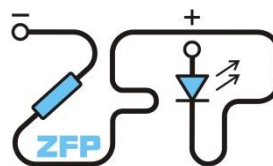


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum II



Úloha č. 18

Název úlohy: Přejchodové jevy v RLC obvodu

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 2.11.2015

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	

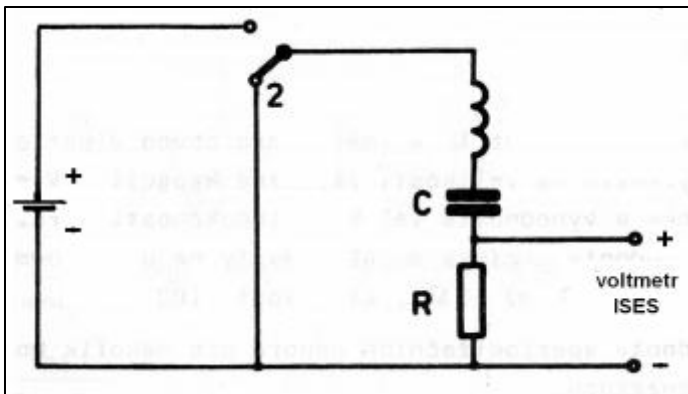
Posuzoval:.....

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 ($C = 0,1 - 10 \mu\text{F}$, $R = 20 \Omega$). 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



Obr. 1 – RLC obvod – převzato z [1]

RLC obvod (viz obr. 1) se skládá z cívky indukčnosti L , kondenzátoru s kapacitou C a odporu R . V tomto obvodu platí pro proud I rovnice [1]

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C} \int I dt = \varepsilon \quad (1)$$

kde ε je napětí na zdroji. Po skokovém vypnutí napětí dochází v závislosti na velikosti odporu k jednomu z následujících

- a) Pro $\left(\frac{R}{2L}\right)^2 < \frac{1}{LC}$ dochází k tlumeným kmitům, tj. $I \propto e^{-At} \sin(Bt)$
- b) Pro $\left(\frac{R}{2L}\right)^2 = \frac{1}{LC}$ dochází k mezně aperiodickému stavu, platí $I \propto t e^{-At}$
- c) Pro $\left(\frac{R}{2L}\right)^2 > \frac{1}{LC}$ dochází k aperiodickému stavu, tj. $I \propto e^{-At} \sinh(Bt)$

kde A a B jsou jisté konstanty závislé na parametrech obvodu.

Při tlumených kmitoch platí pro jejich periodu T vztah

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} \quad (2)$$

Při zvětšování odporu $\left(\frac{R}{2L}\right)^2 \rightarrow \frac{1}{LC}$ dochází ke zvětšování periody a v limitním případě mezního aperiodického stavu pro tzv. aperiodizační odpor R_{ap} platí

$$R_{ap} = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

Pokud není v obvodu zařazena cívka, pro proud platí $I \propto e^{-t/\tau}$, kde τ je tzv. relaxační doba, pro niž platí vztah

$$\tau = RC \quad (4)$$

Postup měření

Pro úkol 1 byl sestaven obvod jako na obr. 1 a napětí na odporu (a díky Ohmově zákonu i proud) bylo zaznamenáváno na PC. Z časového průběhu pak byla určena perioda.

Pro úkol 2 se použil stejný obvod a pro jednotlivé kapacity se hledal nejmenší odpor, při němž již nedocházelo ke kmitům proudu.

Pro 3. úkol nebyla zapojena cívka a oproti obr.1 se napětí měřilo na kondenzátoru. Získaná závislost byla proložena exponenciálou a z jejího tvaru určena relaxační doba τ .

Výsledky měření

Vnější podmínky neměly vliv na výsledky měření.
Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost 1σ .

