

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II – Elektřina a magnetismus

Úloha č.: VII

Název: Měření indukčnosti a kapacity metodou přímou

Pracoval: Pavel Brožek

stud. skup. 12

dne 10.10.2008

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 10	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

1 Pracovní úkol

1. Změřte závislost indukčnosti cívky na procházejícím proudu pro tyto případy:
 - (a) cívka bez jádra
 - (b) cívka s otevřeným jádrem
 - (c) cívka s uzavřeným jádrem
2. Přímo metodou změřte odpor cívky a určete její kvalitu.
3. Změřte velikost kapacit kondenzátorů z kapacitní dekády.
4. Odhadněte přesnost měření.

2 Teorie

2.1 Měření indukčnosti cívky

Pro napětí \tilde{U} na cívce o indukčnosti L a odporu R_L , kterou prochází střídavý proud \tilde{I} o úhlové frekvenci ω platí vztah

$$\tilde{U} = (R_L + i\omega L)\tilde{I} . \quad (1)$$

Pro velikost impedance cívky tedy platí

$$Z = |\tilde{Z}| = \left| \frac{\tilde{U}}{\tilde{I}} \right| = \sqrt{R_L^2 + \omega^2 L^2} . \quad (2)$$

Pro velikost impedance také platí vztah

$$Z = \frac{U}{I} , \quad (3)$$

kde U je efektivní hodnota napětí a I efektivní hodnota proudu. Ze vztahu (2) můžeme vyjádřit indukčnost

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R_L^2}}{2\pi f} . \quad (4)$$

Kvalita cívky Q je dána vztahem

$$Q = \tan \varphi = \frac{\omega L}{R_L} . \quad (5)$$

2.2 Měření kapacity kondenzátoru

Pro napětí \tilde{U} na kondenzátoru o kapacitě C a odporu R_C , kterým prochází střídavý proud \tilde{I} o frekvenci f platí vztah

$$\tilde{U} = \left(\frac{1}{R_C} + i\omega C \right)^{-1} \tilde{I} . \quad (6)$$

Pro impedanci máme tedy vztah

$$Z = |\tilde{Z}| = \left| \frac{\tilde{U}}{\tilde{I}} \right| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_C^2} + \omega^2 C^2}} = \frac{1}{\omega C} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C R_C}\right)^2 + 1}} . \quad (7)$$

Jestliže $R_C \gg \frac{1}{\omega C}$, pak můžeme člen $\frac{1}{\omega C R_C}$ zanedbat a dostaneme pro kapacitu vztah

$$C = \frac{1}{2\pi f Z} . \quad (8)$$

Pro velikost impedance platí

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (9)$$

kde U je efektivní hodnota napětí a I efektivní hodnota proudu.

3 Výsledky měření

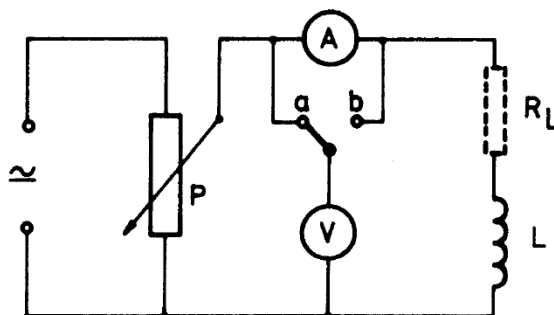
Chyby měření proudu resp. napětí jsou vypočteny podle udané třídy přesnosti p použitého měřicího přístroje a jeho rozsahu r pomocí vzorce

$$\sigma_I = \frac{prA}{100}, \quad (10)$$

resp. analogického vzorce pro chybu měření napětí. Při měření stejnosměrného napětí byl použit voltmetr o odporu $R_{V1} = 1000 \Omega$, při měření střídavého napětí o odporu $R_{V2} = 5000 \Omega$. Odpor použitého ampérmetru bohužel nebyl na přístroji uveden.

3.1 Měření indukčnosti cívky

Měření jsem prováděl při zapojení podle obrázku 1 v poloze b.



