

Production et mesure de champs magnétiques

Matériel

- solénoïde
- teslamètre axial
- alimentation stabilisée (jusqu'à 5A)
- alimentation stabilisée (jusqu'à 3A)
- multimètre
- oscilloscope
- électroaimant PHYWE
- teslamètre latéral + potence + noix
- ampèremètre
- pied à coulisse
- plaquette semi-conductrice + support de lecture « maison » + alimentation 12V de lampe blanche
- 2 bobines de taille suffisante pour accueillir un noyau de fer doux (+ 2 noyaux)
- 2 amplificateurs de puissance de GBF (PhES.B.PowAmp.7)
- GBF 2 voies
- carte mère et potentiomètre
- boussole et son pic
- fluxmètre

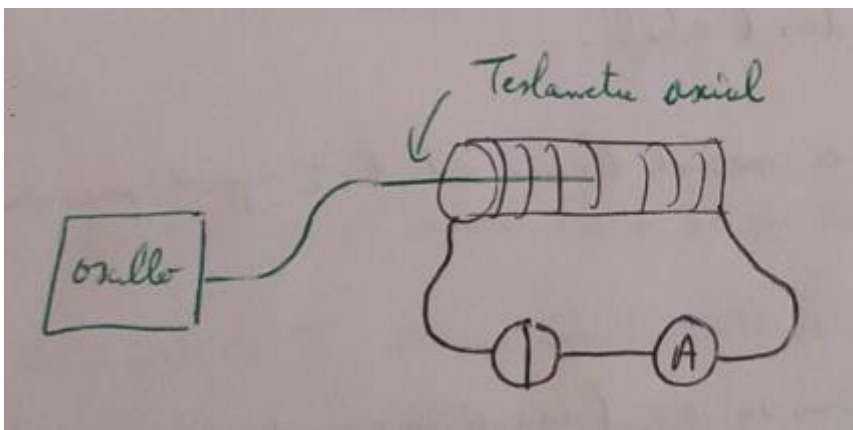
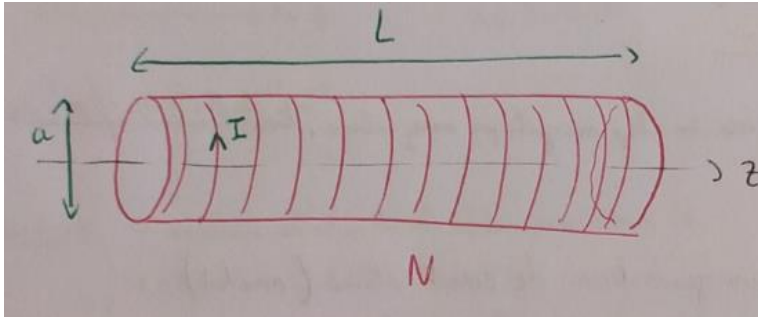
Introduction

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.

I Champ d'un solénoïde

Le champ magnétique produit par un solénoïde est donné par la relation : $B = \frac{\mu_0 N i}{l}$

On cherche à vérifier cette relation et à retrouver le nombre de spires du solénoïde. On mesure I et on augmente progressivement l'intensité. On mesure la tension à l'oscilloscope (« Meas », Type : DC RMS-Cyo), on sait que 0,1V correspond à 1 mT. On trace B en fonction de i et on en déduit N . On doit trouver $\frac{N}{l} = 800 \text{ spires} \cdot \text{m}^{-1}$.



II Étalonnage d'un électroaimant

On cherche à caractériser un dispositif qui crée un champ magnétique assez intense, très localisé spatialement et directionnel : l'électroaimant.

On alimente l'électroaimant avec un générateur de courant continu (max 4A, (Réf QJ3005X, PhE4.F.AI3005.2)). On utilise un teslamètre pour mesurer le champ dans l'entrefer (penser à faire le zéro du capteur dans la chambre à zéro de champ : Menu > Utility (faire Next) > Null > Reset). On mesure l'entrefer e grâce à un pied à coulisse en mesurant l'espace entre les deux supports puis au niveau des vis.

Remarque : le câblage de l'alimentation ne fonctionne que dans un sens.

A courant fixé, on trace B en fonction de $1/e$.

On observe deux régimes : régime linéaire pour des petites valeurs de e (on retrouve $B = \frac{\mu_0 N i}{e}$), une rupture de pente pour e assez grand, les lignes de champ ne sont plus canalisées.

On trace alors B en fonction de i pour e fixé.