Naměřené hodnoty

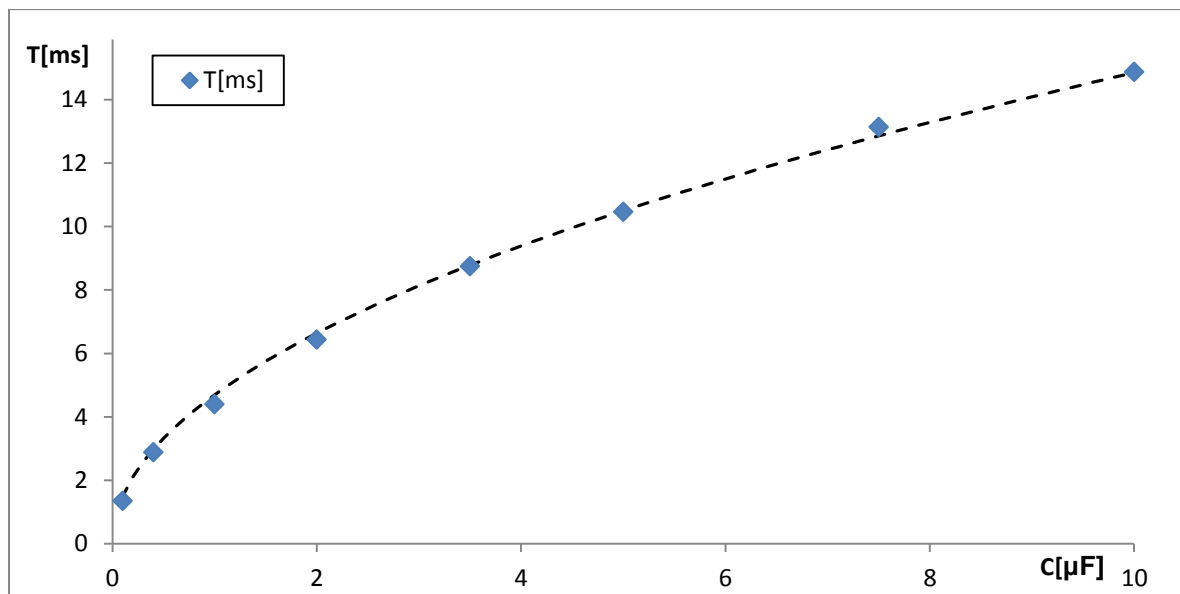
Tlumené kmity

Byl zvolen odpor $R = 20\Omega$

Za účelem snížení relativní chyby bylo vždy měřeno 6 period kmitů. Jejich chyba měření je odhadnuta jako $u_{6T} = 0.1ms$, chyba měření jedné periody je pak 6x menší.

Tabulka 1 – závislost periody tlumených kmitů na kapacitě kondenzátoru

$C[\mu F]$	$6T[ms]$	$T[ms]$
0,1	8,09	1,35
0,4	17,26	2,88
1,0	26,38	4,40
2,0	38,60	6,43
3,5	52,50	8,75
5,0	62,77	10,46
7,5	78,82	13,14
10,0	89,27	14,88



Graf 1 – naměřená závislost periody kmitů na kapacitě proložená teoretickou závislostí odpovídající výsledné indukčnosti

Indukčnost cívky byla určena nabitováním její hodnoty tak, aby součet čtverců odchylek naměřených period od očekávaných podle rovnice (2) byl minimální. Její chyba byla odhadnuta díky zanedbatelnosti členu $\left(\frac{R}{2L}\right)^2$ v rovnici (2) z níž plyne

$$L \cong \frac{T^2}{4\pi^2 C} \text{ jako [2]}$$

$$u_L = L \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i \left(\frac{2u_T}{T_i}\right)^2} \quad (5)$$

Výsledná indukčnost je

$$L = (0,558 \pm 0,006)H$$

Aperiodizační odpory

Chyba určení aperiodizačního odporu je $u_R = 20\Omega$.

Tabulka 2 – závislost aperiodizačního odporu na kapacitě kondenzátoru

$C[\mu F]$	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
$R_{ap}[\Omega]$	920	710	590	510	470

Indukčnost byla určena podle vzorce (3), její chyba byla určena jako

$$u_L^2 = u_{stat}^2 + L^2 \frac{1}{n-1} \sum_i \left(2 \frac{u_R}{R_i} \right)^2 \quad (6)$$

kde u_{stat} je standartní odchylka jednoho měření.

Výsledná indukčnost je

$$L = (0,504 \pm 0,045)H$$

Relaxační doba

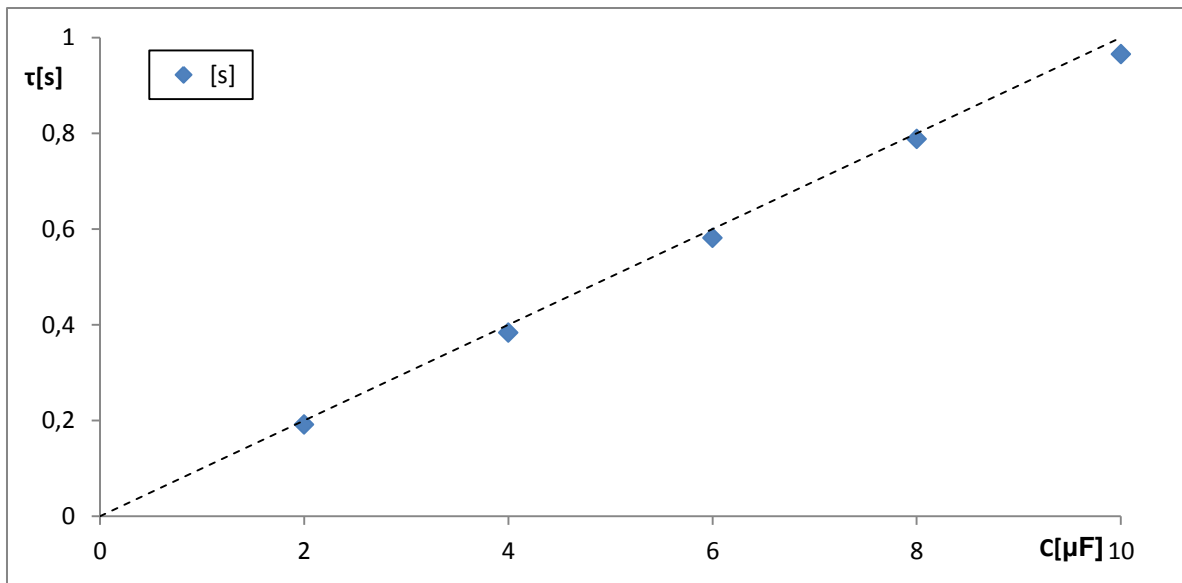
Měření bylo provedeno nejdříve pro odpor $R = 100k\Omega$ a měnící se kapacitu a poté pro kapacitu $C = 10\mu F$ a různé odpory. Chyby měření jsou zmíněny v diskuzi.

