

2 Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem a její zobrazení na osciloskopu

14. března 2010

Fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze	
Jméno: Vojtěch Horný	Datum měření: 22.2.2010
Pracovní skupina: 2	Ročník a kroužek: 2. ročník, pondělí 13:30
Spolupracoval Jaroslav Zeman	Hodnocení:

Abstrakt

Naměřili jsme závislost magnetické indukce na intenzitě magnetického pole statickou metodou. Poté jsme se pokusili zobrazit hysterezní křivku na osciloskopu, bohužel nepodařilo se ji zobrazit dostatečně ostře.

1 Úvod

Hysterezní smyčka reprezentuje závislost magnetické indukce B ve feromagnetické látce na intenzitě magnetického pole H . V této úloze bylo cílem proměřit tuto závislost pomocí balistického galvanometru.

1.1 Pracovní úkoly

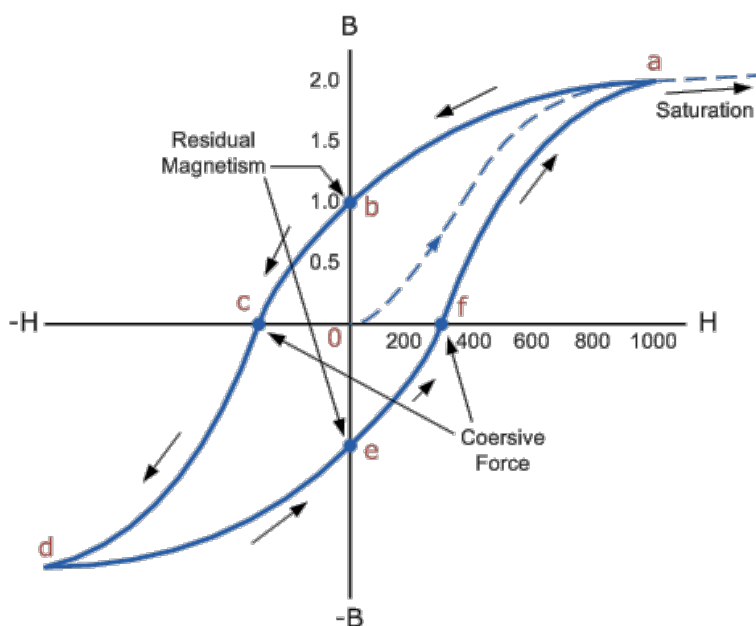
1. Změřte hysterezní smyčku toroidu od bodu a do bodu d (viz. obr. 1) z dané feromagnetické látky a graficky ji znázorněte.
2. Určete koercitivní sílu H_K a remanenci B_R .
3. Zobrazte hysterezní smyčku na stínítku osciloskopu pro různé frekvence ($f = 50, 100, 500, 1000$ Hz). V přípravě vypočítejte hodnoty R a C integračního članku. Hysterezní smyčku zaznamenejte a vynesete do grafu s okalibrovanými osami. Určete H_K, B_R a porovnejte se statickou metodou.

1.2 Základní vztahy

Magnetické pole uvnitř toroidu považujeme za homogenní a vypočteme jej podle vztahu

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

Obrázek 1: Hysterezní smyčka



kde n_1 je počet závitů magnetizační cívky, I je proud procházející touto cívkou a r je poloměr toroidu. Magnetickou indukci B ve vzorku vypočteme podle vztahu

$$B = \frac{\Phi}{n_2 S}, \quad (2)$$

kde Φ značí magnetický tok procházející měrnou cívkou, n_2 je počet závitů měrné cívky a S je plocha jejího průřezu. Pro změnu magnetické indukce je v materiálu [2] odvozen vztah

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

R značí odpor v obvodu s galvanometrem a $K_b^{(\rho)} \lambda$ je konstanta charakterizující tlumení balistického galvanometru. s_1 je balistická výchylka galvanometru redukována na délku kruhového oblouku. U samotného měření zaznamenáváme průmět této výchylky do roviny měřící stupnice, je proto žádoucí naměřené hodnoty přeškálovat na s_1 . Značí-li s_1^* balistickou výchylku při měření, pak je možnou veličinu $R K_b^{(\rho)} \lambda$ vyjádřit jako

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

2 Experimentální uspořádání a měřící metody

2.1 Pracovní pomůcky

Balistický galvanometr, posuvný odpor 90Ω , dekadový odpor $0,1 - 100 k\Omega$, kapacitní dekáda, toroid s feritovým jádrem s dvojnásobným vinutím, 1 vypínač, 2 přepínače, 1 komutátor, ampérmetr do $1 A$, zdroj proudu $0 - 1 A$, normál vzájemné indukčnosti, normál odporu 1Ω , generátor střídavého signálu s výstupem proudu do $1 A$, osciloskop.

