

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

Datum měření: 20.2.2011	Jméno: Jakub Kákona
Pracovní skupina: 2	Ročník a kroužek: Pa 9:30
Spolupracovníci:	Hodnocení:

Úloha č.2: Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem

Abstrakt

V této úloze jsme změřili stacionární hysterezní smyčku neznámého feromagnetika ve tvaru toroidu pomocí balistického galvanometru.

1 Úvod

Hystereze materiálu je vlastnost při které aktuální stav jeho měřených veličin závisí na jejich předchozím vývoji. Příkladem hystereze je například chování střídavě zatěžované reálné pružiny, ozubených kol v převodech nebo v našem případě závislost magnetické indukce látky na intenzitě vnějšího magnetického pole této cívky. Mění-li se vnější magnetické pole periodicky, dostáváme jako reakci závislost magnetické indukce v podobě hysterezní smyčky. Studium hysterezní smyčky feromagnetika je právě obsahem této úlohy.

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 .
3. Diskutujte jak magnetické pole země ovlivňuje měření a zda-li je možné jej s danou aparaturou měřit.

3 Pomůcky

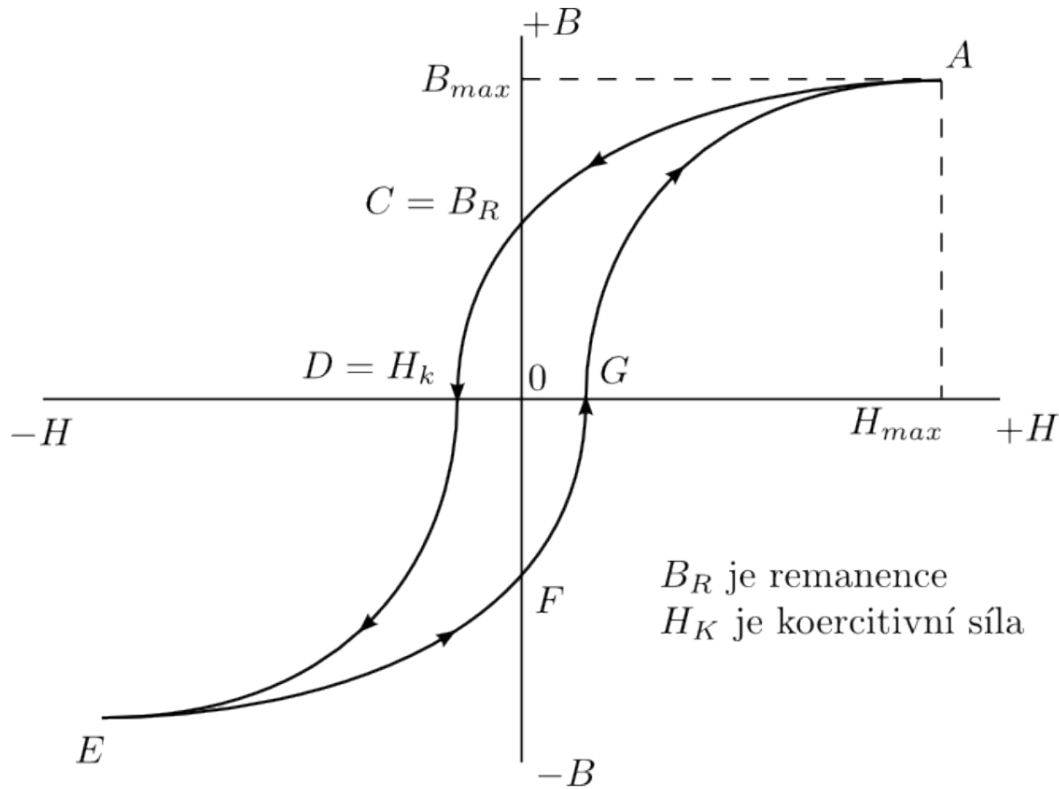
Balistický galvanometr, Odporová dekáda $0,1 \Omega - 100 \text{ k}\Omega$, feritový toroid s primárním a sekundárním vinutím, 1 vypínače, 2 přepínače, 1 komutátor, stolní ampérmetr, normál vzájemné indukčnosti, propojovací vodiče.