Tabulka 3 – závislost relaxační doby na kapacitě při konstantním odporu $R = 100k\Omega$ v porovnání s teoretickými hodnotami

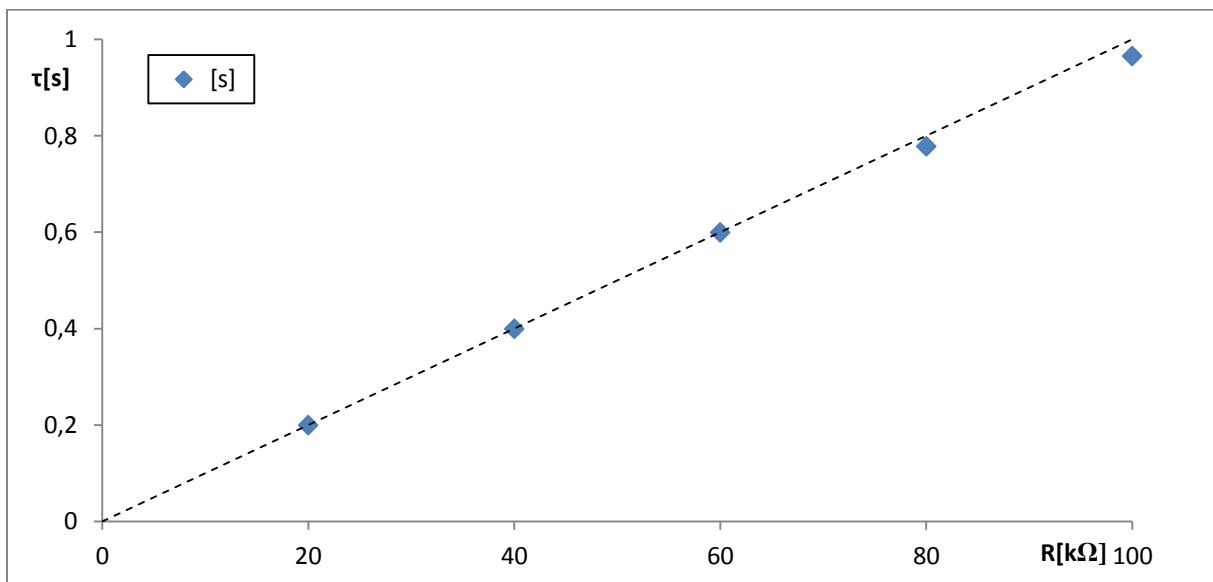
$C[\mu F]$	2	4	6	8	10
$\tau[s]$	0,19177	0,38376	0,58190	0,78795	0,96519
$\tau_{teor}[s]$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Tabulka 4 - závislost relaxační doby na odporu při konstantní kapacitě $C = 10\mu F$ v porovnání s teoretickými hodnotami

$R[k\Omega]$	20	40	60	80	100
$\tau[s]$	0,19980	0,39918	0,59910	0,77814	0,96519
$\tau_{teor}[s]$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0



Graf 2 - závislost relaxační doby na kapacitě při konstantním odporu $R = 100\text{ k}\Omega$ proložená teoretickou závislostí



Graf 3 - závislost relaxační doby na odporu při konstantní kapacitě $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ proložená teoretickou závislostí

Diskuze výsledků

Závislost periody kmitů na kapacitě kondenzátoru pro nabitou hodnotu indukčnosti dobře tvarově odpovídá naměřeným hodnotám.

Indukčnosti zjištěné oběma metodami si přibližně odpovídají pokud vezmeme v úvahu uvedené experimentální chyby.

Uvedené hodnoty aperiodizačních odporů jsou desetkrát menší než hodnoty zapsané v příloženém záznamu z praktik, protože tam uvedené hodnoty jsou zcela nekonzistentní se zbytkem měření a chybný řád zapisovaných odporů je jediným rozumným vysvětlením situace. Po této korekci je již vše v pořádku.

Obě měřené závislosti relaxační doby jsou podle očekávání přibližně lineární, hodnoty jsou ale o několik procent nižší než by odpovídalo vztahu (4). To může být způsobeno nepřesnostmi při prokládání závislostí exponenciálou.

Závěr

Indukčnost cívky zjištěná pomocí měření period tlumených kmitů je

$$L = (0,558 \pm 0,006)H$$

Indukčnost cívky zjištěná pomocí měření aperiodizačních odporů je

$$L = (0,504 \pm 0,045)H$$

Použitá literatura

[1] studijní text dostupný na

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_218.pdf

[2] Jiří English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006