

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...



Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření:

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

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

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkoly

1. Sestavte obvod podle obr. 1 (viz studijní text k úloze) a změřte pro obvod v periodickém stavu závislost doby kmitu T na velikosti zařazené kapacity alespoň pro pět hodnot z intervalu ($C=0,1\text{--}10\text{ }\mu\text{F}$, $R = 20\text{ }\Omega$). Výsledky měření zpracujte graficky a vyhodnoťte velikost indukčnosti L zařazené v obvodu.
2. Stanovte hodnoty aperiodizačních odporů pro pět hodnot kapacit zařazeného kondenzátoru. I v tomto případě stanovte velikost indukčnosti L .
3. Změřte závislost relaxační doby seriového obvodu RC podle obr. 2 (viz. studijní text k úloze) na velikosti odporu a na velikosti kapacity v obvodu. Výsledky měření zpracujte graficky a porovnejte s teoretickými.

Teoretická část

Pokud se v sériovém RLC obvodu změní v čase $t = 0$ přivedené napětí z nulové hodnoty na hodnotu ε , pak má časový průběh proudu v sériovém RLC obvodu různý charakter v závislosti na hodnotách R , L a C . Označíme

$$A = \frac{R}{2L}, \quad B^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}.$$

Potom je průběh proudu podle [1]

1. pro $A^2 < 1/LC$: periodické — $I(t) = (\varepsilon/BL) \exp(-At) \sin(Bt)$
2. pro $A^2 = 1/LC$: mezní aperiodické — $I(t) = (\varepsilon/L)t \exp(-At)$
3. pro $A^2 > 1/LC$: aperiodické — $I(t) = (\varepsilon/BL) \exp(-At) \sinh(Bt)$

Při periodickém pohybu odpovídá konstanta B kruhové frekvenci kmitů. Pokud platí $1/LC \gg (R/L)^2$, což je v našem případě dobře splněno, můžeme indukčnost L vyjádřit z periody kmitů

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C}. \quad (1)$$

Při mezním aperiodickém pohybu můžeme podmínku $A^2 = 1/LC$ upravit na $R_{ap} = 2\sqrt{L/C}$. Pokud tedy správně určíme aperiodizační odpor R_{ap} , můžeme vypočítat indukčnost L podle

$$L = \frac{R_{ap}^2 C}{4}, \quad (2)$$

V sériovém RC obvodu po vypnutí zdroje klesá proud s časem úměrně funkci $\exp(-t/\tau)$, kde

$$\tau = RC, \quad (3)$$

je *relaxační doba*.

Výsledky měření

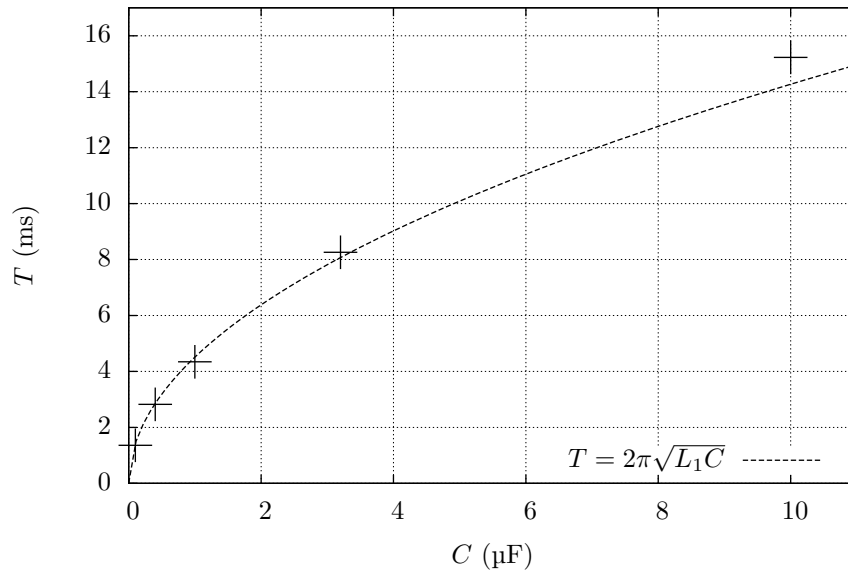
Měření proběhlo při pokojové teplotě ($\approx 22^\circ\text{C}$). Všechny uvedené odchylky jsou standardní.

