

Segulsvið í spólu, span og gagnspan

1 Inngangur

Tilraunin fjallar um fyrirbærin segulflæði og span og mælitækni sem nota má við mælingar á þessum stærðum. Nemendur vinna með flæðismæli og kortleggja segulsvið frá spólu með mælingum á spanspennu.

Lesefni

Benson: *U. Physics*, Kaflar 31-33

L. Kristjánsson: *Fylgikver um Eðlisfræði II*

Ohanian: *Physics*, kaflar 31-1, 31-2, 32-1 til 32-5

Resnick og Halliday: *Physics*, kafli 34

Marion og Hornyak: *Physics*, §33-1, §33-2, §34-1, §34-2, §35-2, §36-1, §36-2

2 Mælingar með flæðismæli

2.1 Segulflæði

Segulsvið $\mathbf{B}(x, y, z)$ er skilgreint í sérhverjum punkti (x, y, z) . Látum Ω vera flöt í rúminu og skilgreinum segulflæðið Φ um Ω sem flatarheildið

$$\Phi = \int_{\Omega} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}. \quad (1)$$

Gerum ráð fyrir að við höfum einsleitt segulsvið í stefnu x -áss, $\mathbf{B}(x, y, z) = (B_x, 0, 0)$, og í yz -sléttunni sé vör sem myndar einfalda lykkju með flatarmál A . Samkvæmt jöfnu (1) verður segulflæðið um vörlykkjuna

$$\Phi = AB_x. \quad (2)$$

Í lykkjunni spanast spennan $\mathcal{E}$, þegar segulflæðið um hana breytist. Stærð spennunnar er háð hve ört segulflæðið breytist með tíma

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

Þessi jafna lýsir *spanlög málinu*.

Spóla er leiðari sem vafinn er upp í N vafninga. Við skilgreinum *heildarsegulflæðið* um spólu, Ψ , sem summu flæðisins um alla vafninga hennar. Fyrir spólu með N vafninga og einsleitt segulsvið B_x hornrétt á flöt spólunnar verður heildarsegulflæðið

$$\Psi = N\Phi = NAB_x \quad (4)$$

þar sem Φ er segulflæðið inni í spólunni.

Ef heildarsegulflæðið um spóluna breytist, spanast í henni spennan $\mathcal{E}$ sbr. jöfnu (3). Vafningar spólunnar virka eins og raðtengdar rafhlöður og við fáum

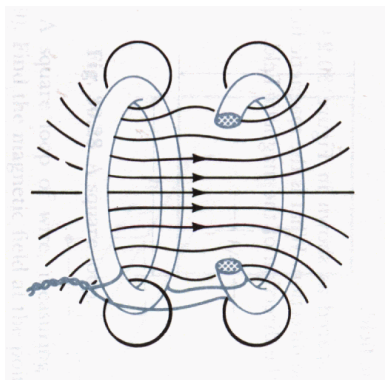
$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}. \quad (5)$$

2.2 Flæðismælir og Helmholtzspólur

Flæðismælir er tæki sem nemur breytingu á heildarsegulfæði um litla mælispólu. Mælirinn sýnir stærðina

$$\Delta\Psi = N\Delta\Phi \quad (6)$$

þar sem N er fjöldi vafninga og $\Delta\Phi$ er breyting á segulfæði um mælispóluna.



Mynd 1: *Helmholtzspóla er notuð til að fá einsleitt segulsvið. Hún er gerð úr tveimur spólum sem hafa radíus r og bilið milli þeirra er r .*

Í æfingunni er notuð tvöföld spóla af svonefndri Helmholtz gerð (sjá mynd 1). Straumur I_H fer um Helmholtz spólu myndar einsleitt segulsvið B_H á stóru svæði á milli spóluhlutanna. Samband B_H og I_H er

$$B_H = \gamma I_H \quad (7)$$

Fyrir þessa tilraun er stillt upp tveimur pörum af Helmholtzspólum og flæðismælum. Mesti straumur sem spólurnar þola til lengdar er 0.75A.

