

LABORATORNÍ ÚLOHA

Měření nasycené magnetizace železa a výpočet efektivního magnetického momentu železnatého iontu

Václav Havel, Fakulta pedagogická ZČU, Plzeň

Úkol

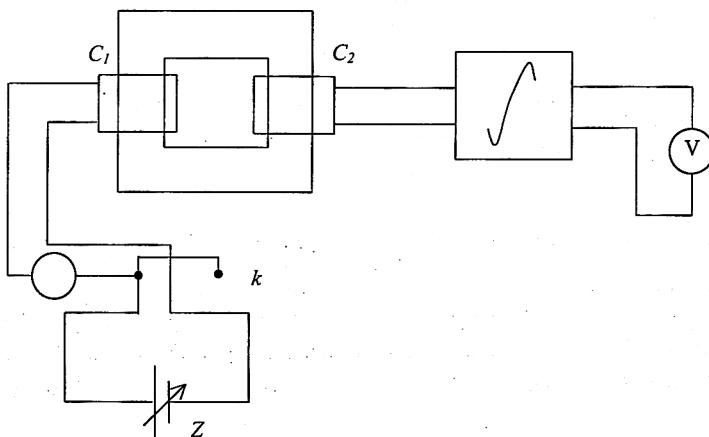
Zjistěte nasycenou magnetickou indukci železa a jeho nasycenou magnetizaci. Vypočtěte z této hodnoty efektivní počet Bohrových magnetonů připadajících na jeden iont železa.

Potřeby

Magnetický obvod sestavený z magneticky měkkého železa a opatřený magnetizační a měrnou cívkou, regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí, komutátor, integrátor, voltmetr, ampérmetr, spojovací vodiče.

Výklad

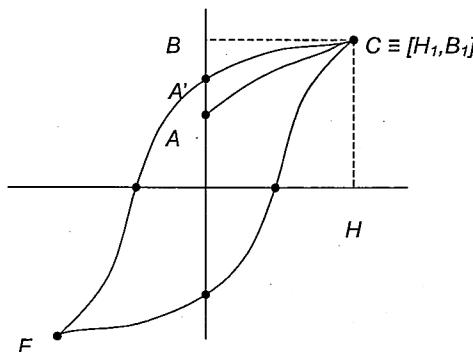
Aparatura je zapojena podle schématu na obr. 1,



Obr. 1

C_1 je magnetizační cívka, napájená výkonným regulovatelným zdrojem Z , který je k cívce pripojen přes komutátor k . Měrná cívka C_2 je pripojena k integrátoru, jehož výstupní napětí je měřeno voltmetrem.

Předpokládáme, že výchozí magnetický stav železa je určen bodem A na obr. 2. Zvýšime-li dostatečně intenzitu magnetického pole H (tím, že proud v magnetizační cívce zvýšíme na 15 A), přejde magnetický stav do bodu C (obr. 2).



Obr. 2

Při tomto procesu se v měrné cívce indukuje napětí, které je dáno vztahem

$$u = -n_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Zde n_2 je počet závitů měrné cívky a $\Phi = B \cdot S$ je magnetický indukční tok v železe, přičemž B je magnetická indukce, S průřez železného jádra. Napětí udané vztahem (1) se integruje, takže na výstupu integrátoru je napětí

$$U_1 = k \cdot n_2 \cdot \Phi_1, \quad (2)$$

kde $\Phi_1 = B_1 \cdot S$. Vé vzorci (2) k představuje integrační konstantu integrátoru. Jakmile magnetizace dosáhne nasycení, zvyšuje se napětí na výstupu integrátoru jen nepatrně. Tím je určena poloha bodu C. Změříme toto napětí, příslušný proud.

