

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

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

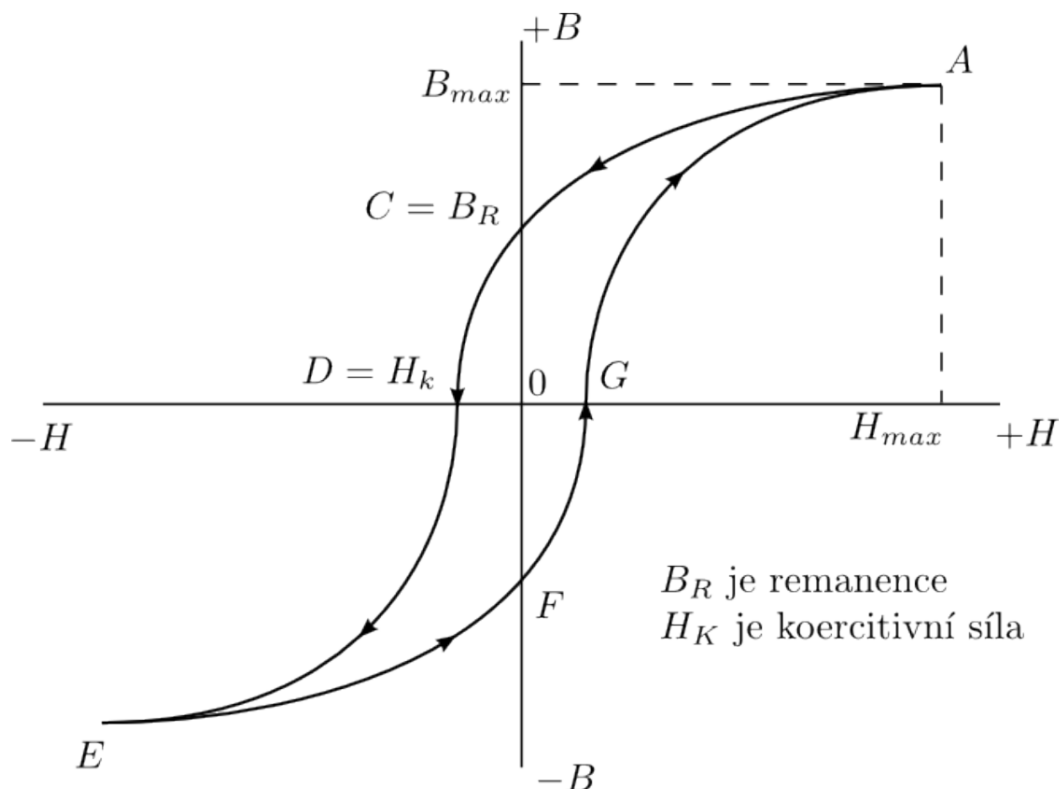
Balistický galvanometr, Odporová dekáda $0,1 \Omega - 100 \text{ k}\Omega$, feritový toroid s primárním a sekundárním vinutím, 1 vypínače, 2 přepínače, 1 komutátor, stolní ampérmetr, normál vzájemné indukčnosti, propojovací vodiče.

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 magnetické indukce, která v materiálu zůstane po vypnutí vnějšího magnetického pole, byl-li materiál předtím v bodě A.



Obrázek 1: Předpokládaný tvar hysterezní smyčky feromagnetika

- Koerzivní síla H_K – intenzita vnějšího magnetického pole, při které dojde k úplnému odmagnetování zkoumaného vzorku, byl-li předtím v bodě A .

4.2 Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem

Schéma experimentálního zapojení je na obrázku 5. Obvod byl napájen zdrojem stejnosměrného napětí přes vypínač a mechanický komutátor, který umožňoval relativně 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 $L_{12} = 7,27mH$. Indukovaný náboj na sekundárním vinutí cívky toroidu, resp. indukčnosti L_{12} byl měřen balistickým galvanometrem.