III Principe d'un capteur à effet Hall

La sonde que utilisée pour étalonner l'électroaimant 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 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 : $U_H = \frac{BI}{nqd}$, n est la densité de porteurs de charge, q est leur charge, d est 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).

Remarque : avec du Ge, la dépendance en température de n est bien plus forte qu'avec du Si

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.

On repart d'un entrefer où on a étalonné pour différents courants I , et on y met la plaquette semi-conductrice. Attention à régler le zéro de U_H dans un champ nul avec le potentiomètre de droite (ce décalage au zéro est lié à une chute ohmique dans le matériau, car les contacts électriques pour lire la tension de Hall ne sont pas exactement en face à face. Ce décalage induit une part de chute ohmique dans U_H , qui dépend de la résistivité du semi-conducteur, et donc de sa température par exemple. Il faut donc refaire une série de mesure de la tension de chute si on change la température).

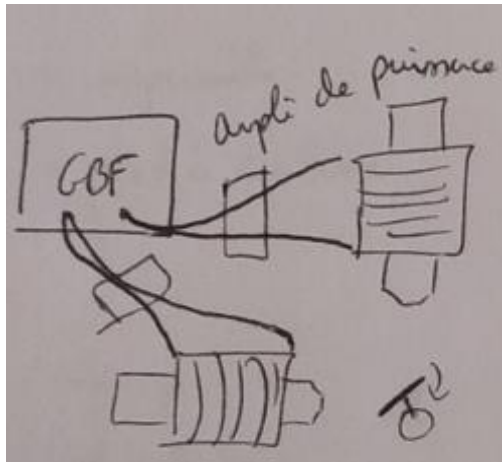
On trace U_H en fonction de B pour différents courants de Hall appliqués à la plaquette.

Le capteur à effet Hall est donc linéaire dans la plage de valeurs de B que l'on a au laboratoire classiquement, ce qui en fait un capteur de choix. Quelques inconvénients : il est nécessaire d'alimenter le capteur pour mesurer une tension de Hall : à courant nul, la tension est nulle quel que soit le champ ; il est nécessaire d'étalonner le capteur avant de l'utiliser en imposant une valeur nulle de tension Hall pour $B = 0$, les semi-conducteurs dopés sont des matériaux plus coûteux que le cuivre en pratique.

IV Création 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 $\frac{\pi}{2}$, on va obtenir des courants parcourant les bobines déphasés de $\frac{\pi}{2}$ 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 : $\vec{B}_{tot}(t) = \vec{B}_1(t) + \vec{B}_2(t) = B_0(\cos(\omega t) \vec{e}_x + \sin(\omega t) \vec{e}_y) = B_0 \vec{u}(t)$

On place les bobines à 90° l'une de l'autre, et on crée ainsi un champ tournant. Pour vérifier la présence de ce champ, on peut placer une boussole au centre : celle-ci se met alors à tourner sur elle-même après l'avoir lancée. Attention, l'inertie de la boussole ne permet de l'utiliser que pour des fréquences allant jusqu'à 20 Hz. Au-delà, elle ne suit plus. On choisit ici $f = 10$ Hz, $A = 500$ Vpp.



Conclusion

Dans ce montage, nous avons étudié différents dispositifs créant un champ magnétique et montré comment créer un champ tournant : il s'agit du fonctionnement de base d'une machine synchrone (en réalité il ne s'agit pas tout à fait d'une machine tournante car le matériau de la boussole est conducteur).

Questions

- Intérêt de produire un champ magnétique ?
 - ➔ Caractériser un matériau, machines tournantes...
- Pourquoi il y a saturation dans un ferromagnétique ?
 - ➔ Alignement de tous les moments magnétiques dans le même sens.
- Comment visualiser des lignes de champ ?
 - ➔ On peut utiliser de la limaille de fer
- Autre application des champs tournants ?
 - ➔ RMN
- Cage de Faraday ?
 - ➔ Protège des champs à haute fréquence car réflexion sur un métal. Ici, on veut plutôt se protéger d'un champ statique. Donc, c'est une boîte faite avec un matériau dont μ_r est très grand : les lignes de champs sont canalisées dedans, et au milieu B est nul.
- Pourquoi diodes sur l'électroaimant ?
 - ➔ Si on débranche d'un coup : boucles pour que le courant circule, type hacheur.
- Ordre de grandeur de n dans un semi-conducteur dopé, à basse température ? Ordre de grandeur de n pour Si ?
 - ➔ n entre 10^{14} et 10^{18} cm^{-3} , $n_{\text{intrinsèque}}$ vaut environ 10^{23} cm^{-3} , n_{Si} vaut environ 10^{10} cm^{-3} .