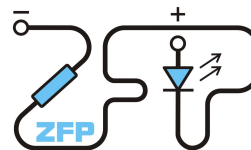


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. ....

Název úlohy:.....

Jméno: .....Datum měření: .....

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

# 1 Pracovní úkol

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

## 2 Teorie

Ferity jsou magnetické oxidy chemického vzorce  $M^{2+}Fe_2^{3+}O_4$ , kde M je kov s ox. číslem 2+ (např. Mn, Ni, Cu, . . .) [1]. Jejich výhodou oproti klasickým magnetům je nízká vodivost, nedochází tedy (zejména při vysokých frekvencích) ke ztrátám způsobeným vířivými proudy.

*Hysterezní smyčka* je závislost mag. indukce  $B$  na intenzitě magnetického pole  $H$ . Plocha jí ohraničená udává práci potřebnou k přemagnetování látky. Podle [1] rozeznáváme tři základní typy a jeden přechodný, viz obr. 1.

Zleva se jedná o smyčku pro malá pole (redukuje se na úsečku), tuto smyčku mají např. i lineární paramagnetika. Dále je to smyčka v *Rayleighově oblasti*, větve lze popsat parabolickými oblouky, látka však není magneticky nasycená. Třetí je normální hysterezní smyčka, materiál je při poli  $H_m$  magneticky nasycen, indukce roste jen velmi málo nebo vůbec. Poslední je tzv. *zaškracená smyčka*, která se objevuje u materiálů s konstantní permeabilitou při přechodu mezi Rayleighovou a normální oblastí.

### Princip měření

Pro kalibraci osy Y použijeme zapojení podle obr. 2. Podle [1] je délka úsečky  $y$  na osciloskopu úměrná maximálnímu napětí na odporovém normálu  $\sqrt{2}U_{ef}$  a nepřímo úměrná úhlové frekvenci  $\omega$ . Konstanta  $k$  je konstanta úměrnosti závislá na nastavení osciloskopu a integrátoru.

$$y = k \frac{\sqrt{2}U_{ef}}{\omega} \quad (1)$$

Z Ohmova zákona [3] dále plyne vztah mezi naměřeným napětím  $U$  a napětím na normálu:

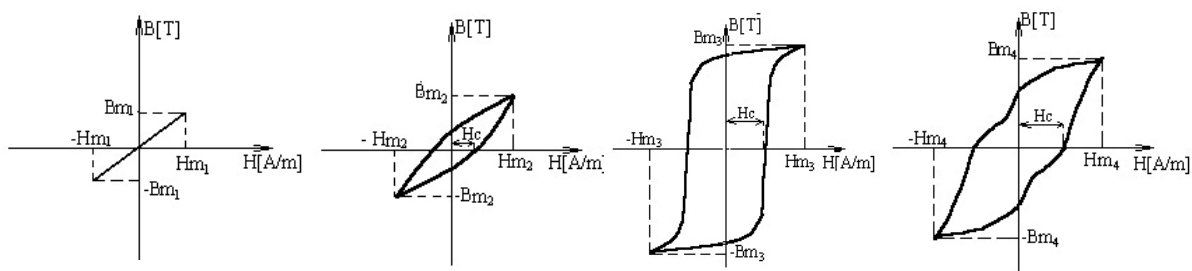
$$U_{ef} = \frac{U}{R + 1} \quad (2)$$

Velikost úsečky nastavíme stejně jako je některá naměřená. Pak pro tuto délku dále platí [1]

