de Neumann (l'aimant est en mouvement, la bobine est fixe) et induction de Lorentz (la bobine est en mouvement, l'aimant est fixe)

Illustration Loi de Lenz

⚡ Quaranta IV p.274, poly 2016/2017

⊖ 5 min

Matériel : Bobine 1000 spires (P60.21/4), Boite à décade (P56.14/11), AO (P41.4/2), 2 LED (P29.12/4-P29.12/3), Aimant plat)

Procédé : Réalisez le montage de la figure 1.1. On approche l'aimant (inducteur), une des deux diodes s'allume pendant le déplacement. On éloigne l'aimant, c'est l'autre diode qui s'allume. Lorsqu'on permute les pôles de l'aimant, l'éclairage est inversé. Si bobine et aimants sont immobiles, rien ne se passe. C'est donc bien une variation de flux qui est à l'origine de ce qu'on observe. On montre les deux types d'induction.

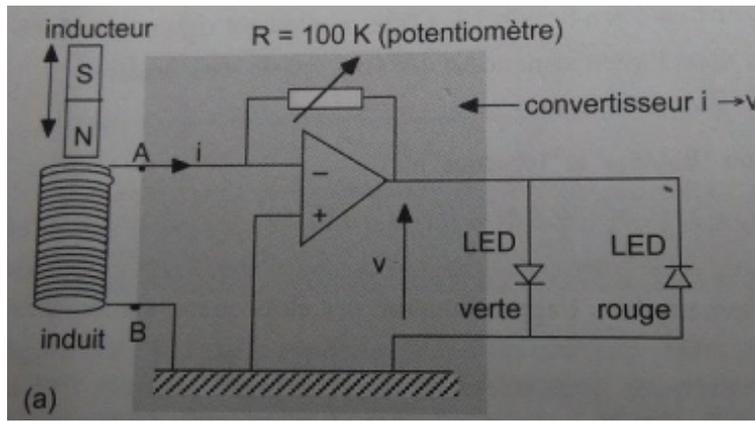


Figure 1.1 : Schéma issu de Quaranta IV. .

Il est important de rappeler que dans le cadre de l'induction, on se place en ARQS magnétique, c'est-à-dire dans un régime où l'effet des courants domine celui des charges.

2 Vérification de la Loi de Faraday

Toute variation du flux du champ magnétique à travers un circuit mobile se traduit par l'apparition d'un champ électrique à rotationnel non nul vérifiant :

$$e = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S} = - \frac{\partial \phi}{\partial t} \tag{1}$$

Où e est la force électromotrice, et ϕ est le flux du champ magnétique vu dans le référentiel du laboratoire à travers le circuit. Pour voir apparaître une fem il faut donc que le flux du champ magnétique varie au cours du temps. Dans cette expérience on se place dans le cadre de l'induction de Neumann.

L'objectif est de mesurer la fem induite aux bornes d'une bobine, par deux autres bobines placées en configuration de Helmholtz . Le champ \vec{B} entre les deux bobines est constant et vaut :

$$B(I) = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N I}{R} \tag{2}$$

Où N est le nombre de spire des deux bobines Helmholtz , R est la distance entre les bobines et I l'intensité parcourant les bobines. La notice du dispositif P77.4 permet d'avoir :

$$B(I) = 1,356 \cdot 10^{-3} \cdot I \tag{3}$$

Si on applique un courant sinusoïdal de la forme $I = I_0 \cos(\omega t)$, la fem s'exprime comme :

$$e = - \frac{\partial}{\partial t} (1,356 \cdot 10^{-3} \cdot I_0 \cdot n \cdot S \cdot \cos(\omega t) \cos(\Theta)) \tag{4}$$

$$= 3.32 \cdot 10^{-4} \cdot I_0 \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \cos(\Theta) \tag{5}$$

Où Θ est l'angle entre \vec{B} et $d\vec{S}$, n le nombre de spire de la bobine du milieu, S la surface de la spire du milieu.

Nous allons faire une mesure de la dépendance en l'angle formé par le champ et la normale de la bobine.

Illustration Loi de Faraday

🔗 BUP 536 p. 967, poly 2018/2019, Notice P77.4 ⌚ 5 min

Matériel : Bobine Helmholtz (P77.4), GBF, (Amplificateur), 2 Fluke (P69.25), Rhéostat.

Procédé : Alimenter les bobines de Helmholtz à l'aide du GBF (100Hz, 20V), brancher un ampèremètre (Fluke) pour mesurer le courant circulant dans les bobines. Brancher un voltmètre (Fluke) en sortie de la bobine centrale pour mesurer la fem induite.

