

MP15: Production et mesure de champs magnétiques

Armel JOUAN, Géraud DUPUY

June 6, 2021

Introduction

L'utilisation des champs magnétiques est particulièrement répandue dans les domaines industriels (machines tournantes, application de force à distance) et de la recherche avancée (accélérateurs de particules). Au laboratoire, des solutions simples s'offrent au chercheur pour produire un champ magnétique de faible intensité, et pour mesurer ces derniers. C'est ce que nous allons voir dans ce montage.

1 Caractérisation d'un électroaimant

Matériel

- Électro-aimant PHYWE avec entrefer à bords droits (champ le plus uniforme possible)
- Alimentation stabilisée Réf QJ3005X, PhE4.F.A13005.2
- Sonde à effet Hall "industrielle" HIRST MAGNETIC INSTRUMENT LTD + cage à zéro de champ
- 2 multimètres (voir notice pour les incertitudes)
- Pied à coulisse
- Potence, noix et pince

Mise en place

- Contrôler le courant en sortie de l'alim, veiller à ne pas dépasser 4 A.
- Si l'alim ne débite pas de courant, inverser les branchements sur l'entrefer (- sur noir et + sur rouge normalement).
- Bien serrer les fusibles de l'entrefer !

- Mesure de la largeur e de l'entrefer :
 - Coller les deux noyaux de fer, et mesurer, au pied à coulisse, la distance entre le bout du noyau de fer et la monture fixe.
 - Pour chaque e : mesurer la distance bout du ferro-monture
- Faire le zéro du capteur (capsule avec matériau à fort μ_r qui fait blindage contre les champs statiques) puis le placer au mieux au centre de l'entrefer à l'aide de la potence et de la pince.

Exploitation

On va chercher à vérifier la relation :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{e} \quad (1)$$

- Variation de B à I fixée ; pour deux valeurs de I :
 - Faire varier l'épaisseur
 - Tracer $B = f(\frac{1}{e})$
 - Mettre en évidence deux régimes : pour des valeurs intermédiaires, régime linéaire conforme à (1) (en préparation, on avait, pour $I = 3A$, cette zone de linéarité pour des valeurs de $1/e$ allant de $0,3$ à $0,7 \text{ mm}^{-1}$) ; pour des faibles valeurs de $\frac{1}{e}$ c'est-à-dire les grandes valeurs de e , la pente change.
- Variation de B à e fixée (de telle sorte à ce que la plaquette semi-conductrice qu'on utilise ensuite rentre):
 - Faire varier I entre 0 et $4 A$, relever B avec la sonde
 - Mettre en évidence deux régimes : pour des valeurs faibles, régime linéaire conforme à (1) ; des grandes valeurs d'intensité, phénomène de saturation [1].
 - Vérifier (1) avec les caractéristiques de l'entrefer pour la zone linéaire.

2 Capteur à effet Hall

La sonde que l'on a utilisée pour étalonner l'électro-aimant est un capteur de champ magnétique reposant sur l'effet Hall. On va chercher à caractériser le fonctionnement de ce capteur à l'aide de la plaquette. L'effet Hall repose sur l'apparition d'une tension (dite tension Hall et notée U_H) aux bornes d'un matériau semi-conducteur lorsqu'on expose ce matériau à un champ magnétique, et qu'on impose un courant i (différent du courant I de l'entrefer bien entendu) dans la direction transverse à celle où on mesure U_H . On peut alors montrer que dans le cas d'un semi-conducteur extrinsèque dopé, on a, aux faibles températures :

$$U_H = \frac{Bi}{nqd} \quad (2)$$

où n est la densité de porteurs de charge, q leur charge, et d l'épaisseur de la plaquette (troisième dimension : pas celle selon laquelle on applique i , ni celle selon laquelle on mesure U_H ; elle vaut 1 mm sur les plaquettes en pratique). On peut, grâce à la plaquette, retrouver cette loi, en déduire n et étudier la variation de U_H avec la température T de la plaquette.