Obrázek 1: Zapojení obvodu

Nejprve jsem změřil proud I a napětí U na cívce bez jádra při stejnosměrném napětí, abych určil odpor cívky R_L . Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Cívka při stejnosměrném proudu

I [A]	σ_I [A]	U [V]	σ_U [V]
1,8	0,03	5,00	0,06

Pomocí vzorců (2) a (3), kde $\omega = 0$ jsem určil odpor cívky

$$R_L = (2,78 \pm 0,06) \Omega. \quad (11)$$

Dále jsem měřil proud I a napětí U na cívce bez jádra, s otevřeným jádrem a uzavřeným jádrem při střídavém napětí, abych určil jejich indukčnosti L_1 , L_2 a L_3 . Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 2, 3 a 4.

Lineární regresí jsem určil impedanci cívky pro jednotlivé případy:

$$Z_1 = (5,14 \pm 0,04) \Omega \quad (12)$$

$$Z_2 = (36 \pm 2) \Omega \quad (13)$$

$$Z_3 = (680 \pm 40) \Omega \quad (14)$$

Tabulka 2: Cívka bez jádra

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
100	8	0,50	0,04
200	8	1,02	0,04
300	8	1,54	0,04
400	8	2,02	0,04
450	8	2,35	0,09

Tabulka 3: Cívka s otevřeným jádrem

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
50	2	1,48	0,04
100	8	3,10	0,09
150	8	4,60	0,09
200	8	7,6	0,4
250	8	9,2	0,4

Tabulka 4: Cívka s uzavřeným jádrem

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
50	2	36	2
100	8	88	4
150	8	112	4
200	8	130	4
220	8	136	4

Ze vztahu (4) jsem určil indukčnosti pro jednotlivé případy:

$$L_1 = (13,8 \pm 0,2) \text{ mH} \quad (15)$$

$$L_2 = (114 \pm 6) \text{ mH} \quad (16)$$

$$L_3 = (2,16 \pm 0,13) \text{ H} \quad (17)$$

Kvalitu cívky pro případ bez jádra Q_1 , s otevřeným jádrem Q_2 a uzavřeným jádrem Q_3 jsem určil podle vztahu (5):

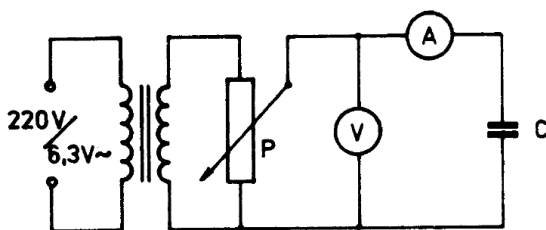
$$Q_1 = 1,56 \pm 0,04 \quad (18)$$

$$Q_2 = 12,9 \pm 0,7 \quad (19)$$

$$Q_3 = 240 \pm 20 \quad (20)$$

3.2 Měření kapacity kondenzátoru

Měření jsem prováděl při zapojení podle obrázku 2.



Obrázek 2: Zapojení obvodu

Nejprve jsem měřil čtyři kondenzátory o udávaných kapacitách $C_{01} = 0,56 \mu\text{F}$, $C_{02} = 1,16 \mu\text{F}$, $C_{03} = 2,2 \mu\text{F}$ a $C_{04} = 4,84 \mu\text{F}$ zvlášť a nakonec kondenzátor vzniklý paralelním zapojením tří různých kondenzátorů o celkové kapacitě $C_{05} = 2,2 + 2,41 + 4,84 = 9,45 \mu\text{F}$. Měřil jsem proud I a napětí U na kondenzátorech při střídavém napětí, abych určil jejich kapacity C_1 až C_5 . Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 5 až 9.

Tabulka 5: Kondenzátor 1 ($C_{01} = 0,56 \mu\text{F}$)

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
0,60	0,03	3,35	0,09
0,80	0,03	4,45	0,09
1,00	0,03	5,60	0,09
1,40	0,03	9,2	0,4
1,60	0,03	10,2	0,4

Lineární regresí jsem určil impedance kondenzátorů:

$$Z_1 = (6200 \pm 200) \Omega \quad (21)$$

$$Z_2 = (3100 \pm 100) \Omega \quad (22)$$

$$Z_3 = (1530 \pm 30) \Omega \quad (23)$$

$$Z_4 = (740 \pm 20) \Omega \quad (24)$$

$$Z_5 = (390 \pm 10) \Omega \quad (25)$$

Tabulka 6: Kondenzátor 2 ($C_{02} = 1,16 \mu\text{F}$)

