

Induction, auto-induction

Matériel

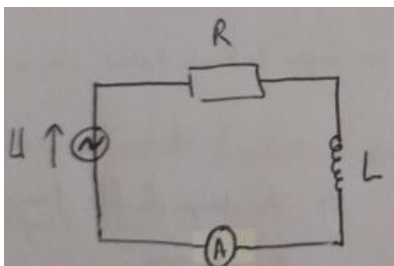
- GBF
- 2 multimètres
- résistance de $50\ \Omega$
- dispositif bobine sur support plastique (pour l'écrantage)
- bobine détectrice
- oscilloscope
- pied à coulisse
- tube en cuivre
- 2 capacités de $10\ \text{nF}$
- 2 bobines identiques d'inductance connue
- aimant

Introduction

Le phénomène d'induction est découvert par Faraday dans les années 1830. Il énonce alors la loi suivante $\mathcal{E} = - d\phi/dt$. Cette loi nous permet de comprendre macroscopiquement les phénomènes d'induction. Il nous faut attendre 30 ans pour que Maxwell énonce à son tour ses équations qui vont permettre de relier les causes et les conséquences microscopiques de l'électromagnétisme entre elles. Il s'agit de l'équation Maxwell-Faraday : $\vec{\text{rot}}(\vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$. Nous allons tenter de comprendre au cours de ce montage les différents phénomènes d'induction et auto-induction présents dans les systèmes étudiés.

Expérience introductive : on relie une bobine à un ampèremètre/un oscilloscope : observation du courant lorsqu'on éloigne/rapproche un aimant (pôle nord/pôle sud).

I Mesure d'une inductance propre



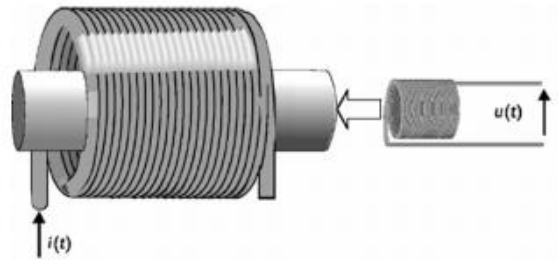
On a $\left(\frac{U_{eff}}{I_{eff}}\right)^2 = R^2 + L^2\omega^2$

Remarque : en réalité la bobine possède une résistance interne r (il faut remplacer R par $R + r$)

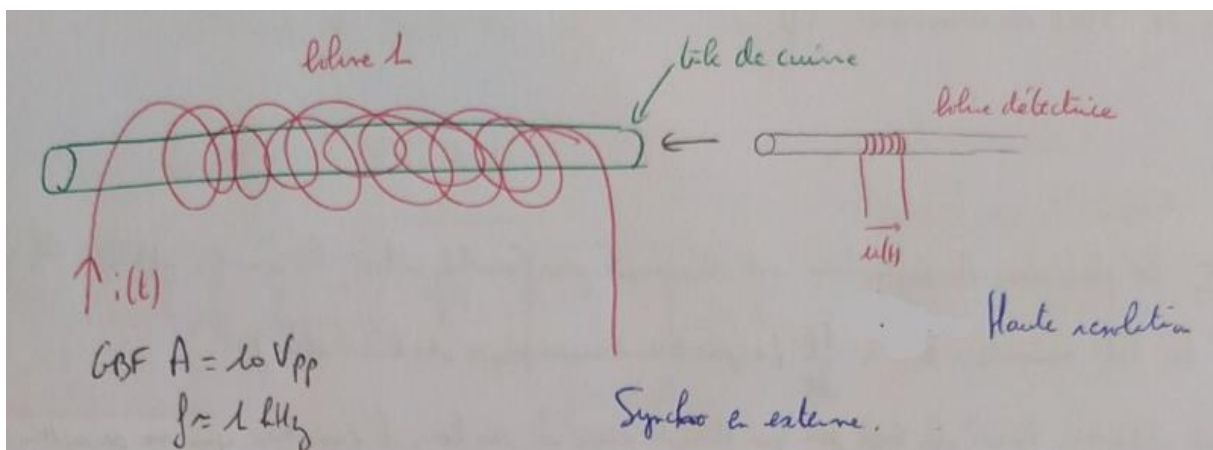
Pour différentes fréquences (de 100 Hz à 1 kHz), on mesure U_{eff} aux bornes de R et L , et I_{eff} avec un ampèremètre. On trace $\left(\frac{U_{eff}}{I_{eff}}\right)^2$ en fonction de ω^2 , on en déduit L et r .

