

*Michal Červeňák*

*dátum merania:* 28.11. 2016

*skupina:* 4

*Klasifikace:* .....

## 1 Pracovní úkol

1. DU: Vypište diferenciální rovnice pro mechanický a elektrický harmonický oscilátor. Porovnáním členů určete, která veličiny si v obou oscilátorech odpovídají, a pokuste se vysvětlit roli jednotlivých prvků v RLC obvodu. Náповěda na Obr. 2[1]
2. Sestavte sériový rezonanční obvod dle Obr. 9. Pozorujte vliv změny parametrů  $R$ ,  $L$  a  $C$  na obvod. Určete frekvenci vlastních kmitů RLC obvodu pro hodnoty  $R = 50 \Omega$ ,  $L = 1 \text{ mH}$  a  $C = 500 \text{ pF}$ . Porovnejte s předpokládanou hodnotou získanou z Thompsonova vzorce (10).
3. Zobraďte v módu rozmítání proudovou rezonanční křivku na osciloskopu a slovně popište její změny při zasouvání jádra do cívky. Na základě toho odhadněte magnetický charakter jádra.
4. Proměřte proudovou rezonanční křivku v závislosti na frekvenci. Měření proveďte dvakrát: pro vzduchovou cívku a cívku s jádrem. Znázorněte obě rezonanční křivky do společného grafu a fitováním stanovte činitele jakosti obou rezonančních obvodů. Na základě toho určete indukčnost cívky s jádrem.
5. Určete kapacitu neznámého kondenzátoru, o němž víte, že má kapacitu menší, než je maximální hodnota kapacity kondenzátoru Tesla.
6. Sestavte induktivně vázaný obvod a v módu rozmítání zobraďte jeho napěťovou rezonanční křivku. Cívky posouvejte tak, abyste dosáhli vazby nadkritická, kritická a podkritická. Nalezněte vzdálenost, při níž dochází k vazbě kritická, a vzdálenost, při níž k vazbě již nedochází. Nepovinná: Proměřte napěťovou rezonanční křivku pro vazbu nadkritickou a znázorněte do grafu.

## 2 Pomôcky

Frekvenční generátor UNI-T UTG9020A, osciloskop GoldStar, odporová dekáda CMT R1-1000 ( $1\Omega - 11M\Omega$ ), indukčná dekáda CMT L3-250 ( $1 \mu\text{H} - 11 \text{ H}$ ),

vzduchová cívka PHYWE ( $1mH, 0.4m\Omega$ ), jadro cívky, ladicí kapacitní normál Tesla ( $100 - 1100$  pF), kapacitní normál Ulrich ( $1000$  pF), kondenzátor neznámé kapacity, dva koaxiální kabely, spojovací vodiče, dvě cívky pro vázané obvody s ladicím kondenzátorem na stavebnicových dílech PHYWE.

### 3 Teória

Rezonančnú frekvenciu  $\Omega_0$  môžeme určiť pomocou Thomsonova vzorca

$$\Omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

kde  $L$  je indukčnosť cievky a  $C$  je kapacita kondenzátoru.

V našom prípade z zapojenia z úlohy 1. môžeme pre  $L = 1$  mH a  $C = \mu F$  vypočítať podľa vzťahu 1 vlastnú frekvenciu  $\Omega_0 = 1,41$  MHz.

Pre RLC obvod závislosť prúdu  $I$  na frekvencií  $f$  môžeme opísať vzťahom

$$I_{(f)} = \frac{I_{max}}{\sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0} \right)^2}}, \quad (2)$$

kde  $f_0$  je rezonančná frekvencia a  $Q$  činiteľ akosti obvodu.

Kapacitu neznámeho kondenzátoru  $C_x$  zapojenie paralelne ku kondenzátoru so známou kapacitou vypočítame

$$C_x = C_1 - C_2, \quad (3)$$

kde  $C_1$  je kapacita bez paralelného neznámeho kondenzátoru a  $C_2$  je kapacita so zapojeným paralelným kondenzátorom.

