

11-11-2010

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum 2

Úloha č. 7

Název: **Měření indukčnosti a kapacity metodou přímou**Pracoval: **Jiří Kratochvíl** stud.sk.: 11 dne: **4.10.2010**

Odevzdal dne:

| | možný počet bodů | udělený počet bodů |
|---------------------------|------------------|--------------------|
| Práce při měření | 0 - 5 | 5 |
| Teoretická část | 0 - 1 | 1 |
| Výsledky měření | 0 - 8 | 6 |
| Diskuse výsledků | 0 - 4 | 4 |
| Závěr | 0 - 1 | 1 |
| Seznam použité literatury | 0 - 1 | 0 |
| Celkem | max. 20 | 20 |

Posuzoval: *ko csk*dne: *18.11.2010*

Pracovní úkol:

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

Obsah:

- 1 Teoretická část
 - 1.1 Statistické zpracování
 - 1.2 Cívka v obvodu se stejnosměrným proudem
 - 1.3 Obvod se střídavým proudem
 - 1.4 Cívka v obvodu se střídavým proudem
 - 1.5 Kondenzátor v obvodu se střídavým proudem
- 2 Výsledky měření
 - 2.1 Pomůcky a měřicí přístroje
 - 2.2 Měření odporu cívky přímou metodou
 - 2.3 Závislost indukčnosti na proudu procházejícím cívkou
 - 2.4 Činitel jakosti cívky
 - 2.5 Měření odporu kondenzátorů
 - 2.6 Měření velikosti kapacit z kapacitní dekády
- 3 Diskuse
 - 3.1 Cívky
 - 3.2 Kondenzátory
 - 3.3 Odhad přesnosti měření
- 4 Závěr
- 5 Seznam použité literatury

1 Teoretická část

1.1 Statistické zpracování

Chyby nepřímého měření sčítány metodou přenosu chyb dle vzorce

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 (\sigma_i)^2} \quad (s1)$$

σ - výsledná chyba měření, f - fyzikální vztah, x_i - jednotlivé veličiny ze vztahu f ,

σ_i - chyby jednotlivých veličin ze vztahu f

Chyba statistická a chyba měřidla sečtena vzorcem

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_m^2 + \sigma_s^2)} \quad (s2)$$

σ - výsledná chyba měření, σ_m - chyba měřidla, σ_s - statistická chyba

Chyba váženého aritmetického průměru počítána dle vztahu

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_i \left(\frac{1}{\sigma_i}\right) (x_i - x)^2}}{\sum_i \left(\frac{1}{\sigma_i}\right)} \quad (s3)$$

σ - výsledná chyba měření, x_i - hodnota jednotlivých měření, x - průměrná hodnota,

n - počet měření

[2]

Regrese v počítána v programu gnuplot, asymptotická chyba sečtena ve čtverci s chybou měření.

1.2 Cívka v obvodu se stejnosměrným proudem

Cívka v obvodu s konstantním stejnosměrným proudem I se chová jako obyčejný odpor R , musí pro ni tedy platit ohmův zákon.

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

kde U je napětí.

1.3 Obvod se střídavým proudem

Ve střídavém obvodu se harmonicky mění proud. Průběh okamžitého proudu i^* můžeme zapsat v komplexní symbolice jako vztah

$$i^* = i_0 e^{j\omega t}$$

kde je i_0 - amplituda proudu, ω - uhlová frekvence, j - imaginární jednotka

Průběh okamžitého napětí u^* pak jako

$$u^* = u_0 e^{j(\omega + \varphi)t}$$

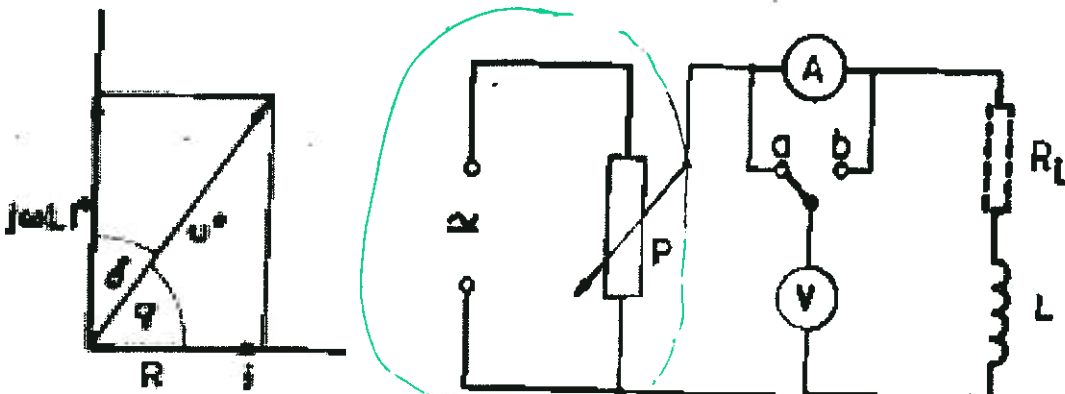
kde je U_0 - amplituda napětí, ω - uhlová frekvence, j - imaginární jednotka, φ - fázový posun

Pro úhlovou frekvenci ω platí vztah

$$\omega = 2\pi f$$

kde je f - frekvence střídavého napětí

1.4 Cívka v obvodu se střídavým proudem



Obrázek č.1

Zapojení č.1

Při měření indukčnosti musíme zapojit voltmetr za ampérmetr (klíč b) jelikož má cívka malý odpor, měřili bychom napětí i na ampérmetru.

