

MP15 : Production et mesure de champs magnétiques

Thomas Jalabert - Nicolas Fabre

Correcteur : JB Desmoulins

19 novembre 2015

Présentation

Intro :

- caractère vectoriel du champ magnétique, existence de pôles pour un aimant (les petites boussoles disposées entre deux plaques en plexiglas s'orientent suivant les lignes de champ d'un aimant lorsqu'on en pose un sur une plaque, et le champ boucle)
- lien avec courant électrique (Oersted 1821)
- ordres de grandeur (composante horizontale champ magnétique terrestre : $20 \mu\text{T}$, gros électroaimants : quelques dizaines de T, un fil infini parcouru par un courant de 1 A à 10 cm : $2 \mu\text{T}$)

I) Production de champs magnétiques

1) Champ tournant (champ faible)

Le but est de créer un champ tournant avec deux bobines disposées orthogonalement et en quadrature de phase (il n'y a pas de prise triphasée à St Maur le jour de l'agreg) :

$$B = B_0(\cos(\omega t)\vec{x} + \sin(\omega t)\vec{y})$$

Pour cela, synchroniser deux GBF et les placer en quadrature de phase. Choisir deux bobines identiques (il faut trouver un compromis entre résistance interne et nombre de spires) et y introduire deux barreaux de fer doux. Si l'intensité du champ magnétique produit n'est pas satisfaisante (quoi qu'il en soit n'espérez pas faire tourner une cage d'écureuil avec ça), il est possible d'utiliser deux montages "push pull" pour amplifier le courant.

Pour mettre en évidence le champ tournant, placer une aiguille aimantée et l'observer tourner. Puis, utiliser le teslamètre à deux sorties analogiques (B_x et B_z), et visualiser sur l'oscilloscope la quadrature de phase. Une mesure quantitative pour cette première partie peut être la fréquence de rotation du champ.

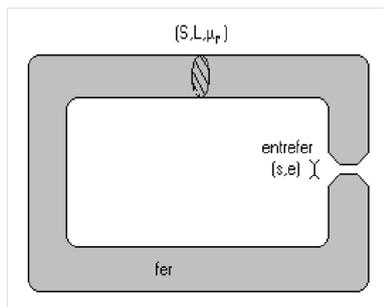
2) Électroaimant (champ fort)

A partir de la relation d'Hopkinson, on montre que : $B = \frac{\mu_0 NI}{e + \frac{Ls}{\mu_r S}}$

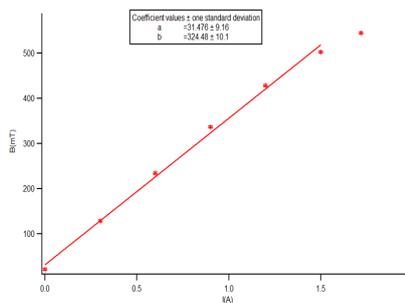
On peut parler du compromis homogénéité/intensité du champ magnétique dans l'entrefer en faisant des mesures de champ avec différentes pièces polaires (plate ou conique).

On peut étudier l'évolution de $B(I)$ à e fixé, et parler de la saturation du matériau magnétique (il n'est plus utile à courant fort ; on n'en utilise pas dans les bobines supraconductrices), et de la valeur non nulle de B en l'absence du courant (aimantation rémanente).

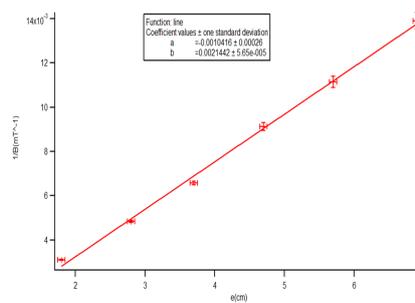
On peut étudier l'évolution de $\frac{1}{B}(e)$ à I fixé, et calculer la pente de la droite et la comparer à la valeur attendue. La valeur est plus faible, mais c'est normal à cause des fuites de lignes de champ dues à la permittivité relative non infinie du matériau magnétique.



(a) Circuit magnétique



(b) B(I)



(c) $\frac{1}{B}(e)$

II) Mesures de champs magnétiques

1) Champ magnétique terrestre (champ faible)

On utilise la relation : $\tan(i) = \frac{B_v}{B_H}$. Il faut que le nord soit perpendiculaire à l'axe de la spire. On mesure la composante horizontale du champ magnétique terrestre à un point de la terre donné, les incertitudes sont nombreuses (taille de l'aiguille, appareils électriques environnant, etc). L'incertitude sur l'angle est en $\frac{1}{\sin(i)^2}$, il faut donc travailler à des angles pas trop petits. On utilise de plus un inverseur bipolaire pour inverser le sens du champ magnétique de la spire et faire une moyenne. Dans ce cas, plus l'angle est grand plus les oscillations sont longues.

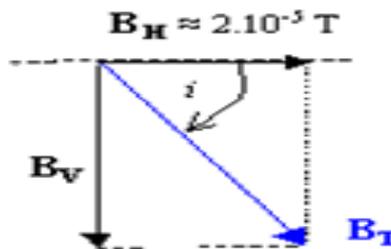
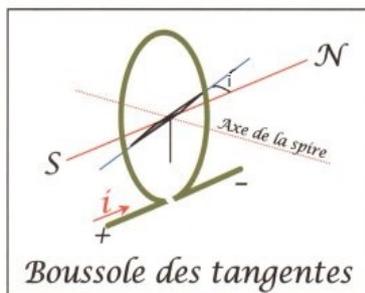
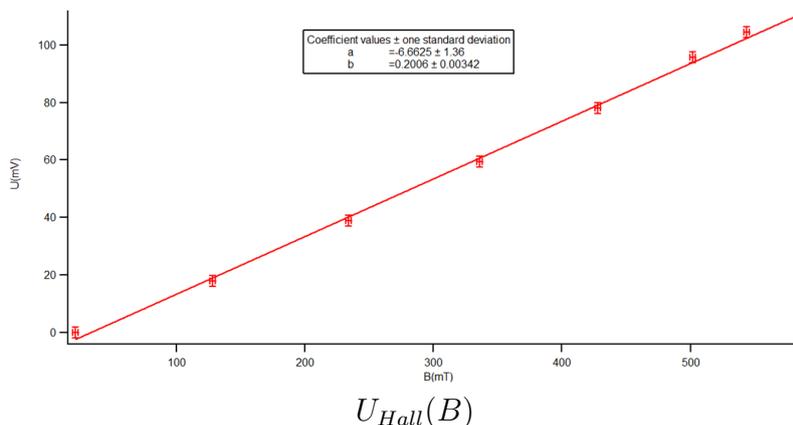