Činiteľ akosti  $Q$  vypočítame ako

$$Q = \frac{\alpha}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (4)$$

kde  $L$  je indukčnosť,  $C$  je kapacita,  $R$  je odpor a  $\alpha$  je parameter pre koreláciu.

Pre výpočet indukčnosti cievky môžeme odvodiť zo vzťahu 4

$$\left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 = \frac{C_1 L_1}{C_2 L_1}. \quad (5)$$

#### 3.0.1 Spracovanie chýb merania

Označme  $\langle t \rangle$  aritmetický priemer nameraných hodnôt  $t_i$ , a  $\Delta t$  hodnotu  $\langle t \rangle - t$ , pričom

$$\langle t \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (6)$$

a chybu aritmetického priemeru

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \langle t \rangle)^2}{n(n-1)}}, \quad (7)$$

pričom  $n$  je počet meraní.

## 4 Postup merania

1. Bol zostavený obvod podľa Obr. 1 [1] a odmeraná dĺžka jednej periódy kmitu a frekvencia kmitania.
2. Generátor frekvencií bol nastavený na mód rozmítaní a pozorované zmeny amplitúdy pri vkladaní a vyberaní jadra cievky
3. Pre rozsah 20 hodnôt frekvencie v okolí vlastnej frekvencie sa zistila amplitúda s jadrom a bez jadra cievky.
4. Obvod sa pomocou zmeny kapacity na normále uviedol do rezonancie a následne sa paralelne k normále umiestnil kondenzátor s neznámou kapacitou. A opäť bol obvod uvedený do rezonancie.
5. Obvod bol zostavený podľa Obr. 4. [1], nameraná hodnota vzdialeností pre maximum a úplný útlm.

## 5 Výsledky merania

### 5.1 Úloha 1.

V tabuľke 1 sú zaznamenané odmerané hodnoty vlastnenej frekvencie. Z týchto hodnôt bola vypočítaná podľa vzťahu 6 priemerná hodnota

$f_0[\text{kHz}]$	$T_0[\mu\text{s}]$
217.4	4.6
217.4	4.6
213.7	4.68

Tab. 1: Namerané hodnoty frekvencie  $f_0$  a periódy  $T_0$  vlastných kmitov RLC obvodu

### 5.2 Úloha 3.

Pre vzdušnú cievku s a bez jadra boli namerané hodnoty napätia  $U$  v okolí vlastnej frekvencie obvodu, tie boli vynesené do grafov Obr. 1 bez jadra a 2 s jadrom a spoločne do Obr. 3.

Hodnoty získané pre cievku bez jadra  $Q = (8,5 \pm 0,3)$  a pre cievku s jadrom  $Q = (2,5 \pm 0,1)$  Pre výpočet indukčnosti cievky sme využili vzťah 5 pričom  $C1 = C2$ . Z toho dostávame indukčnosť cievky  $L_2 = 0,085 \text{ mH}$ .

