

# 1. POVINNÁ ČASŤ: Meranie horizontálnej zložky intenzity magnetického poľa Zeme Gaussovým magnetometrom

Horizontálna zložka intenzity magnetického poľa Zeme je rovnobežná so smerom od juhu na sever a vieme ju teda určiť pomocou kompasu. V jeho blízkosti však nemôže byť iný zdroj magnetického poľa, ktorý by strelku vychyľoval. Gaussov magnetometer spočíva práve v tom, že porovnávame intenzitu zemského magnetického poľa s intenzitou permanentného magnetu pomocou strelky na kompase, ktorá slúži ako detektor lokálneho magnetického poľa.



(a) Kompas na drevenej lavičke orientovanej kolmo k smeru  $H_z$ .



(b) Tyčový magnet s obalom tieniacim jeho magnetické pole.

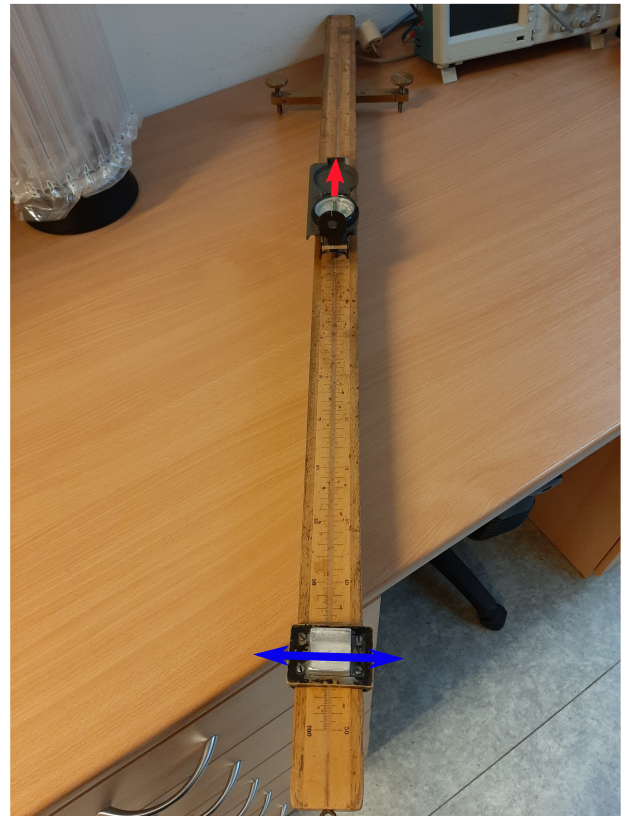
Obr. 1

Tyčový magnet je uskladnený v obale tieniacom jeho magnetické pole a môžeme ho vidieť na Obr. 1b. Kompas je umiestnený na drevenej lavici, po ktorej sa bude magnet posúvať, vid' Obr. 1a. Budeme teda merať uhlovú výchylku strelky z rovnovážnej polohy pre rôzne vzdialenosti tyčového magnetu, konkrétne pre vzdialenosti 45 cm, 40 cm a 35 cm od magnetickej strelky, v dvoch Gaussových polohách. Zatiaľ čo v prvej Gaussovej polohe, zobrazenej na Obr. 2a, meriame pole v osi permanentného magnetu, v druhej Gaussovej polohe, vid' Obr. 2b, meriame pole v priamke vedúcej stredom magnetu a kolmej k jeho osi. Všimnime si, že magnet je orientovaný tak, aby jeho siločiarly boli kolmé k  $H_z$ . V opačnom prípade, t.j. ak by siločiarly boli rovnobežné s  $H_z$ , nepozorovali by sme výchylku strelky.