4 Základní pojmy a vztahy

4.1 Hysterezní smyčka

Předpokládaný tvar hysterezní smyčky je vidět na obrázku 4.1. Podstatné jsou některé důležité body hysterezní smyčky.

- **Remanence** B_r – Velikost zbytkové magnetické indukce, která v materiálu zůstane po vypnutí vnějšího magnetického pole, byl-li materiál předtím v bodě A hystereze feromagnetika. **Koercitivní sílu** H_K – intenzita vnějšího magnetického pole, při které dojde



Obrázek 1: Předpokládaný tvar hysterezní smyčky feromagnetika

4.2 Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem

Schéma experimentálního zapojení je na obrázku 4.2. Obvod byl napájen zdrojem stejnosměrného napětí přes vypínač a mechanický komutátor, který umožňoval rychlé prohození pólů napájení. Dále byl obvod rozdělen na dvě smyčky s indukčností, mezi kterými bylo možné přepínat přepínačem $P1$. Přepnutí přepínače do polohy 1 znamenalo zapojení toroidálního vzorku do obvodu; poloha 2 sloužila pro měření v referenčním obvodu s normálem vzájemné indukčnosti $L_{12} = 0,33mH$. Indukovaný náboj na sekundárním vinutí cívky toroidu, resp. indukčnosti L_{12} byl měřen balistickým galvanometrem.

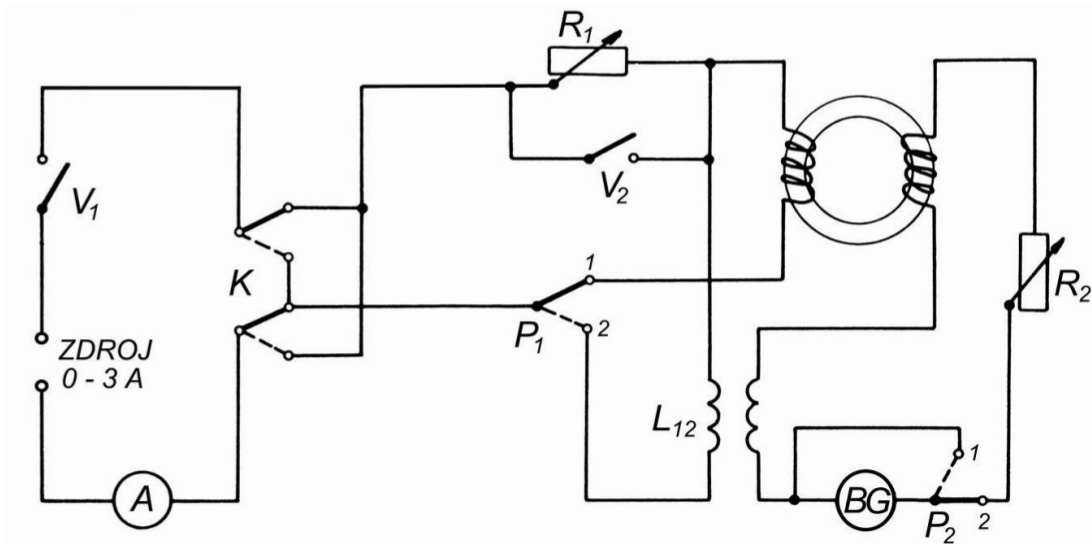
Protože měřený vzorek má tvar toroidu bez vzduchové mezery, lze dobře vypočítat intenzitu vnějšího magnetického pole buzeného primární cívkou.

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

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

Elektrický obvod reaguje na rychlou změnu magnetizačního proudu proudovým pulzem na sekundární cívce toroidu. Změna magnetické indukce vzorku je přitom přímo úměrná náboji, která proteče galvanometrem v měřícím obvodu. Tento náboj je možné měřit právě pomocí balistického galvanometru.

$$Q = K_b^{(\rho)} \lambda s_1, \quad (2)$$



Obrázek 2: Schéma zapojení měřící aparatury

kde $K_b^{(\rho)}$ je balistická konstanta, λ je činitel závislý na tlumení galvanometru (tedy i na odporu R), s_1 je balistická výchylka galvanometru. Závislost změny magnetické indukce na výchylce galvanometru je pak dán vztahem vl.

