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. Přímou metodou změřte i odpor cívky a určete její kvalitu.
3. Změřte velikosti kapacit kondenzátorů z kapacitní dekády.
4. Odhadněte přesnost měření.

Teorie

Impedance cívky

Pro napětí a proud na cívce s vnitřním odporem R_L a indukčností L platí v komplexní symbolice vztah

$$u^* = (R_L + \mathrm{j}\omega L)i^* \tag{1}$$

Fázový posuv napětí u^* vůči proudu i^* značíme φ. Tangenta fázového posuvu je

$$\tan\varphi = \frac{\omega L}{R_L} = Q, \tag{2}$$

kde vličinu Q nazýváme činitel jakosti cívky, který hodnotí kvalitu cívky.

Velikost impedance je dle vztahu (1) dána následovně

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R_L^2 + \omega^2 L^2}, \tag{3}$$

kde U a I jsou efektivní hodnoty napětí a proudu.

Změříme-li tedy napětí na cívce a protékající proud, vypočítáme indukčnost dle vztahu

$$L = \frac{\sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}}{2\pi f} \tag{5}$$

Impedance kondenzátoru

Pro proud tekoucí reálným kondenzátorem o kapacitě C a odporu R_C platí vztah

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

Velikost impedance ve střídavém obvodu je vyjádřena vztahem

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega C)^2}} \tag{7}$$

Pokud platí $R_C \gg (\omega C)^{-1}$, lze zanedbat vliv kondenzátoru. Kapacitu potom určíme ze vztahu

$$C = \frac{I}{2\pi f U} \tag{8}$$

Všechny vztahy viz [1].

Měření

Nejprve jsem změřila odpor cívky, neboť jej potřebujeme pro další výpočty. Schéma zapojení najde čtenář v [1] str. 48. Při měření jsem použila zapojení klíčku v poloze b.

Proud i napětí byly měřeny pomocí voltmetru a ampermetru s třídou přesnosti 1.5. Výsledná chyba odporu cívky byla získána pomocí standardní teorie šíření chyb. (Podrobněji viz [2])

Výsledky udává Tabulka 1.

I[mA]	U[V]	$R_L[\Omega]$
0.40 ± 0.02	1.10 ± 0.04	2.75 ± 0.16
0.59 ± 0.02	1.60 ± 0.04	2.71 ± 0.11
0.66 ± 0.02	1.80 ± 0.04	2.73 ± 0.10
0.73 ± 0.02	2.00 ± 0.04	2.74 ± 0.09
0.81 ± 0.02	2.20 ± 0.04	2.72 ± 0.08

Tabulka 1.: Měření odporu cívky

Výsledný odpor tedy je

$$\mathbf{R_L = (2.73 \pm 0.11)\Omega}$$

Schéma pro měření impedance je stejné jako v případě měření odporu. Místo poneciometru jsem použila zdroj s regulovatelným výstupním napětím.

Předpokládám-li, že vnitřní odpor voltmetru je řádově $k\Omega$, použiji pro všechny měření spínač v poloze b, tj. s ampermetrem zapojeným před voltmetrem.

Výsledky udávají Tabulky 2 - 4. Indukčnost byla vypočítána dle vztahu (5). Frekvenci sítě uvažuji $f = (50.0 \pm 0.5)Hz$. Zjištěné hodnoty činitelů jakosti Q jsou udány v Tabulce 5. Grafické zpracování viz Graf 1 - 3. Přerušovanou črou je vynesen lineární fit. Grafy jsou přiloženy na konci dokumentu.