Tlumené kmity

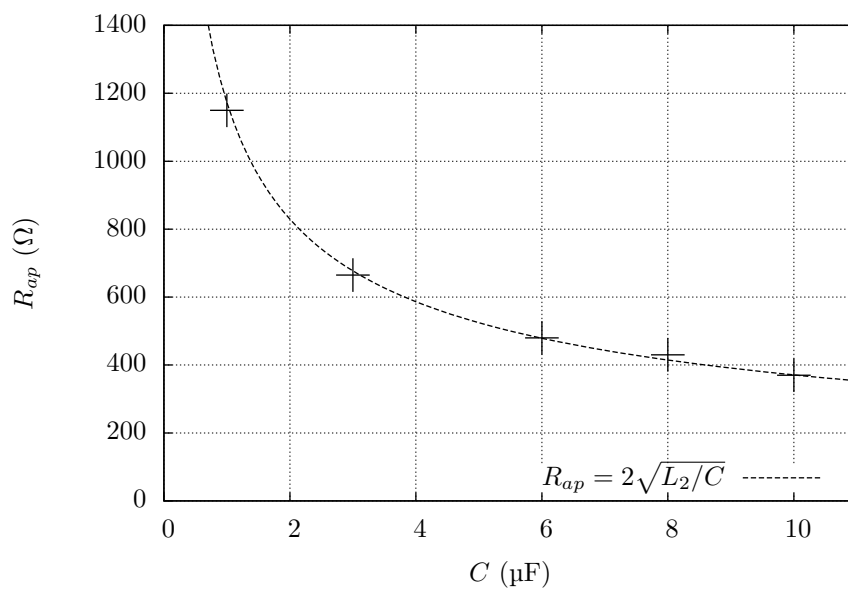
Změřili jsme dobu kmitu T při $R = 20\text{ }\Omega$ v závislosti na C . Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1 a grafu 1. Měřili jsme vždy dobu 5–7 kmitů a měření jsme provedli vícekrát, vzhledem k obdrženým výsledkům odhadujeme chybu měření periody na přibližně 0,5 %. Pro každou kapacitu uvádíme též indukčnost počítanou ze vzorce (1). Chybu odporové a kapacitní dekády zanedbáváme a metodou přenosu chyb jsme určili chybu indukčnosti 1 %.

Hodnoty L v tabulce 1 jsme statisticky zpracovali a dostáváme indukčnost cívky $L_1 = (0,52 \pm 0,05)\text{ H}$.

C (μF)	T (ms)	L (H)
0,1	$1,36 \pm 0,01$	$0,469 \pm 0,005$
0,4	$2,82 \pm 0,02$	$0,504 \pm 0,006$
1	$4,34 \pm 0,03$	$0,478 \pm 0,005$
3,2	$8,26 \pm 0,05$	$0,540 \pm 0,006$
10	$15,2 \pm 0,1$	$0,587 \pm 0,006$

Tabulka 1: Doba kmitu v periodickém stavu v závislosti na C pro $R = 20 \Omega$ Graf 1: Doba kmitu v periodickém stavu v závislosti na C pro $R = 20 \Omega$

C (μF)	R_{ap} (Ω)	L (H)
1	1150 ± 30	$0,33 \pm 0,02$
3	665 ± 10	$0,33 \pm 0,01$
6	480 ± 10	$0,35 \pm 0,02$
8	430 ± 10	$0,37 \pm 0,02$
10	370 ± 10	$0,34 \pm 0,02$

Tabulka 2: Aperiodizační odpor R_{ap} v závislosti na C Graf 2: Aperiodizační odpor R_{ap} v závislosti na C

Aperiodizační odpor

Měřili jsme aperiodizační odpor R_{ap} v závislosti na kapacitě C . Chybu aperiodizačního odporu jsme odhadovali tak, abychom pokryli interval, ve kterém jsme nedokázali rozlišit, jestli je průběh proudu periodický či aperiodický. Uvádíme též hodnotu indukčnosti L vypočtené pro každé měření podle (2). Odchylku indukčnosti určujeme metodou přenosu chyb jako dvojnásobek relativní chyby aperiodizačního odporu. Výsledky jsou v tabulce 2 a v grafu 2.