$$\Delta B = \frac{RK_b^{(\rho)} \lambda s_1}{n_2 S}. \quad (3)$$

Měření zkalibrujeme pomocí normálu indukčnosti L_{12} , kde kde komutujeme proud $I = 0.6A$. Pro neznámý koeficient $RK_b^{(\rho)} \lambda$ pak máme:

$$RK_b^{(\rho)} \lambda = \frac{2L_{12}I_1}{s_1^*}, \quad (4)$$

kde R je odpor v obvodu s galvanometrem, s_1^* je balistická výchylka při tomto měření, $K_b^{(\rho)}$, λ jsou hledané činitele.

Způsob měření balistickým galvanometrem umožňuje měřit pouze změnu magnetické indukce při změně vnějšího magnetického pole z bodu A do měřeného bodu; velikost magnetické indukce je tak určena až na aditivní konstantu. Tu ale můžeme určit z předpokladu, že hysterezní smyčka je symetrická vzhledem k počátku souřadnic.

4.3 Zobrazení hysterezní smyčky na osciloskopu

Princip měření hysterezní smyčky na osciloskopu s2 je velmi podobný jako při měření balistickým galvanometrem. Pouze změnu magnetizačního proudu obstarává generátor střídavého napětí; balistický galvanometr je pak nahrazen integračním RC obvodem. Vztah pro magnetickou indukci ve vzorku můžeme zapsat pomocí transformátorové rovnice

$$U_{2s} = 4fN_2SB_m, \quad (5)$$

kde f je kmitočet magnetovacího proudu, U_{2s} střední absolutní hodnota indukovaného střídavého napětí, které změříme voltmetrem V , a B_m maximální hodnota magnetické indukce ve vzorku, N_2 je počet závitů měřicí cívky, S je průřez závitů (vzorku).

Kalibrace osy magnetické indukce se provede podle vztahu

$$B_m = \frac{U_s}{4fSN_2}, \quad (6)$$

kde B_m je maximální hodnota magnetické indukce. 0.8s2Schéma zapojení při měření hysterezní na osciloskopu

5 Výsledky

Při měření balistickým galvanometrem jsme volili maximální proud o velikosti 0.6 A. Nejprve jsme pomocí normálu indukčnosti zkalibrovali naše měření. Celkově jsme určili

s [cm]	$RK_b^{(\rho)} \lambda$
20,77	$1,91 \cdot 10^{-5}$
21,36	$1,85 \cdot 10^{-5}$
20,77	$1,91 \cdot 10^{-5}$
21,46	$1,85 \cdot 10^{-5}$

Tabulka 1:

koeficient $RK_b^{(\rho)} \lambda = 1,88 \cdot 10^{-5}$.

Tuto kalibrační konstantu jsme použili pro zobrazení stacionární hysterezní smyčky h_s . Měřili jsme od bodu A do bodu E . Za předpokladu, že hysterezní smyčka je symetrická podle středu, jsme pro snazší orientaci vykreslili i spodní část hysterezní smyčky – jako „předpokládaná“ data.

0.8hsNaměřená stacionární hysterezní smyčka.

Z grafu ?? jsme odečetli remanenci a koeritivní sílu: $H_K = 17.3 Am^{-1}$

$B_r = 5mT$

6 Diskuse

6.1 Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem

Z grafu ?? je vidět, že po „vyzrcadlení“ má naměřená hysterezní křivka téměř dokonalý tvar. Lepší by však bylo, kdybychom změřili hysterezní křivku celou, včetně její spodní části. Balistický galvanometr se čas od času samovolně vychýlil ze své rovnovážné polohy, pravděpodobně kvůli vibracím v místnosti. Proto jsme měřili prováděli vždy bezprostředně po utlumení v rovnovážné poloze v momentě, kdy se výchylka balistického galvanometru nemění.

7 Závěr

Naměřili jsme stacionární hysterezní křivku od bodu A do bodu E . Určili jsme koercitivní sílu k_l a remanenci k_{kl} . Druhou část úlohy jsme z technických důvodů nezměřili.

Reference

- [1] <http://praktika.fjfi.cvut.cz/Mikrovlny> -Zadání úlohy