

20. MĚŘENÍ INTENZITY MAGNETICKÉHO POLE BALISTICKÝM GALVANOMETREM

Pracovní úkol

1. Proměřte průběh intenzity magnetického pole na ose solenoidu.
2. Vypočtete intenzitu pole uprostřed solenoidu a počítaný výsledek porovnejte s měřením. Průběh pole podél osy solenoidu porovnejte s teoretickým průběhem počítaným podle vzorce (2) nebo (3).
3. Měřené i počítané výsledky zpracujte graficky.

V této úloze změníme průběh intenzity magnetického pole na ose solenoidu a zjistíme, jak tento průběh souhlasí s příslušnými teoretickými vzorci. Seznámíme se též s metodou měření intenzity magnetického pole založenou na jednorázové změně intenzity (srov. s úlohou 23).

Intenzita pole na ose solenoidu

Intenzitu magnetického pole ve středu velmi dlouhého solenoidu je možno přibližně vyjádřit vztahem

$$H = N I / \ell \quad (1)$$

v němž N je celkový počet závitů, ℓ délka solenoidu a I protékající proud.

Při konečné délce solenoidu klesá intenzita z maximální hodnoty (1) ve středu k oběma jeho koncům. Pro solenoid s jednou vrstvou vinutí lze intenzitu v libovolném bodě na ose spočítat podle vzorce :

$$H(a) = \frac{N I}{2 \ell} \left\{ \left(\frac{\ell}{2} + a \right) \left[r^2 + \left(\frac{\ell}{2} + a \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} + \left(\frac{\ell}{2} - a \right) \left[r^2 + \left(\frac{\ell}{2} - a \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \right\} \quad (2)$$

Zde znamená r poloměr vinutí, a vzdálenost místa od středu solenoidu. S omezenou přesností platí tento vzorec i pro cívky, které mají více vrstev, avšak jejich tloušťka je zanedbatelně malá vůči průměru cívky. Nemí-li tato podmínka splněna, je nutno použít vzorce

$$H(a) = \frac{N I}{2 \ell (r_2 - r_1)} \left\{ \left(\frac{\ell}{2} + a \right) \left[\ln \left(r_2 + \sqrt{r_2^2 + \left(\frac{\ell}{2} + a \right)^2} \right) - \ln \left(r_1 + \sqrt{r_1^2 + \left(\frac{\ell}{2} + a \right)^2} \right) \right] + \left(\frac{\ell}{2} - a \right) \left[\ln \left(r_2 + \sqrt{r_2^2 + \left(\frac{\ell}{2} - a \right)^2} \right) - \ln \left(r_1 + \sqrt{r_1^2 + \left(\frac{\ell}{2} - a \right)^2} \right) \right] \right\} \quad (3)$$



Vypočítáme nyní, jak velký náboj Q projde galvanometrem, komutujeme-li intenzitu magnetického pole, do něhož umístíme indukční cívku. Platí

$$Q = \int_{-H}^H I dt = \frac{1}{R} \int_{-H}^H d\phi = \frac{2}{R} \mu_0 n S H \quad (7)$$

znamená-li ϕ indukční tok rovný součinu intenzity pole, permeability μ_0 , počtu závitů n cívky a plochy S jednoho závitu. Náboji Q prošlému galvanometrem bude odpovídat výchylka α galvanometru, pro kterou platí

$$Q = C_b \alpha \quad (8)$$

Z rovnic (6) až (8) pak plyne

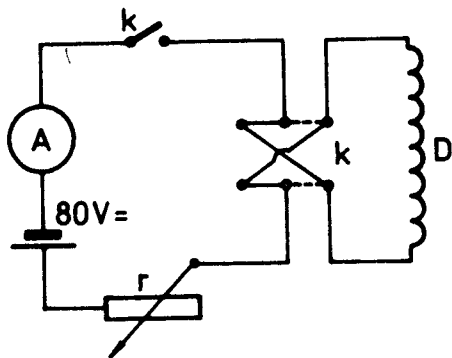
$$H = \frac{M I_0}{\mu_0 n S \alpha_0} \alpha \quad (9)$$

Výchylku α_0 jsme určili při komutaci proudu I_0 v pomocném obvodu I' , obsahujícím primární cívku normálu vzájemné indukčnosti M . Počet závitů n a plocha S indukční cívky je uvedena na této cívce. Permeabilita μ_0 je rovna $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$. Stanovíme-li tedy velikost výchylky α , můžeme z výrazu (9) určit velikost intenzity magnetického pole v místě, kde se indukční cívka nalézá.