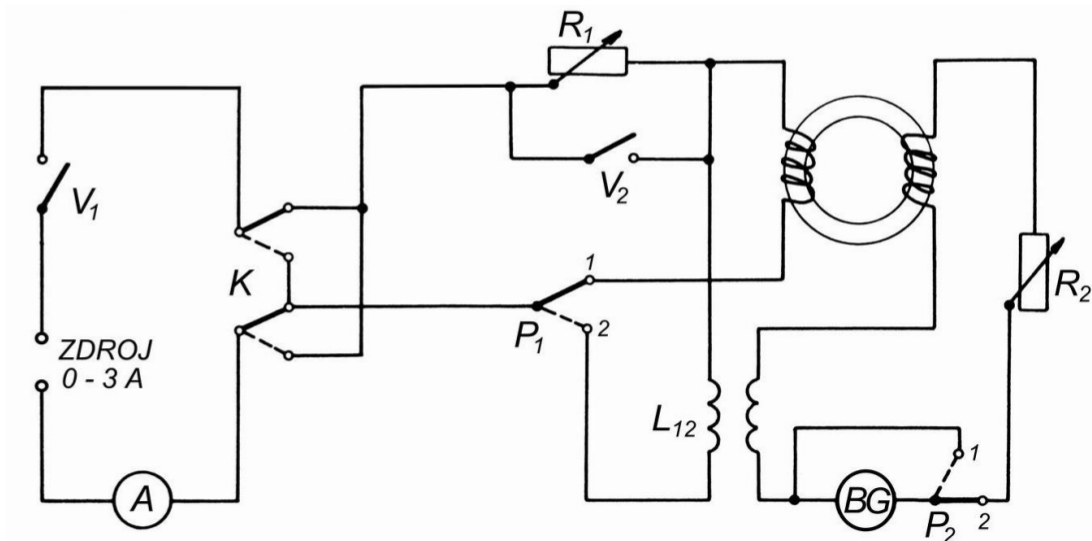
Protože měřený vzorek má tvar toroidu bez vzduchové mezery, lze dobře vypočítat intenzitu vnějšího magnetického pole buzeného primární cívkou.

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

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 číselný faktor závislý na tlumení galvanometru (tedy i na odporu R), s_1 je balistická výchylka galvanometru. Závislost změny magnetické indukce na výchylce galvanometru je pak dána vztahem.

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

Měření zkalibrujeme pomocí normálu indukčnosti L_{12} , kde komutujeme proud například $I = 0.6A$. 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 číselné faktory.

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 hysteretická smyčka je symetrická vzhledem k počátku souřadnic.

5 Výsledky

Při měření jsme volili maximální proud o velikosti 600 mA. Ovšem vzhledem k odporům spínačů a přechodových odporů kontaktů bylo problematické tento maximální proud udržet během měření konstantní.

Celkově jsme určili koeficient $RK_b^{(\rho)} \lambda = (5,35 \pm 0,26) \cdot 10^{-4}$.

Tuto kalibrační konstantu jsme použili pro výpočet a následné zobrazení stacionární hysteretické smyčky.

Remanenci $B_r = (0,27 \pm 0,04)mT$ jsme určili vypnutím napájení obvodu, při nastaveném magnetizačním proudu $I=600$ mA.

s [cm]	$RK_b^{(\rho)} \lambda$
8,2	$5,16 \cdot 10^{-4}$
8,4	$5,04 \cdot 10^{-4}$
8,3	$5,10 \cdot 10^{-4}$
8	$5,29 \cdot 10^{-4}$
7,8	$5,42 \cdot 10^{-4}$
7,9	$5,36 \cdot 10^{-4}$
8,3	$5,10 \cdot 10^{-4}$
7,7	$5,49 \cdot 10^{-4}$
7,4	$5,72 \cdot 10^{-4}$
7,3	$5,80 \cdot 10^{-4}$

Tabulka 1:

Z grafu jsme pak přibližně odečetli koercitivní sílu: $H_K = 10.1 Am^{-1}$, hodnota však má nízkou přesnost neboť se nepodařilo aparaturou získat dostatečný počet hodnot, při magnetické indukci blízké nule.

