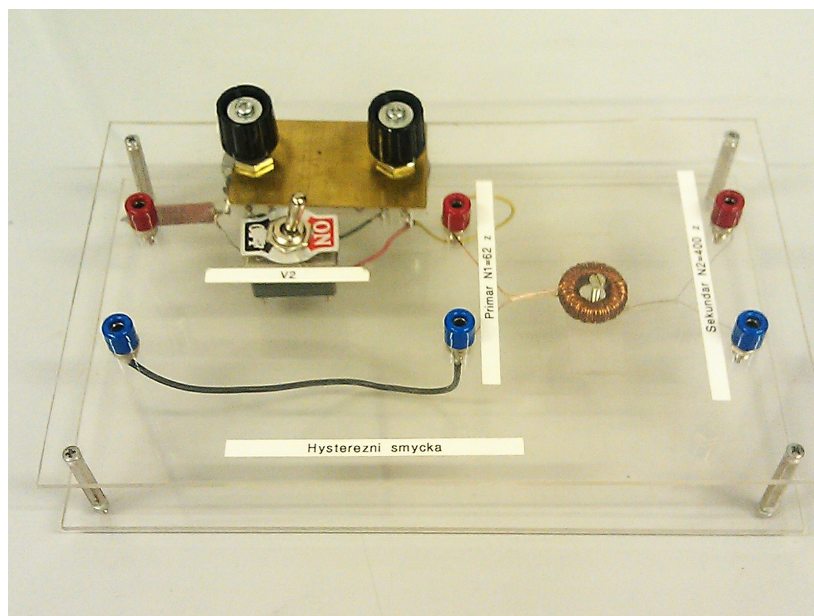


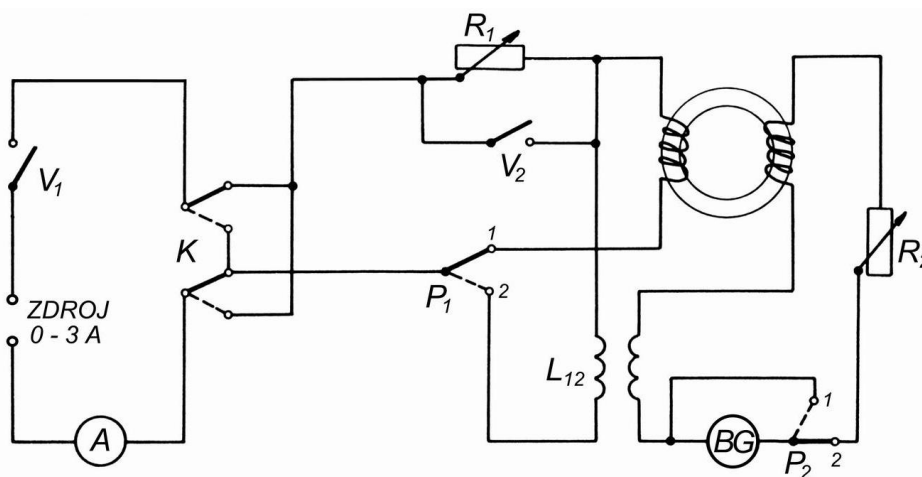
Úloha č.2: Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem



Pomůcky: Balistický galvanometr, odporová dekáda, aparatura s toroidem, vypínačem a odporem, 2 přepínače, 1 komutátor, digitální multimeter, stabilizovaný zdroj, normál vzájemné indukčnosti

1 Základní pojmy a vztahy

Hysterezní smyčka vyjadřuje závislost magnetické indukce B ve feromagnetiku na intenzitě magnetického pole H . Jedna z metod měření hysterezní smyčky je metoda využívající balistický galvanometr [1]. Schéma zapojení je na obrázku 1.



Obrázek 1: Schéma zapojení pro měření hysterezní smyčky

Měřený vzorek má tvar toroidu. Na něm je navinuta magnetizační cívka. Do cívky se zavádí proud, jenž budí potřebné magnetické pole H . Na vzorku je dále umístěna menší měrná cívka, která je zapojena do obvodu balistického galvanometru a pomocí níž se měří magnetická indukce B ve zkoumaném vzorku.

