

5 CREACIÓ DE CAMP MAGNÈTIC

Resum. En aquest treball s'estudia la creació de camp magnètic. En la primera part, s'analitza el camp creat per una bobina circular recorreguda per un corrent continu i el camp creat per dues bobines en la configuració de Helmholtz (separació igual al seu radi). En la segona part s'observen les línies del camp creat per un imant i es comprova la naturalesa dipolar del camp a distàncies suficientment grans. En la tercera part s'estudia el camp en l'entreferro d'un electroimant, l'objectiu és analitzar les dependències del camp amb la intensitat que circula per la bobina i amb la longitud de l'entreferro; també s'estudia l'homogeneïtat del camp en els punts fora de l'eix.

5.1 Fonament

5.1.1 Camp magnètic creat per unes bobines de Helmholtz

Una espira circular de radi R crea, en els punts del seu eix z , un camp magnètic de direcció axial B_z i de magnitud:

$$B_z = \frac{\mu_0 NI}{2R} \left(1 + \frac{z^2}{R^2}\right)^{-3/2} \quad (1)$$

En representar el camp en funció de z observem que, a una distància $z = R/2$ del centre, la funció $B_z(z)$ té un punt d'inflexió. Gràcies a això, si afegim una segona bobina igual a una distància $z = R$ de la primera es crea, en la regió central d'ambdues, un camp molt uniforme. Aquesta configuració es coneix com *bobines de Helmholtz* (separació igual al seu radi).

5.1.2 Camp magnètic creat per un imant

Es disposa d'un imant amb geometria cilíndrica, amb una imantació uniforme \vec{M} paral·lela al seu eix. El resultat de la imantació és un corrent superficial de magnetització en direcció azimutal amb una densitat

$$\vec{k}_m = M \vec{a}_\varphi \quad (2)$$

Així doncs, les línies del camp \vec{B} creat per l'imat són com les del camp \vec{B} creat per un solenoide amb aquesta geometria.

Per altra banda, el camp \vec{H} que crea l'imat es pot calcular d'una manera anàloga a com es calcularia un camp elèctric \vec{E} creat per unes carregues elèctriques fictícies situades a les bases del cilindre (els pols) amb densitats $\sigma_m = +M$ en una base (pol nord) i $\sigma_m = -M$ en l'altra (pol sud). En l'analogia entre els dos camps

$$\vec{H} = \epsilon_0 \vec{E} \quad (3)$$

Els camps \vec{B} i \vec{H} compleixen en cada punt la relació:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \quad (4)$$

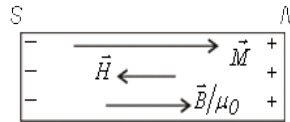


Figura 1.

A una distància suficientment gran el camp elèctric \vec{E} generat per les càrreges fictícies seria el d'un dipol elèctric. Com que en els punts exteriors no hi ha magnetització \vec{M}

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \quad (5)$$

i el camp magnètic de l'imant a distàncies grans pot considerar-se com el generat per un dipol magnètic anàleg al dipol elèctric. El moment magnètic, $\vec{m} = \vec{M} \cdot \text{volum}$ és la magnitud anàloga al moment dipolar \vec{p} i té la direcció de l'eix de l'imant que prenem com eix z. D'aquesta manera el camp \vec{B} del dipol magnètic té en coordenades esfèriques les components:

$$B_r = \frac{\mu_0 m \cos \theta}{2 \pi r^3} \quad (6)$$

$$B_\theta = \frac{\mu_0 m \sin \theta}{4 \pi r^3} \quad (7)$$

5.1.3 Electroimant

L'electroimant és un circuit magnètic constituït per un nucli de ferro dolç de permeabilitat magnètica relativa μ_r , longitud mitjana l_f i secció S_f amb un bobinat d' N espises i amb un entreferro de longitud x i secció S_e .