V každej vzdialenosti nameriame výchylku pre obe otočenia magnetu, vid' Obr. 3a a 3c. Výchylku odčítame pomocou lupy a žltej čiary na sklíčku kompasu. Bez prítomnosti tyčového magnetu ukazovala čiara na vonkajšej stupnici hodnotu 15.6. Ako by sa dalo čakať, strelka sa pri otočení magnetu vychýli do opačnej strany od rovnovážnej polohy, čo môžeme vidieť na Obr. 3b a 3d. Takto opakujeme meranie aj na druhej strane lavice pre obe Gaussove polohy. Dostaneme teda pre každú vzdialenosť a každú Gaussovú polohu štyri hodnoty výchylky, ktoré zpriemerujeme. Tieto hodnoty v stupňoch nájdete v textových súboroch s názvom v tvare `phi1_vzdialenost.txt` alebo `phi2_vzdialenost.txt`.



(a) Prvá Gaussova poloha.



(b) Druhá Gaussova poloha.

Obr. 2: Experimentálne usporiadanie. Červená šípka označuje smer  $H_z$ , modrá šípka polohu tyčvého magnetu.



(a) Magnet v prvej Gaussovej polohe vo vzdialenosti 45 cm.



(b) Vychýlená strelka prislúchajúca polohe magnetu v Obr. 3a.



(c) Otočený magnet v prvej Gaussovej polohe vo vzdialenosti 45 cm.



(d) Vychýlená strelka prislúchajúca polohe magnetu v Obr. 3c.

Obr. 3: Rovnovážna poloha žltej čiary je 15.6 na vonkajšej stupnici.

Aby sme mohli spočítať magnetický moment magnetu, nameriame periódu kmitov v magnetickom poli Zeme. Aparatúru na meranie periódy vidíme na Obr. 4a. Tyčový magnet je položený v púzdre, ktoré vysí sa silikónovom lanku. Aby meranie nebolo ovplyvnené fluktuáciami v okolí, teda prieveanom, je okolo magnetu umiestnený plastový valec. Na stopkách nameriame trvanie desiatich periód malých kmitov magnetu. Toto meranie zopakujeme päť krát. V textovom súbore `perioda.txt` nájdete päť hodnôt, kde každá predstavuje dobu trvania jednej periódy v sekundách.

Nakoniec zmeriame posuvným meradlom rozmery permanentného magnetu a jeho hmotnosť. Na váhy zobrazené na Obr. 4b položíme magnet a postupne pridávame závažia, kým váhy nie sú vyvážené. Priemer, dĺžka a hmotnosť magnetu sú po rade

$$d = 2.205 \text{ cm,}$$

$$l = 12.340 \text{ cm,}$$

$$m = 298.57 \text{ g.}$$



(a) Aparatúra na meranie periódy kmitov tyčvého magnetu v magnetickom poli Zeme.

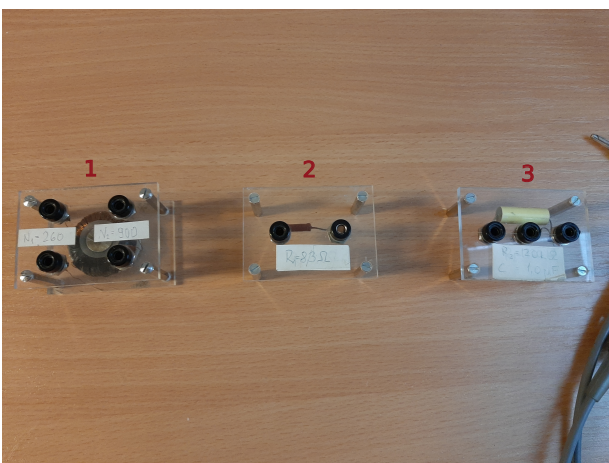


(b) Rovnnoramenné váhy.

Obr. 4

## 2. VOLITELNÁ ČASŤ

### 2.1. Varianta A: Magnetická odozva feromagnetického matiriálu (hysterézna smyčka)



(a) Komponenty obvodu.