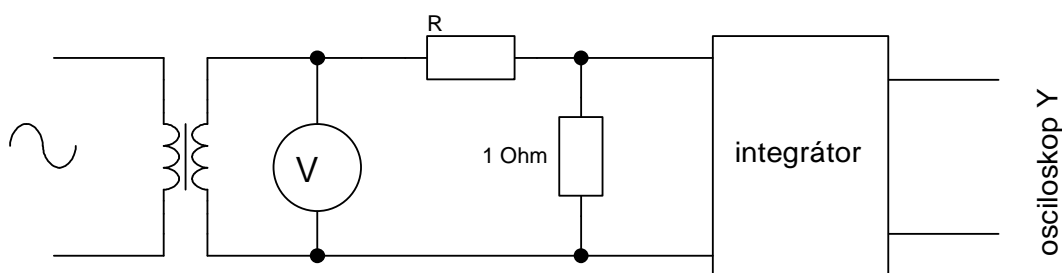
$$y_0 = \frac{1}{2}kv(d_1 - d_2)n_2B_m \quad (3)$$

$v$  je výška kroužku,  $d_1$ ,  $d_2$  vnější a vnitřní poloměr,  $n_2$  počet závitů sekundárního vinutí a  $B_m$  maximum magnetické indukce. Kombinací vztahů (1) – (3) dostáváme výsledný vztah pro danou velikost  $y_0$

$$B_m = \frac{2\sqrt{2}U}{\omega v n_2 (R + 1)(d_1 - d_2)} \quad (4)$$



Obrázek 1: Základní typy hysterezních smyček



Obrázek 2: Schéma pro kalibraci osy Y

Libovolnou velikost indukce pak vypočítáme prostou přímou úměrou podle (4):

$$B = \frac{B_m}{y_0} y = C_y y \quad (5)$$

$y$  je velikost úsečky na osciloskopu a  $C_y$  je přepočtení konstanta charakteristická pro každý kroužek.

Vlastní měření provádíme podle schématu na obr. 3. Hodnotu okamžité intenzity mag. pole vypočítáme podle [1]

$$H = \frac{2n_1 i}{\pi(d_1 + d_2)} \quad (6)$$

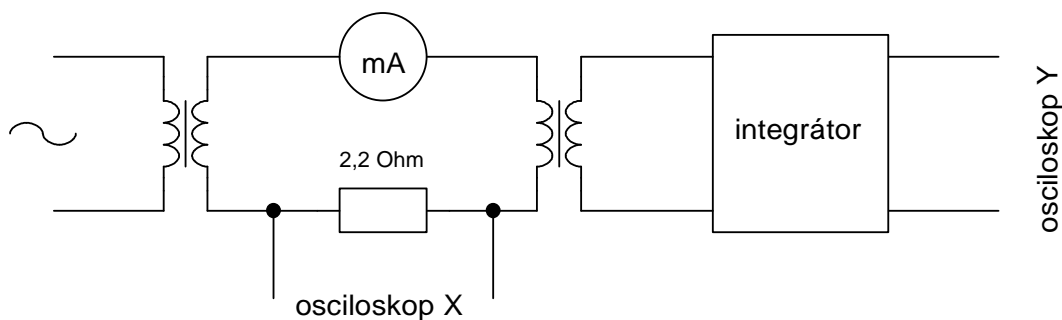
kde  $n_1$  je počet závitů na primárním vinutí,  $i$  okamžitá hodnota proudu. Maximální intenzitu pole  $H_m$  vypočítáme ze vztahu (6) dosazením za  $i = i_m = \sqrt{2}I$ , kde  $i_m$  je max. proud protékající primárním vinutím a  $I$  proud, který naměříme na ampérmetru (efektivní hodnota) [3].

$$H_m = \frac{2\sqrt{2}In_1}{\pi(d_1 + d_2)} \quad (7)$$

Koercitivní intenzitu pole  $H_c$  získáme obdobně jako magnetickou indukci, protože délka úsečky  $x$  na osciloskopu je přímo úměrná intenzitě pole  $H$ , platí

$$H_c = \frac{H_m}{x_m} x_c \quad (8)$$

$x_c$  je délka úsečky příslušná koercitivní intenzitě pole,  $x_m$  příslušná maximální intenzitě pole.