Napětí na indukčnosti u_L^* můžeme zapsat za předpokladu, že je její odpor nulový vzorcem

$$u_L^* = L \frac{di^*}{dt} = j\omega L i^*$$

kde je L - indukčnost

Reálná cívka se bude chovat jako cívka zapojená s odporem v sérii pro odpor platí ohmův zákon pro střídavý proud

$$u_R^* = R i^*$$

kde je u_R^* - okamžité napětí na odporu, R - odpor

Napětí na reálné cívce u_{LR}^* poté zapíšeme

$$u_{LR}^* = u_L^* + u_R^* = (R + j\omega L) i^*$$

Činitel jakosti cívky Q určuje fázový posun napětí vůči proudu viz **obrázek č.1**. Čím je vyšší činitel jakosti tím je kvalitnější cívka.

$$Q = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R} \quad (2)$$

Impedance cívky Z_{LR} je rovna

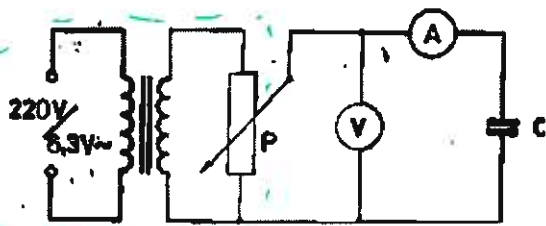
$$Z_{LR} = \frac{U}{I} = |Z^*| = |(R + j\omega L)| = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

U - efektivní hodnota napětí, I - efektivní hodnota proudu

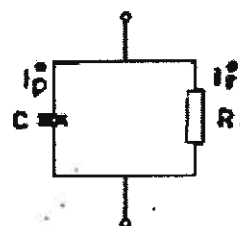
Upravením tohoto vztahu a dosazením za úhlovou frekvenci dostaneme vztah pro indukčnost

$$L = \frac{\sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}}{2\pi f} \quad (3)$$

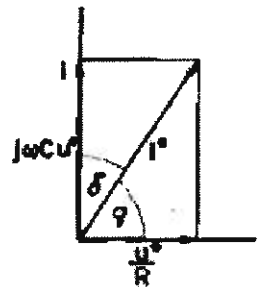
1.5 Kondenzátor v obvodu se střídavým proudem



Zapojení č.2



Obrázek č.3



Obrázek č.4

Při měření kondenzátoru musíme zapojit voltmetr před ampérmetr, jelikož kondenzátor má veliký odpor stejně jako voltmetr, měřili bychom tedy proud i na voltmetru.

Posuvný proud i_p^* tekoucí kapacitou C bude roven

$$i_p^* = \frac{dQ_e}{dt} = C \frac{du^*}{dt} = j\omega C u^*$$

Reálný kondenzátor se bude chovat jako paralelní zapojení odporu R_C a kondenzátoru viz **obrázek č.3** a pro tuto situaci bude platit vzorec

$$i^* = (j\omega C + \frac{1}{R_C}) u^*$$

Impedance cívky

$$Z = \frac{U}{I} = |Z^*| = \left| \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{R_C}} \right| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_C^2} + \omega^2 C^2}} \quad \text{poté bude } \underline{2}$$

Fáze proudu bude posunuta o *fázový posun proudu* - φ_i kvalita kondenzátoru se hodnotí především ztrátovým činitelem, což je tangenta úhlu δ . Čím je menší ztrátový činitel, tím je kondenzátor kvalitnější

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega R_C C} \quad (4)$$

Pokud zanedbáme vliv odporu kondenzátoru $R \gg (\omega C)^{-1}$ můžeme určit kapacitu dle vztahu

$$C = \frac{I}{2\pi f U} \quad (5)$$

2 Výsledky měření

2.1 Pomůcky a měřicí přístroje

- Digitální voltmetr: rozsah 20V a 200V AC chyba 2,5% + 10
- Ampérmetr: 1,5% +1
- Miliampérmetr
- Cívka + jádro ve tvaru čtverce, jehož jedna strana šla odendat
- Kondenzátorová dekáda s šesti kondenzátory
- Vodiče
- Zdroj střídavého napětí 50Hz 220V s měnitelným výkonem
- Transformátor 220V/6,2V
- Zdroj stejnosměrného napětí

2.2 Měření odporu cívky přímou metodou

Nejdříve jsme museli zjistit odpor cívky. Zapojili jsme cívku ke zdroji napětí přes ampérmetr, voltmetr jsme umístili mezi cívku a ampérmetr jelikož cívka a ampérmetr budou mít srovnatelný odpor. Změřili jsme napětí a proud. Z těchto hodnot jsme spočítali odpor dle vzorce (1), naměřené hodnoty jsou v *tabulce č.1*.

Tabulka č.1

U - napětí, I - proud

| I[mA] | σ_I [mA] | U[V] | σ_U [V] | R_L [Ω] | σ_R [Ω] |
|-------|-----------------|-------|----------------|--------------------|-------------------------|
| 1 | 0,004 | 2,747 | 0,004 | 2,747 | 0,01 |
| 0,5 | 0,003 | 1,376 | 0,003 | 2,752 | 0,02 |
| 0,25 | 0,002 | 0,686 | 0,003 | 2,744 | 0,05 |

Lineární regresí jsme zjistili odpor cívky $R_L = (2,75 \pm 0,02)\Omega$ s vodiči, který budeme používat v dalších výpočtech. Odpor samotné cívky tedy odhaduji na $R_L = (2,75 \pm 0,04)\Omega$.