II Écrantage d'un champ magnétique par courants de Foucault

Nous disposons d'une première bobine alimentée, traversée donc par un courant $i(t)$, d'une seconde bobine, qui va jouer le rôle de bobine détectrice et enfin d'un tube creux de cuivre.



En branchant la bobine détectrice à un oscilloscope, nous avons accès à sa tension, qui est image du champ magnétique \vec{B} présent au sein des bobines. Pour différentes fréquences, on mesure la tension efficace sans le tube de cuivre : on insère seulement la bobine détectrice dans la grande bobine parcourue par $i(t)$ et on relève U_{vide} . On introduit le tube creux de cuivre dans la grande bobine et on insère la bobine détectrice à l'intérieur, on relève la tension U_{tube} . On remarque que $U_{vide} > U_{tube}$. Le champ magnétique est plus faible avec le tube de cuivre. Il y a écrantage du champ \vec{B} .



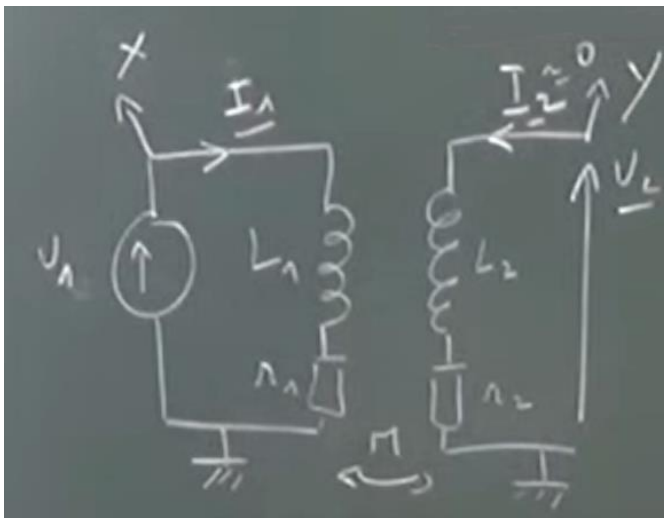
Lorsque la bobine 1 est alimentée, un champ magnétique est alors créé au sein de la bobine et est de la forme : $\vec{B}_0 = \mu_0 n i(t) \vec{e}_z$. On a $U_{vide} \propto B_0 = B_{ext}$. En mesurant U_{vide} on peut alors connaître la norme de \vec{B}_{ext} .

Lorsque l'on insère le tube métallique : le courant $i(t)$ est variable donc par Maxwell-Faraday, un champ électrique \vec{E} est induit, le tube de métal étant conducteur, par la loi d'Ohm locale, $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, un courant est induit (ici on peut le considérer surfacique), enfin à son tour, le courant surfacique va créer un champ magnétique \vec{B}_s opposé au champ \vec{B}_0 ($\vec{B}_s = \mu_0 \vec{j}_s \vec{e}_z$). On retrouve la loi de Lenz.

Ainsi, en mesurant U_{tube} , on a accès à la norme du champ $\vec{B}_{\text{int}} = \vec{B}_0 + \vec{B}_s$. Par calcul, on peut trouver la relation suivante : $U = \sqrt{\frac{U_{\text{vide}}^2 - U_{\text{tube}}^2}{U_{\text{tube}}^2}} = \mu_0 a e \sigma_{\text{Cu}} \pi f$, avec a le rayon du tube et e son épaisseur.

On trace U en fonction de f et on en déduit σ_{Cu} , la valeur tabulée est de $5,95 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$.