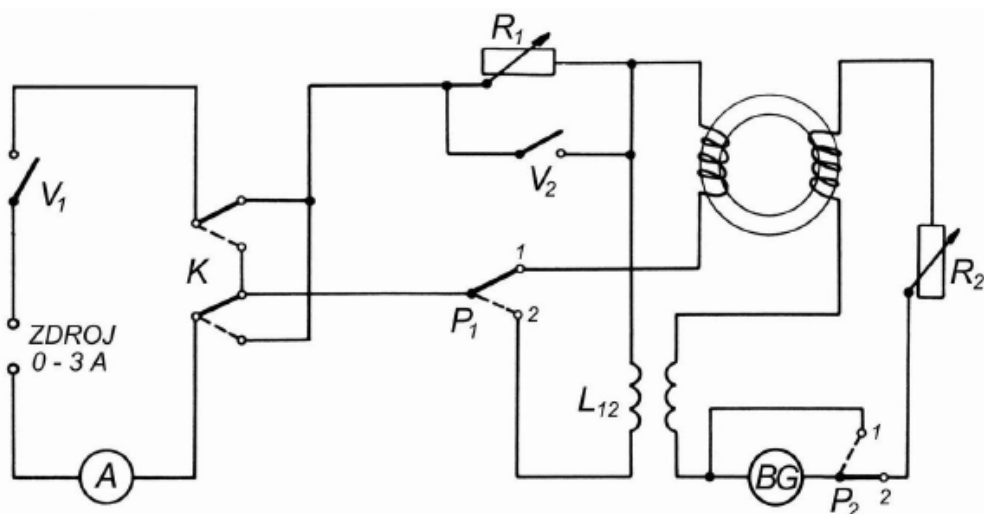
2.2 Pracovní postup

Nejprve jsme sestavili obvod podle schématu na obrázku 2. Po zapojení jsme nastavili maximální hodnotu magnetizačního proudu na 0.58 A. Ověřili jsme, že bylo možné regulovat magnetizační proud v rozmezí 5 mA - 6 A a že i při komutaci z I_{max} na $-I_{max}$ zůstávala světelná značka ještě na stupnici stínítka.

2.2.1 Cejchování balistického galvanometru

Před samotným měřením hysterezní smyčky bylo nutno ocejchovat balistický galvanometr pomocí normálu vzájemné indukčnosti. Přepojili jsme tedy přepínače P_1 na polohu 2 a P_2 na polohu 1. Regulovali jsme reostatem protékající proud I_1 v obvodu. Přepili jsme přepínač P_2 do polohy 2 a stupnici na stínítku nastavili tak, aby byla světelná stopa na nulové poloze. Komutovali jsme proud a odečetli výchylku s_1^* . Po ustálení nulové polohy jsme komutovali zpět a změřili výchylku s_1^{**} v opačném směru. Měření jsme opakovali pro dvanáct hodnot a pokaždé zaznamenávali s_1^* , s_1^{**} a I_1 .

Obrázek 2: Schéma zapojení pro měření hysterezní smyčky



2.2.2 Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem

Přepínač P_1 jsme nastavili na polohu 1. Naměřili jsme 43 bodů hysterezní smyčky následujícím způsobem:

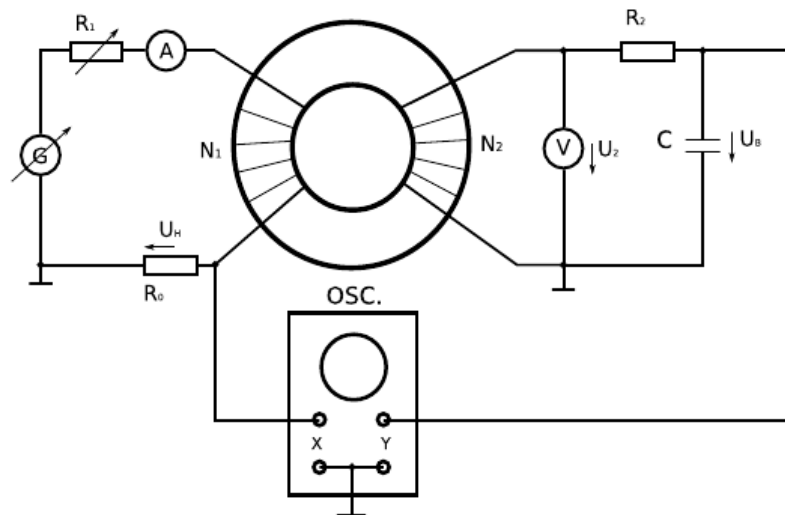
Nejdříve jsme vypnuli vypínač V_2 a reostatem R_1 nastavili magnetizační proud na hodnotu I_1 v rozmezí 5 mA - 0.58 A. Poté jsme V_2 opět zapnuli, čímž došlo ke zvýšení magnetizačního proudu na 0.58 A. Pomocí komutátoru K jsme magnetizační proud několikrát překomutovali a poté jej nastavili do polohy nahoře. Přepnuli jsme P_2 do polohy 2 a nastavili stupnici na stínítku tak, aby světelná stopa byla v nulové poloze. Vypnutím V_2 jsme provedli okamžitou změnu magnetizačního proudu z I_{max} na I_1 . Odečetli jsme výchylku balistického galvanometru.

Pro body na úseku (b, d) - viz. obrázek 1 - bylo nutné postup pozměnit. Po opakované komutaci jsme nechali komutátor K opět ve stejné poloze nahoře, ale ihned po vypnutí vypínače V_2 jsme jej přepnuli do polohy dole.

2.2.3 Zobrazení hysterezní smyčky na stínítku osciloskopu

Nyní jsme zapojili obvod podle schématu na obrázku 3 tak, aby součin $\omega RC \gg 100$. Pokusili jsme se odečíst hysterezní smyčku na obrazovce osciloskopu.

Obrázek 3: Schéma zapojení pro měření dynamické hysterezní smyčky



3 Experimentální data

3.1 Cejchování balistického galvanometru

Tabulka 1 ukazuje naměřené hodnoty při cejchování galvanometru. Statistickým zpracováním jsme určili veličinu $RK_b^{(\rho)}\lambda = (1,518 \pm 0.007) \cdot 10^{-3}$ HA/m. Tato veličina určuje převrácenou hodnotu směrnice regresní přímky grafu závislosti $f(I_1) = \frac{1}{RK_b^{(\rho)}\lambda} \cdot I_1 = \frac{s_1^*(I_1)}{2L_{12}}$ na obrázku 4.

3.2 Měření hysterezní smyčky statickou metodou

Tabulka 2 obsahuje naměřené hodnoty při měření hysterezní smyčky. Bohužel se nepodařilo určit uspokojivě přesně hodnoty B_R a H_K . Přesto zde uvedu svůj odhad těchto veličin.

Odhad jsem provedl velmi prostou, nepřesnou a nefyzikální metodou - totiž pohledem na graf jsem zkusil vymyslet, jak by mohla hysterezní křivka procházet osami x a y. Vycházel jsem přitom ze známého tvaru hysterezní smyčky (obrázek 1). Při odhadu jsem využil pouze body na části grafu a $a \rightarrow d$ (kosočtverce na obrázku 5). Body na úseku $a \rightarrow d$ vlevo a na celém úseku $d \rightarrow a$ považuji za velmi nepřesné. Došlo totiž k poruše ampérmetru. Pravděpodobně se vybila baterie a ampérmetr neukazoval spolehlivé hodnoty.

Opravdu velmi orientační hodnoty magnetické hystereze a koercitivní síly stanovují tedy na $B_R = (4 \pm 1)$ mT, resp. $H_K = (15 \pm 5) A \cdot m^{-1}$.