Mesures :

- Montrer la quadrature de phase entre le courant I et la fem e
- Montrer la dépendance de e en fréquence
- Mesurer $\frac{e(\theta)+e(-\theta)}{2}$ pour $10 < \theta < 90$

Pour une fréquence de 100Hz et un courant efficace $I_o = \dots A$, on s'attend à avoir une dépendance linéaire en $\cos \theta$:

$$e = (\dots V) \times \cos(\theta)$$

Expérimentalement on trouve :

$$e = (\dots \pm \dots \times V) \times \cos(\theta)$$

3 Auto Induction : Mesure de coefficients d'inductance

3.1 Mesure inductance propre

Un circuit parcouru par un courant I crée un champ magnétique dans le lequel il est plongé. Ainsi le champ magnétique auquel est soumis un circuit (ici une bobine) peut être décomposé en deux termes :

$$\vec{B}_{total} = \vec{B}_{ext} + \vec{B}_{propre}$$

Où \vec{B}_{ext} est le champ magnétique extérieur et \vec{B}_{propre} est le champ magnétique propre. Ainsi :

$$e = -\frac{\partial}{\partial t}(\phi_{ext} + \phi_{propre})$$

Le flux propre ϕ_{propre} est proportionnel au courant i , on note L le coefficient de proportionnalité entre i et ϕ_{propre} . On a donc :

$$\phi_{propre} = L \times i$$

Où L est l'inductance de la bobine. On propose de déterminer ce coefficient à l'aide d'un circuit RLC. La fonction de transfert d'un circuit RLC est :

$$H(\omega) = \frac{1}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

avec $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ et $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$



Mesure inductance propre

☞ poly 2018/2019, Poly TP elec

⊖ 5 min

Matériel : Boite à décade, Inductance, Condensateur, GBF, Oscillo, RLC mètre

Procédé : Réaliser un circuit RLC. On mesure (oscillo) sur la voie 1 la tension d'entrée et sur la voie 2 la tension aux bornes de R (comportement passe-bande). La fréquence de résonance est repérée en utilisant le mode XY (méthode de Lissajous), à la fréquence de résonance on obtient une droite ("le but est de transformer l'ellipse en droite").

Mesures : Prendre $R = 100\Omega$ et la bobine P60.21/9 (spoil : $L = 45.62\text{mH}$). Pour $0.1 < C < 0.85$ déterminer ω_0 . Tracer ensuite $1/\omega_0^2$ en fonction de C , la pente est égale à L .

Remarques : La valeur de R est choisit faible pour avoir un facteur de qualité élevé (plus Q est grand et plus le pic de résonance est haut et étroit). Mesurer la valeur de C au RLC-mètre.

On trace $1/\omega_0^2$ en fonction de C , on trouve :

$$1/\omega_0^2 = \dots \times C$$

Ainsi la valeur de l'inductance est :

$$L_{exp} = \dots \times \text{mH}$$

On compare cela avec la valeur mesurée de l'inductance :

$$L_{mes} = 45.62 \times \text{mH}$$

3.2 Mesure d'inductance mutuelle

On considère deux circuits 1 et 2. Ces deux circuits vont interagir : le champ magnétique propre de chacune des bobines produira un flux non nul à travers la bobine voisine. On aura :

$$\phi_{1 \rightarrow 2} = M i_1$$

$$\phi_{2 \rightarrow 1} = M i_2$$

Où M est le coefficient d'induction mutuelle. Pour chaque bobine, il apparaîtra une fem :

$$e_{1 \rightarrow 2} = -M \frac{\partial i_1}{\partial t}$$

$$e_{2 \rightarrow 1} = -M \frac{\partial i_2}{\partial t}$$

En envoyant une tension triangle (figure 3) à l'aide d'un GBF, la dérivé de i par rapport à t s'exprime comme :

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{1}{R} \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

Mesure inductance mutuelle

✦ Quaranta p.277,poly 2012

⊖ 5 min

Matériel : Dispositif P59.4, GBF, boîte à décade ($R = 1000\Omega$), GBF, Oscillo,

Procédé : Réaliser le circuit représenté sur la figure 2. Envoyer un signal triangle à l'aide du GBF (High Z, $V_{pp} = 20V$).