Obrázek 3: Schéma pro vlastní měření

### 3 Pomůcky

zdroj napětí AC 250 K1D, odporová dekáda, odporový normál  $1\ \Omega$ , feritové kroužky I, II, III, integrátor, osciloskop, digitální multimetr METEX M 3270D, propojovací kabely

### 4 Výsledky měření

#### Podmínky měření

Přesnost odporu na odporové dekádě je pro dané proudy udána jako 0,1 %. Odporový normál a počet závitů považujeme za přesný. Přesnost měření  $v$ ,  $d_1$  a  $d_2$  není udána, nicméně ji odhaduji jako 0,05 mm (podle zaokrouhlení hodnot bylo pravděpodobně měření prováděno posuvným měřítkem). Přesnost odečítání z osciloskopu odhaduji jako 2 mm vzhledem k velikosti dílků a tloušťce čáry. Přesnost multimetru - viz tab. 1 Síťovou frekvenci  $f = 50\ \text{Hz} \Rightarrow \omega = 100\pi\ \text{s}^{-1}$

Tabulka 1: Přesnost přístrojů

Voltmetr	
40 V AC	$\pm(1,0\% + 2\ \text{digits})$
Ampérmetr	
40 mA - 400 mA AC	$\pm(1,5\% + 5\ \text{digits})$
20 A AC	$\pm(3,0\% + 4\ \text{digits})$

považujeme za přesnou. Parametry feritových kroužků jsou uvedeny v tab. 2.

Tabulka 2: Parametry feritových kroužků

	$d_1$ [ $10^{-3}\ \text{m}$ ]	$d_2$ [ $10^{-3}\ \text{m}$ ]	$v$ [ $10^{-3}\ \text{m}$ ]	$n_1$ □	$n_2$ □
I	29,2	20,75	4,4	50	6
II	30,65	21,8	4,35	50	6
III	31,0	21,8	4,15	300	6

Tabulka 3: Charakteristika kroužku I

	$I$ [ $10^{-3}$ A]	$x_m$ [ $10^{-3}$ m]	$x_c$ [ $10^{-3}$ m]	$y$ [ $10^{-3}$ m]	$H_m$ [A. m $^{-1}$ ]	$H_c$ [A. m $^{-1}$ ]	$\sigma H_c$ [A. m $^{-1}$ ]	$B_m$ [T]	$\sigma B_m$ [T]
1	5,36	36	0	2	3,42	0	0,2	0,02	0,02
2	14,38	46	10	6	9,16	2,0	0,4	0,05	0,02
3	23,04	36	10	12	14,7	4,1	0,8	0,09	0,02
4	35,22	22	6	18	22,4	6,1	2,1	0,14	0,02
5	54,6	34	8	26	34,8	8,2	2,1	0,20	0,02
6	68,4	44	10	28	43,6	9,9	2,0	0,22	0,02
7	90,8	28	6	30	57,9	12,4	4,2	0,23	0,02
8	103,6	32	6	32	66,0	12,4	4,2	0,25	0,02
9	116,8	36	6	34	74,4	12,4	4,2	0,26	0,02
10	126,8	40	6	34	80,8	12,1	4,1	0,26	0,02
11	138,2	44	6	36	88,1	12,0	4,0	0,28	0,02
12	149,2	46	6	36	95,1	12,4	4,2	0,28	0,02

#### 4.1 Kalibrace osy $y$

Obvod byl sestaven podle schématu 2. Chyby veličin byly stanoveny dle předchozí sekce. Naměřené veličiny a parametry obvodu:

$$U = (6,86 \pm 0,02) \text{ V}$$

$$R = 999 \Omega$$

$$y_0 = (36 \pm 2) \text{ mm}$$

Podle (4) a (5) a podle vzorce pro chyby nepřímých měření [2] byly určeny následující konstanty úměrnosti:

$$C_y^I = (7,7 \pm 0,5) \text{ T. m}^{-1}$$

$$C_y^{II} = (7,4 \pm 0,5) \text{ T. m}^{-1}$$

$$C_y^{III} = (8,4 \pm 0,5) \text{ T. m}^{-1}$$

#### 4.2 Vlastní měření

Všechny naměřené hodnoty jsou shrnuty v tab. 3 – 5.  $H_m$  byla vypočítána podle (7),  $H_c$  podle (8) a  $B_m$  podle (5). Chyby byly vypočítány jako chyby nepřímých měření se zanedbáním  $\sigma_{H_m}$  jakožto řádově menší oproti  $\sigma_{C_y}$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{x_m}$  a  $\sigma_{x_c}$ .

