

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM II

Úloha č.: VII

Název: Měření indukčnosti a kapacity metodou přímou

Vypracovala: ..... stud. sk. .... dne: 01.03.04.....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

Posuzoval: ..... dne ..... výsledek klasifikace .....

Připomínky:

## I. Pracovní úkol

I. Změřte závislost indukčnosti cívky na procházejícím proudu pro tyto případy:

A. Cívka bez jádra

B. Cívka s otevřeným jádrem

C. Cívka s uzavřeným jádrem

II. Přímou metodou změřte i odpor cívky a určete její kvalitu

III. Změřte velikost kapacity kondenzátoru z kapacitní dekadý

IV. Odhadněte přesnost měření. Výsledky měření úkolu I. C. zakreslete do grafu

## II. Teorie

### A. Impedance cívky

Prochází-li cívkou střídavý proud, je na cívce napětí:

$$u^* = (R + j\omega L)i^* \quad (1)$$

$R$  ..... odpor cívky

$j$  ..... imaginární jednotka

$\omega$  ..... úhlová frekvence

$L$  ..... indukčnost cívky

$i^*$  ..... okamžitá hodnota proudu

Impedance cívky je dána komplexním výrazem:

$$Z^* = R + j\omega L \quad (2)$$

Pro její velikost platí:

$$Z = |Z^*| = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (3)$$

Impedanci můžeme vyjádřit jako poměr efektivní hodnoty napětí a proudu. Hledanou indukčnost cívky určíme ze vztahu:

$$L = \frac{\sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}}{2\pi f} \quad (4)$$

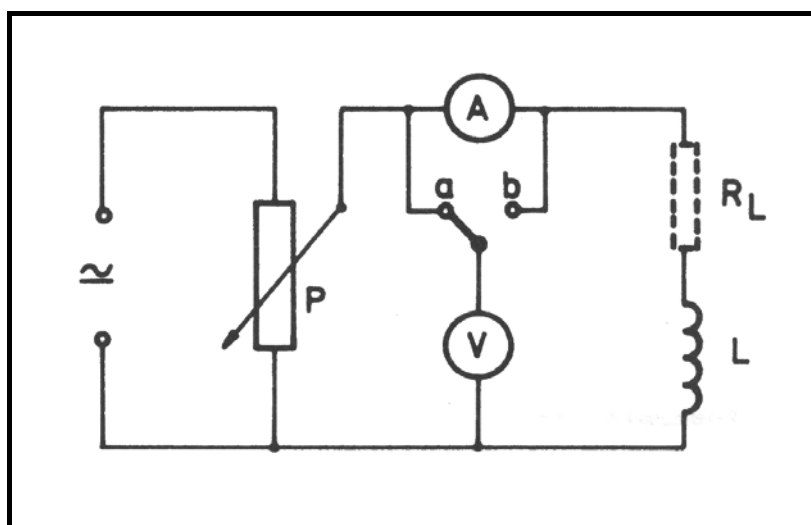
$U$  ..... efektivní hodnota napětí  
 $I$  ..... efektivní hodnota proudu  
 $f$  ..... frekvence

Pro kvalitu cívky  $Q$  platí vztah:

$$Q = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R} \quad (5)$$

$\varphi$  ..... fázový posuv

Obvod zapojíme podle obr. 1. Při stejnosměrném napětí změříme odpor cívky bez jádra (zapojujeme voltmetr za ampérmetr – poloha  $b$ ). U cívky s jádrem se uplatňují i ztráty v jádře, které my touto metodou nedokážeme určit a při výpočtu je neuvažujeme. Další měření provádíme se střídavým proudem.



obr. 1

## B. Měření kapacity

Protéká-li kondenzátorem proud, pro jeho okamžitou hodnotu platí:

$$i^* = \left( j\omega C + \frac{1}{R_C} \right) u^* \quad (6)$$

$C$  ..... kapacita kondenzátoru  
 $R_C$  ..... odpor kondenzátoru  
 $u^*$  ..... okamžitá hodnota napětí