2.3 Závislost indukčnosti na proudu procházejícím cívku

Zapojili jsme obvod dle *zapojení č.1* poloha klíče b. Změřili jsme závislost proudu na napětí s cívku ve střídavém obvodu o frekvenci $f = (50 \pm 0,5)Hz$ a dopočítali indukčnost dle vztahu (3). Naměřené hodnoty jsou v

- *tabulce č.2* pro cívku bez jádra a vyneseny do *grafu č.1*.
- *tabulce č.3* pro cívku s jádrem a vyneseny do *grafu č.2*.
- *tabulce č.4* pro cívku s uzavřeným jádrem a vyneseny do *grafu č.3*.

Tabulka č.2

U - napětí, I - proud, L - indukčnost

| I[A] | σ_I [A] | U[V] | σ_U [V] | L[mH] | σ_L [mH] |
|------|----------------|-------|----------------|--------|-----------------|
| 0,50 | 0,010 | 2,569 | 0,07 | 13,819 | 0,2 |
| 0,45 | 0,010 | 2,322 | 0,07 | 13,902 | 0,2 |
| 0,40 | 0,009 | 2,054 | 0,06 | 13,808 | 0,2 |
| 0,35 | 0,009 | 1,808 | 0,06 | 13,923 | 0,2 |
| 0,30 | 0,008 | 1,546 | 0,05 | 13,877 | 0,2 |
| 0,25 | 0,008 | 1,286 | 0,04 | 13,842 | 0,2 |
| 0,20 | 0,007 | 1,023 | 0,04 | 13,732 | 0,3 |
| 0,15 | 0,007 | 0,764 | 0,03 | 13,650 | 0,3 |
| 0,10 | 0,006 | 0,504 | 0,02 | 13,448 | 0,4 |

Tabulka č.3*U - napětí, I - proud, L - indukčnost*

| I [A] | σ_I [A] | U [V] | σ_U [V] | L [mH] | σ_L [mH] |
|-------|----------------|-------|----------------|--------|-----------------|
| 0,25 | 0,008 | 7,602 | 0,2 | 96,396 | 0,5 |
| 0,23 | 0,007 | 6,973 | 0,18 | 96,106 | 0,5 |
| 0,21 | 0,007 | 6,413 | 0,17 | 96,811 | 0,5 |
| 0,19 | 0,007 | 5,725 | 0,15 | 95,512 | 0,5 |
| 0,17 | 0,007 | 5,140 | 0,14 | 95,844 | 0,6 |
| 0,15 | 0,007 | 4,492 | 0,12 | 94,921 | 0,6 |
| 0,13 | 0,006 | 3,845 | 0,11 | 93,739 | 0,6 |
| 0,11 | 0,006 | 3,329 | 0,09 | 95,934 | 0,7 |
| 0,09 | 0,002 | 2,687 | 0,08 | 94,630 | 0,5 |
| 0,07 | 0,002 | 2,082 | 0,06 | 94,270 | 0,5 |
| 0,05 | 0,002 | 1,464 | 0,05 | 92,790 | 0,5 |

Tabulka č.4*U - napětí, I - proud, L - indukčnost*

| I [A] | σ_I [A] | U [V] | σ_U [V] | L [H] | σ_L [H] |
|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|
| 0,250 | 0,008 | 131 | 3 | 1,665 | 0,002 |
| 0,240 | 0,007 | 128 | 3 | 1,702 | 0,002 |
| 0,230 | 0,007 | 126 | 3 | 1,742 | 0,002 |
| 0,220 | 0,007 | 122 | 3 | 1,763 | 0,002 |
| 0,210 | 0,007 | 119 | 3 | 1,805 | 0,002 |
| 0,200 | 0,007 | 116 | 3 | 1,841 | 0,002 |
| 0,190 | 0,007 | 112 | 3 | 1,880 | 0,002 |
| 0,180 | 0,007 | 108 | 3 | 1,914 | 0,002 |
| 0,170 | 0,007 | 104 | 3 | 1,955 | 0,002 |
| 0,160 | 0,007 | 101 | 3 | 2,003 | 0,002 |
| 0,150 | 0,007 | 96 | 2 | 2,042 | 0,002 |
| 0,140 | 0,006 | 91 | 2 | 2,079 | 0,002 |
| 0,130 | 0,006 | 87 | 2 | 2,129 | 0,002 |
| 0,120 | 0,006 | 81 | 2 | 2,158 | 0,003 |
| 0,110 | 0,006 | 77 | 2 | 2,220 | 0,003 |
| 0,100 | 0,006 | 71 | 2 | 2,267 | 0,003 |
| 0,090 | 0,002 | 66 | 2 | 2,329 | 0,002 |
| 0,080 | 0,002 | 59 | 1 | 2,342 | 0,002 |
| 0,070 | 0,002 | 52 | 1 | 2,362 | 0,002 |
| 0,060 | 0,002 | 43 | 1 | 2,295 | 0,002 |
| 0,050 | 0,002 | 36 | 1 | 2,265 | 0,002 |

2.4 Činitel jakosti cívky

Činitel jakosti cívky získáme dosazením průměrných hodnot indukčností do vztahu (2).