U kroužku I byla Rayleighův tvar smyčky pozorován pro hodnoty 2 – 6 v tab. 3, pro další měření se začalo projevovat nasycení a smyčka přešla v normální tvar.

U kroužku II byla Rayleighův tvar smyčky pozorován pro hodnoty 3 – 9 v tab. 4, nad touto hodnotou smyčka začala přecházet v normální tvar.

U kroužku III byla pozorována Rayleighova oblast při měření 1 a 2 v tab. 5, dále zaškrčená tvar pro hodnoty 3 – 7 a normální tvar pro měření 8 – 10. Všechna měření byla i s chybovými úsečkami vynesena do grafů 4 – 9. Zakreslené křivky jsou pouze vodítky pro oko.

## 5 Diskuze výsledků

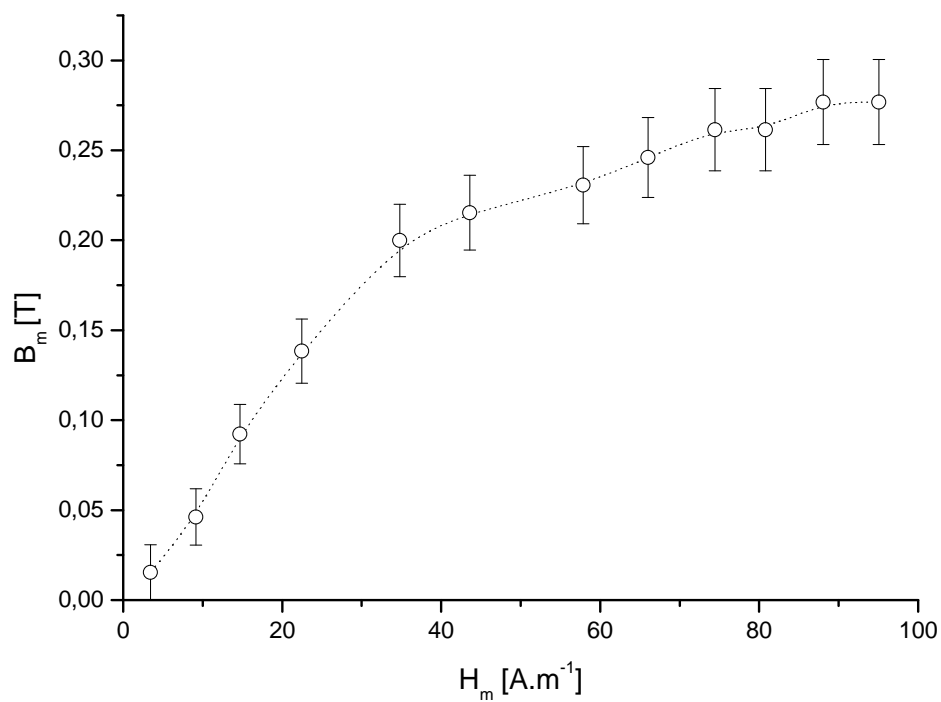
Jednotlivé závislosti odpovídají teoretickým předpokladům. Zdaleka největší chyba byla způsobena odečítáním z osciloskopu, zejména tloušťkou čáry. Což ovšem není u tohoto měření zásadní, neboť jde o studium obecného charakteru závislostí.