Impedance cívky je dána vztahem:

$$Z^* = \left( \frac{1}{R_C} + j\omega C \right)^{-1} \quad (7)$$

Velikost impedance se rovná:

$$Z = |Z^*| = \left( \frac{1}{R_C^2} + \omega^2 C^2 \right)^{-1} \quad (8)$$

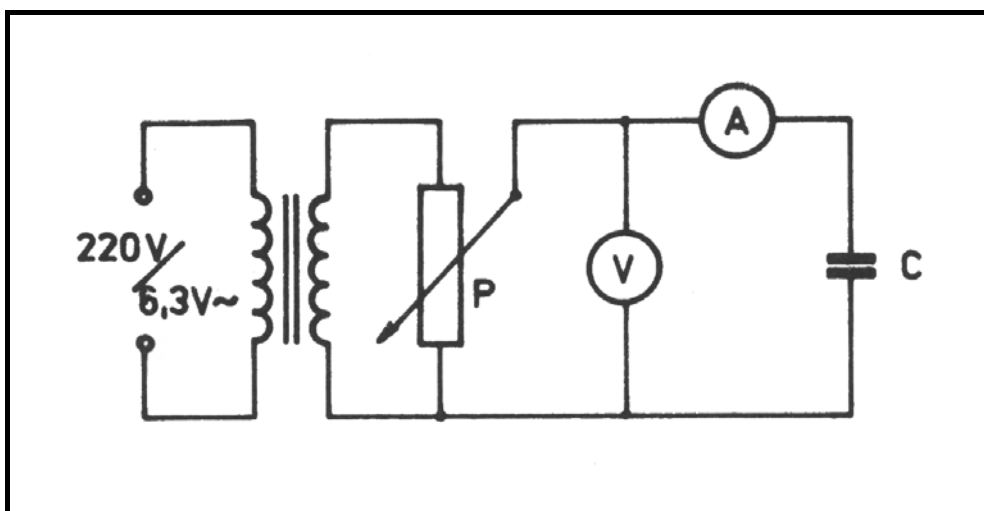
Impedanci můžeme opět zapsat jako poměr efektivních hodnot napětí a proudu. Při  $R \gg (\omega C)^{-1}$ . Pro impedanci platí:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C} \quad (9)$$

Potom pro kapacitu dostaneme vztah:

$$C = \frac{I}{2\pi f U} \quad (10)$$

Obvod zapojíme podle obr. 2. Odpor kondenzátoru změříme při připojení na stejnosměrný proud a ověříme platnost podmínky  $R \gg (\omega C)^{-1}$ . Zbývá měření provádíme se střídavým proudem.



obr. 2

### III. Výsledky měření

#### A. Indukčnost cívky

tab. 1 – napětí a proud na cívce při stejnosměrném napětí

U [V]	1	0,9	0,77	0,657
I [mA]	350	325	275	230

Z lineární regrese určíme odpor cívky  $R = (2,8 \pm 0,1)\Omega$ .

tab. 2 – efektivní hodnoty napětí a proudu a indukčnost na cívce bez jádra při střídavém napětí

U [V]	2,38	2,28	1,96	1,66	1,45	1,17
I [mA]	450	420	360	305	270	220
L [mH]	$14,3 \pm 0,5$	$14,8 \pm 0,6$	$14,9 \pm 0,6$	$14,9 \pm 0,6$	$14,6 \pm 0,6$	$14,4 \pm 0,6$

Lineární regresí určíme indukčnost cívky  $L = (14,6 \pm 0,6) \text{ mH}$ .

Kvalita cívky bez jádra  $Q = (1,64 \pm 0,09)$ .

tab. 3 – efektivní hodnoty napětí a proudu a indukčnost na cívce s otevřeným jádrem při střídavém napětí

U [V]	7,46	6,30	4,80	2,89	2,25	2,05	1,80	1,51
I [mA]	240	200	155	91	70	59	58	49
L [mH]	$99 \pm 4$	$100 \pm 4$	$98 \pm 5$	$101 \pm 7$	$102 \pm 8$	$110 \pm 10$	$98 \pm 9$	$98 \pm 11$

Lineární regresí určíme indukčnost cívky  $L = (99 \pm 7) \text{ mH}$ .