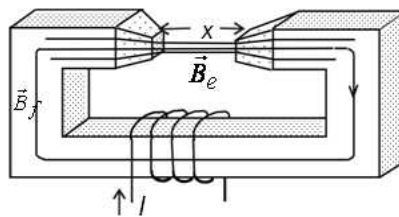


Figura 2.

El càlcul de l'expressió del camp magnètic a l'entreferro, B_e , es fa a partir del teorema d'Ampère considerant el següent:

- Els fluxos en el ferro Φ_f i en l'entreferro Φ_e són iguals ($\Phi_e = \Phi_f$) perquè les línies de camp són tancades i perquè el ferro les confina donada la seva elevada permeabilitat.
- No hi ha dispersió de flux: si la longitud de l'entreferro és petita en comparació amb el diàmetre de la seva secció, es pot suposar que les línies de camp \vec{B} a l'entreferro no surten fora d'un tub de secció constant S_e (aproximació: $\Phi_e = B_e \cdot S_e$).

Així, el camp magnètic a l'entreferro ve donat per:

$$B_e = \frac{N I}{\frac{l_f S_e}{\mu_0 \mu_r} + \frac{x}{\mu_0}} \quad (8)$$

on s'observa que B_e és proporcional a la intensitat I i $1/B_e$ és lineal amb la longitud de l'entreferro x .

5.2 *Dispositius experimentals*

5.2.1 **Bobines de Helmholtz**

- 2 bobines circulars en configuració de Helmholtz que es poden connectar individualment o en sèrie. Les bobines tenen 110 espires i un radi $R = 15$ cm.
- 1 mesurador de camp magnètic amb sonda Hall per a camps axials (la vareta s'ha de situar paral·lela al camp que es vol mesurar).
- 1 suport graduat per situar la sonda Hall a diverses localitzacions dins les bobines.
- 1 font d'alimentació DC per alimentar les bobines.
- 1 multímetre per mesurar la intensitat.
- 1 brúixola.

5.2.2 **Imant**

- 1 imant de radi 3 mm i longitud 1cm. Suport amb algunes línies de camp i dos regles.
- 1 mesurador de camp magnètic (el mateix que s'utilitza per les bobines).
- 1 brúixola.

5.2.3 **Electroimant**

- 1 electroimant.
- 1 font de corrent continu per alimentar-lo.
- 1 sonda de Hall molt petita per mesurar B_e als diferents punts.
- 1 multímetre per connectar-hi la sonda.
- 1 multímetre per mesurar la intensitat.

5.3 *Procediment experimental*

5.3.1 **Una bobina circular**

Situeu l'eix de les bobines perpendicularment a la direcció del camp magnètic terrestre per tal que les mesures de B_z no estiguin influïdes pel camp magnètic terrestre.

Connecteu la font d'alimentació a la primera bobina. Fixeu el corrent a 300 mA (caldrà assegurar-se, de tant en tant, que es mantingui). Situeu la sonda Hall sobre el suport graduat al centre de la bobina (la punta al centre $z = 0$ i la vareta paral·lela a l'eix z). Elegiu en el gaussímetre l'escala adequada i talleu el corrent, obrint el circuit, per ajustar el zero d'escala (caldrà assegurar-se, de tant en tant, que es mantingui).

Tanqueu el circuit i mesureu el camp magnètic sobre els punts de l'eix de la bobina: $z = -10 \rightarrow z = 18$ cm.

5.3.2 Bobines de Helmholtz

Connecteu les dues bobines en sèrie i també la font d'alimentació, fent-hi passar 300 mA. La connexió correcta de les bobines és aquella en la que, per un valor determinat d' I , el valor obtingut de B en $z = 7$ cm és el doble del que s'obté, en el mateix punt, quan el corrent circula només per una de les bobines.

Repetiu les mesures del camp magnètic al llarg de l'eix de les bobines $z = -10 \rightarrow z = 18$ cm.

5.3.3 Imant

Verifiqueu la representació de línies de camp resseguint-les amb la brúixola.

Agafeu el suport amb un imant i situeu el seu eix perpendicular al camp magnètic terrestre.