Použijeme-li hustě vynutěho toroidu, jsou magnetické siločáry v toroidu kružnice, které leží v rovinách kolmých k rotační ose toroidu a středy mají v ose toroidu. Intenzita magnetického pole má podél celé siločáry stejnou velikost. Je-li šířka toroidu mnohem menší než poloměr střední kružnice toroidu, je magnetické pole v průřezu přibližně homogenní a můžeme ho vypočítat podle vzorce

$$H = \frac{n_1 I}{2\pi r}, \quad (1)$$

kde n_1 je počet závitů (primární) magnetizační cívky, I je proud procházející magnetizační cívkou, r je poloměr střední kružnice toroidu.

Pro magnetickou indukci B ve vzorku platí vztah

$$B = \frac{\Phi}{n_2 S}, \quad (2)$$

kde Φ je magnetický tok procházející cívkou, n_2 je počet závitů měřené cívky a S je průřez měřené cívky [3].

Vzorek ve tvaru toroidu má tu výhodu, že celý magnetický tok vzbuzený magnetizační cívkou prochází také měřenou látkou. Nevznikají na ní tedy žádné póly a není třeba brát ohled na jejich demagnetizační vliv.

Změna magnetické indukce ΔB se tedy rovná

$$\Delta B = B_1 - B_2 = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{n_2 S}, \quad (3)$$

kde $\Phi_1 - \Phi_2$ zjistíme tímto způsobem:

Změní-li se magnetický tok za dobu dt o $d\Phi$, platí podle Faradayova zákona

$$-\frac{d\Phi}{dt} = u = Ri, \quad (4)$$

kde u , i jsou okamžité hodnoty indukovaného napětí, resp. proudu v měřené cívce, R je odpor vinutí v obvodu galvanometru.

Mění-li se indukční tok Φ v časovém intervalu od t_1 do t_2 od hodnoty Φ_1 do Φ_2 , dostaneme

$$\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = -R \int_{t_1}^{t_2} i dt, \quad (5)$$

čili

$$\Phi_1 - \Phi_2 = RQ, \quad (6)$$

kde $Q = \int_{t_1}^{t_2} i dt$ je celkový náboj prošlý balistickým galvanometrem.

Pro tento náboj známe vztah (viz. [2] rovnice (I,43))

$$Q = K_b \lambda s_1, \quad (7)$$

kde K_b je balistická konstanta, λ je činitel závislý na tlumení galvanometru (tedy i na odporu R), a s_1 je balistická výchylka galvanometru redukována na délku kruhového oblouku.

Pro změnu magnetické indukce tedy máme vztah

$$\Delta B = \frac{RK_b \lambda s_1}{n_2 S}. \quad (8)$$

Veličinu K_b můžeme určit pomocí normálu indukčnosti L_{12} . Komutujeme-li proud I_1 protékající primární cívkou normálu vzájemné indukčnosti, je před komutací indukční tok sekundární cívkou $\Phi_1 = L_{12} I_1$, a po komutaci $\Phi_2 = -L_{12} I_1$. Celková změna indukčního toku tedy činí $\Delta\Phi = 2L_{12} I_1$. Tato změna nakumuluje v galvanometru celkový náboj Q_1 . Pro něj platí obdobná rovnice jako v předcházejícím případě rovnice (6) a (7), tedy

$$2L_{12} I_1 = RQ_1, \quad (9)$$

$$Q_1 = K_b \lambda s_1^*, \quad (10)$$

kde R je odpor v obvodu s galvanometrem, s_1^* je balistická výchylka při tomto měření, $K_b \lambda$ je hledaný činitel.

