Induction et auto-induction

Niveau

Commentaires du jury

— 2017 : Les notions d'induction, auto-induction, induction mutuelle sont souvent mal comprises rendant l'interprétation délicate de certains résultats.
— 2014-2016 : Lors de ce montage, trop de candidats abusent des expériences qualitatives et transforment la séance en une série d'expériences de cours sur l'induction et obtiennent de ce fait une note médiocre.
— 2009-2016 :La notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, en particulier à cause de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation.
— 2009 : L'observation subjective d'un retard à l'allumage d'une lampe ne peut être qu'une introduction qualitative du phénomène d'auto-induction qui doit être illustré par des mesures précises et une confrontation entre la mesure et le modèle décrivant le phénomène. L'étude du rendement du transformateur n'a pas sa place dans ce montage.

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

—

Table des matières

Introduction

Les lois de l'induction électromagnétiques sont essentielle au fonctionnement de bon nombre d'appareil du quotidien, que ce soit un haut parleur, une plaque a induction, ou le freinage d'un train.
L'induction se déduit des équations de Maxwell et plus spécifiquement de l'équation de Maxwell Faraday :

$$\mathbf{\nabla} \times \vec{\mathbf{E}} = -\frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t}$$

En intégrant cette relation sur un circuit fixe, on trouve $e = -\frac{\partial \phi_B}{\partial t}$ avec $\phi_B = \oiint \vec{\mathbf{B}} d\vec{\mathbf{S}}$.
Le signe moins traduit la loi de Lenz qui énonce que les causes produisent des effets qui s'opposent aux causent qui les ont engendrées. On distingue deux type d'induction :

— Induction de Neumann : Cicuit fixe et $\vec{\mathbf{B}}$ variable
— Induction de Lorentz : Circuit mobile et $\vec{\mathbf{B}}$ fixe.

Manipulation introductive :
On relie une bobine à un oscilloscope :

— **Neumann** : on fait bouger l'aimant vers la bobine puis le retirer. On observe une fem. qui change de signe. On peut faire pareil en tournant l'aimant, les variations sont opposé. Dès qu'on s'arrête de bouger la fem disparaît. Si on va plus vite, la fem est plus forte
— **Lorentz** : On fait bouger la bobine cette fois.

1 Vérification de la Loi de Faraday

On veux vérifier la loi reliant la tension aux bornes d'une bobine à la variation de flux la traversant.
On besoin d'un dispositif nous permettant de produire un champ magnétique variable contrôlé. Pour cela on utilise deux bobine en configuration Helmoltz. Le champ entre les bobines est alors :

$$\vec{\mathbf{B}}(i) = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N}{R} i \vec{\mathbf{e_z}}$$

Avec i le courant traversant les bobines, N le nombre de spire de chaque bobine, R le rayon des bobine écarté de R
Il existe déjà un dispositif monté... P77.4. Il donne : $B = 1.356 \times 10^{-3} I$ Il faut voir si on peut le vérifier expérimentalement...
On fait varier le courant sinusoidalement. On a donc un champ qui oscille sinuoidalement.
On place une bobine (fixe pendant une mesure) de n spires qui a un angle θ avec l'axe $\vec{\mathbf{e_z}}$ On attends donc :

$$U = -\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N n S}{R} I_0 \omega \sin(\omega t) \cos(\theta)$$

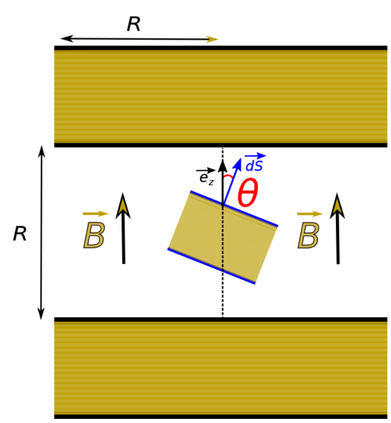

Figure 1 – *Schéma de l'expérience*

Quaranta IV, BUP 536
On relève la tension aux borne d'une résistance dans le circuit de production de champ (facultatif, on peut simplement mettre un ampèremètre).
On commence par étalonner le dispositif. Pour cela on utilise une alimentation stabilisé. On mesure B au teslamètre pour I variant de 0 à 5A. On a une pente qui correspond à la valeur expérimentale de :

$$cal = \frac{8}{5\sqrt{5}}\frac{\mu_0 N}{R}$$

On utilise un amplificateur (type P47.10). On allimente la bobine avec un courant alternatif de fréquence 100Hz et d'amplitude tel que le courant soit de l'ordre de $2A$ On relève se courant avec un ampèrmètre (attention ce qui est mesuré est la valeurs RMS).

On relève l'amplitude de la tension au niveau de la bobine du secondaire en fonction de l'angle θ (attention c'est encore une foir en RMS pour avoir l'amplitude on multiplie par $\sqrt{2}$). Il faut alors faire des mesure en θ et en $-\theta$ pour s'affranchir au première ordre des erreurs sur une mauvaise détermination du zéro.
On trace $U = f(\cos(\theta)$
On attend une pente de $\frac{8}{5\sqrt{5}}\frac{\mu_0 NnS}{R}I_0\omega = cal \times nSI_0\omega$. Avec $n = 500$ le nombre de spire de la bobine intérieur et $nS = 24.5 \times 10^{-2}\,\mathrm{m}^2$ On peut ainsi déduire la valeur expérimentale de nS
Pour montre que l'on dérive, on peut envoyé des rampes en entré et monter que (on a un créneau en sortie).
Attention cependant il faut prendre la tension au borne d'une résistance dans le primaire si on veux avoir une image de i si on prend directement la tension à la bobine d'entrée ca ne marche pas !