Ve výraze (9) nevystupuje odpor R hlavního obvodu ani balistická konstanta. To ovšem neznamená, že na odporu R nezáleží. Na odporu R závisí balistická konstanta. Musíme proto odpor r_b ponechat neměnný, jak při kalibračním, tak i při vlastním měření. Pro měření je nejvýhodnější, je-li odpor r_b přibližně roven aperiodizačnímu odporu galvanometru.

Postup při měření

Po provedení kalibračního měření, které v daném uspořádání provádíme při proudu $I_0 = 10 - 15 \text{ mA}$, rozpojme pomocný obvod I z obr.1. Podle obr.2 zapojíme obvod pro napájení solenoidu D . Doporučená hodnota proudu I



Obr. 2

solenoidem je $0,5 \text{ A}$. Nastavíme ji odporem r a měříme ampérmetrem A .

Při kalibraci (obr.1) i vlastním měření (obr.2) přepínáme komutátor k zleva doprava a zprava doleva. Dostáváme tím výchylky galvanometru α_0 a α v obou směrech stupnice, výchylky odečítáme v abs. hodnotě a počítáme s jejich aritmetickým středem.

Indukční cívku posunujeme podél osy solenoidu. Na okrajích solenoidu po 1 cm , blíže středu po 2 až 5 cm .

Při každé poloze cívky měříme výchylky galvanometru vyvolané komutací proudu I v solenoidu.

Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983,
čl. 4.1.2.1 , 4.1.6.4 , 5.1.6.1 , 5.2.2.1 , 5.2.2.2
- [2] Sedlák B., Štoll I.: Elektřina a magnetismus, Academia, Praha 1990,
odst. 3.3.5c , st. 4.1

21. STUDIUM HYSTEREZNÍCH SMYČEK FERITŮ

Pracovní úkol

- U feritových kroužků č. I, II a III
 - změřte závislost indukce B_m a koercitivní síly H_c na intenzitě magnetického pole H_m (viz obr.1)
 - sledujte základní typy hysterezních smyček (podle obr.1) v závislosti na intenzitě pole H_m a zjistěte přibližně, při které intenzitě pole (nebo v kterém intervalu intenzit polí) jednotlivé typy hysterezních smyček přecházejí jeden na druhý.
- Okalibrujte aparaturu pomocí střídavého napětí známé velikosti.
- Výsledky podle bodu 1a) zpracujte tabelárně a graficky.

Ve této úloze se seznámíme s tvary hysterezních smyček moderních magnetických materiálů - feritů. Experimentálně ověříme vzrůst magnetické indukce a koercitivní síly se stoupající intenzitou aplikovaného magnetického pole až do maximálních (nasycených) hodnot. Poznáme také osciloskopickou metodu zobrazení hysterezní smyčky, které se v praxi ve spojení s fotografickou registrací běžně používá.

Ferity [1]

Ferity, s kterými pracujeme, jsou magnetické oxidy chemického vzorce $M^{2+} Fe_2^{3+} O_4$, kde M^{2+} je kov s oxidačním číslem 2 (Mn, Ni, Cu, Zn, Cd aj., popř. dva z těchto kovů v různém vzájemném poměru). Jejich krystalová struktura se odvozuje od plošně centrované kubické mřížky kyslíkových aniontů. V dutinách mezi kyslíkovými anionty jsou různě podle druhu feritu umístěny kationty M^{2+} a Fe^{3+} .

Na rozdíl od kovových feromagnetik existuje ve feritech antiparalelní uspořádání magnetických momentů na kovových kationtech. Proto v některých feritech se jednotlivé atomové magnetické momenty navenek ruší (antiferomagnetické ferity, $M^{2+} = Zn^{2+}$ nebo Cd^{2+}) zatímco v celé řadě jiných feritů