

Induction magnétique - Loi de Lenz

But du TP :

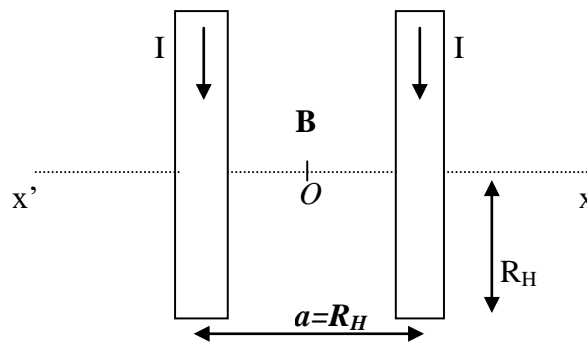
Ce TP a pour but l'étude la loi de Lenz, c'est-à-dire la force électromotrice induite par induction dans une petite bobine placée dans un champ magnétique variable. Pour créer ce champ, on utilisera une paire de deux bobines dans une disposition d'Helmholtz, c'est à dire espacées de telle manière que le champ magnétique axial est uniforme entre ces deux bobines.

Un courant électrique alternatif sera appliqué aux deux bobines d'Helmholtz, permettant de mettre en évidence le phénomène d'induction et d'en étudier les principales caractéristiques. Nous allons étudier la dépendance de la tension induite de la direction de champ magnétique, de courant et de la fréquence dans les bobines d'Helmholtz.

I/ Principe de la manipulation

Création d'un champ d'induction

On utilise un dispositif appelé "bobines de Helmholtz", conçu pour donner un champ pratiquement uniforme dans une petite région de l'espace (cf. TP magnétostatique) . Ce dispositif est formé de deux grandes bobines plates, de rayon R , ayant chacune N spires, de même axe $x'x$ et séparées d'une distance égale à leur rayon.



Ces bobines sont en série dans un circuit d'alimentation de façon que le courant I les parcourt dans le même sens.

C'est une petite bobine plate de rayon r , comportant n spires, que nous appellerons « bobine d'induction ». Son rayon r est suffisamment petit pour que l'induction B qui la traverse soit la même en tout point de sa surface.

Pour qu'une tension apparaisse aux bornes de la bobine, le flux ϕ doit varier au cours du temps. C'est le cas lorsque le module de \vec{B} varie entre les bobines d'Helmholtz, c'est à dire lorsque I varie. Soit

$$i(t) = I_0 \sqrt{2} \cos(2\pi \nu t) \quad (1)$$

où I_0 est la valeur efficace lue sur l'ampèremètre et ν la fréquence. Le flux traversant la bobine au temps t s'écrit :

$$\phi(t) = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{dS} = B(t) \cdot \pi r^2 \cdot n \cos(\theta), \quad (2)$$

où θ - j'angle entre l'axe des bobines d'Helmholtz et bobine d'induction de rayonne r , n c'est le nombre des spires de bobine d'induction.

$$B(t) = \frac{\mu_0 N i(t)}{R_H} \left(\frac{5}{4}\right)^{-\frac{3}{2}} \quad (3)$$

(voir TP magnétostatique de troisième semestre). Nous obtenons:

$$\phi(t) = kI_0\sqrt{2}n\pi r^2 \cos(\theta) \cos(2\pi\nu t), \quad (4)$$

où $k = \frac{\mu_0 N}{R_H} \left(\frac{5}{4}\right)^{-3/2}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ kg m A}^{-2} \text{ s}^{-2}$, R_H c'est un rayon des bobines d'Helmholtz.

La tension induite $e(t)$ est donnée par la loi de Lenz :

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \quad (5)$$

Elle est de la forme

$$e(t) = E\sqrt{2}\sin(2\pi\nu t), \quad (6)$$

donc également sinusoïdale et sa valeur efficace E lue sur le voltmètre a pour expression :

$$E = A\nu I_0 |\cos(\theta)|, \quad (7)$$

avec $A = 2\pi^2 n r^2 k$,

Donc E est proportionnelle au courant I_0 et à la fréquence ν , dépend de l'angle θ définissant l'orientation de la bobine par rapport au champ magnétique et présente avec le courant d'alimentation un déphasage de $\pi/2$.

En conclusion, la tension induite E :

1. est proportionnelle :
 - au courant I ayant traversé les bobines ;
 - à la fréquence ν qui traduit la rapidité avec laquelle varie $\phi(t)$;
 - dépend de l'angle θ définissant l'orientation de la bobine d'induction par rapport au champ magnétique ;
2. présente avec le courant d'alimentation I un déphasage de $\pi/2$.