Hodnoty L v tabulce 2 jsme statisticky zpracovali a dostáváme indukčnost cívky $L_2 = (0,34 \pm 0,02) \text{ H}$.

RC obvod

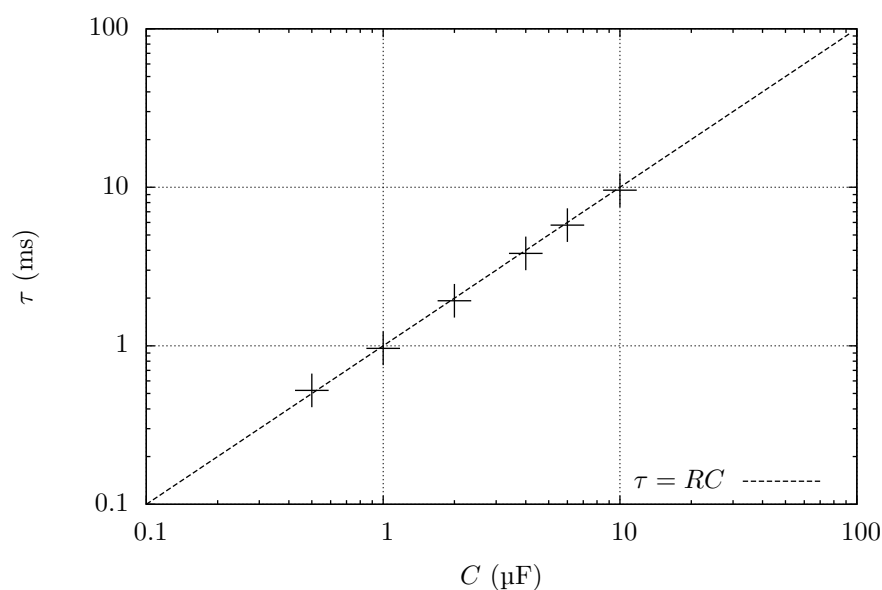
Měřili jsme závislost relaxační doby seriového RC obvodu v závislosti na odporu R a kapacitě C . Změřili jsme několik kapacit pro $R = 1 \text{ k}\Omega$ a pro několik odporů pro $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$. Programem ISES jsme závislost odporu na čase proložili funkcí ve tvaru $a \cdot \exp(bt)$. Porovnáním s definičním vztahem relaxační doby získáváme

$$\tau = \frac{-1}{b}. \quad (4)$$

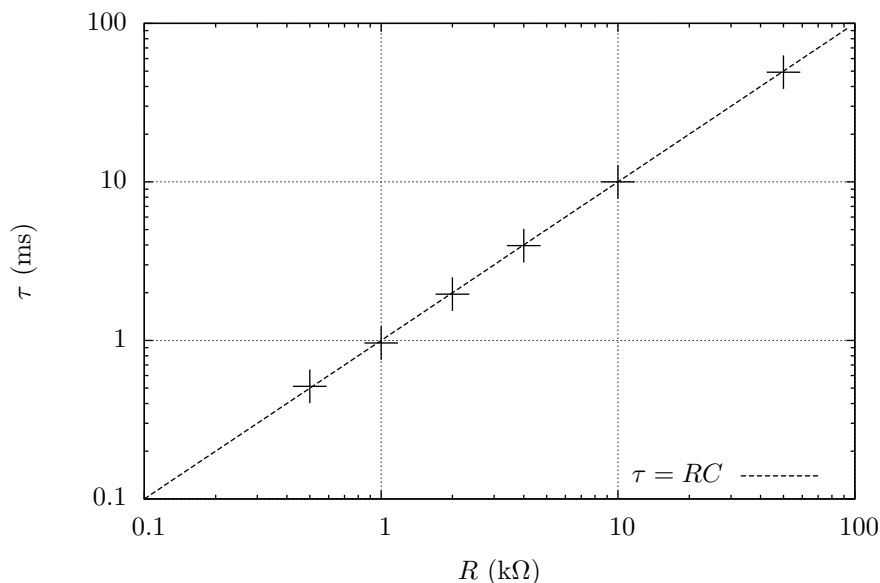
Výsledky jsou v tabulce 3 a v grafech 3 a 4. Uvádíme jen hodnoty τ , přímo hodnoty b neuvádíme, případně jsou k nahlédnutí v záznamu z měření. Kromě změřené hodnoty τ uvádíme také teoretickou hodnotu τ_t podle (3).