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
0,60	0,03	1,66	0,04
1,00	0,03	2,80	0,09
1,60	0,03	4,45	0,09
2,00	0,08	6,8	0,4
3,00	0,08	9,4	0,4

Tabulka 7: Kondenzátor 3 ($C_{03} = 2,2 \mu\text{F}$)

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
1,60	0,03	2,60	0,09
2,50	0,08	3,60	0,09
4,00	0,08	5,70	0,09
6,0	0,3	9,4	0,4
7,0	0,3	10,8	0,4

Tabulka 8: Kondenzátor 4 ($C_{04} = 4,84 \mu\text{F}$)

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
3,00	0,08	2,25	0,09
5,00	0,08	3,70	0,09
8,0	0,3	5,10	0,09
10,0	0,3	7,8	0,4
14,0	0,3	10,5	0,4

Tabulka 9: Kondenzátory paralelně ($C_{05} = 9,45 \mu\text{F}$)

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
6,0	0,3	2,02	0,04
14,0	0,3	4,80	0,09
16,0	0,3	6,8	0,4
20,0	0,3	8,2	0,4
25,0	0,8	9,4	0,4

Pomocí vzorce (8) jsem vypočítal kapacity kondenzátorů:

$$C_1 = (5,13 \pm 0,02) \mu\text{F} \quad (26)$$

$$C_2 = (1,03 \pm 0,03) \mu\text{F} \quad (27)$$

$$C_3 = (2,08 \pm 0,04) \mu\text{F} \quad (28)$$

$$C_4 = (4,30 \pm 0,12) \mu\text{F} \quad (29)$$

$$C_5 = (8,2 \pm 0,2) \mu\text{F} \quad (30)$$

4 Diskuse výsledků

Při měření indukčnosti cívky bez jádra a s otevřeným jádrem byl dobře splněn vztah

$$R_{V2} \gg \frac{U}{I} . \quad (31)$$

Tento vztah však nebyl splněn tak dobře pro cívku s uzavřeným jádrem, proto by bylo vhodné provést korekci na odpor voltmetru.

Naměřené indukčnosti odpovídají očekávání, že cívka s jádrem bude mít větší indukčnost než cívka bez jádra a že cívka s uzavřeným jádrem bude mít řádově větší indukčnost než cívka s otevřeným jádrem a bez jádra. Podobně kvalita cívky se výrazně zvýší přidáním jádra a jeho uzavřením.

Naměřené kapacity kondenzátorů neodpovídají ani v rámci chyb udávané kapacitě, ve všech případech byla naměřena nižší kapacita než udaná. Pravděpodobně byla do měření zanesena systematická chyba způsobená nenulovým odporem přírodních vodičů.

5 Závěr

Určil jsem odpor cívky

$$R_L = (2,78 \pm 0,06) \Omega . \quad (32)$$

Dále jsem určil indukčnosti a kvality cívky bez jádra, s otevřeným jádrem a uzavřeným jádrem

$$L_1 = (13,8 \pm 0,2) \text{ mH} \quad (33)$$

$$L_2 = (114 \pm 6) \text{ mH} \quad (34)$$

$$L_3 = (2,16 \pm 0,13) \text{ H} \quad (35)$$

$$Q_1 = 1,56 \pm 0,04 \quad (36)$$

$$Q_2 = 12,9 \pm 0,7 \quad (37)$$

$$Q_3 = 240 \pm 20 \quad (38)$$

Změřil jsem kapacity kondenzátorů.

$$C_1 = (5,13 \pm 0,02) \mu\text{F} \quad (39)$$

$$C_2 = (1,03 \pm 0,03) \mu\text{F} \quad (40)$$

$$C_3 = (2,08 \pm 0,04) \mu\text{F} \quad (41)$$

$$C_4 = (4,30 \pm 0,12) \mu\text{F} \quad (42)$$

$$C_5 = (8,2 \pm 0,2) \mu\text{F} \quad (43)$$

Reference

- [1] J. English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006
- [2] R. Bakule, J. Šternberk: Fyzikální praktikum II - Elektřina a magnetismus, SPN, Praha