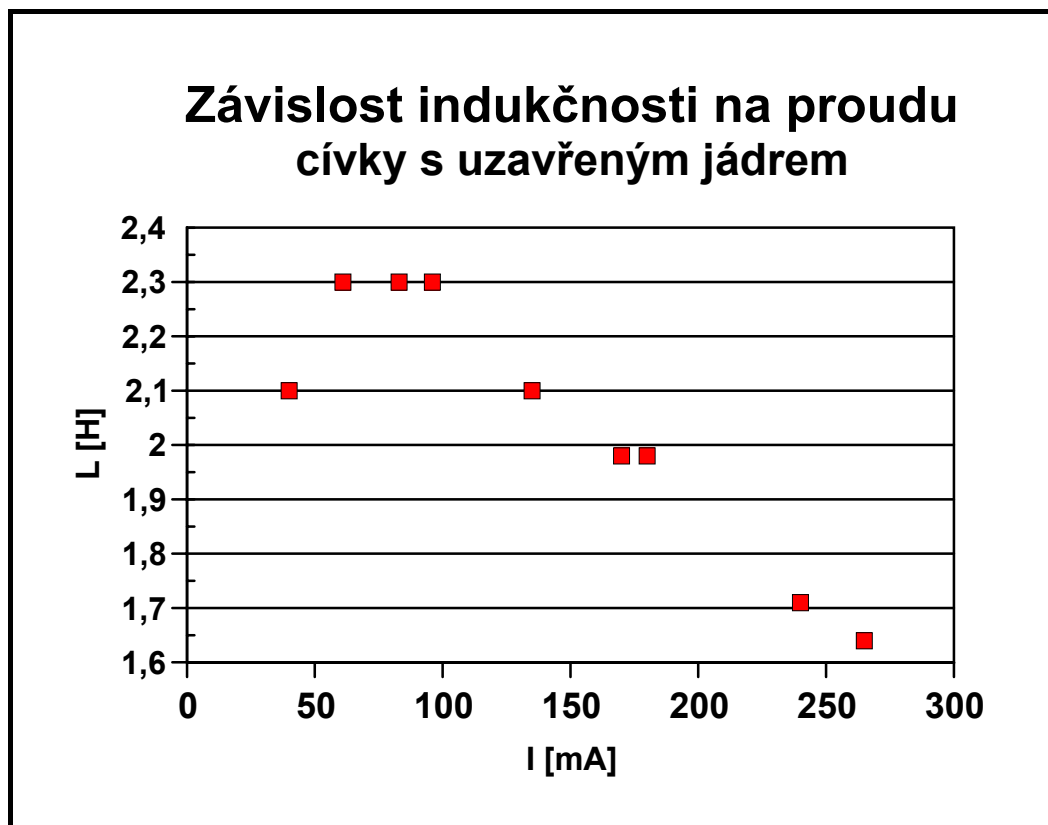
Kvalita cívky bez jádra  $Q = (11,1 \pm 0,8)$ .

tab. 4 – efektivní hodnoty napětí a proudu a indukčnost na cívce s uzavřeným jádrem při střídavém napětí

U [V]	25,8	43,7	60,4	69,4	90,9	105,9	128,9	136,4	112,2
I [mA]	40	61	83	96	135	170	240	265	180
L [H]	$2,1 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$	$1,98 \pm 0,09$	$1,71 \pm 0,07$	$1,64 \pm 0,07$	$1,98 \pm 0,09$

Lineární regresí určíme indukčnost cívky  $L = (1,8 \pm 0,1) \text{ H}$ .

Kvalita cívky bez jádra  $Q = (0,20 \pm 0,01)$ .



graf 1

## B. Kondenzátor

tab. 5 – závislost kapacity kondenzátoru na efektivní hodnotě proudu a napětí – kondenzátor 1

I [mA]	37,0	53,0	30,0	20,5	70,0	10,4	8,0
U [V]	23,6	34,3	19,2	12,9	46,2	6,5	4,7
C [μF]	$5,0 \pm 0,1$	$4,92 \pm 0,09$	$5,0 \pm 0,2$	$5,1 \pm 0,1$	$4,82 \pm 0,04$	$5,1 \pm 0,1$	$5,4 \pm 0,2$

Lineární regresí určíme kapacitu kondenzátoru 1  $C = (4,9 \pm 0,1) \mu F$ .

## Měření indukčnosti a kapacity metodou přímou

tab. 6 – závislost kapacity kondenzátoru na efektivní hodnotě proudu a napětí – kondenzátor 2

I [mA]	3,6	12,6	17,2	23,5	28,5
U [V]	4,7	16,0	22,2	30,0	36,6
C [μF]	2,44 ± 0,06	2,51 ± 0,02	2,47 ± 0,01	2,49 ± 0,05	2,48 ± 0,04

Lineární regresí určíme kapacitu kondenzátoru 2  $C = (2,48 \pm 0,04) \mu F$ .

tab. 6 – závislost kapacity kondenzátoru na efektivní hodnotě proudu a napětí – kondenzátor 2

I [mA]	3,6	12,6	17,2	23,5	28,5
U [V]	4,7	16,0	22,2	30,0	36,6
C [μF]	2,44 ± 0,06	2,51 ± 0,02	2,47 ± 0,01	2,49 ± 0,05	2,48 ± 0,04