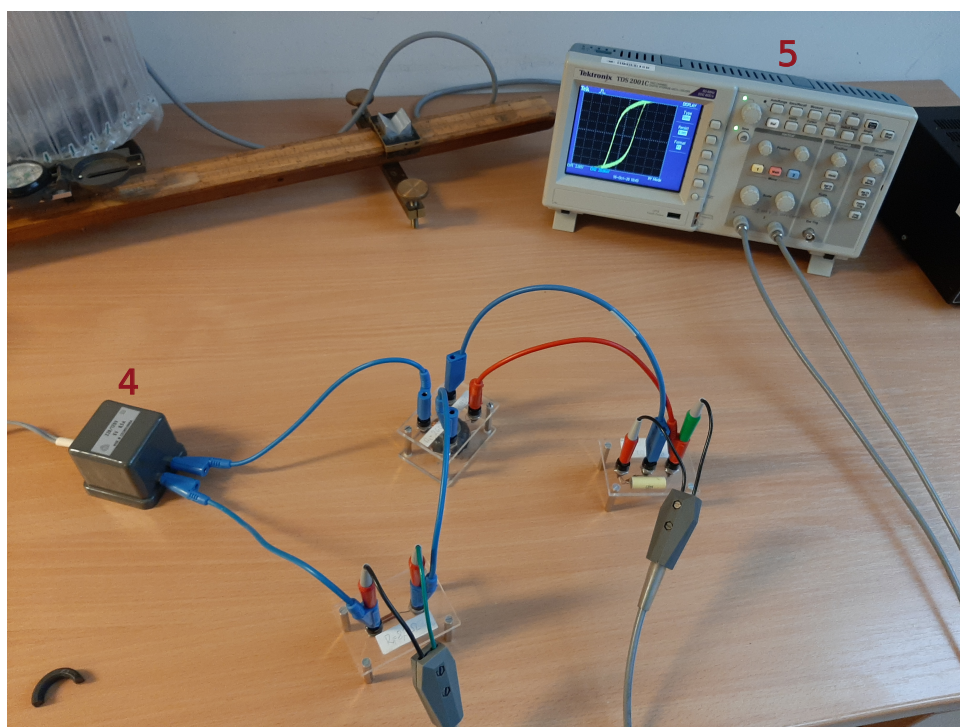


(b) Feromagnetické jadro transformátoru. Zelená farba vyznačuje plochu, ktorou prechádza magnetický tok.

Obr. 5

Zapojíme obvod podľa Obr. 4 v návode. Jednotlivé komponenty sú označené číslami a ukázané na Obr. 5a and 6. Sú to:

1. transformátor v tvare toroidu - primárna a sekundárna cievka ovinutá okolo feromagnetického jadra ukázaného na Obr. 5b,
2. rezistor  $R_1$ ,
3. rezistor  $R_2$  v paralelnom zapojení s kondenzátorom,
4. zdroj striedavého napätia,
5. osciloskop.



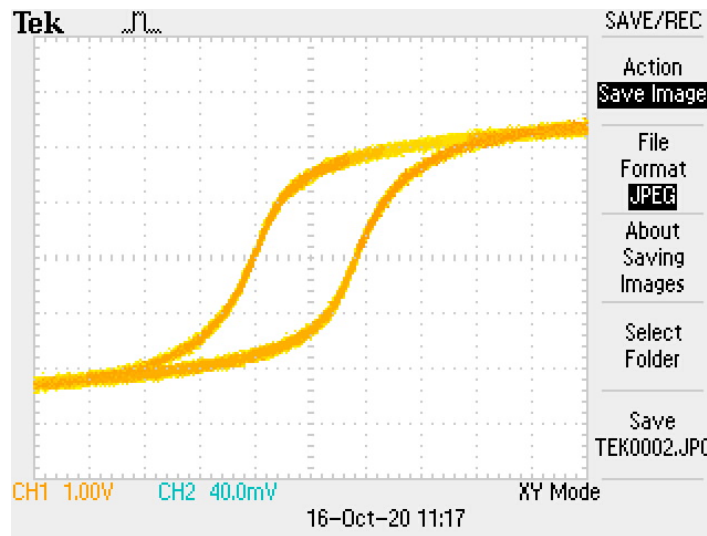
Obr. 6: Zapojený obvod.