- Spóla og mælir frá RFL Industries. $\gamma_{RFL} = 21.62\text{Gauss/A}$.
- Spóla frá Magnetic Instrumentation. $\gamma_{MI} = 16.8\text{Gauss/A}$ og flæðismælir frá Lakeshore.

2.3 Kvörðun mælispólu með flæðismæli

Lítil mælispóla með $N_l = 5000$ vafninga og þverskurðarflatarmál A_l er tengd við flæðismælinn og nemur hún breytingar í segulfæði. Með mælingu á flæði í gegnum mælispóluna þegar hún er í þekktu einsleitru sviði má finna þverskurðarflatarmál spólunnar A_l , skv. jöfnu (4).

Aflsturinn af flæðismælinum er kvarðaður fyrir tilfellið $R_l \ll R_i$, þar sem R_l og R_i eru innri viðnám mælispólu og flæðismælis. Innra viðnám RFL mælisins er $R_i = 4000\Omega$, en innra viðnám Lakeshore mælisins $R_i = 100k\Omega$.

- Aðgætið hvort skilyrðinu $R_l \ll R_i$ er fullnægt.

Ef svo er ekki þarf að leiðrétta aflstur flæðismælisins með $\frac{R_i + R_l}{R_i}$ og við fáum

$$\Delta\Psi = \frac{R_i + R_l}{R_i} \Delta\Psi_{\text{aflstur}} \quad (8)$$

Tengið mælispóluna við flæðismælinn og Helmholtzspóluna við jafnstraumsgjafa.

- Stillið strauminn í $I_H = 0.75\text{ A}$ eða minna.

- Setjið mælisþóluna í miðja Helmholtzþóluna. Athugið að flæðið um mælisþóluna minnkar ef þverskurðarflötur hennar er ekki hornréttur á segulsviðið.
- Núllstillið flæðismælinn.
- Rjúfið jafnstrauminn í Helmholtzþólunni og lesið af flæðismælinum.

Endurtakið þetta mæliferli nokkrum sinnum fyrir tvö mismunandi gildi á I_H . Reiknið kennistærðina A_l og berið saman við beina mælingu á flatarmáli þólunnar.

- Notið flæðismælinn til að mæla segulsviðið í sterkum síseglum sem er tiltækur í tilraunastofu.

3 Segulsvið B , span L og gagnspan M

3.1 Segulsvið í spólu

Í þessum hluta rannsökuð við segulsvið umhverfis stóra en stutta spólu ($l \ll r$). Skoðum fyrst líkan af segulsviðinu eftir ás þólunnar.

Gerum ráð fyrir að N_s hringlaga vírlykkjur með radíus r og miðju í $(0,0,0)$ liggi í yz -planinu. Sýna má ¹ að segulsviðið eftir x -ás er

$$B_x(x, 0, 0) = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{N_s I \pi r^2}{(x^2 + r^2)^{3/2}} \quad B_y(x, 0, 0) = 0 \quad B_z(x, 0, 0) = 0 \quad (9)$$

þar sem I er straumurinn í vírunum.

Fá má breytilegt segulsvið umhverfis stóru þóluna með því að reka riðstraum gegnum hana. Ef straumurinn breytist sem sínusfall af tíma

$$I(t) = I_o \sin(2\pi ft) \quad (10)$$

þar sem I_o er seiling straumsins í þólunni og f er tíðni straumsins, verður segulsviðið eftir ás stóru þólunnar

$$B_x(t) = B_{x_o} \sin(2\pi ft) \quad (11)$$

þar sem

$$B_{x_o} = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{N_s I_o \pi r^2}{(x^2 + r^2)^{3/2}}.$$

Til mælinga á segulsviðinu má nota span í lítilli mælisþólu á hliðstæðan hátt og gert var í fyrri hluta tilraunarinnar. Ef N_l er fjöldi vafninga í mælisþólunni og A_l þverskurðarflatarmál, spanast í henni riðspennan

$$\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_o \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (12)$$