I[mA]	U[V]	L[H]
100 ± 8	0.47 ± 0.04	0.012 ± 0.002
150 ± 8	0.71 ± 0.04	0.012 ± 0.001
200 ± 8	0.95 ± 0.04	0.012 ± 0.001
250 ± 8	1.17 ± 0.04	0.012 ± 0.001
300 ± 8	1.40 ± 0.04	0.012 ± 0.001
350 ± 8	1.62 ± 0.09	0.012 ± 0.001
400 ± 8	1.86 ± 0.09	0.012 ± 0.001
450 ± 8	2.10 ± 0.09	0.012 ± 0.001
500 ± 8	2.31 ± 0.09	0.012 ± 0.001

Tabulka 2.: Měření s cívkou bez jádra

Cívka	Q
Bez jádra	1.4 ± 0.1
Otevřené jádro	7.9 ± 0.8
Uzavřené jádro	210 ± 20

Tabulka 5.: Činitelé jakosti

I[mA]	U[V]	L[H]
50 ± 8	1.06 ± 0.04	0.067 ± 0.011
100 ± 8	2.14 ± 0.04	0.068 ± 0.006
150 ± 8	3.3 ± 0.09	0.069 ± 0.005
200 ± 8	4.4 ± 0.09	0.069 ± 0.004
250 ± 8	5.6 ± 0.09	0.071 ± 0.004

Tabulka 3.: Měření s cívkou s otevřeným jádrem

I[mA]	U[V]	L[H]
50 ± 8	36 ± 1	2.3 ± 0.4
100 ± 8	73 ± 2	2.3 ± 0.2
150 ± 8	101 ± 2	2.1 ± 0.1
200 ± 8	120 ± 2	1.9 ± 0.1
250 ± 8	134 ± 4	1.7 ± 0.1
300 ± 8	146 ± 4	1.5 ± 0.1
350 ± 8	156 ± 4	1.4 ± 0.1
400 ± 8	164 ± 4	1.3 ± 0.1

Tabulka 4.: Měření s cívkou s uzavřeným jádrem

Kapacity kondenzátorů jsem měřila dle zapojení na Obrázku 6 str. 49 v [1]. Potenciometr byl opět nahrazen zdrojem s regulovatelným výstupním napětím. Odpor kondenzátorů se pohybuje řádově v $M\Omega$, proto v zapojení můžeme zanedbat vnitřní odpor ampermetru. Přístroje jsem použila shodné jako v předchozím úkolu.

Výsledky udávají Tabulky 6 - 11. Kapacita byla vypočítána dle vztahu (8). Střední hodnoty kapcit jsou ve srovnání s nominálními údaji zapsány v tabulce 12.

I[mA]	U[V]	C[μF]
0.4 ± 0.03	2.05 ± 0.04	0.62 ± 0.05
0.6 ± 0.03	3.05 ± 0.09	0.63 ± 0.04
0.8 ± 0.03	4.10 ± 0.09	0.62 ± 0.03
1.0 ± 0.03	5.15 ± 0.09	0.62 ± 0.02
1.1 ± 0.03	5.65 ± 0.09	0.62 ± 0.02

Tabulka 6.: Měření s kondenzátorem s nominální hodnotou kapacity 0.6 μF

I[mA]	U[V]	C[μF]
0.2 ± 0.03	0.90 ± 0.04	0.71 ± 0.11
0.3 ± 0.03	1.44 ± 0.04	0.66 ± 0.07
0.4 ± 0.03	1.90 ± 0.04	0.67 ± 0.05
0.5 ± 0.03	2.34 ± 0.04	0.68 ± 0.04
0.6 ± 0.03	3.05 ± 0.09	0.63 ± 0.04

Tabulka 7.: Měření s kondenzátorem s nominální hodnotou kapacity 0.7 μF

I[mA]	U[V]	C[μF]
0.2 ± 0.03	0.50 ± 0.04	1.27 ± 0.21
0.4 ± 0.03	0.98 ± 0.04	1.30 ± 0.11
0.6 ± 0.03	1.46 ± 0.04	1.31 ± 0.07
0.8 ± 0.03	1.94 ± 0.04	1.31 ± 0.06
0.9 ± 0.03	2.16 ± 0.09	1.33 ± 0.05