Tabulka 4: Charakteristika kroužku II

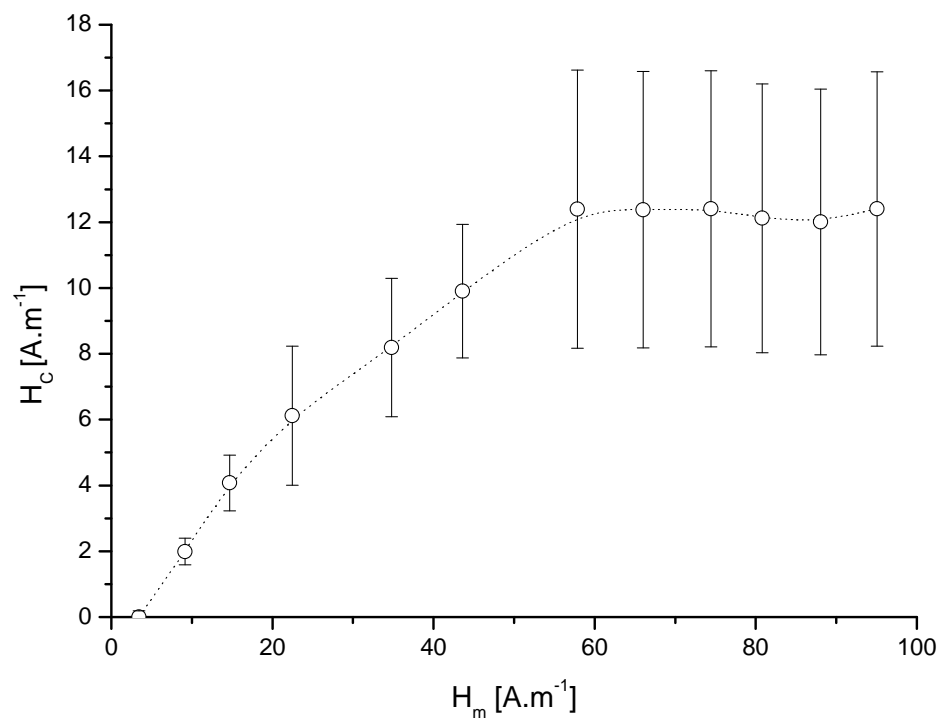
	$I$ [ $10^{-3}$ A]	$x_m$ [ $10^{-3}$ m]	$x_c$ [ $10^{-3}$ m]	$y$ [ $10^{-3}$ m]	$H_m$ [A. m $^{-1}$ ]	$H_c$ [A. m $^{-1}$ ]	$\sigma H_c$ [A. m $^{-1}$ ]	$B_m$ [T]	$\sigma B_m$ [T]
1	35,78	22	0	4	21,7	0	2	0,03	0,01
2	40	24	0	4	24,3	0	2	0,03	0,01
3	58,6	36	2	6	35,6	2	2	0,04	0,02
4	72	44	4	8	43,7	4	2	0,06	0,02
5	89,6	28	4	10	54,4	8	4	0,07	0,02
6	106	32	4	12	64,3	8	4	0,09	0,02
7	124,2	38	6	14	75,4	12	4	0,10	0,02
8	141,8	44	8	16	86,1	16	4	0,12	0,02
9	164,6	24	4	20	99,9	17	8	0,15	0,02
10	180,6	28	6	22	109,6	23	8	0,16	0,02
11	195,4	30	6	24	118,6	24	8	0,18	0,02
12	211	32	6	26	128,1	24	8	0,19	0,02
13	226,6	34	8	26	137,5	32	8	0,19	0,02
14	246,6	38	8	28	149,7	32	8	0,21	0,02