þar sem φ er fasamunur milli $\mathcal{E}(t)$ og $B_x(t)$ og

$$\mathcal{E}_o = N_l A_l B_{x_o} 2\pi f. \quad (13)$$

Straumur í einni spólu ($\# 1$) veldur segulflæði um aðra spólu ($\# 2$) í grenndinni. Sýna má að heildarsegulflæðið Ψ_2 um spólu 2, breytist í réttu hlufalli við I_1 . Gagnspansstuðull M_{21} frá spólu 1 til spólu 2 er skilgreindur sem

$$\Psi_2 = M_{21} I_1 \quad (14)$$

¹Sjá t.d. Benson bls. 598 eða Ohanian bls. 741.

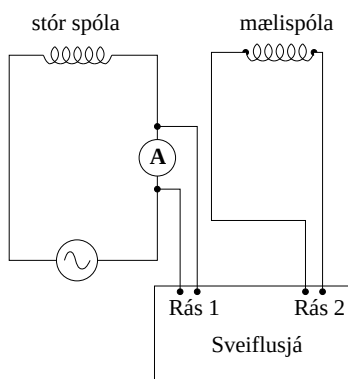
og á sama hátt má skilgreina gagnspansstuðul M_{12} frá spólu 2 til spólu 1. Sýna má að $M_{21} = M_{12}$.

Sjálfsþansstuðull spólu er skilgreindur á svipaðan hátt. Þegar straumur I fer um spólu myndar hún segulsvið B og því heildarsegulflæði Ψ_{11} um sjáfa sig. Það kemur í ljós að Ψ_{11} er í réttu hlutfalli við I og sjálfsþansstuðullinn L er gefinn með

$$\Psi_{11} = LI. \quad (15)$$

3.2 Mæling á segulsviðsstyrk

Tengið tækin eins og mynd 2 sýnir og stillið tíðni sveifflugjafans á um það bil $f = 10 \text{ kHz}$. Tengid sveiflusjána þannig að önnur rásin sýni strauminn í stóru spólunni en hin spennu í mælispólu. Þannig má skoða fasamun spennunnar $\mathcal{E}(t)$ og segulsviðsins $B(t)$.



Mynd 2: Mælirás fyrir sviðsstyrksmælingu.

Nú skal mæla spennunna á nokkrum stöðum umhverfis stóru spóluna.

- Skráið fjölda vafninga í stóru spólunni, N_s .
- Mælið útslag spennunnar yfir mælispóluna, $\mathcal{E}_o$, eftir ás stóru spólunnar.
- Mælið $\mathcal{E}_o$ út eftir radíus stóru spólunnar.
- Mælið φ , fasamuninn milli $\mathcal{E}(t)$ og $I(t)$ á nokkrum stöðum umhverfis stóru spóluna. Er fasamunurinn allsstaðar sá sami?
- Skráið spennufall yfir stóru spóluna og straum í spólunni til að meta sjálfsþansstuðul.

4 Úrvinnsla

Í vinnubók skulu eftirfarandi atriði koma fram.

- Kvörðun á spólu flæðismælis með óvissumörkum.
- Tafla sem lýsir samspili mælieininga á segulsviði og segulflæði í SI og cgs kerfinu.
- Mæling á segulsviði síseguls með flæðismæli.
- Samaburður á mældum gildum fyrir segulsvið eftir ás stórrar flatrar spólu og líkaninu sem jafna (9) lýsir.
- Útskýring á fasamuninum milli $\mathcal{E}(t)$ og $I(t)$, straumsins í stóru spólunni.
- Rissmynd af sviðslínunum umhverfis stóru spóluna.
- Heildarflæðið gegnum stóru spóluna.
- Sjálfsþansstuðull stóru spólunnar metinn af heildarflæði annarsvegar og spennufalli yfir spóluna hinsvegar.
- Gagnspansstuðull spólanna tveggja fyrir einfalda innbyrðis afstöðu.