Tabulka 8.: Měření s kondenzátorem s nominální hodnotou kapacity su1.3 μF

I[mA]	U[V]	C[μF]
0.2 ± 0.03	0.28 ± 0.04	2.3 ± 0.4
0.4 ± 0.03	0.59 ± 0.04	2.2 ± 0.2
0.6 ± 0.03	0.84 ± 0.04	2.3 ± 0.1
0.8 ± 0.03	1.12 ± 0.04	2.3 ± 0.1
1.0 ± 0.03	1.41 ± 0.09	2.3 ± 0.1

Tabulka 9.: Měření s kondenzátorem s nominální hodnotou kapacity 2.5 μF

I[mA]	U[V]	C[μF]
0.2 ± 0.03	0.23 ± 0.04	2.8 ± 0.6
0.4 ± 0.03	0.45 ± 0.04	2.8 ± 0.3
0.6 ± 0.03	0.72 ± 0.04	2.7 ± 0.2
0.8 ± 0.03	1.01 ± 0.04	2.5 ± 0.1
1.0 ± 0.03	1.24 ± 0.09	2.6 ± 0.1

Tabulka 10.: Měření s kondenzátorem s nominální hodnotou kapacity 2.7 μF

I[mA]	U[V]	C[μF]
0.4 ± 0.03	0.42 ± 0.04	3.0 ± 0.3
0.6 ± 0.03	0.66 ± 0.04	2.9 ± 0.2
0.8 ± 0.03	0.84 ± 0.04	3.0 ± 0.2
1.0 ± 0.03	1.15 ± 0.04	2.8 ± 0.1
1.2 ± 0.03	1.28 ± 0.04	3.0 ± 0.1

Tabulka 11.: Měření s kondenzátorem s nominální hodnotou kapacity 5.1 μF

$C_{nom}[\mu\text{F}]$	$C_{naměřená}[\mu\text{F}]$
0.6	0.62 ± 0.03
0.7	0.67 ± 0.06
1.3	1.30 ± 0.10
2.5	2.25 ± 0.20
2.7	2.67 ± 0.27
5.1	2.94 ± 0.20

Tabulka 12.: Srovnání nominálních hodnot kapacit s naměřenými

Diskuse

Podle mých očkávání má cívka bez jádra nejmenší indukčnost, naopak cívka s uzavřeným jádrem největší. Závislost indukčnosti cívky na proudu se v případě cívky bez jádra a s otevřeným jádrem jeví jako konstantní. Směrnice regresních přímek nejsou sice nulové, ale v rámci přesnosti měření se všechna měření shodují se svou střední hodnotou.

Při měření indukčnosti cívky s uzavřeným jádrem byl zjištěn pokles indukčnosti při zvyšujícím se protékajícím proudu. Pokles byl způsoben závislostí permeability jádra na magnetické indukci v jádře.

Odpor cívky jádra jsem určila řádově v jednotkách ohmů, což jsem předpokládala. Také hodnoty činitelů jakosti vyšly dle mých představ, nejnižší u cívky bez jádra a nejvyšší u cívky s uzavřeným jádrem.

Při měření kapacit kondenzátorů jsem dospěla v pěti případech ke schodě naměřených hodnot s nominálními. Ve dvou případech byla udávaná hodnota kapacity větší než mnou zjištěná, a to jmenovitě u kondenzátoru s kapacitou $C = 2.5\mu$F a 5.1μF. Myslím si, že alespoň v druhém případě je udávaná hodnota špatná, jelikož mé měření považuji za dostatečně přesné.

Při určování odchylek jsem vycházela z tříd přesnosti měřících přístrojů. Chyby téměř všech měření jsou do 10%.