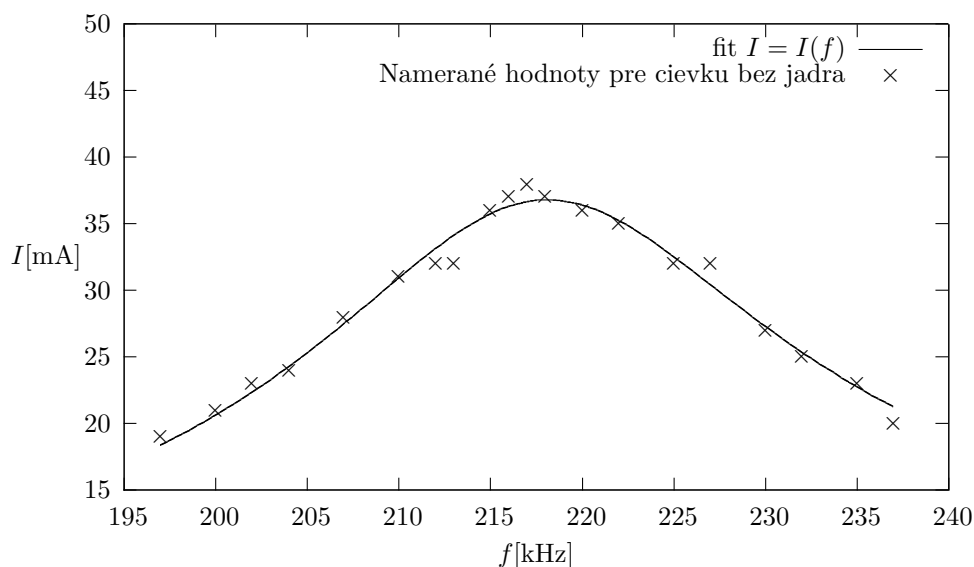
### 5.3 Úloha 2.

Pre cievku bez jadra sme činiteľ akosti  $Q$  vypočítal podľa vzťahu 4,

$$Q = 28,28\alpha,$$

pre cievku s jadrom sme využili hodnotu 5.2 a dosadili opäť do vzťahu 4 a tým určili koeficient akosti

$$Q = 8.32\alpha.$$



Obr. 1: Závislosť veľkosti prúdu  $I$  na rezonančnej frekvencií  $f$  pre cievku bez jadra, preložená funkciou  $I = \frac{36.8 \pm 0.4}{\sqrt{1 + (8.5 \pm 0.3) \cdot \left( \frac{f}{218.1 \pm 0.2} - \frac{218.1 \pm 0.2}{f} \right)^2}}$ .

## 5.4 Úloha 4.

Pri zisťovaní neznámej kapacity  $C_x$  sme namerali hodnoty  $C_1 = 406$  pF a  $C_2 = 327$  pF, následne podľa vzťahu 3 sme dopočítali neznámu kapacitu

$$C_x = 79 \text{ pF}.$$

## 5.5 Úloha 5.

K maximálnej amplitúde došlo vo vzdialenosti  $x_1 = (4,4 \pm 0,1)$  mm. Úplný útlm nastal vo vzdialenosti  $x_2 = (14,3 \pm 0,1 \text{ mm})$ .