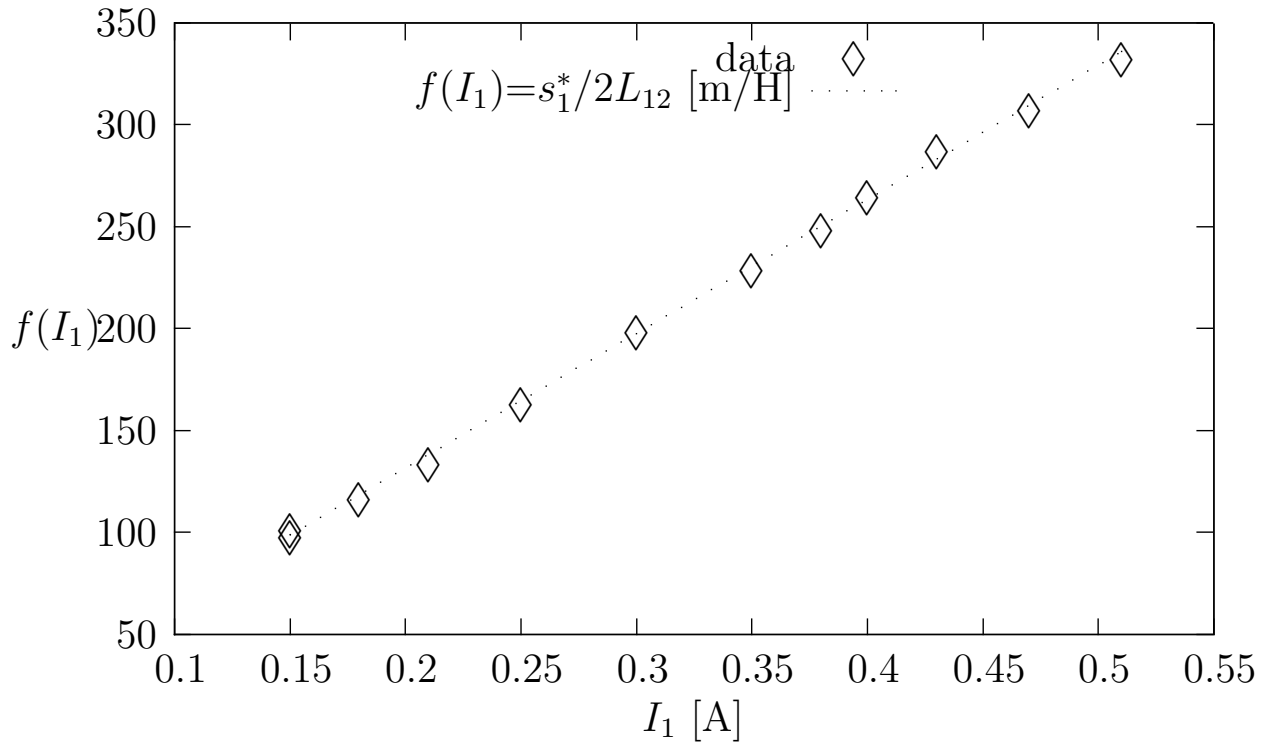
3.3 Zobrazení hysterezní smyčky na stínítku osciloskopu

Pokusili jsme se zobrazit hysterezní smyčku na stínítku osciloskopu. Bohužel jsme nebyli příliš úspěšní. Díky pomoci p. asistenta jsme při frekvenci 50 Hz pozorovali velice rozostřený obraz

Tabulka 1: Cejchování balistického galvanometru

č. m.	I_1 [A]	s_1^* [cm]	s_2^{**} [cm]	$RK_b^{(\rho)} \lambda$ [10^{-3} · HA/m]
1	0,47	20,9	20,1	1,526
2	0,40	18,4	16,9	1,505
3	0,35	15,3	15,2	1,522
4	0,30	13,4	13,0	1,505
5	0,25	10,8	10,9	1,524
6	0,21	8,8	9,0	1,560
7	0,15	6,4	6,6	1,524
8	0,51	21,9	22,5	1,531
9	0,43	18,7	19,6	1,493
10	0,38	16,6	16,5	1,524
11	0,18	7,7	7,8	1,535
12	0,15	6,8	6,7	1,468
				$(1,518 \pm 0,007)$