Pro cívku bez jádra dostaneme váženým aritmetickým průměrem $L = (14 \pm 1)mH$

Pro cívku s otevřeným járem dostaneme váženým aritmetickým průměrem $L = (95 \pm 1)mH$

Pro cívku s uzavřeným jádrem dostaneme váženým aritmetickým průměrem

$L = (2,02 \pm 0,06)H$, jelikož jsou naše hodnoty závislé měli bychom vzít polovinu absolutní chyby abychom se vešli se všema naměřenými hodnotama do výsledné indukčnosti pokud chceme spočítat indukčnost pro celý máš rozsah tj. $L = (2,0 \pm 0,45)H$

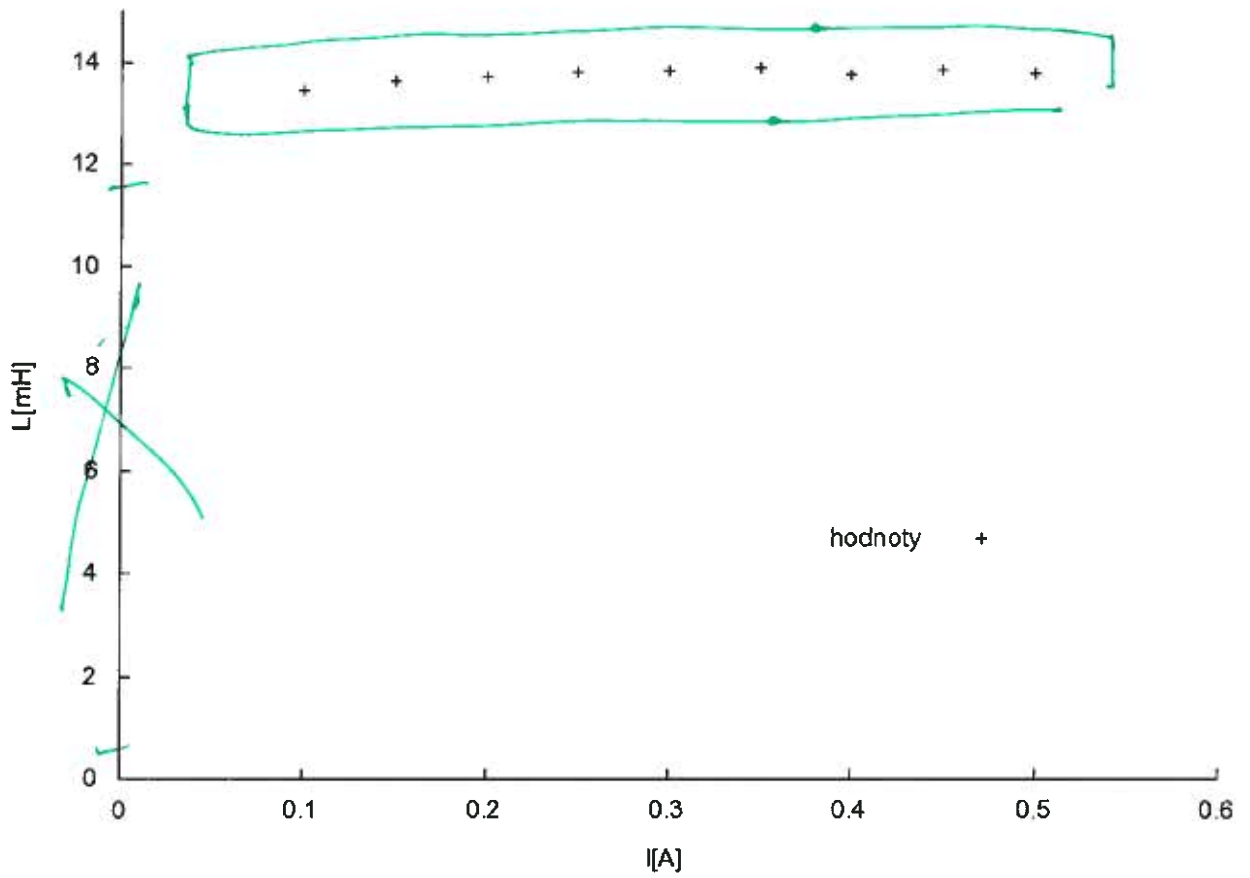
Činitel jakosti cívky potom bude

Pro cívku bez jádra $Q = (1,6 \pm 0,1)$

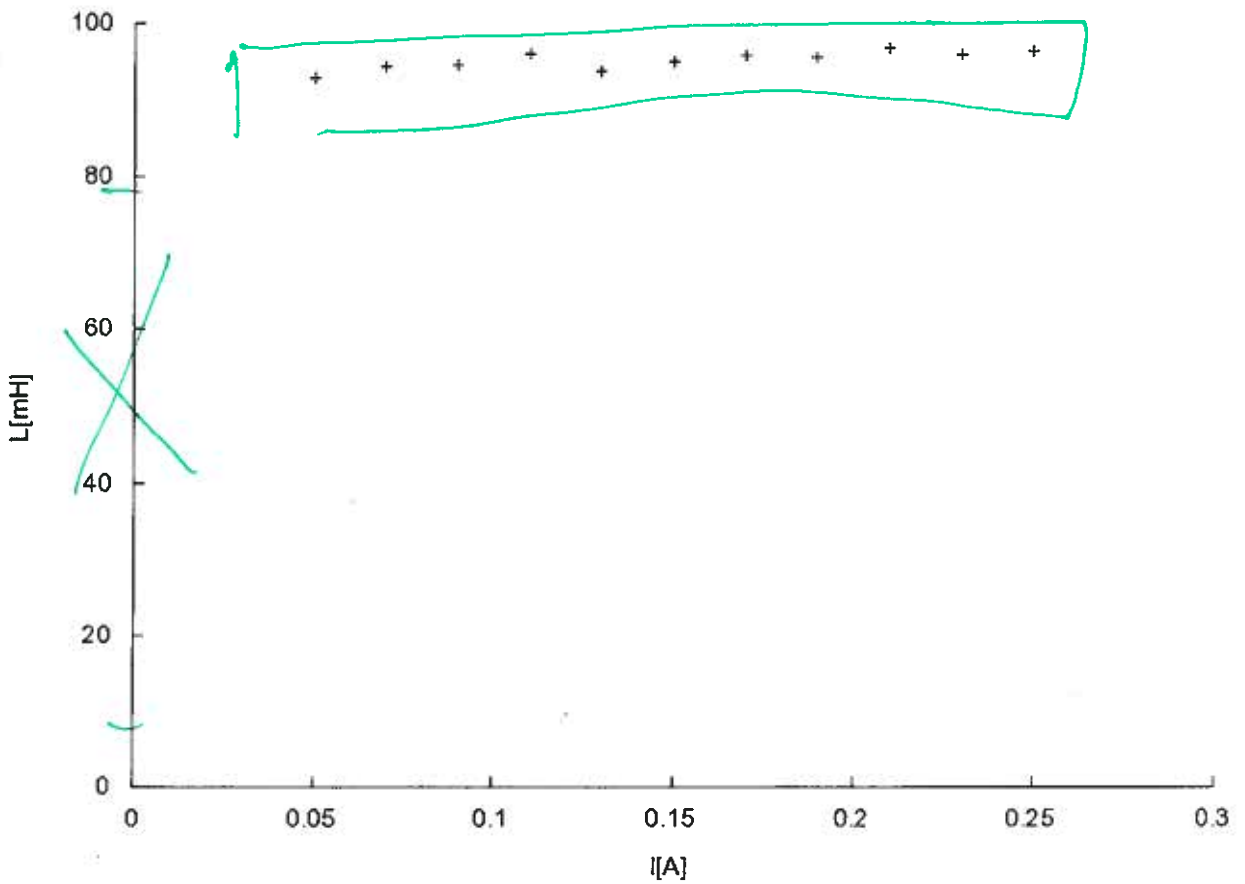
Pro cívku s otevřeným járem $Q = (10,9 \pm 0,2)$