Lineární regresí určíme kapacitu kondenzátoru 2  $C = (2,48 \pm 0,04) \mu F$ .

tab. 7 – závislost kapacity kondenzátoru na efektivní hodnotě proudu a napětí – kondenzátor 3

I [mA]	33,0	28,0	22,0	16,0	13,2
U [V]	46,1	39,2	30,6	22,3	18,3
C [μF]	2,28 ± 0,03	2,27 ± 0,04	2,29 ± 0,05	2,28 ± 0,03	2,30 ± 0,04

Lineární regresí určíme kapacitu kondenzátoru 3  $C = (2,28 \pm 0,04) \mu F$ .

tab. 8 – závislost kapacity kondenzátoru na efektivní hodnotě proudu a napětí – kondenzátor 4

I [mA]	16,8	14,6	9,6	8,2	5,8	20,5
U [V]	45,8	39,7	25,9	20,0	15,1	55,0
C [μF]	1,17 ± 0,01	1,17 ± 0,02	1,18 ± 0,02	1,31 ± 0,03	1,22 ± 0,04	1,19 ± 0,03

Lineární regresí určíme kapacitu kondenzátoru 4  $C = (1,18 \pm 0,02) \mu F$ .

tab. 9 – závislost kapacity kondenzátoru na efektivní hodnotě proudu a napětí – kondenzátor 5

I [mA]	10,2	8,8	7,2	6,0	9,6
U [V]	55,0	47,8	38,5	32,3	52,5
C [μF]	0,59 ± 0,01	0,59 ± 0,01	0,60 ± 0,02	0,59 ± 0,02	0,58 ± 0,01

Lineární regresí určíme kapacitu kondenzátoru 5  $C = (0,59 \pm 0,01) \mu F$ .

tab. 10 – závislost kapacity kondenzátoru na efektivní hodnotě proudu a napětí – kondenzátor 6					
I [mA]	10,0	8,8	6,0	4,8	10,8
U [V]	55,0	49,0	32,9	26,8	60,5
C [ $\mu$ F]	$0,58 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,01$	$0,58 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,06$	$0,57 \pm 0,03$

Lineární regresí určíme kapacitu kondenzátoru 6  $C = (0,57 \pm 0,03) \mu F$ .

## IV. Diskuse

### A. Cívky

Po naměření odporu cívky byly změřeny požadované závislosti  $L(I)$ . V případech cívky bez jádra a s otevřeným jádrem byla závislost v mezích chyb lineární. Cívka s uzavřeným jádrem měla podle očekávání řádově vyšší indukčnost. V první části grafu 1 (pro cívku s uzavřeným jádrem) je vidět, že závislost indukčnosti  $L$  na proudu  $I$  není lineární. Je to způsobeno závislostí permeability jádra na velikosti magnetické indukce v jádře. Kvalita cívky řádově odpovídá očekávaným hodnotám 1 – 100. U cívky bez jádra je nižší, protože její indukčnost je velmi malá. U cívky s uzavřeným jádrem naopak.

### B. Kondenzátory

tab. 11 – srovnání naměřené a udané kapacity kondenzátorů						
č. kondenzátoru	1	2	3	4	5	6
udaná hodnota [ $\mu$ F]	5,1	2,7	2,5	1,3	0,7	0,6
naměřená hodnota [ $\mu$ F]	$4,9 \pm 0,1$	$2,48 \pm 0,04$	$2,28 \pm 0,04$	$1,18 \pm 0,02$	$0,59 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,03$

Naměřené hodnoty kapacity v mezích chyb neodpovídají hodnotám uvedeným na kondenzátorech zhruba o  $0,1 \mu F$ . Tato chyba může být způsobena zanedbáním odporu přívodních vodičů.



## V. Závěr

Byly změřeny závislosti indukčnosti cívky bez jádra, s otevřeným i s uzavřeným jádrem na procházejícím proudu. Na grafu 1 je znázorněna závislost indukčnosti cívky s uzavřeným jádrem na proudu.

Dále byla změřena kvalita cívek a velikost kapacity kondenzátorů různých velikostí. Tyto kapacity zachycují tabulky 5 – 10. Porovnání s udanou kapacitou kondenzátorů je v tabulce 11.

## VI. Literatura

Bakule, R., Štenberk, J.: Fyzikální praktikum II., SPN Praha

Spružil, B., Zieleniecová, P.: Úvod do teorie fyzikálních měření, SPN Praha, 1986