Matériel :
— 2 multimètres numériques
— Dispositif avec bobine tournantes p77.4
— Teslamètre
— Amplificateur de puissance
— GBF
— rhéostat

2 Auto inductance

Quand une bobine est parcourue par un courant variable, elle produit un champ magnétique variable. La bobine est alors parcouru par flux variable. On a donc une tension induite à ses borne. Nous traduisons cela par l'équation :

$$u_L = L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$$

C'est l'autoinduction. Mesure de l'auto inductance d'une bobine par la résonance d'un cicruite RLC.

Cicruit RLC sortie sur R :

$$H = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \quad \text{avec} \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{et} \quad Q = \frac{L}{\omega_0}R$$

On remarque que, pour $\omega = \omega_0$ on a $H = 1$ donc pas de déphasage entre l'entrée et la sortie. on peut donc repérer la résonance par la méthode de Lissajou. On peut le voir également en écrivant la phase :

$$\phi = -\arctan\left(Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right)$$

On relève alors pour plusieurs valeurs de capacités (mesurées au RLC mètre) la valeur de ω_0. On trace :

$$\omega_0^{-2} = f(C)$$

on en déduit L (prendre L de l'ordre de quelques millihenry).

On a $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.
Prendre un R petit permet d'avoir un meilleur facteur de qualité et une résonance plus piquée. **Matériel**
— boite de capacités
— Un bobine de $L \simeq 2mH$
— $R = 100\Omega$
— GBF
— Oscilloscope
— plaquette

On peut aussi utiliser un pont de Maxwell (Quaranta IV page 55). Celui ci a l'avantage de permettre de déterminer à la fois l'inductance de la bobine et sa résistance. Cependant c'est une mesure en un point. On peut alors faire une étude en fréquence ? C'est intéressant parce que c'est comme cela que marchait les vieux RLC mètre.

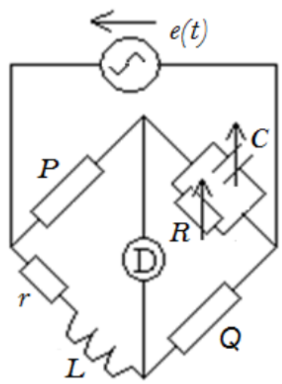

Figure 2 – *pont de Maxwell*

3 Inductance mutuelle : version stylé

On peut faire l'évolution de M en fonction de la distance ce utilisant le pont de maxwell :

Quaranta IV p.55 (et Mauras électromagnétisme pour la dépendance) On branche les deux bobine en helmoltz et en anti helmoltz. On mesure l'inductance à chaque fois par un pont de Maxwell. On en déduit :

$$L_{Helm} = L1 + L_2 + 2M \quad \text{et} \quad L_{antiH} = L1 + L_2 - 2M$$

On déduit donc M. On fait ca pour plusieurs distances. Il y a une loi empirique en d^{-3}
Envoyer 6V en alternatif, à 1kHz, au GBF, il faut ce qu'il faut pour voir qqch. Il faut des longs fils pour relier les bobines. A chaque mesure, on relève C et R qui annulent le mieux le signal en D. On a $L = PQC$, et on obtient la résistance de la bobine PQ/R. On trace L en fonction de $1/d^3$.

Matériel :
— 2 bobines 500 spires de mêmes tailles
— régle graduée longue
— Oscilloscope
— Boite à capa
— boite de résistance
— GBF
—

4 Ouverture : freinage par effet de Foucault

Chute d'un aimant dans un tube conducteur.

Conclusion

Nous avons montré divers phénomènes liés à l'induction. Nous avons mis en place des protocoles de mesure systématique d'inductance ou d'autoinductance. Les idées mis en place ici sont essentielles dans les technologies moderne. En effet, un transformateur utilise comme fondement l'induction mutuelle entre deux bobine par exemple.

5 Bonus : Induction mutuelle

Si on approche deux circuits comportant des bobines, alors les variation dans les temps du courant dans un des circuit engendre un champ $\vec{\mathbf{B}}$. Ceci se traduit par une flux variable dans la deuxième bobine.

$$\phi_{1\to 2} = M_{12} i_1 \quad \text{et} \quad \phi_{2\to 1} = M_{21} i_2 \qquad \text{On a} \qquad M_{12} = M - 21 = M$$

Ici on se propose de mesurer l'inductance mutuelle entre deux bobines imbriqué l'une dans l'autre.

Quaranta IV p277
On considère deux bobines imbriquées. On alimente la bobine extérieur (on mesure le courant qui la traverse via une résistance en série). On mesure la fem induite au borne de la bobine intérieur.
on envoie un triangle dans la bobine extérieur de fréquence f. On a donc une pente de $2I_0 f$ avec I_0 l'amplitude crête à crête du courant d'entrée (que l'on relie à la tension mesuré dans la premier circuit : $I_0 = U_0/R$. On a ainsi un créneau dans la bobine intérieur :

$$U_{int} = -M\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = \frac{2MU_0}{R} f$$

On fait une régression linaire de U_{int} en fonction de la fréquence

L'avantage de ce dispositif est que l'on sait que l'on a bien pris en compte tout le champ. Comparer la valeur de M au Ld'une bobine.

Je trouve que cette manipulation ressemble beaucoup trop à la première... On peut interpréter le facteur numérique dans l'expérience 1 comme une inductance mutuelle.