Pro cívku s uzavřeným jádrem $Q = (231 \pm 52)$

Graf c.1 - Zavislost indukcnosti na napeti - civka bez jadra

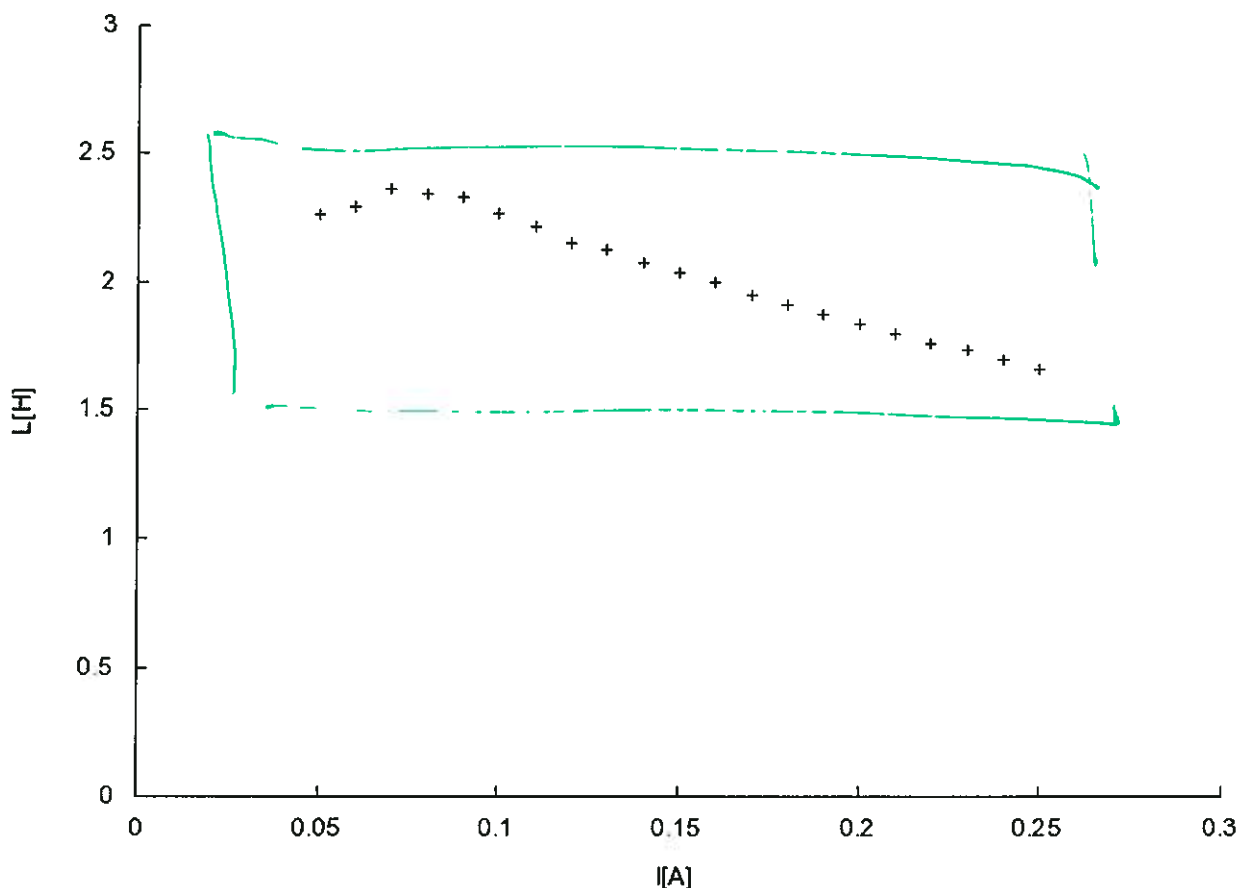


Graf c.2 - Zavislost indukcnosti na napeti - civka s jadrem



GRAF1 SPRAVNE!
+ CHYBY ERROR BARS

Graf c.3 - Zavislost indukčnosti na napeti - cívka s uzavrenym jadrem



2.5 Měření odporů kondenzátorů

Nejdříve musíme zjistit, zda vyhovuje podmínka pro vztah (5) $R_C \gg (\omega C)^{-1}$ to znamená, že musíme změřit odpor kondenzátorů. Zapojíme kondenzátor ke zdroji tak, aby byl voltmetr před kondenzátorem, jelikož kondenzátor a voltmetr mají srovnatelný odpor, měřili bychom pak proud tekoucí voltmetrem. Hodnoty jsou v *tabulce č.5*