Tabulka 5: Charakteristika kroužku III

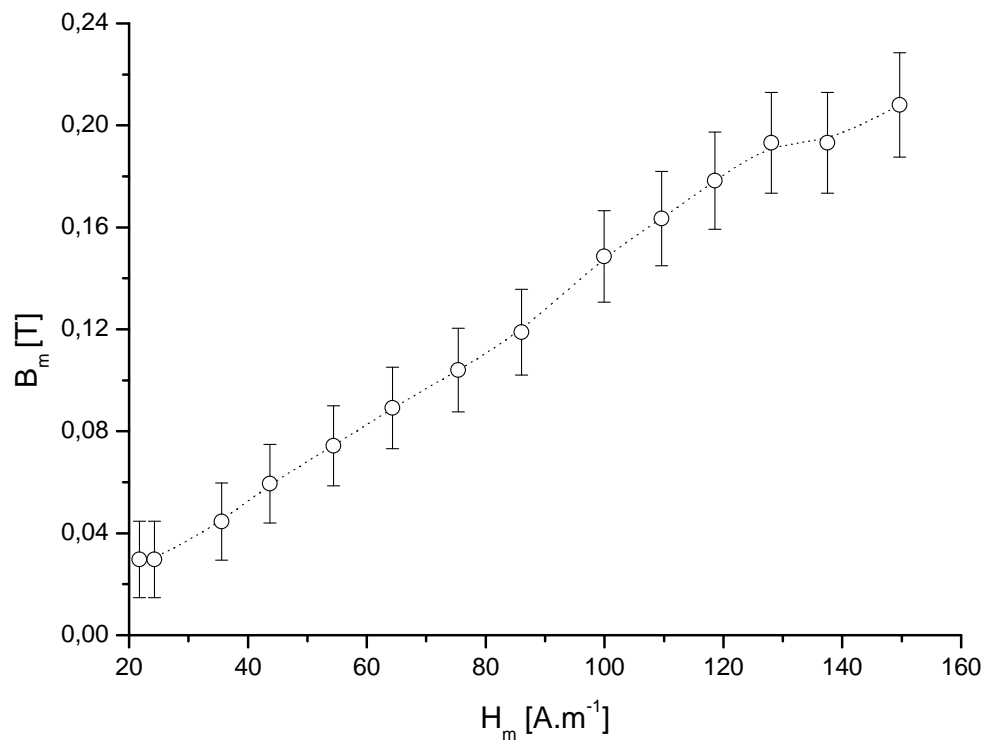
	$I$ [A]	$x_m$ [ $10^{-3}$ m]	$x_c$ [ $10^{-3}$ m]	$y$ [ $10^{-3}$ m]	$H_m$ [A. m $^{-1}$ ]	$H_c$ [A. m $^{-1}$ ]	$\sigma H_c$ [A. m $^{-1}$ ]	$B_m$ [T]	$\sigma B_m$ [T]
1	0,31	20	2	6	1121	110	100	0,05	0,02
2	0,41	26	4	6	1483	230	100	0,05	0,02
3	0,52	34	10	12	1881	5502	100	0,10	0,02
4	0,61	40	16	20	2206	880	100	0,17	0,02
5	0,69	46	18	26	2496	980	100	0,22	0,02
6	0,82	28	10	30	2966	1100	200	0,25	0,02
7	0,93	30	12	32	3364	1300	200	0,27	0,02
8	1,02	34	12	34	3690	1300	200	0,29	0,02
9	1,1	36	12	34	3979	1300	200	0,29	0,02
10	1,2	40	12	36	4341	1300	200	0,30	0,02