2.1 Matériel

- Le même que pour la première manip.
- Plaquette semi-conductrice (dopée n) + son support de lecture "maison" + alimentation 12 V de lampe blanche (on alimente le support avec ça...)

Mise en place

- On positionne la plaque semi-conductrice dans l'entrefer de l'électroaimant étalonné (à l'écartement e pour lequel on vient de réaliser l'étalonnage donc)
- Régler le zéro de U_H dans un champ nul avec le potentiomètre de droite (cf [1] pour les explications)
- Faire varier le champ dans l'entrefer en pilotant I

Exploitation

- Pour de $i = 20$ (et éventuellement 40 mA), tracer $U_H = f(B)$. Penser à relever la température de la plaquette (on ne chauffe pas pour cette mesure)
- Faire un ajustement linéaire, juger de sa qualité
- (Vérifier le rapport de 1/2 entre les deux courbes conformément à (2))

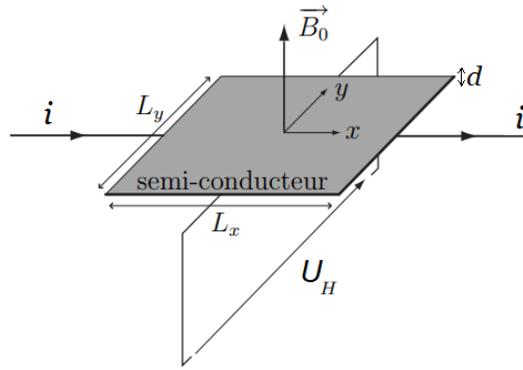


Schéma de la partie active de la sonde à effet Hall.

- Au besoin, en direct, si la température a changé, refaire une droite
- Déduire un ordre de grandeur de n (typiquement 10^{15} cm^{-3}) en prenant $d \sim 1 \text{ mm}$
- Discuter des inconvénients du capteur (cf [1])
- (Montrer la dépendance en température en traçant, pour B fixé, la valeur de U_H en fonction de T (bouton pression pour chauffer à l'arrière de la plaque ; ne pas dépasser 130°C , ce qui ferait fondre les soudures) : on met en évidence que le nombre de porteurs augmente avec T puisque U_H diminue.)

3 Création et caractérisation d'un champ tournant

On souhaite créer un champ magnétique tournant, à l'aide de deux bobines parcourues par un courant variable. Pour obtenir suffisamment de courant à l'entrée, on utilise les amplis de puissance à gain variable. Si l'on déphase les tensions d'excitation des bobines de $\pi/2$, on va obtenir des courants parcourant les bobines déphasés de $\pi/2$ entre eux. On peut alors choisir la même amplitude pour les deux courants, et disposer les bobines à 90° l'une de l'autre. Alors, le champ dans le plan contenant l'axe des deux bobines est :

$$\vec{B}_{tot}(t) = \vec{B}_1(t) + \vec{B}_2(t) = B_0(\cos(\omega t)\vec{e}_x + \sin(\omega t)\vec{e}_y) = B_0\vec{u}(t)$$

où $\vec{u}(t)$ est bien un vecteur tournant à la pulsation d'excitation des bobines.