C (μF)	R ($\text{k}\Omega$)	τ (ms)	τ_t (ms)
1	50	49,2	50
1	10	10,0	10
1	4	3,97	4
1	2	1,96	2
1	0,5	0,514	0,5
1	1	0,962	1
0,5	1	0,523	0,5
2	1	1,92	2
4	1	3,82	4
6	1	5,77	6
10	1	9,60	10

Tabulka 3: Závislost relaxační doby τ na R a C



Graf 3: Závislost relaxační doby τ na C pro $R = 1 \text{ k}\Omega$ (pro přehlednost logaritmické měřítka)



Graf 4: Závislost relaxační doby τ na R pro $C = 1 \mu\text{F}$ (pro přehlednost logaritmické měřítko)

Diskuze

Měření periody i aperiodizačních odporů jsme prováděli s touž cívkou, takže pokud by byla obě měření správná, měly by se hodnoty $L_1 = (0,52 \pm 0,05) \text{ H}$ a $L_2 = (0,34 \pm 0,02) \text{ H}$ shodovat, což v našem případě platí jen řádově.

Měření aperiodizačních odporů bylo zatíženo velkou systematickou chybou, protože záleželo na tom, jestli daný průběh vyhodnotíme jako periodický či aperiodický. Pokud je hodnota L_1 správná, znamenalo by to, že je buď měření zatíženo nějakou jinou neznámou systematickou chybou, nebo jsme hodnoty R_{ap} určili přibližně 1,2 krát menší. Signál byl zatížen nezanedbatelným šumem, takže je možné, že druhý kmit již byl pod hranicí šumu, a proto nebylo možné ho pozorovat a došlo tak k mylnému označení průběhu za aperiodický. Z těchto důvodů považujeme hodnotu L_1 za přesnější.

Při fitování průběhu proudu RC obvodem se u všech měření stalo to, že hodnoty na kraji měřeného časového intervalu ležely znatelně pod proloženou křivkou, zatímco hodnoty ve středu ležely nad ní. Průběh tedy nebyl přesně exponenciální. Nicméně naměřené relaxační doby se velmi dobře shodují s teoretickými, žádná se neliší o více než 5 %.

Závěr

Změřili jsme závislost doby kmitu proudu v sériovém RLC obvodu na kapacitě (viz tabulka 1 a graf 1). Z této závislosti jsme určili indukčnost cívky $L_1 = (0,52 \pm 0,05) \text{ H}$.

Změřili jsme závislost aperiodizačního odporu na kapacitě (viz tabulka 2 a graf 2). Z této závislosti jsme opět určili indukčnost též cívky $L_2 = (0,34 \pm 0,02) \text{ H}$.

Hodnoty L_1 a L_2 , které vyjadřují touž veličinu měřenou různými způsoby, se od sebe liší. Jako přesnější považujeme L_1 (viz diskuze).

Změřili jsme závislost relaxační doby sériového RC obvodu na velikosti kapacity a odporu (viz tabulka 3 a grafy 3 a 4). Tato závislost je podle očekávání lineární v R i v C .

Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/start>.