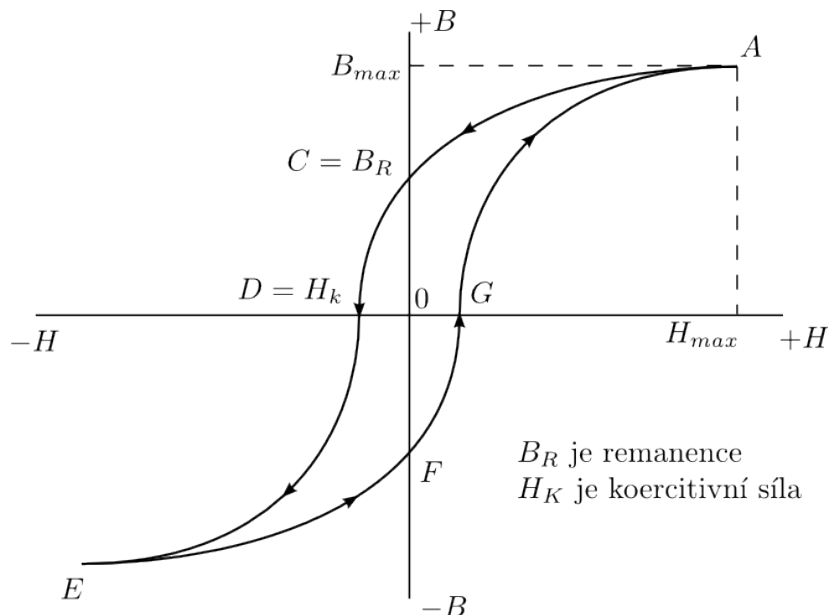
Máme tedy

$$RK_b \lambda = \frac{2L_{12} I_1}{s_1^*}. \quad (11)$$

Při proměřování hysterezní smyčky musíme dbát na správné pořadí změn proudu, aby hysterezní smyčka probíhala během celého měření stále ve stejném směru.

Zvolíme maximální hodnotu magnetizačního proudu I_{max} . Nejprve směr proudu v magnetizačním obvodu několikrát zkomutujeme (asi $5 \times$). Tím několikrát proběhneme hysterezní smyčkou. Nakonec necháme ferit zmagnetizovaný určitým směrem – např. komutátor sepnutý nahoru (bod A na obrázku 2). Potom velmi rychle zmenšíme.

Potom velmi rychle zmenšíme magnetizační proud z maximální hodnoty na nižší, vhodně zvolenou hodnotu. Výchylka balistického galvanometru, která přitom nastane, odpovídá příslušné změně magnetického toku, z níž můžeme určit hledanou změnu magnetické indukce (viz rovnice (3) a (8)). Podobně postupujeme dále, abychom dostali dostatečný počet bodů hledané hysterezní smyčky. Při všech těchto změnách, při nichž snižujeme hodnotu magnetizačního proudu z I_{max} na příslušnou hodnotu I , musíme pečlivě dbát na to, aby hodnota I_{max} byla vždy nastavena přesně stejně. Jinak bychom zjišťovali body příslušející hysterezní smyčce s jiným I_{max} , tedy body jiné křivky. Toho docílíme tak, že vždy po nastavení hodnoty I_{max} , je nutné opět komutováním několikrát proběhnout hysterezní smyčku s příslušnou maximální indukci B_{max} .



Obrázek 2: Hysterezní smyčka

2 Pracovní úkoly

1. Změřte hysterezní smyčku toroidu z dané feromagnetické látky a graficky ji znázorněte.
2. Určete koercitivní sílu H_K a remanenci B_R (viz [4] str. 53 - 57).
3. Diskutujte jak magnetické pole země ovlivňuje měření a zda-li je možné jej s danou aparaturou měřit.