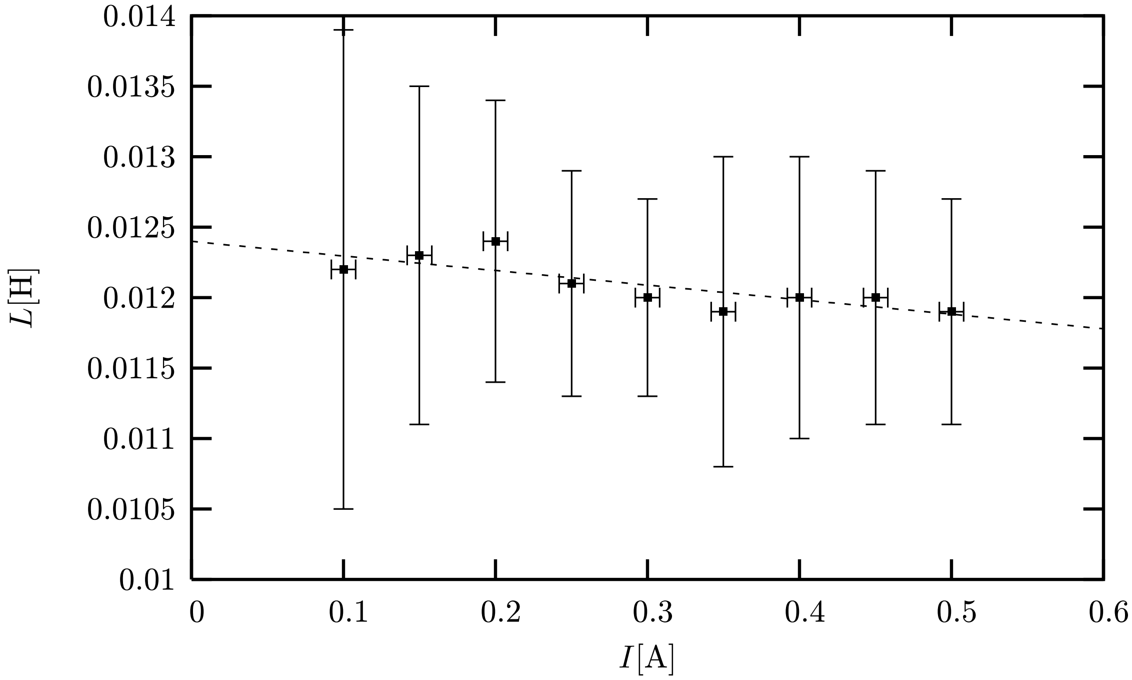
Závěr

Změřila jsem závislost indukčnosti cívky na proudu, a to pro cívku bez jádra, s otevřeným jádrem a s uzavřeným jádrem. Výsledky udávají Grafy 1 - 3. Byl zjištěn odpor cívky a činitel jakosti cívky, který je udán v Tabulce 5.

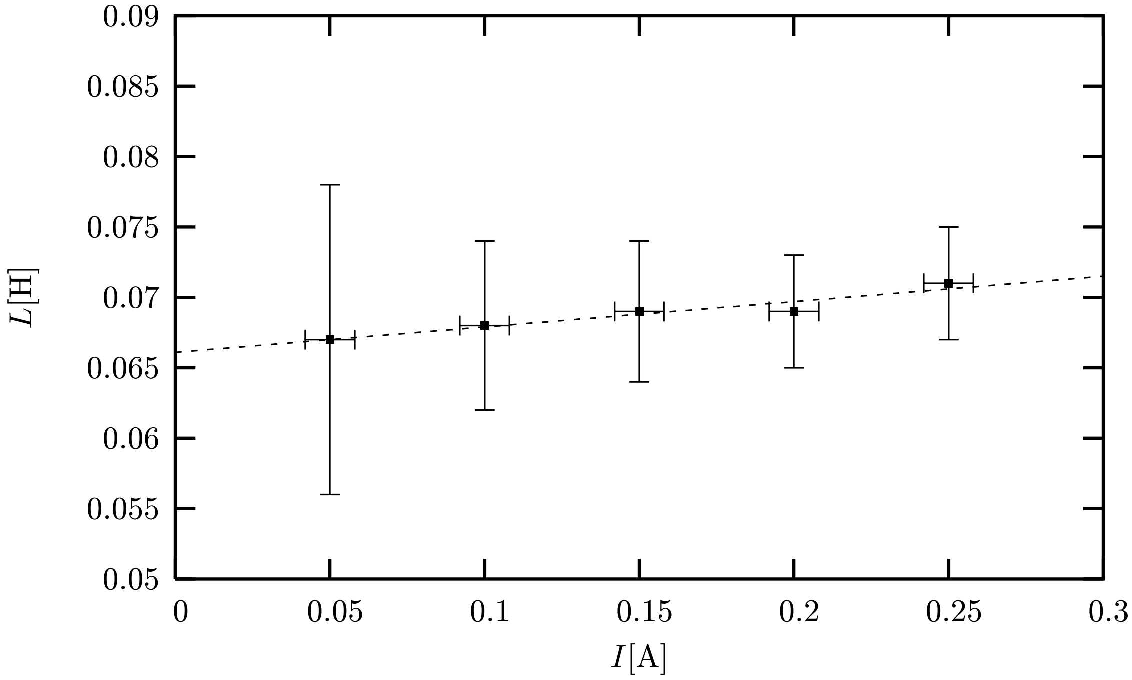
Proměřila jsem kapacity kondenzátorů z kapacitní dekády. Výsledky jsou zapsány v Tabulce 12. Ke shodě s nominálními údaji jsem dospěla v pěti ze zedmi případů.