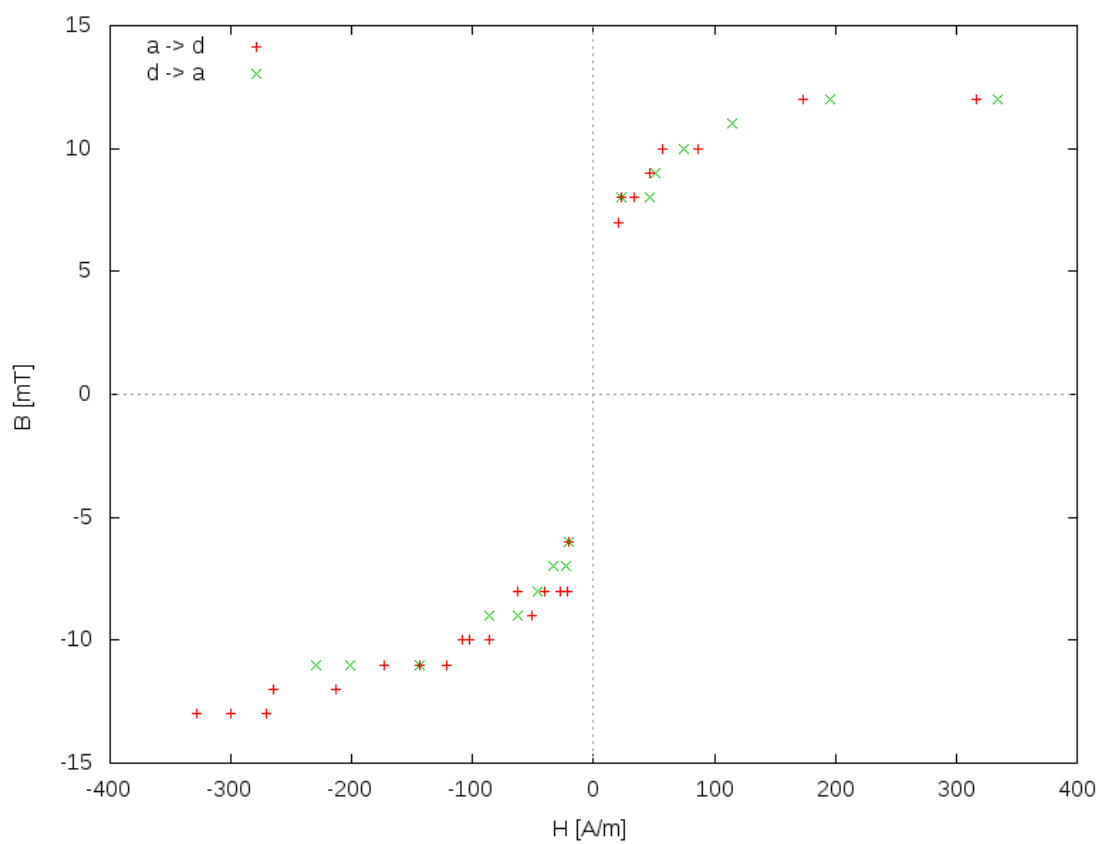
Obrázek 4: Cejchování balistického galvanometru