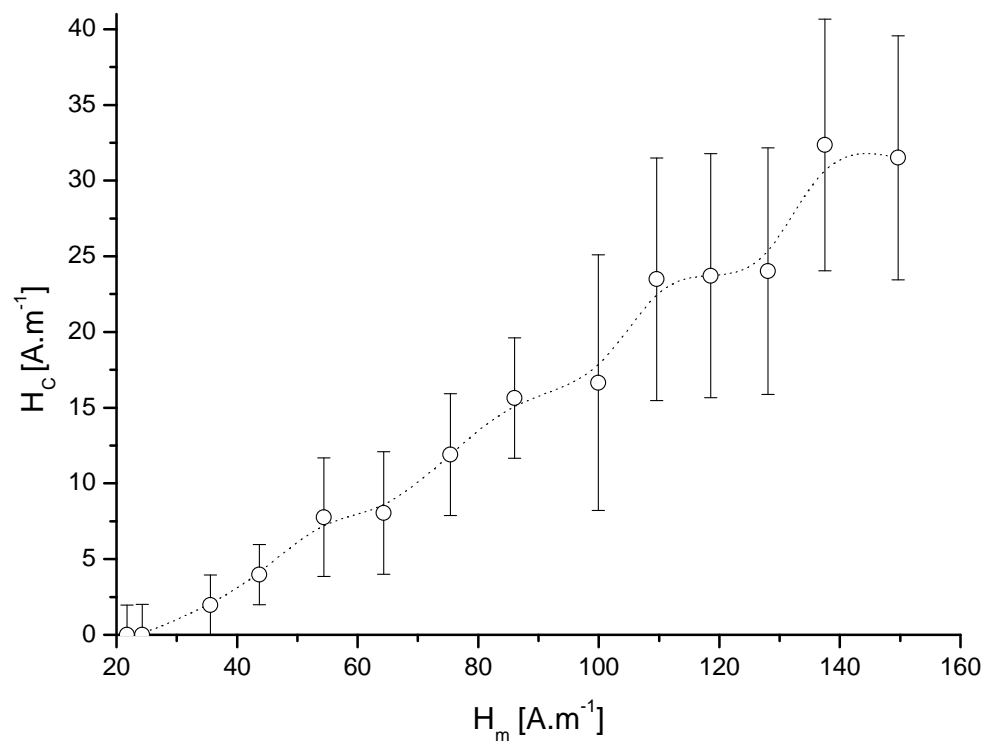
Obrázek 4: Závislost  $B_m(H_m)$  pro kroužek I