Tabulka č.5

U - napětí, I - proud, R_C - odpor kondenzátoru

| | $I [\mu A]$ | $\sigma_I [\mu A]$ | $U [V]$ | $\sigma_U [V]$ | $R_C [M\Omega]$ | $\sigma_{R_C} [M\Omega]$ |
|------|-------------|--------------------|---------|----------------|-----------------|--------------------------|
| 4,84 | 0,8 | 0,05 | 19,92 | 0,04 | 24,9 | 1,56 |
| 2,41 | 0,7 | 0,05 | 19,92 | 0,04 | 28,46 | 2,03 |
| 2,2 | 0,3 | 0,05 | 19,91 | 0,04 | 66,37 | 11,06 |
| 1,16 | 0,2 | 0,05 | 19,91 | 0,04 | 99,55 | 24,89 |
| 0,57 | 0,1 | 0,05 | 19,91 | 0,04 | 199,1 | 99,55 |
| 0,56 | 0,1 | 0,05 | 19,91 | 0,04 | 199,1 | 99,55 |

Vidíme, že hodnoty odporu jsou o 4 řády vyšší nežli hodnoty $(\omega C)^{-1}$ můžeme tedy v klidu zanedbat odpor na kondenzátoru a počítat kapacitu dle vztahu (5).

2.6 Měření velikosti kapacit z kapacitní dekády

Zapojili jsme kondenzátory dle *zapojení č.2*. Kapacitu kondenzátorů jsme spočítali dle vztahu (5), výsledné hodnoty jsou zapsány v *tabulce č.6*

Tabulka č.6

kapacita - hodnota kapacity uváděná výrobcem, U - napětí, I - proud, C - naměřená kapacita

| Kapacita[μ F] | I[mA] | s_1 [mA] | U[V] | σ_U [V] | C[μ F] | σ_C [μ F] |
|--------------------|-------|------------|------|----------------|-------------|-----------------------|
| 4,84 | 2,00 | 0,04 | 2,03 | 0,04 | 3,14 | 0,10 |
| | 1,00 | 0,03 | 1,08 | 0,03 | 2,96 | 0,06 |
| | 0,50 | 0,03 | 0,48 | 0,02 | 3,32 | 0,06 |
| 2,41 | 1,00 | 0,03 | 1,57 | 0,04 | 2,03 | 0,08 |
| | 0,50 | 0,03 | 0,74 | 0,02 | 2,15 | 0,13 |
| | 2,00 | 0,04 | 3,08 | 0,06 | 2,07 | 0,06 |
| 2,2 | 2,00 | 0,04 | 3,24 | 0,07 | 1,97 | 0,06 |
| | 1,00 | 0,03 | 1,67 | 0,04 | 1,91 | 0,08 |
| | 0,50 | 0,03 | 0,77 | 0,02 | 2,07 | 0,12 |
| 1,16 | 2,00 | 0,04 | 5,51 | 0,10 | 1,16 | 0,03 |
| | 1,00 | 0,03 | 2,78 | 0,06 | 1,14 | 0,04 |
| | 0,50 | 0,03 | 1,44 | 0,03 | 1,10 | 0,06 |
| 0,57 | 1,60 | 0,04 | 8,70 | 0,16 | 0,59 | 0,02 |
| | 1,00 | 0,03 | 5,17 | 0,10 | 0,62 | 0,02 |
| | 0,50 | 0,03 | 2,79 | 0,06 | 0,57 | 0,03 |
| 0,56 | 1,60 | 0,04 | 8,89 | 0,16 | 0,57 | 0,02 |
| | 1,00 | 0,03 | 5,33 | 0,10 | 0,60 | 0,02 |
| | 0,50 | 0,03 | 2,92 | 0,06 | 0,55 | 0,03 |

Váženým aritmetickým průměrem jsme dostali výsledné hodnoty kapacit, které jsou zapsány v *tabulce č.7*.

Tabulka č.7

kapacita - hodnota kapacity uváděná výrobcem, C - naměřená kapacita

| Kapacita[μ F] | C[μ F] | σ_C [μ F] |
|--------------------|-------------|-----------------------|
| 4,84 | 3,14 | 0,16 |
| 2,41 | 2,07 | 0,11 |
| 2,2 | 1,97 | 0,11 |
| 1,16 | 1,14 | 0,05 |
| 0,57 | 0,59 | 0,03 |
| 0,56 | 0,57 | 0,03 |

3. Diskuse

3.1 Cívky

Cívka bez jádra nemění svojí indukčnost při zvyšování proudu, to je dáno tím, že vzduch nemění svojí permeabilitu v závislosti na proudu.

U cívky s otevřeným jádrem nepozorujeme také žádnou závislost, pouze narostla indukčnost, jelikož vzrostla permeabilita jádra (například kvůli větší hustotě částic než ve vzduchu).

U cívky s uzavřeným jádrem vidíme, že závislost na procházejícím proudu je značná. To je dáno změnou permeability jádra jakožto reakci na proměnní magnetické pole tvořené cívkou. Permeabilita se zmenšuje při zvyšování proudu.

