

# 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.

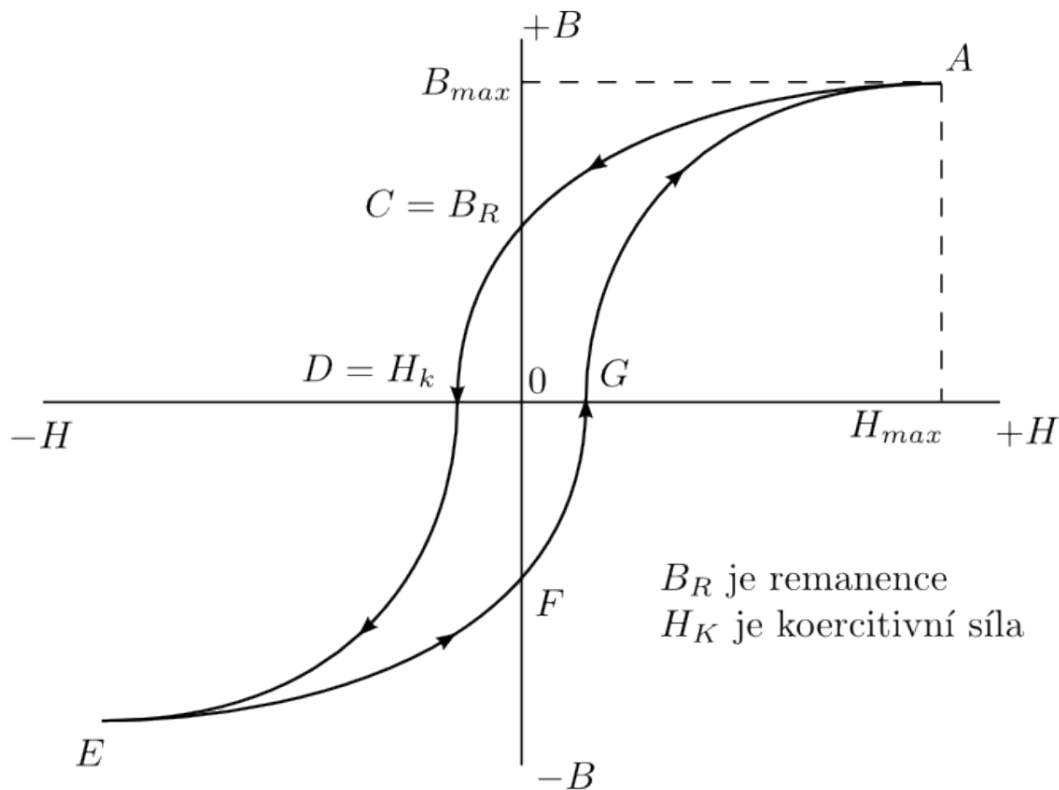
## 3 Pomůcky

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.



Obrázek 1: Předpokládaný tvar hysterezní smyčky feromagnetika

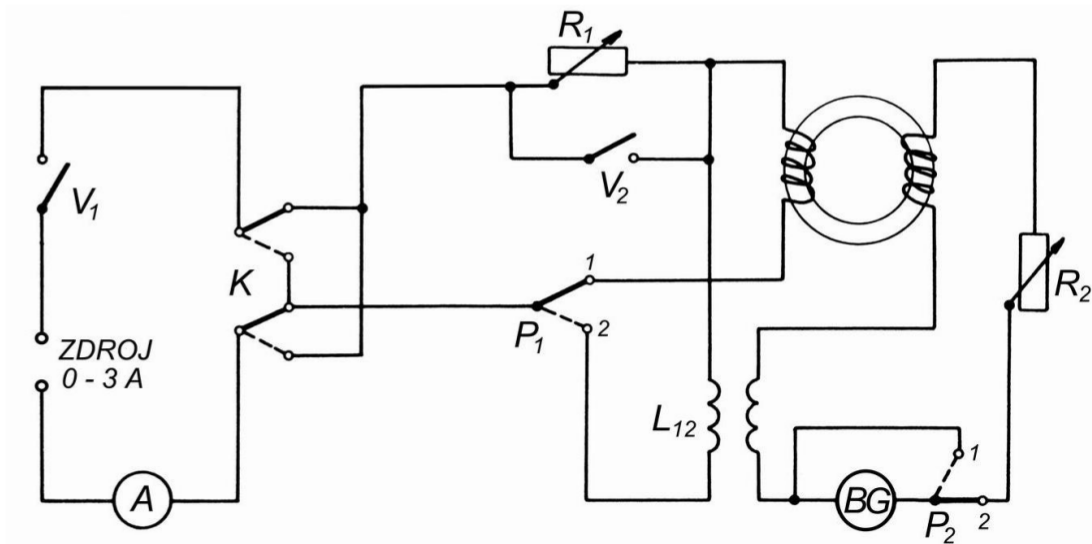
- Remanence  $B_r$  – Velikost zbytkové magnetické indukce magnetické indukce, která v materiálu zůstane po vypnutí vnějšího magnetického pole, byl-li materiál předtím v bodě  $A$ .
- Koercitivní síla  $H_K$  – intenzita vnějšího magnetického pole, při které dojde k úplnému odmagnetování zkoumaného vzorku, byl-li předtím v bodě  $A$ .

## 4.2 Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem

Schéma experimentálního zapojení je na obrázku 4.2. 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.

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



Obrázek 2: Schéma zapojení měřící aparatury

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.

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

kde  $K_b^{(\rho)}$  je balistická konstanta,  $\lambda$  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 dána vztahem.

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

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

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

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

## 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.

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:

Celkově jsme určili 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.

0.8hs Naměřená stacionární hysterezní smyčka.

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

$B_r = 5mT$

## 6 Diskuse

### 6.1 Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem

## 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://praktikum.fjfi.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=191> -Zadání úlohy
- [2] [http://www.mlab.cz/Designs/Measuring\\_instruments/Fluxgate\\_magnetometer/DOC/fluxgate.pdf](http://www.mlab.cz/Designs/Measuring_instruments/Fluxgate_magnetometer/DOC/fluxgate.pdf) –Bak