II/ Partie expérimentale

Les paramètres du dispositif d'Helmholtz sont:

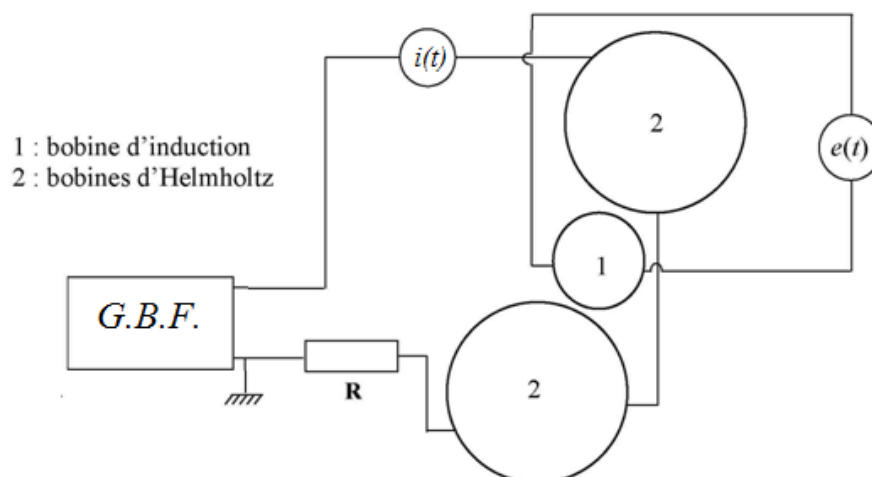
$N = 200$ spires, $R_H = 15\text{cm}$ (à Calais),.

$N = 154$ spires de rayon moyenne est $R_H = 20\text{cm}$ (à Dunkerque)

Les paramètres de bobine d'induction sont:

$n = 20$ spires (à Calais),

$n = 25$ (à Dunkerque)



Montage

- Le générateur basses fréquences GBF possède une sortie amplifiée en courant, ce qui est indispensable pour obtenir des courants suffisants pour alimenter les bobines.

- L'une des voies de l'oscilloscope est branchée aux bornes de R (de l'ordre de quelques Ω) et permet ainsi de visualiser le courant $i(t)$ d'alimentation qui est proportionnel au champ magnétique. Elle sert aussi à contrôler la qualité du signal.
- L'autre voie de l'oscilloscope est branchée aux bornes de la bobine d'induction, pour observer la tension induite $e(t)$ dont la valeur efficace E est mesurée au voltmètre digital (tension efficace) ou par oscilloscope (tension crête-à-crête, voir Annexe « Oscilloscope »)?

Ordres de grandeur : I est de l'ordre de 0,1 A; E de l'ordre de 10 mV.

Remarque : Vous utiliserez les multimètres de table (Keithley ou Metrix) pour les mesures de tension et de courant car leur bande passante est plus large (la bande passante des multimètres portables est généralement de 40 Hz à 500Hz , parfois 1kHz ce qui est insuffisant pour l'étude complète).

Manipulations

1. Mesurer la rayonne R_H des bobines d'Helmholtz. Comment cette rayonne est liée avec la distance entre les Bobines. Pourquoi?
2. Montrer que $e(t)$ est de la forme (6), donc également sinusoïdale, avec E sa valeur efficace (7) Trouver la valeur théorique de déphasage entre $\phi(t)$ et $e(t)$.
3. Calculer les valeurs numériques de k et A en unités SI (préciser les unités).
4. Réaliser le circuit de la figure précédente. Une voie de l'oscilloscope sera branchée aux bornes de la résistance R et la tension mesurée sera proportionnelle à $i(t)$; la deuxième voie est branchée aux bornes de la bobine d'exploration et permet d'observer la tension induite $e(t)$ (la valeur crête-à-crête) dont la valeur efficace E est mesurée au voltmètre. Régler le courant à 200mA (ou la valeur maximale, si la puissance de GBF n'est pas suffisante pour fournir 200mA) pour $\nu = 50\text{Hz}$. Observer et mesurer le déphasage entre $i(t)$ et $e(t)$, comparer avec la valeur théorique.
5. Mesurer la variation de E_{mes} avec θ ($\theta=0$ pour le flux maximal); Tracer $E_{mes} = f_{mes}(\cos \theta)$ (en faisant apparaître les rectangles d'incertitudes). Quel type de dépendance de θ nous obtenons (linéaire, sinusoïdale, quadratique, ...)? Tracer aussi la courbe théorique $E_{th} = f_{th}(\cos \theta)$ sur la même figure.
N.B. E peuvent être mesurés par un oscilloscope ou par un multimètre. Dans les équations ci-dessus les valeurs efficaces de tension et de courante étaient utilisées (voire annexe "Oscilloscope et applications").
6. La bobine étant placée au maximum de flux, et pour une fréquence de 300 Hz, nous varions le courant I (5 ou 6 mesures). Tracer la courbe $E_{mes} = f_{mes}(I)$ et porter sur le graphique le droit théorique $E_{th} = Av_0I$. Donner la conclusion prenant en compte les incertitudes.
7. Mesurer E pour des fréquences comprises entre 50Hz et 500Hz (5 à 6 points). On maintiendra I_0 à une valeur voisine de 100mA (ou la valeur maximale) et on s'assurera que pour les valeurs extrêmes, le courant peut être maintenu à cette valeur sans distorsion du signal (on le vérifie par un oscilloscope). Tracer $E_{mes} = f_{mes}(\nu)$ ainsi que la courbe théorique (7). Donner la conclusion prenant en compte les incertitudes.
8. Déduire à partir des mesures de E le rayon r de la bobine d'induction ainsi que l'incertitude sur Δr cette valeur. Correspondent ces valeurs aux valeurs mesurées par une règle?
9. À partir des résultats de vos mesures, tirer toutes les conclusions possibles.