$$N_2 = 400$$

$$N_1 = 62$$

6 Diskuse

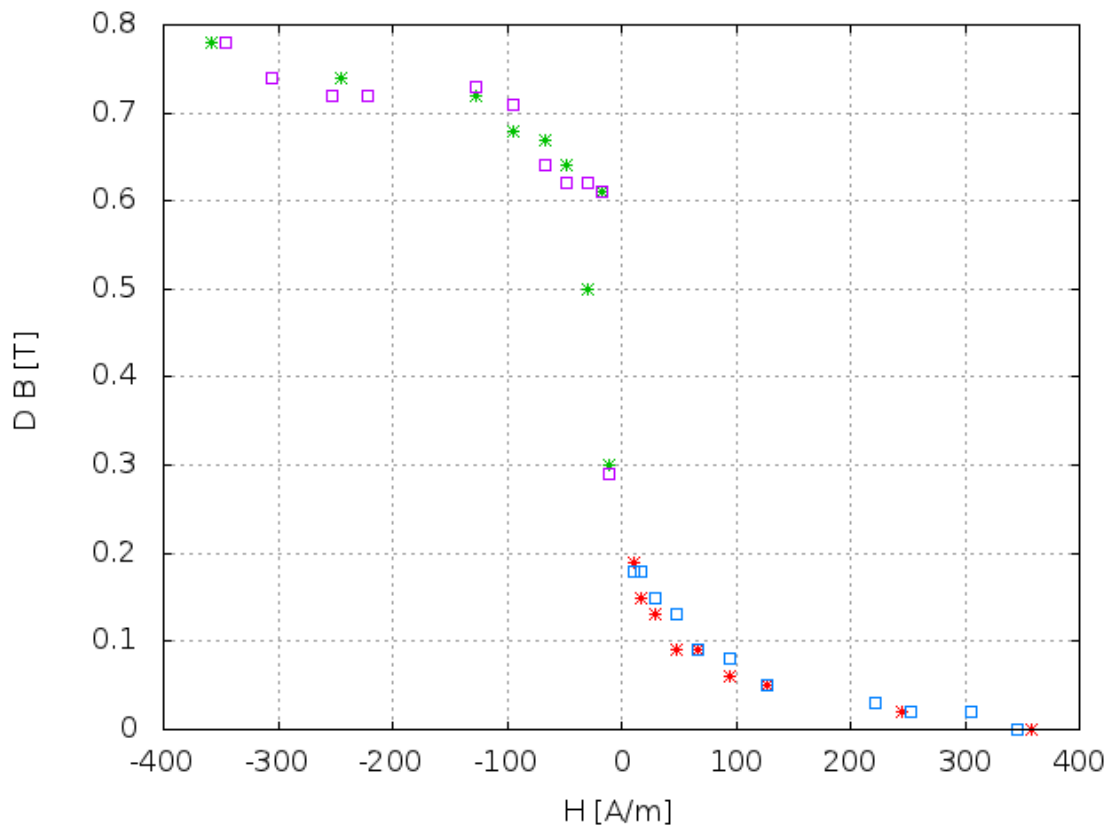
1. Měření bodů hysterezní křivky nebylo příliš přesné, neboť docházelo často k falešné výchylce balistického galvanometru pravděpodobně vlivem vybrací. Přesnější měření by tedy bylo vhodné provádět v klidnějších podmínkách. Další nepřesnosti byly způsobeny pravděpodobně přechodovými odpory ve spínačích a nejspíše také příliš pomalým přepínáním magnetizačních proudů.
2. Magnetickou remanenci $B_r = (0,27 \pm 0,04)mT$ se nám podařilo určit z balistické výchylky galvanometru při vypnutí magnetizačního proudu. Problematické je ale určení koercitivní síly $H_K = 10.1 Am^{-1}$, ke kterému jsme nezískali dostatečný počet bodů.
3. Vzhledem k tomu, že měřený toroid je kruhově symetrický, tak magnetické pole může měření ovlivnit pouze tím, že posune bod nasycení feritu. Ale protože je magnetické pole svojí intenzitou zanedbatelné vůči magnetickému toku v toroidu, tak je tento vliv zanedbatelný a s danou aparaturou jej určitě nelze měřit. Jiný případ by nastal, kdyby vybuzené magnetické pole v toroidu nemělo kruhovou symetrii. V tom případě by bylo uspořádání podobné fluxgate magnetometru, který patří mezi velice citlivé přístroje měřící vnější magnetická pole.

7 Závěr

Naměřili jsme stacionární hysterezní křivku od bodu A do bodu E i její symetrickou část, Naměřené výsledky graficky znázornili. A určili jsme koercitivní sílu a remanenci testovaného feromagnetika.

Reference

- [1] <http://praktikum.fjfi.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=191> -Zadání úlohy



Obrázek 3: Naměřená hysterezní smyčka - stejný tvar značek odpovídá jedné křivce

[2] http://www.mlab.cz/Designs/Measuring_instruments/Fluxgate_magnetometer/DOC/fluxgate.pdf – Bak