Schéma de principe

2) Sonde à effet Hall (champ fort)

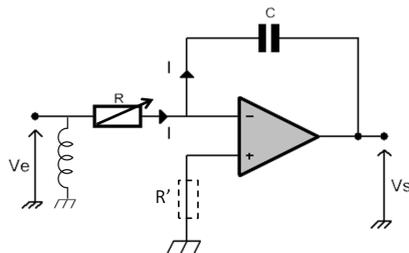
On reprend le montage de l'électroaimant qu'on utilise pour vérifier la linéarité de la tension de Hall en fonction du champ magnétique, et ainsi montrer qu'on peut étalonner un capteur de champ magnétique. Ceci explique le principe des teslamètres, mais repose sur leur fonctionnement (on en a utilisé un pour connaître le champ créé par l'électroaimant).



On peut en effet montrer que : $U_{Hall} = \frac{BI}{|e|nb}$ où e est la charge de l'électron, n la densité de porteurs de la plaque de germanium dopée n , b la dimension transversale de la plaque et I le courant la traversant. Avec le coefficient directeur, on peut estimer la densité de porteurs, et discuter sur le fait que cette valeur ($\approx 10^{19}m^{-3}$) est relativement faible pour un semi conducteur, et que c'est ce qui est recherché pour avoir une tension de Hall plus sensible aux variations de B .

3) Fluxmètre

Le schéma de fonctionnement du fluxmètre est le suivant :



La tension d'entrée est celle de la petite bobine (montage ENSC).

La plaquette à utiliser pour le câblage est celle qui permet d'ajuster la tension de décalage $V_+ - V_-$ (bouton offset).

La fonction de transfert : $V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$. Or $V_e = -N \frac{d\phi}{dt}$, où N est le nombre de spires de la bobine (50) et ϕ le flux magnétique la traversant.

Il est nécessaire de court-circuiter la capacité de temps en temps pour "réinitialiser" le capteur. En effet, une faible composante continue (dûe à la tension de décalage entre les deux entrées de l'AO) est intégrée et fait diverger la tension de sortie.

La capacité doit avoir une valeur assez élevée ($1\mu F$), et la résistance variable (boite à décades) permet d'ajuster le gain du capteur. En théorie il est nécessaire de réaliser une adaptation d'impédance sur la sortie non inverseuse ($R' \approx R$) afin de limiter la tension de sortie due aux courants de polarisation. En pratique, la précision de l'ajustement de la tension de décalage est moins bon que ce que pourrait induire une tension de polarisation.

** La réalisation de ce capteur sera appréciée par le jury mais il faut faire une mesure quantitative avec. Par exemple, on pourra l'étalonner avec un solénoïde et mesurer ensuite le champ créé par l'électroaimant, pour comparer la valeur à celle du teslamètre.

Questions du correcteur

- Qu'est ce qui limite B pour l'électroaimant ? La saturation du circuit magnétique (ce dernier se comporte alors comme l'air et ne sert plus qu'à alourdir le dispositif) et la valeur de courant maximal supportée par le circuit électrique.

- Qu'est ce qui perturbe la mesure du champ magnétique terrestre ? Les nombreux fils parcourus par des courants continus dans la salle.

Remarques du correcteur

- Pas d'intro avec des expériences historiques, les ordres de grandeur c'est bien mais les rattacher aux expériences qui suivent. Avec un aimant : bizarre (préciser la distance tesla-mètre/aimant)

- Commencer par l'électroaimant puis le champ tournant (du plus facile ou plus difficile)

- Attention, pour le champ tournant, c'est les courants et non les intensités qui doivent être en quadrature de phase. De plus, les bobines sont des dispositifs inductifs ET résistifs.

- Insister sur le compromis intensité/homogénéité du champ : changer les pièces polaires : les coniques concentrent dans une faible zone, les plates concentrent moins mais sur une zone plus large. Attention peut être à la reproductibilité après le démontage des pièces polaires.

- Éviter les bobines de Helmholtz (peu homogène et peu intense)

- Champ terrestre : insister sur le fait qu'on mesure la composante horizontale, à un endroit donné, avec des appareils électriques autour.

- Pour l'électroaimant : en continu, il apparait une aimantation rémanente en l'absence de courant. En revanche en courant alternatif, les cycles d'hystérésis convergent vers le point (0,0) du graphe B(H) lorsque le courant tend vers 0, il n'y a donc pas d'aimantation rémanente (ce serait une manière de désaimanter le circuit magnétique, ou un autre aimant).

- La valeur de densité de porteurs trouvée est cohérente pour un tel appareil (pour un transistor on a plutôt $n \approx 10^{23}$) mais pour un bon capteur on veut n faible.

- Fluxmètre : il faut comparer les dispositifs de mesure (effet hall et fluxmètre), ne pas se contenter d'une utilisation "qualitative" du fluxmètre.