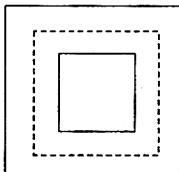
Snížíme-li proud v magnetizačním obvodu na nulu, přejde magnetický stav do bodu $A' \equiv [0, B_r]$. Potom komutujeme směr proudu a zvyšujeme napětí, až proud opět dosáhne hodnoty I_1 . Voltmetr ukáže hodnotu $U_2 = -k \cdot n_2 \cdot \Phi_1$. Z rozdílu napětí $\Delta U = U_1 - U_2$ potom vypočteme

$$B = \frac{|\Delta U|}{2 \cdot k \cdot n_2 \cdot S}. \quad (3)$$

Je-li bod C správně zvolen, představuje tato hodnota magnetickou indukci při nasycení. Příslušnou intenzitu magnetického pole určíme ze vztahu

$$H = \frac{n_1 \cdot I_1}{l}, \quad (4)$$

kde n_1 je počet závitů magnetizační cívky a l střední délka magnetické indukční čáry (na obr. 3 vyznačena čárkováně).



Obr. 3

Mezi intenzitou magnetického pole H , magnetizací M a magnetickou indukcí B platí vztah

$$B = \mu_0 \cdot (H + M),$$

kde μ_0 je permeabilita vakua. Odtud potom

$$M = \frac{B}{\mu_0} - H. \quad (5)$$

Dosadíme-li sem B_1 , H_1 , což jsou hodnoty, o nichž jsme předpokládali, že náleží bodu C (magnetické nasycení), obdržíme nasycenou magnetizaci. Známe-li nasycenou magnetizaci, můžeme vypočítat i efektivní magnetický moment připadající na jeden železnatý iont podle vztahu

$$M_s = N \cdot n_{ef} \cdot \mu_B, \quad (6)$$

kde N je počet iontů v objemové jednotce, μ_B je Bohrův magneton a n_{ef} je efektivní počet Bohrových magnetonů na jeden iont. Pro N platí

$$N = \frac{\rho}{M_{mol}} \cdot N_A, \quad (7)$$

kde ρ , M_{mol} , N_A jsou po řadě hustota, molární hmotnost a Avogadrovo číslo. Po dosazení $N = 8,472 \cdot 10^{28}$. Efektivní počet Bohrových magnetonů nemusí být celým číslem, neboť 3d-elektrony v iontech železa jsou částečně delokalizovány a pásmová teorie dává pro n_{ef} hodnotu asi 2,2.

Postup měření

- Změřte rozměry obdélníkového průřezu jádra a označte je a , b . Měření provedte 10krát a zapište do tabulky I.
- Změřte střední délku magnetické indukční čáry. Výsledky zapište do tabulky I.
- Zkontrolujte zapojení obvodu. Zapište si konstantu integrátoru. Zdroj napětí musí být nastaven na 0. Kondenzátor integrátoru zkratován spínačem (sepnut).
- Zapněte síťové spínače všech zdrojů v voltmetru. Zkontrolujte, zda je rozsah voltmetru nastaven na 10 V.
- Rozepněte spínač integrátoru.
- Pozvolna, ale plnule zvyšujte magnetizační proud až na hodnotu 15 A. Odečtěte napětí na voltmetru a zapište velikost proudu i napětí. **Pozor na znaménko napětí!**
- Proud postupně snižte na 0.
- Komutujte magnetizační proud a postupně opět zvyšujte proud na 15 A. Opět změřte proud i napětí.

$I_1 = \dots$, $U_1 = \dots$, $I_2 = \dots$, $U_2 = \dots$

9. Snižte magnetizační proud na nulu, sepněte spínač integrátoru. Všechny operace v bodech 6–9 provádějte hbitě, aby se zbytečně nezahřívalo vinutí magnetizačních cívek!
10. Vypněte všechny spotřebiče! Naměřené hodnoty pak zpracujte pomocí programu Excel.
11. Pokuste se vysvětlit poněkud menší hodnoty naměřené magnetické indukce, magnetizace i efektivního magnetického momentu.

Tabulka I

Měření č.	a (cm)	b (cm)	$S = a \cdot b$	ΔS	l (cm)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
průměr					