Obrázek 5: Závislost  $H_c(H_m)$  pro kroužek I

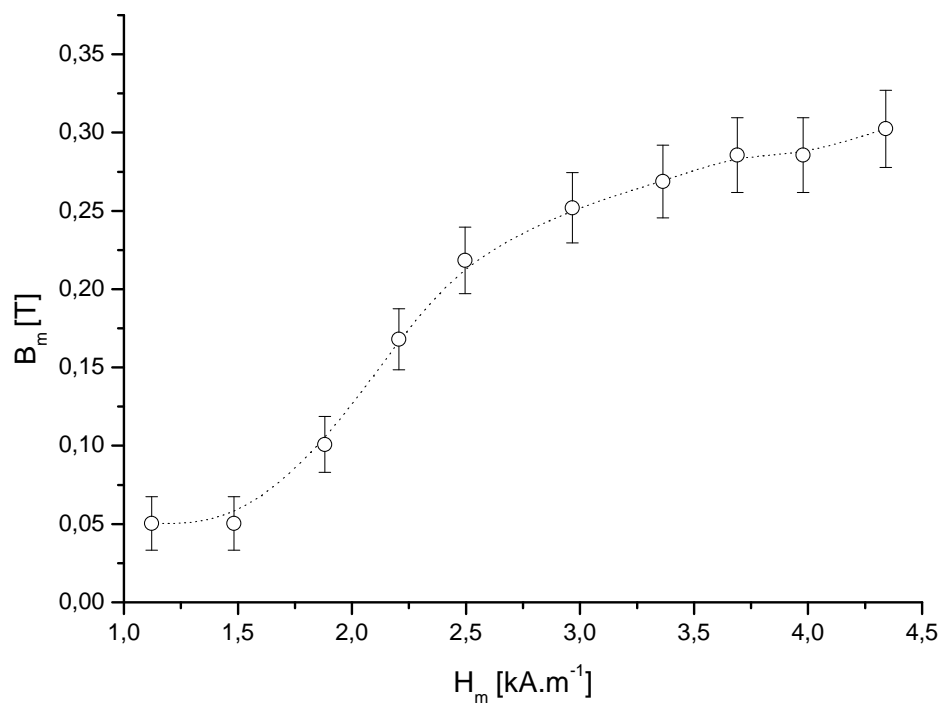


Obrázek 6: Závislost  $B_m(H_m)$  pro kroužek II

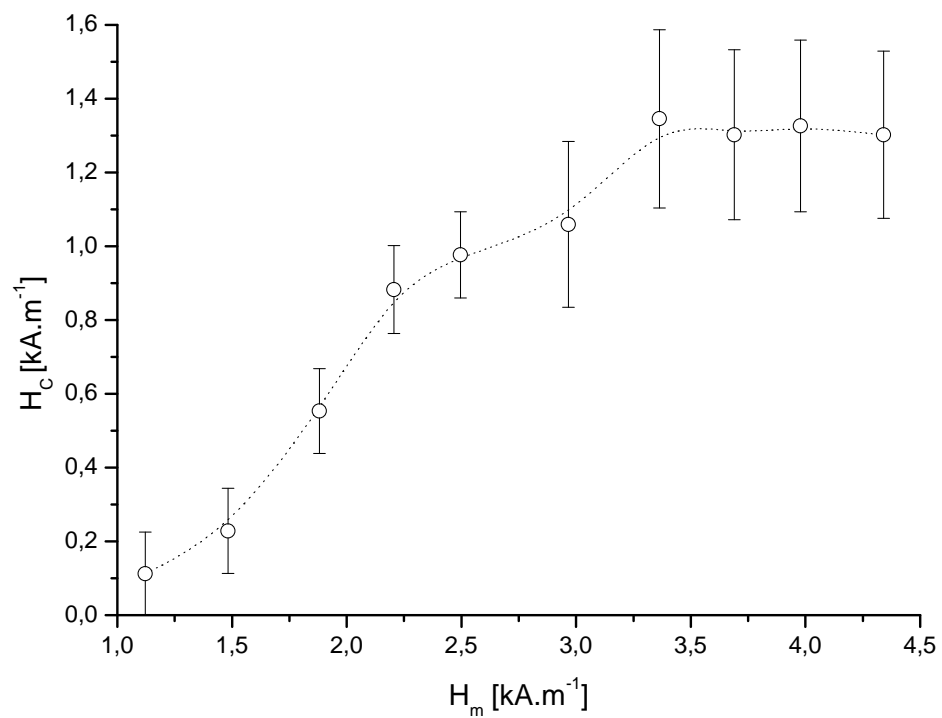


Obrázek 7: Závislost  $H_c(H_m)$  pro kroužek II





Obrázek 8: Závislost  $B_m(H_m)$  pro kroužek III



Obrázek 9: Závislost  $H_c(H_m)$  pro kroužek III

Byly pozorovány všechny základní typy hysterezních smyček, ovšem určení hranice přechodu jednoho typu v druhý je velmi obtížné, neboť přechod je plynulý a pozvolný. U kroužku III byl pozorován i zaškrčený tvar smyčky. Přibližné hodnoty přechodu jednoho typu v druhý lze zjistit z tab. 3 – 5 a komentáře pod nimi.

## 6 Závěr

Byly pozorovány základní tvary hysterezních smyček feritů (lineární, zaškrčený, Rayleighův a normální). Dále byla studována závislost  $H_c$  a  $B_m$  na  $H_m$  (obr. 3 – 9).

## Reference

- [1] Studijní text k Praktiku II. [online], [cit. 2013-11-03].  
URL <[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_221.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_221.pdf)>
- [2] Englich, J.: *Úvod do praktické fyziky*. Praha: Matfyzpress, první vydání, 2006, ISBN 80-867-3293-2, 145 s.
- [3] Mikulčák, J.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Praha: Prometheus, první vydání, c2003, ISBN 80-719-6264-3, 276 s.