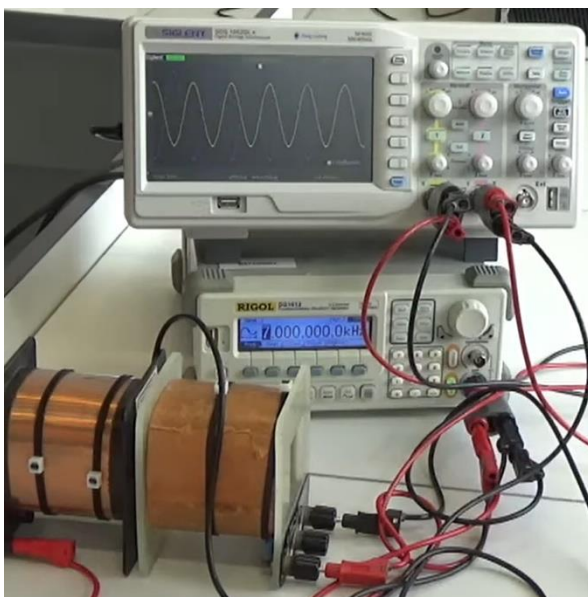
III Mesure d'une inductance mutuelle



La loi des mailles donne : $\underline{u}_1 = jL_1\omega I_1 + r_1 I_1 + jM\omega I_2$ et $\underline{u}_2 = jL_2\omega I_2 + r_2 I_2 + jM\omega I_1$

$I_2 = 0$ donc $\underline{u}_1 = jL_1\omega$ (on néglige r_1) et $\underline{u}_2 = jM\omega I_1$ (on néglige r_2)

$$\text{Donc } \left| \frac{u_2}{u_1} \right| = \frac{M}{L_1}$$

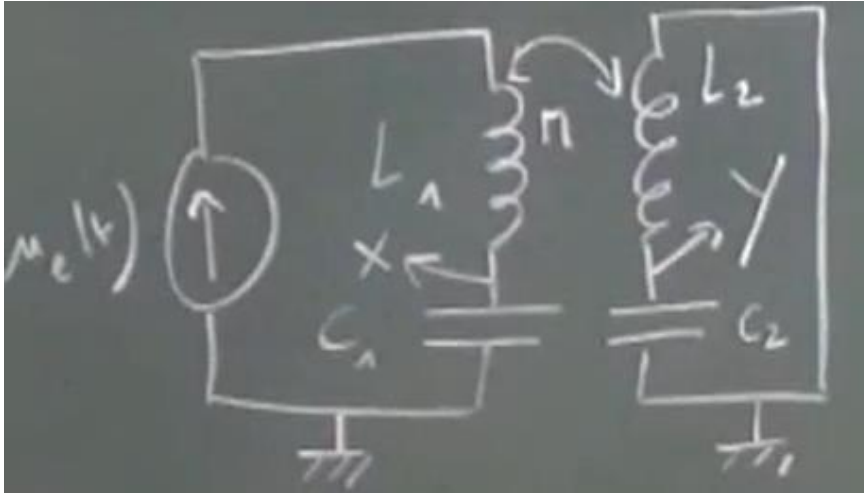


Le GBF alimente la 1^e bobine, la 2^e bobine est collée à la 1^e.

On mesure u_1 et u_2 à l'oscilloscope, connaissant L_1 on en déduit M .

Autre méthode : deux circuits LC couplés, observation de 2 résonances et d'une antirésonance (analogie avec le système de 3 ressorts + 2 masses)

$$\omega = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 \pm \frac{L}{M}}}, \text{ avec } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



On prend $C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$ et $L_1 = L_2 = 10,4 \text{ mH}$, $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{M}{L}$

On mesure à l'oscilloscope la période entre 2 maxima T_0 et la période des battements $T_{\text{batt}} > T_0$. On peut faire la TF à l'oscilloscope pour observer le spectre du signal, on peut ainsi mesurer les deux fréquences propres contenues dans le spectre des battements (pics : résonances, creux : antirésonance).

$k = \frac{T_0}{T_{\text{batt}}} = \frac{M}{L}$, connaissant L , on en déduit M .

Autre méthode : circuit RLC série + 2^e bobine couplée à la 1^e

Conclusion

Dans ce montage, nous avons mis en évidence l'induction grâce à différents systèmes.

Autre manip : capteur de position inductif LVDT (voir MP04)

Questions

- Choix de la plage de fréquence pour l'écrantage ?
➔ On choisit de manière à pouvoir négliger l'effet de peau.
- est ce qu'on peut aller à n'importe quelle fréquence pour l'étalonnage du capteur ?
➔ Non il ne faut pas aller à haute fréquence car vers 8 kHz on a l'effet capacitif de la bobine qui entre en jeu donc gain saturé.