Tabulka 2: Naměřené hodnoty při statické metodě

č. m.	I_1 [A]	s_1^* [cm]	s_1 [cm]	H [A/m]	B [mT]
1	0,55	0,5	0,5	317,4	12,7
2	-0,19	15,5	15,4	-109,6	-10,7
3	0,30	0,6	0,5	173,1	12,6
4	0,15	1,6	1,6	86,6	10,9
5	0,10	2,2	2,2	57,7	10,0
6	0,08	2,4	2,4	46,2	9,7
7	0,06	3,2	3,2	34,6	8,4
8	0,04	3,3	3,3	23,1	8,3
9	0,04	3,5	3,5	20,3	8,0
10	-0,04	13,0	13,0	-20,3	-6,8
11	-0,04	14,0	13,9	-22,9	-8,4
12	-0,05	13,9	13,8	-28,9	-8,2
13	-0,07	14,4	14,3	-40,4	-9,0
14	-0,09	14,9	14,8	-51,9	-9,7
15	-0,11	14,4	14,3	-63,5	-9,0
16	-0,15	15,3	15,2	-86,6	-10,4
17	-0,18	15,7	15,6	-103,9	-11,0
18	-0,21	16,0	15,9	-121,2	-11,4
19	-0,25	16,2	16,1	-144,3	-11,7
20	-0,30	16,0	15,9	-173,1	-11,4
21	-0,37	16,7	16,6	-213,5	-12,5
22	-0,46	16,9	16,8	-265,4	-12,8
23	-0,47	17,1	17,0	-271,2	-13,1
24	-0,52	17,1	17,0	-300,1	-13,1
25	-0,57	17,3	17,2	-328,9	-13,4
26	-0,57	17,3	17,2	-328,9	26,9
27	-0,40	0,7	0,7	-230,8	-11,9
28	-0,35	0,7	0,7	-202,0	-11,9
29	-0,25	1,1	1,1	-144,3	-11,3
30	-0,15	2,0	2,0	-86,6	-9,8
31	-0,11	2,4	2,4	-63,5	-9,2
32	-0,08	2,7	2,7	-46,2	-8,8
33	-0,06	3,5	3,5	-34,6	-7,5
34	-0,04	4,3	4,3	-20,2	-6,3
35	-0,04	3,6	3,6	-23,1	-7,4
36	0,04	13,7	13,6	23,1	8,3
37	0,09	14,5	14,4	51,9	9,6
38	0,08	13,8	13,7	46,2	8,5
39	0,34	16,6	16,5	196,2	12,8
40	0,13	14,9	14,8	75,0	10,2
41	0,20	15,8	15,7	115,4	11,6
42	0,58	16,7	16,6	334,7	13,0
43	0,58	16,7	16,6	334,7	-25,9

Obrázek 5: Statická metoda



podobající se hysterezní smyčce. Vynášet ji do grafu a zjišťovat hodnoty B_R a H_K je ale nesmyslné. Přikládám alespoň fotografii stínítka osciloskopu.

4 Diskuse

V diskusi je nutno okomentovat některé chyby, kterých jsme se při měření dopustili.

- Nerozvrhli jsme si dobře čas. Dlouho jsme se zdrželi u cejchování galvanometru. Dvanáct měření po dvou hodnotách je hodně. U statické metody jsme se více měli zaměřit na body v blízkosti osy y a neměřit tolik hodnot pro větší proudy.
- Pečlivěji jsme mohli odečítat hodnoty koercitivní síly a remanentní indukce. Také by bylo vhodné věnovat více času přeměření nespolehlivých hodnot u statické metody na úkor zobrazení smyčky na osciloskopu, u kterého byla je malá šance, že se dobře povede.
- Měli jsme si vyžádat jiný ampérmetr, když jsme zjistili, že námi používaný přestává měřit spolehlivě. Pravděpodobně se u měřícího přístroje vybila baterie. Přibližně 20 z naměřených 43 bodů na grafu na obrázku 5 je nevěrohodných.

Shrnutí: Většina chyb byla způsobena naší nezkušeností. V případném dalším měření bychom se přednostně zaměřili na hodnoty B při malých proudech a na přesnější určení B_R a H_K .

5 Závěr

Ocejchovali jsme balistický galvanometr a naměřili jsme hysterezní smyčku statickou metodou. Určili jsme hodnoty remanence a koercitivní síly na $B_R = (4 \pm 1)$ mT a $H_K = (15 \pm 5)$ A·m⁻¹. Pokusili jsme se zobrazit hysterezní křivku na stínítka osciloskopu, ale výsledek nebyl uspokojivý. Měření bylo ovlivněno nespolehlivým ampérmetrem a také chybou experimentátorů.

Reference

- [1] BROŽ, J.: *Základy fyzikálních měření I* SPN, Praha, 1983
- [2] FJFI ČVUT, *Měření hysterezní smyčky balistickým galvanometrem a její zobrazení na osciloskopu* [online], [cit. 26. února 2010], <http://praktika.fjfi.cvut.cz/HystSmycka/>
- [3] FJFI ČVUT, *Chyby měření a zpracování naměřených výsledků* [online], [cit. 26. února 2010], <http://praktika.fjfi.cvut.cz/ProvPokyny/chybynav/CHYBY1n.pdf>
- [4] MACHÁČEK M.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky* Prometheus, Praha, 2005, ISBN 80-7196-264-3
- [5] STORR W., *Electronics Tutorial about Magnetic Hysteresis* [online], [cit. 21. února 2010], <http://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/magnetic-hysteresis.html>