Mesureu el camp per $\theta = 0$ (només B_r) en funció de la distància r al centre de l'imat i des de $r = 1,5$ cm fins a $r = 5$ cm. Mesureu el camp per $\theta = \pi/2$ (només B_θ) en funció de la distància r al centre de l'imat i des de $r = 1,5$ cm fins a $r = 5$ cm.

5.3.4 Electroimant

Per mesurar el camp a l'entreferro es disposa d'una sonda Hall situada en un regle mòbil que permet de moure-la (no la desmunteu). Per mesurar el camp s'ha de situar la sonda (senyal vermell en el regle) en el punt de mesura escollit. El multímetre en posició «DC-V» serveix per mesurar la tensió de Hall (la lectura en volts V cal multiplicar-la per 0,080 per obtenir tesles T) (en acabar no desconnecteu la sonda del multímetre). Situeu la sonda fora de l'entreferro a la màxima distància del seu centre i apunteu la lectura del multímetre, els volts que mesureu constitueixen un error sistemàtic (*offset*) que caldrà restar a totes les lectures.

5.3.4.1 B_r funció d' I

Poseu la sonda al centre de l'entreferro. Amb un entreferro de 12 mm, mesureu primer el camp a l'eix amb una intensitat zero i després per a valors creixents de I , a intervals de 0,02 A, fins a 0,2 A.

5.3.4.2 B_r funció de la separació de l'entreferro x

Amb una intensitat de 0,2 A varieu l'entreferro des de 7 mm (longitud mínima) fins a 23 mm, a intervals de 2 mm (1 volta), mesurant el camp per a cada valor de x .

5.3.4.3 B_z funció de la distància r perpendicular a l'eix de l'entreferro

Amb un entreferro de 7 mm i una intensitat de 0,2 A desplaçeu la sonda Hall en la direcció perpendicular a l'eix de l'entreferro i mesureu el camp cada 3 mm. Feu unes 15 mesures.

5.4 Realització de l'informe

- (a) Representeu en una gràfica el camp magnètic creat per una bobina en funció de la posició sobre el seu eix $B_z(z)$.
- (b) Sobre la mateixa gràfica anterior, representeu el camp magnètic en funció de la posició al llarg de l'eix $B_z(z)$ per a les bobines de Helmholtz. Comproveu que aquesta gràfica experimental coincideix amb la de la suma dels camps creats per dues bobines idèntiques separades una distància igual al seu radi. (Cal suposar que la gràfica $B_z(z)$ corresponent a la segona bobina és idèntica a l'obtinguda experimentalment per la primera i fer $B_z(0) + B_z(14)$, $B_z(1) + B_z(13)$ i així successivament).
- (c) De l'apartat 5.3.3, representeu en una mateixa gràfica $1/B_r$ i $1/B_\theta$ en funció de r^3 i feu les dues regressions lineals. De cada pendent determineu m (equacions (6) i (7)) i calculeu M amb la mitjana. Representeu B_r en funció de B_θ i en la mateixa gràfica la recta $y = 2x$, per aquestes distàncies s'observa que $B_r = 2B_\theta$?
- (d) Calculeu \vec{H} al centre de l'imant fent l'analogia amb $\epsilon_0 \vec{E}$, calculant \vec{E} com el camp creat pels dos discs de càrrega en les bases del cilindre i amb densitats $\sigma_m = \pm M$. Calculeu el camp \vec{B} al centre de l'imant com $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$, recordeu que \vec{H} i \vec{M} tenen sentits oposats.
- (e) Representeu gràficament $B_e(I)$ de l'apartat 5.3.4.1,
- (f) Representeu gràficament $1/B_e(x)$ de l'apartat 5.3.4.2.
- (g) Si hi hagués dispersió de flux, com s'observaria en la gràfica $1/B_e(x)$?
- (h) Determineu la posició de l'eix de l'entreferro a partir de les dades obtingudes en l'apartat 5.3.4.3. Representeu la gràfica $B_e(r)$ i determineu la distància de l'eix on el camp és un 50% del valor a l'eix.