Striedavé napätie  $U_1$  privedené na primárnu cievku (meriame osciloskopom na rezistore  $R_1$ ) vytvára tok magnetického poľa, ktorý v sekundárnej cievke indukuje napätie  $U_2$  (meriame osciloskopom na rezistore  $R_2$ ). Nastavíme osciloskop do režimu XY, v ktorom môžeme pozorovať závislosť napätia  $U_2$  na napätí  $U_1$ . Dostaneme teda priamo tvar hysteréznej smyčky. Snímka z osciloskopu je ukázaná na Obr. 7. CH1 a CH2 označujú napätie  $U_1$  a  $U_2$ , a udávajú veľkosť strán štvorcov tvoriacich mriežku v jednotkách napätia. Tieto dáta nájdete v súbore s názvom `F0000CHBOTH.CSV`, ktorý obsahuje časové závislosti  $U_1(t)$  a  $U_2(t)$ , pričom samotné hodnoty  $U_1$  a  $U_2$  sa nachádzajú v druhom a štvrtom stĺpci. Vašou úlohou teda bude vyniesť do grafu závislosť  $U_2$  na  $U_1$ . Pre úplnosť ukazujeme na Obr. 8 aj závislosti napätí  $U_1$  a  $U_2$  na čase.

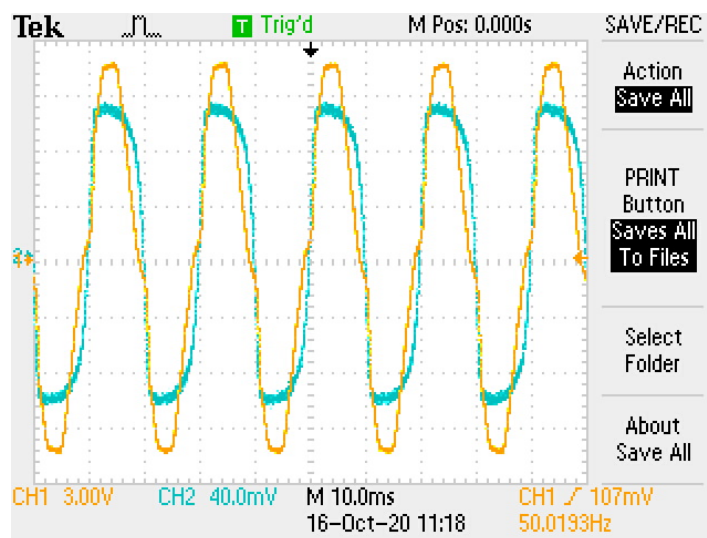
Aby sme mohli príslušné napätia prepočítať na magnetickú intenzitu  $H$  a magnetizáciu  $M$ , potrebujeme vedieť rozmery jadra transformátoru a parametre použitých súčiastok

$$\begin{aligned}
 a &= 5.19 \text{ mm}, & b &= 8.26 \text{ mm}, \\
 d_{\min} &= 19.77 \text{ mm}, & d_{\max} &= 30.28 \text{ mm}, \\
 N_1 &= 260, & N_2 &= 900, \\
 R_1 &= 83 \Omega, & R_2 &= 120 \text{ k}\Omega, \\
 C &= 1 \mu\text{F},
 \end{aligned}$$

kde  $d_{\min}$  ( $d_{\max}$ ) je minimálny (maximálny) priemer toroidu. Ostatné značenie odpovedá tomu v návode.



Obr. 7: Hysterézna smyčka.