Mesures : Observer à l'oscillo la tension aux bornes de la résistance ainsi que la tension en sortie de la bobine centrale. Pour $f = 50 - 200 \text{ Hz}$ mesurer : ΔU , Δt et e . Tracer $e = f(\frac{1}{R} \frac{\Delta U}{\Delta t})$

Remarques : Penser à prendre e et non pas $\Delta e = 2e$.

On trace $e = f(\frac{1}{R} \frac{\Delta U}{\Delta t})$. On trouve :

$$e = M_{exp} \times \frac{\partial i}{\partial t} = (6,33 \pm 0.07\text{mH}) \times \frac{\partial i}{\partial t}$$

L'inductance maximale attendue d'après le constructeur est :

$$M_{theo} = 6,1 \pm 0.01\text{mH}$$

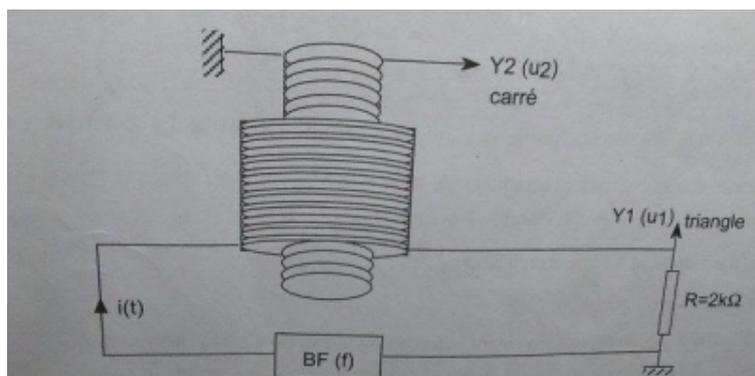


Figure 2 : Schéma issu de Quaranta IV. .

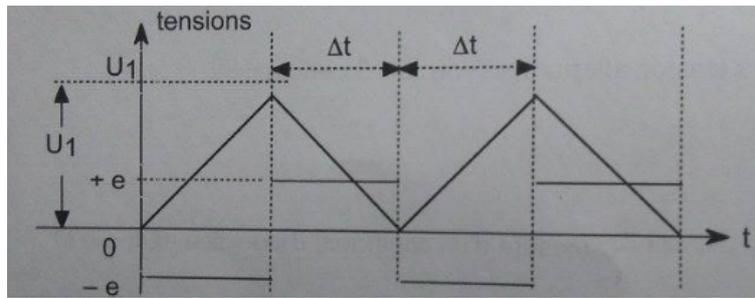


Figure 3 : Schéma issu de Quaranta IV. .

Questions et retours

Questions

- À part Maxwell-Faraday, quelle autre relation lie E et V ?
- Expérimentalement, l'ARQS magnétique, c'est quoi ? Fréquences basses par rapport à quoi ?
- Citer d'autres domaines avec des loi de modération ? (Le Châtelier en chimie)
- Manip d'intro : quel est le principe d'une DEL ? Peux-tu tracer la caractéristique ? Pourquoi placer les DEL en inversé ?
- Bobines en configuration Helmholtz : domaine de validité de la loi ? (distance maximale entre les bobines inférieure à R le rayon des bobines) Tracer $B(x)$ pour une seule bobine.
- On a quoi, en anti-Helmholtz ?
- Comment on mesure la surface de la bobine ? (donnée constructeur, surface effective)
- Incertitudes sur le multimètre ? (donnée constructeur)
- Le χ^2 , c'est quoi ? (ne pas oublier de l'enlever de l'affichage de Regressi pour éviter les questions gênantes)
- Tu peux ré-expliciter la méthode de Lissajoux ?
- Les valeurs des composants changent-elles avec la fréquence ? Lesquelles ? Pourquoi ? (résistance de la bobine, principalement : effet de peau, pertes par effet Joules -> R augmente quand la fréquence augmente)
- Comment ça marche, un RLC-mètre ? (mesure la phase et l'amplitude d'un signal) Attention, le RLC-mètre fait ses mesures à une fréquence donnée, qu'il faut choisir avec soin et savoir justifier.
- D'autres méthodes pour mesurer la fréquence de résonance ? (diagramme de Bode)
- Préciser le lien entre résonance du RLC et auto-induction ?
- Relation entre les paramètres de la bobine et M ?

Montage-surprise : construire un microscope, oeil compris.

Retours

Le fait d'avoir fait des manip quantitatives (= prendre 4 points et tracer la courbe en direct) a été bien apprécié. Attention à savoir justifier les choix de composants, et bien maîtriser les unités sur Regressi.