Partie VII : Champ magnétique et induction
TP

TP 25 : Champ magnétique et mesures

Matériel (par groupe) : deux bobines (1300 spires), un noyau de fer, résistance $100\,\Omega$ et plaquette, GBF, oscilloscope, ordinateur avec carte d'acquisition.
Alimentation continue $30\,\mathrm{V}$-$3\,\mathrm{A}$, aiguille aimantée, un fil assez long.

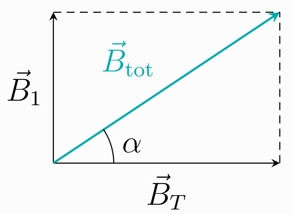
I Mesure du champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre est produit par des mouvements de convection dans le noyau liquide terrestre. Il est essentiel à la vie car il protège les êtres vivants des particules de haute-énergie émises depuis le Soleil.

1 - À l'aide des deux documents ci-dessous et du matériel à votre disposition (générateur de courant continu, un fil, et une aiguille de boussole), mettre au point et réaliser un protocole de mesure de l'intensité du champ magnétique terrestre.

(La mesure ne sera pas très précise et on s'intéresse surtout à l'ordre de grandeur.)

Document 1



Lorsqu'un champ magnétique $\vec{B}_1$ se superpose à un autre champ magnétique $\vec{B}_T$, le champ magnétique total est la somme vectorielle

$$\vec{B}_{\text{tot}} = \vec{B}_1 + \vec{B}_T\,.$$

Lorsque les deux champs sont perpendiculaires, l'angle α est relié à leur norme par :

$$\tan\alpha = \frac{B_1}{B_T}\,.$$

Si en plus l'angle α vaut 45°, alors les deux champs sont égaux en norme.

Document 2

Le champ magnétique produit par un fil rectiligne infini parcouru par un courant I est donné par :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}\,\vec{e}_\theta,$$

où d est la distance entre le point d'observation et le fil, $\mu_0 \simeq 4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{H\cdot m^{-1}}$, et $\vec{e}_\theta$ le vecteur des coordonnées cylindriques dont l'axe est le fil orienté par I.

Attention pour le branchement de l'alimentation de courant. Utiliser les bornes noire et rouge du milieu. Elles sont commandées par les deux boutons de droite : mettre le voltage à fond, et jouer sur celui du courant, qui peut alors varier entre 0 et $3\,\mathrm{A}$.

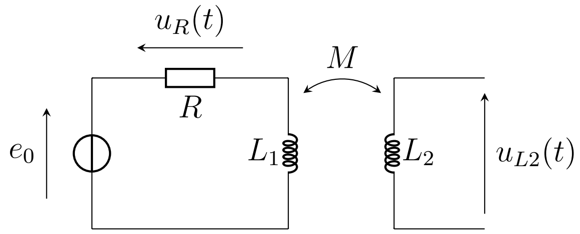
2 - Pour avoir une meilleure précision, on mettra en commun les résultats de toute la classe : en faire la moyenne, puis calculer l'incertitude-type (écart-type / $\sqrt{\text{nombre mesures}}$).

II Mesures d'inductance

II.1 Inductance mutuelle M

Voyons comment mesurer une inductance mutuelle M entre deux bobines. Nous reprenons l'exercice I du TD du chapitre 2, avec le montage ci-dessous. On a $u_R = Ri_1$ et $u_{L2} = M\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + \underbrace{L_2\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}}_{\text{nul}}$, donc :

$$u_{L2} = \frac{M}{R}\frac{\mathrm{d}u_R}{\mathrm{d}t}, \quad \text{soit en complexes :} \quad \boxed{\underline{u}_{L2} = \mathrm{j}\omega\frac{M}{R}\underline{u}_R.}$$



On prendra $R = 100\,\Omega$ et e_0 harmonique de fréquence $f = 1{,}0\,\mathrm{kHz}$.

3 - Réaliser le montage, observer u_R et u_{L2} à l'oscilloscope (attention pour u_R aux problèmes de masse, il faut placer R et L dans l'ordre adéquat qui n'est pas forcément celui du schéma).

Explorer différentes configurations des deux bobines.

4 - Déduire de la relation en complexes ci-dessus un moyen de mesurer le coefficient d'inductance mutuelle M.

Réaliser cette mesure dans une configuration où il est maximal.

5 - Comment va varier $|M|$ si on éloigne les bobines l'une de l'autre ? Si elles ne sont pas en face ? (répondre sans faire de mesure précise, juste des observations)

6 - Recommencer la mesure, cette fois en insérant dans les deux bobines un noyau de fer. Commenter.

II.2 Inductance propre L

On souhaite maintenant mesurer l'inductance propre de chacune des bobines. On utilise le même montage, mais uniquement la partie de gauche sur le schéma (donc sans la seconde bobine).
On exploite les relations $u_{L1} = L_1\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t}$ et $u_R = Ri_1$, ce qui donne $u_{L1} = \dfrac{L_1}{R}\dfrac{\mathrm{d}u_R}{\mathrm{d}t}$.

7 - Réaliser le montage.

Traduire la relation ci-dessus en complexes, et en déduire une méthode de mesure de l'inductance propre L_1.

Attention, vous allez rencontrer des problèmes de masses avec l'oscilloscope et il faudra peut-être utiliser autre chose...

8 - Influence du noyau : faire une mesure de L_1 pour la bobine seule, puis avec le noyau de fer, et comparer.

9 - Influence du nombre de spires : faire une mesure de L_1 avec toutes les spires, puis avec des nombres différents de spires. A-t-on L_1 proportionnel au nombre de spires ?

II.3 Coefficient de couplage

Pour deux circuits en interaction magnétique, on définit le coefficient de couplage $k = \dfrac{|M|}{\sqrt{L_1L_2}}$. On a montré en cours que $k \in [0{,}1]$, le couplage parfait étant pour $k = 1$.

10 - Avec les données précédentes, calculer k pour le couplage des deux bobines, sans et avec le noyau magnétique.