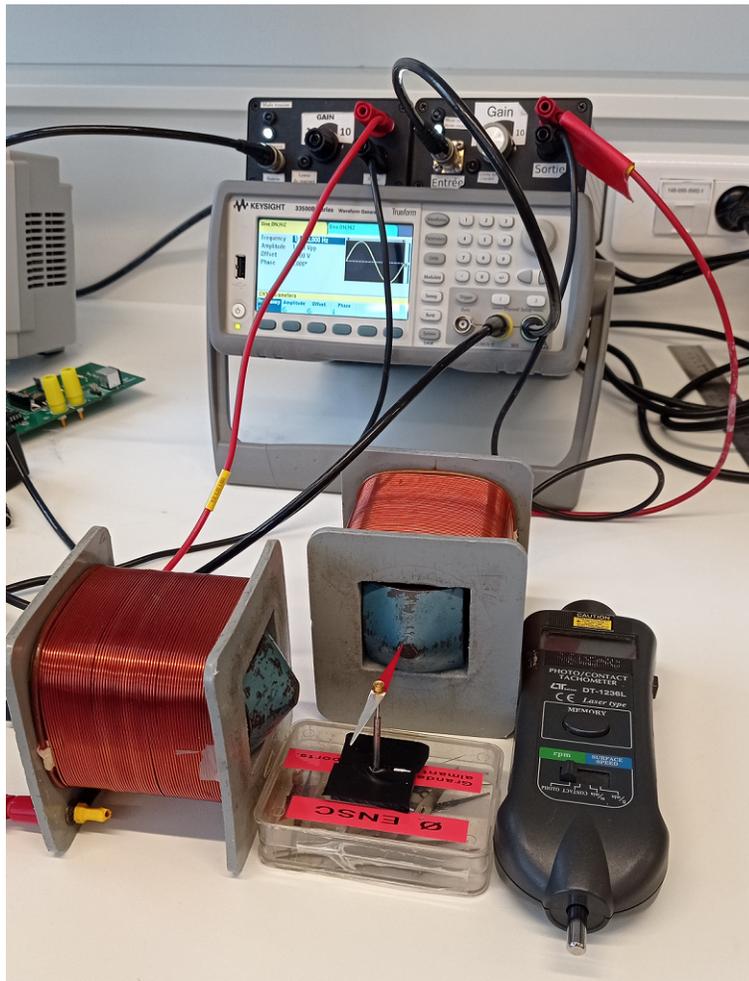
Matériel

- 2 bobines identiques de taille suffisante pour accueillir deux noyaux de fer doux
- 2 amplificateurs d'intensité

- 1 oscillo + 1 GBF 2 voies (permet de contrôler le déphasage)
- Carte mère et potentiomètre d'élec
- Flux-mètre (attention, la plupart sont à moitié pétés : vérifier les contacts)
- Filtre RC
- Boussole et son pic
- Tachymètre optique de faible diamètre de tache (PhG1.A.Tachy.4)

Mise en place

En entrée des deux bobines, signal à 10 Hz - 1 Vpp. Donner une pichenette à la boussole pour initier la rotation.



Exploitation

- Au fluxmètre, caractériser la fréquence du champ d'une bobine
- Au tachymètre, mettre en évidence que la vitesse de rotation est bien celle d'oscillation des champs. Mesurer au plus près du centre de rotation de la bobine (pointe plus large et donc détectée par le tachy)

Bibliographie

- 1 CR MP15 Romain R
- 2 Epreuve C 2008 et son corrigé (Effet Hall) :
http://b.louchart.free.fr/Documents/CE/01/Agregation/Agreg_ext_Physique_2008_C_Enonce.pdf
<http://agregation-physique.org/images/Annales/2008/cpp08.pdf>

Questions, Remarques

- C'est quoi du fer doux/dur ? Caractéristique (B,H), avec hystérésis pour le fer dur et relation linéaire pour le fer doux.
- Comment on réalise une zone à champ B nul ? Blindage avec matériau à fort μ_r .
- Pourquoi B diminue avec l'écartement de l'entrefer ? Lignes de champ qui s'écartent, et donc champ moins intense.
- C'est quoi une fuite de champ ?
- Quelle est la densité de porteur dans un semi conducteur intrinsèque ? $n_i \sim 10^{10} \text{cm}^{-3}$
- Ça veut dire quoi dopé n ?
- Ça ressemble à quoi la dernière manip ? Machine synchrone.
- Une machine synchrone ça tourne toujours à la fréquence du champ ? Comment je fais une machine synchrone avec trois bobines ?
- On a vu qu'une méthode de mesure de champ magnétique, comment en faire d'autre ? Magnétorésistance, fluxmètre, effet Zeeman.