Uzavřené jádro má pouze o třetinu větší objem než otevřené jádro a je ze stejného materiálu, ale indukčnost je dvacetkrát větší. Indukčnost je takto velká, protože uzavřeme většinu indukčních čar do tzv. magnetického obvodu, magnetické pole, které způsobuje změnu orientace atomů v látce a tím cívku "nabíjí", nebude tlumené indukčními čarami běžícími kolem jádra.

Činitel jakosti je větší při větší indukčnosti, jelikož cívka má stejný odpor, což plyne ze vztahu (2). U cívky s otevřeným jádrem je činitel jakosti velmi malý, tato cívka je podprůměrná, u cívky s otevřeným je průměrná (očekáváme hodnoty 10 až 100) a cívku s uzavřeným jádrem můžeme ohodnotit jako nadprůměrnou.

Odpor cívky nám vyšel $R_L = (2,75 \pm 0,04)\Omega$ což je téměř shodné s hodnotou udávanou výrobcem $2,7 \Omega$.

3.2 Kondenzátory

U kondenzátorů s menší kapacitou jsou naměřené hodnoty kapacit shodné s údaji uváděnými výrobcem. U kondenzátoru s udávanou kapacitou $2,2 \mu\text{F}$ se odchylujeme o 10 procent, a u kondenzátorů s vyššími kapacitami se odchylujeme značně. Tyto velké odchylky mohly být způsobeny buď stárnutím kondenzátoru nebo chybou měřícího přístroje. Jako vadný měřící přístroj podezříváme analogový ampérmetr jelikož voltmetr byl digitální Keatley. Chybné zapojení voltmetru paralelně s kondenzátorem za ampérmetr můžeme vyloučit, protože kapacita je přímo úměrná proudu, dostali bychom tedy vyšší hodnoty kapacit jelikož by při špatném zapojení ampérmetrem tekla větší proud.

3.3 Odhad přesnosti měření

Na chybu hodnoty indukčnosti cívky bez jádra a s otevřeným jádrem měla chyba ampérmetru a voltmetru spolu se statistickou chybou řádově stejný vliv.

U cívky s uzavřeným jádrem zde hrála největší roli chyba statistická vzhledem k závislému průběhu indukčnosti na proudu. Pevná hodnota indukčnosti cívky s uzavřeným jádrem je spíše orientační, měli bychom místo ní spíše brát nějaký fit průběhu indukčnosti v závislosti na proudu.. Hodnota indukčnosti $L = (2,02 \pm 0,06)\text{H}$ by odpovídala náhodnému rozdělení kolem hodnoty 2,02. My máme závislé rozdělení, takže pokud budeme chtít v našem rozsahu měření použít jednu hodnotu indukčnosti musíme vzít polovinu absolutní chyby aby se změřené hodnoty vešly do hodnoty indukčnosti.

Odporů kondenzátorů jsou pouze řádově směrodatné jelikož jsme měli k dispozici mikroampérmetr, který měl nejmenší dílek $0,1 \mu\text{A}$, například u měření nejmenší kapacity jsme naměřili pouze $0,1 \mu\text{A}$, dále byl zde nezanedbatelný faktor posuvného proudu, který nabíjel kondenzátor v limitě na napětí zdroje. Je možné, že jsme nenechali zcela ustálit proud a odečetli jsme hodnoty příliš brzy.

U měření kapacit jsme zřejmě udělali systematickou chybu vzhledem k rozjíždění hodnot směrem k vyšším kapacitám.

Odporů vodičů a kontaktů můžeme zanedbat tento odpor odhaduji na $0,02 \Omega$ a byl přítomen u všech měření a dával nám odchylku max 0,7% u měření s cívkami. Na měření kondenzátorů se odpor vodičů vůbec nepodílí jelikož je o 8řádů menší než odporů kondenzátorů.

4. Závěr

Změřili jsme závislost indukčnosti cívky na procházejícím proudu pro cívku bez jádra. Hodnoty jsou v *tabulce č.2* a jsou vyneseny v *grafu č.1*, pro cívku s otevřeným jádrem jsou hodnoty v *tabulce č.3* a vyneseny do *grafu č.2* a hodnoty pro cívku s uzavřeným jádrem jsou v *tabulce č.4* a vyneseny do *grafu č.3*.

Přímou metodou jsme změřili odpor cívky, který nám vyšel $R_L = (2,75 \pm 0,04)\Omega$ a určili jsme její kvalitu bez jádra $Q_{BJ} = (1,6 \pm 0,1)$ s jádrem $Q_{OJ} = (10,9 \pm 0,2)$ s uzavřeným jádrem $Q_{UJ} = (231 \pm 52)$

Změřili jsme velikosti kapacit kondenzátorů z kapacitní dekády výsledky jsou v *tabulce č.7*. Odhadli jsme přesnost měření v kapitole diskuse odstavce 3.2.

5. Seznam použité literatury

- [1] R. Bakule, J. Šternberk, **Fyzikální praktikum II**, mff uk
- [2] Brož, J. a kol., **Základy fyzikálních měření I**, SPN, Praha 1983

10/20/20

6.3V

5 JA D187M

AC

20

6.3V

15E3 JAKEM

AC

20

1025A77 U CV7

| | | | | |
|---------|-------|------|-------|-------|
| 1025A77 | 0.25 | 0.75 | 0.25 | 0.75 |
| 1025A77 | 0.5 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |
| | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| | 0.35 | 0.35 | 0.3 | 0.3 |
| | 0.25 | 0.2 | 0.25 | 0.25 |
| | 0.2 | 0.15 | 0.2 | 0.2 |
| | 0.15 | 0.1 | 0.15 | 0.15 |
| | 0.1 | 0.07 | 0.1 | 0.1 |
| | 0.075 | 0.07 | 0.075 | 0.075 |
| | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.07 |
| | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.06 |
| | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.05 |
| | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
| | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |

108

500

500

1025A77

KONDIKČNÍ TOR

MIKROAMPÉRMETR

$U_0 = 19,9V$

~~9,9mA~~

$V_{100\mu A}$ PR. P. 1

DC

| | I [mA] | U [V] |
|------|--------|------------------------|
| 4,87 | 0,8 | 19,92 19,92 |
| 2,41 | 0,7 | 19,92 |
| 2,2 | 0,3 | 19,91 |
| 1,16 | 0,20 | 19,97 |
| 0,57 | 0,1 | 19,97 |
| 0,56 | 0,1 | 19,91 |

metri odporu C

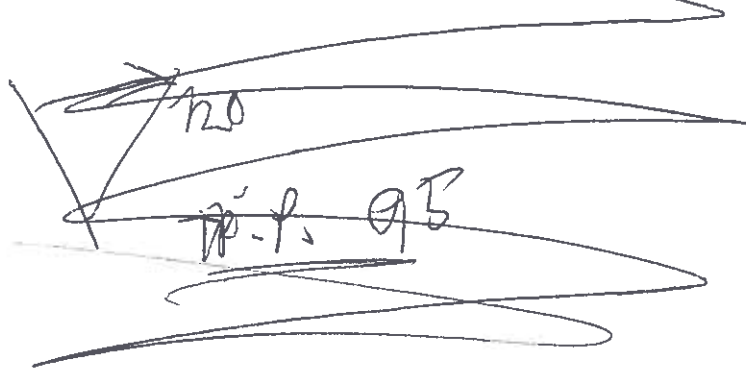
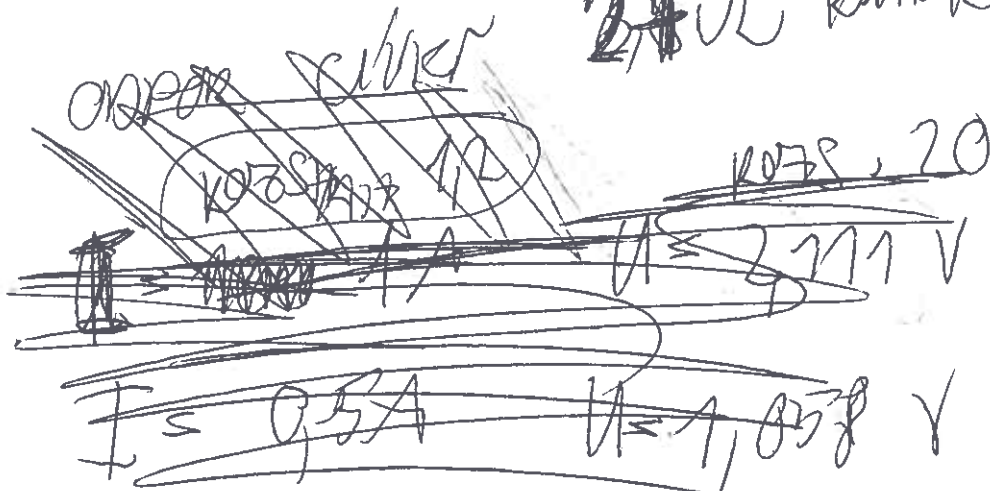
| MF | 2mA 2,030V | 2mA 3,076V |
|------|---------------|---------------|
| 0,56 | • | • |
| 0,57 | • | • |
| 1,16 | • | • |
| 2,2 | • | • |
| 2,47 | • | • |
| 4,84 | • | • |

| | I [mA] | V [V] |
|------|-------------------|------------------|
| 4,84 | 2 | 2,030 |
| 2,47 | 2 | 3,076 |
| 2,2 | 2 | 3,239 |
| 1,16 | 2 | 3,897 |
| 0,57 | 1,6 | 8,699 |
| 0,56 | 1,6 | 8,887 |

Handwritten signature

допор чмкер

~~2,7 В~~ катарос



~~I = 0,4 A~~ ~~U = 0,420 V~~

амперметр ток.р. 0,5 катарос



I = 1 A U = 2,737 V

I = 0,5 A U = 1,376 V

I = 0,25 A U = 0,686 V

Handwritten signature or mark in blue ink.

PREMIEREN C

| I | U |
|----------|------------------------|
| 4,84 1 | 1,082 |
| 2,41 1 | 0,736 1,574 |
| 2,2 1 | 1,669 |
| 1,16 1 | 2,778 |
| 0,57 1 | 5,771 |
| 0,56 1 | 5,331 |
| 4,84 0,5 | 0,481 |
| 2,41 0,5 | 0,736 |
| 2,2 0,5 | 0,768 |
| 1,16 0,5 | 1,441 |
| 0,57 0,5 | 2,793 |
| 0,56 0,5 | 2,921 |

56
Luka

AC 220V S DANKBHM

160257

| K. 200V U [V] | K. 50 I [mA] | W [W] | W [W] |
|------------------|-----------------|-------|-------|
| 130,76 | 250 | | |
| 128,35 | 275 | | |
| 125,03 | 290 | | |
| 121,88 | 300 | | |
| 119,10 | 310 | | |
| 115,66 | 320 | | |
| 112,25 | 330 | | |
| 108,25 | 340 | | |
| 104,42 | 350 | | |
| 100,76 | 360 | | |
| 96,22 | 370 | | |
| 91,45 | 380 | | |
| 86,94 | 390 | | |
| 81,36 | 400 | | |
| 76,73 | 410 | | |
| 71,22 | 420 | | |
| 65,86 | 430 | | |
| 58,82 | 440 | | |
| 51,94 | 450 | | |
| 43,26 | 460 | | |
| 35,54 | 470 | | |