3 Poznámky

1. Poloměr střední kružnice toroidu je $r = 17.1$ mm a je na něm navinuto $N_1 = 62$ závitů a $N_2 = 400$. Průřez vzorku je $S = 24.3$ mm².
2. Obvod pro měření hysterezní smyčky zapojte podle schématu na obrázku 1. Napětí na zdroji nastavte tak, aby se dalo pomocí proměnných rezistorů (R_1 je na aparatuře) dosáhnout proudového rozsahu od 15 do 600 mA. Jako odpor R_2 zapojte dekádu.
3. Při měření hysterezní smyčky je přepínač P_1 v poloze 1, při cejchování balistického galvanometru (měření veličiny $RK_b^{(\rho)}\lambda$) je přepínač P_1 v poloze 2
4. Pokud neodečítáte výchylku galvanometru, je přepínač P_2 v poloze 1 (galvanometr zkratován a rovněž maximálně tlumen). Před každým měřením balistické výchylky zapojte galvanometr do obvodu (přepínač P_2 do polohy 2) a odečtěte nulovou polohu světelné značky (musí být časově stabilní).
5. Maximální magnetizační proud I_{max} (zvolte 0.6 A) nastavte na začátku měření při zapnutém vypínači V_2 (odpor R_1 zkratován) a přepínači P_1 v poloze 1 (obvod s toroidem).
6. Odpor R_2 nastavte před začátkem měření na takovou hodnotu, aby při komutaci z hodnoty I_{max} na hodnotu $-I_{max}$ (v obvodu s toroidem – t.j. přepínač P_1 v poloze 1) světelná značka ukazující výchylku galvanometru byla ještě na stupnici.
7. Vypnutím vypínače V_2 zapněte do magnetizačního okruhu odpor R_1 a nastavte jím magnetizační proud na hodnotu požadovanou hodnotu I v rozsahu 15 až 600 mA. Pak V_2 opět zapněte. Magnetizační proud opět vzroste na I_{max} . Nyní pomocí komutátoru K magnetizační proud několikrát zkomutujte. Nakonec ponechte komutátor v původní poloze, např. sepnutý nahoru. Vzorek bude ve stavu naznačeném na obrázku 2 bodem A. Přepínačem P_2 zapojte galvanometr do sekundárního obvodu a odečtěte nulovou polohu galvanometru. Vypnutím vypínače V_2 proveďte okamžitou změnu magnetizačního proudu z I_{max} na I a odečtěte na galvanometru výchylku odpovídající příslušnému poklesu magnetické indukce ve zkoušeném vzorku. Tím obdržíte body hysterezní smyčky mezi body A a C na obrázku 2.

8. Bod C odpovídající poklesu magnetizačního proudu z I_{max} na nulu dostanete změřením balistické výchylky při vypnutí vypínače V_1 .
9. Při dalších měřeních je třeba přejít k proudům opačného směru. Přitom je však nutné vycházet od bodu A hysterezní smyčky. Magnetizační proud nastavte pomocí odporu R_1 (vypínač V_2 vypnut) na hodnoty v rozsahu 15 až 600 mA. Po mnohonásobné komutaci při uzavřeném vypínači V_2 ($I_{max} = 600$ mA) ponechte komutátor zapojený ve stejné poloze jako při předcházejícím měření (např. nahoře), zapněte balistický galvanometr a odečtěte jeho nulovou polohu. Pak vypněte vypínač V_2 a současně přepněte komutátor K dolů. Tím dostanete body hysterezní smyčky mezi body C , E .
10. Balistický galvanometr ocechujte pomocí normálu vzájemné indukčnosti, $L_{12} = 7.27$ mH. Cejchování proveďte takto: Přepínač P_1 zapněte do polohy 2 a při zkratovaném galvanometru (přepínač P_2 v poloze 1) nastavte proud na hodnotu I_1 . Potom zapněte galvanometr (přepínač P_2 v poloze 2), odečtěte jeho nulovou polohu a proud komutujte. Odečtěte výchylku s_1^* . Pak po ustálení nulové výchylky komutujte zpět. Dostanete přibližně stejnou výchylku s_1^{**} ; $s_1 = (s_1^* + s_1^{**})/2$. Veličinu $RK_b^{(\rho)}\lambda$, kterou tímto měřením určujete, vypočítejte podle vzorce (11). Proud I_1 volte tak, aby výchylky s_1^* , s_1^{**} zůstávaly na stupnici. Odpor R_2 nesmíte měnit, poněvadž veličina λ ze vzorce (11) závisí na odporu v obvodu galvanometru.

Reference

- [1] Brož a kol.: *Základy fyzikálních měření I*, SPN, Praha, 1983
- [2] Kol. katedry fyziky: *Fyzikální praktikum II*, skriptum, ČVUT, Praha, 1989
- [3] Petržílka, Šafrata: *Elektrina a magnetismus*, NČSAV, Praha, 1958
- [4] Brož: *Základy magnetických měření*, NČSAV, Praha, 1953