Literatura

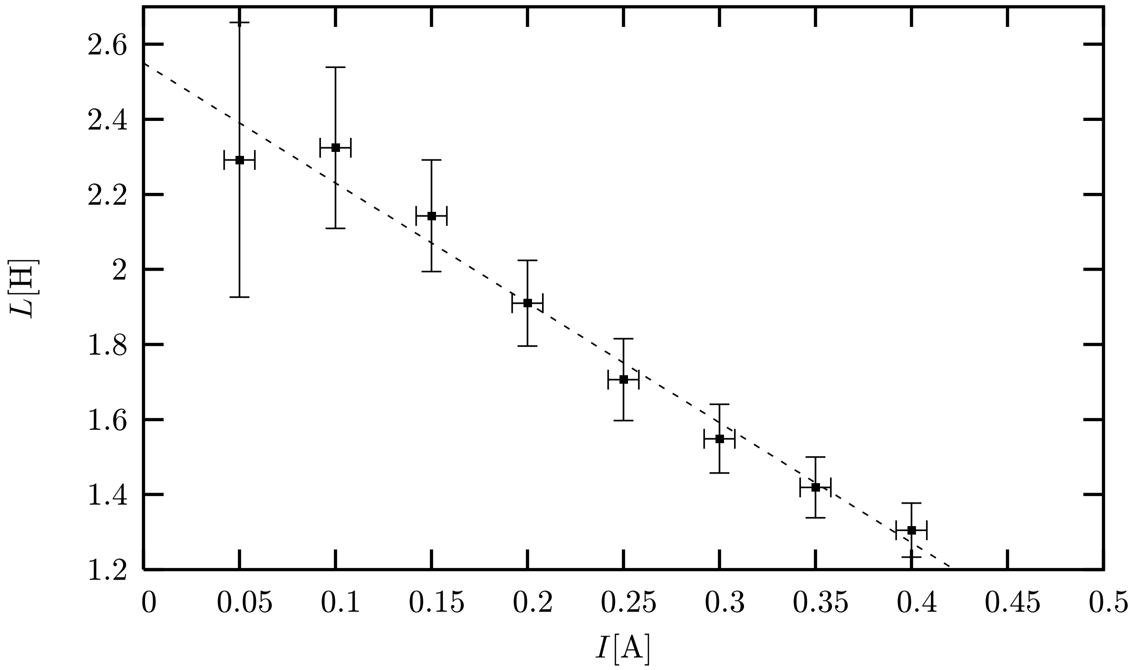
[1] R. Bakule, J. Šternberk: Fyzikální praktikum II., SPN, Praha 1989
[2] J. Englich: Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha 2000



Graf 1.: Závislost indukčnosti cívky na procházejícím proudu pro cívku bez jádra



Graf 2.: Závislost indukčnosti cívky na procházejícím proudu pro cívku s otevřeným jádrem



Graf 3.: Závislost indukčnosti cívky na procházejícím proudu pro cívku s uzavřeným jádrem