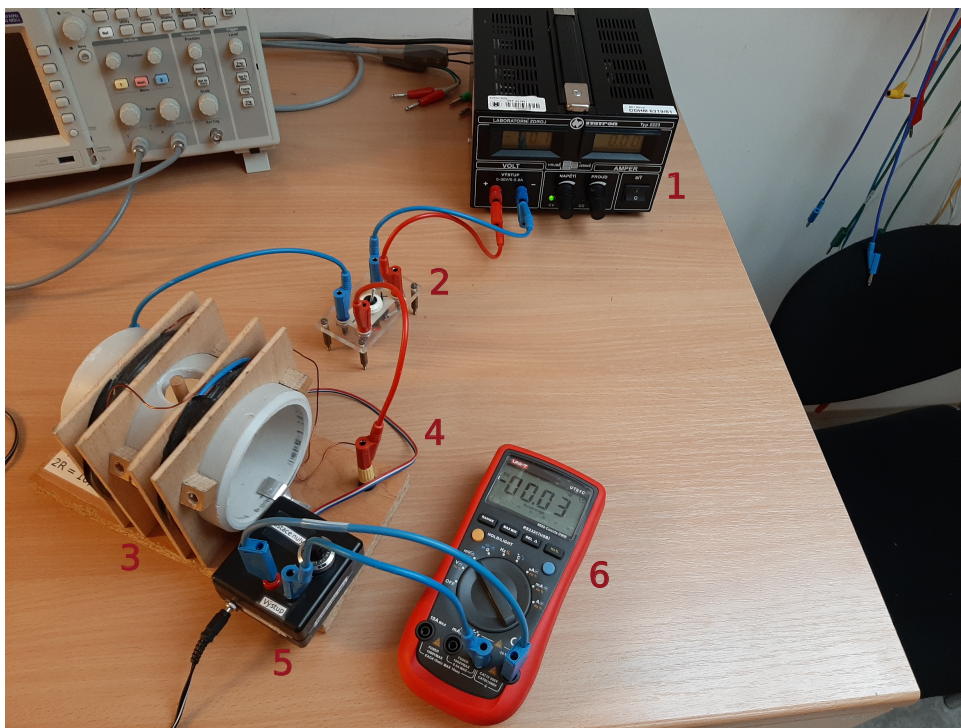


Obr. 8: Závislosti napätí  $U_1$  a  $U_2$  na čase.

## 2.2. Varianta B: Tienenie magnetického poľa vo valcovej dutine

Helmholtzove cievky zapojíme podľa Obr. 6 v návode. Zapojený obvod s očíslovanými komponentami vidíme na Obr. 9, kde

1. zdroj s ampérmetrom,
2. komutátor prúdu,
3. Helmholtzove cievky,
4. kontakt, ktorý privádza Hallovu sondu na voltmeter,
5. justícia Hallovej sondy pre nulové magnetické pole,
6. voltmeter.



Obr. 9: Zapojený obvod.

Privedením prúdu do obvodu sa v Helmholtzove cievkach indukuje homeogénne magnetické pole, ktoré meriame pomocou Hallovej sondy. Sondu najprv najustujeme tak, aby voltmeter meral pri nulovom magnetickom poli napätie  $U_H$  čo najbližšie 0 mV. Potom meriame  $U_H$  pre štyri hodnoty prúdu 0.5 A, 1.0 A, 1.5 A a 2.0 A najprv bez trubiek, ktoré budú magnetické pole vnútri Helmholtzových cievok tieniť a potom s trubkami. Merania prevádzame pre obe komutácie prúdu. Určovať sa bude tienenie pre trubky na Obr. 10b vyrobené z nerezi, oceli, niklu a Fe-Si-B. Oceľovú trubku tieniacu magnetické pole vidíme na Obr. 10a. Namerané hodnoty nájdete v súboroch `Vzduch.txt`, `Ocel.txt`, `Nerez.txt`, `Nikel.txt` a `FeSiB.txt`.

Parametre Helmholtzových cievok a trubiek sú (značenie odpovedá tomu v návode)

$$\begin{aligned}N &= 100, \\d_{\text{nikel}} &= 0.30 \text{ mm}, \\d_{\text{FeSiB}} &= 0.027 \text{ mm}, \\a_{\text{ocel}} &= 22.33 \text{ mm}, \\a_{\text{nerex}} &= 18.65 \text{ mm},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2R &= 10.5 \text{ cm}, \\R_{\text{nikel}} &= 10.6 \text{ mm}, \\R_{\text{FeSiB}} &= 12.7 \text{ mm}, \\b_{\text{ocel}} &= 17.17 \text{ mm}, \\b_{\text{nerex}} &= 15.09 \text{ mm}.\end{aligned}$$



(a) Aparatúra so zasunutou tieniacou trebkou z ocele.



(b) Tieniace trubky, zľava nerex, oceľ, nikel, Fe-Si-B.

Obr. 10