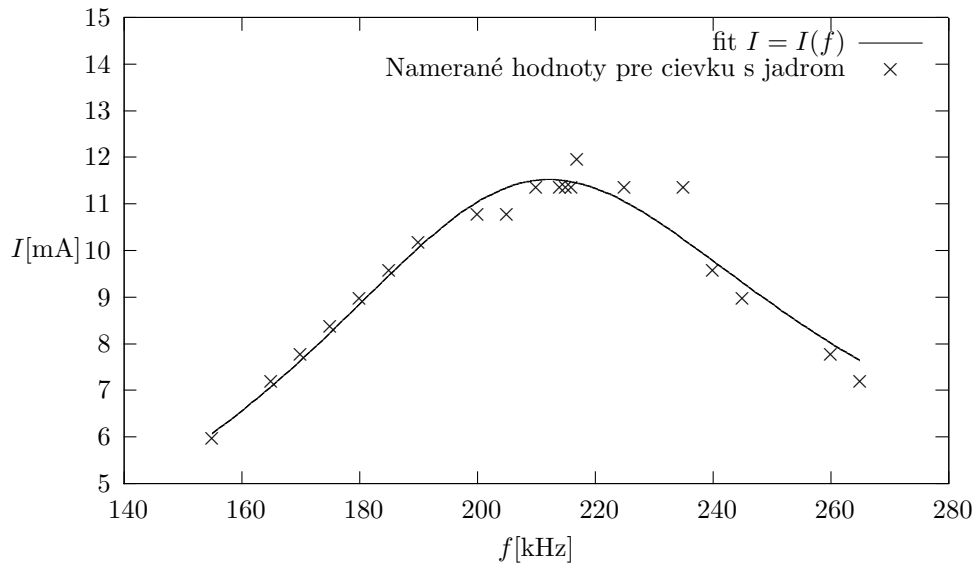
## 6 Diskusia

V Prvej časti sme spočítali teoretickú rezonančnú frekvenciu obvodu ako  $\Omega_0 = 1,41$  MHz ale nameraná hodnota je  $f_0 = (216 \pm 1)$  kHz. Čo je chyba o skoro celý rád. Vyzerá to pravdepodobne na chybu vo výpočtoch alebo použitých hodnôt pre výpočet.

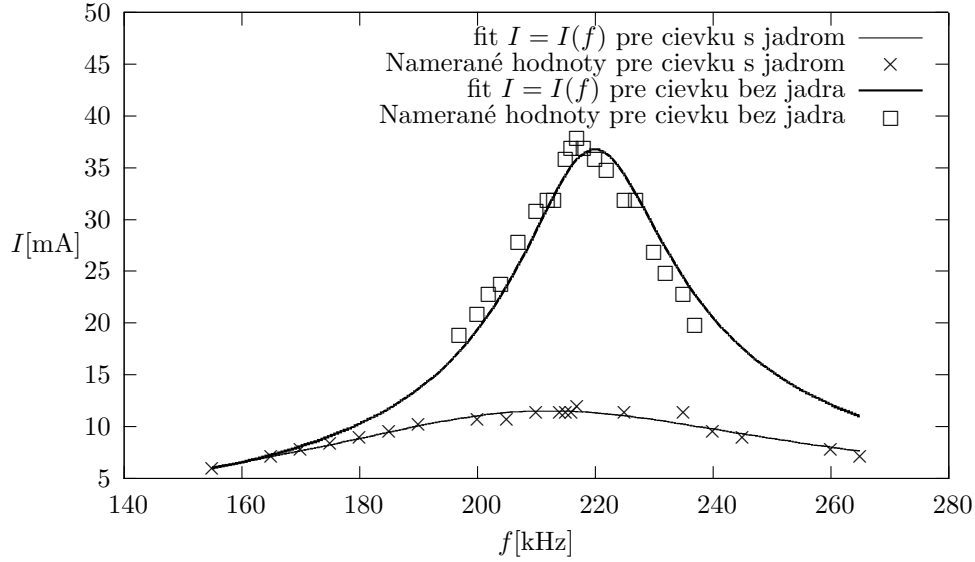
V druhej časti sa pri vložení jadra do cievky sa zmenšil pretekajúci prúd a teda zmenšila akosť. Teda môžeme predpokladať, že jadro je za paramagnetického materiálu.

Dátam z predchádzajúceho bodu odpovedajú aj dáta vynesené v grafe Obr. 3 kde je jasne vidieť pokles prúdu v oblasti rezonančnej frekvencie pri vložení jadra v cievke.

Pri meraní kapacity neznámeho kondenzátoru bolo meranie uskutočnené len raz, však podľa [1] sme mali meranie previesť 5 krát.



Obr. 2: Závislosť veľkosti prúdu  $I$  na rezonančnej frekvencii  $f$  pre cievku s jadrom, preložená funkciou  $I = \frac{11.5 \pm 0.14}{\sqrt{1 + (2.5 \pm 0.1) \cdot \left( \frac{f}{212.2 \pm 0.1} - \frac{212.2 \pm 0.1}{f} \right)^2}}$ .



Obr. 3: Závislosť veľkosti prúdu  $I$  na rezonančnej frekvencii  $f$  pre cievku bez jadra, preložená funkciou  $I = \frac{36.8 \pm 0.4}{\sqrt{1 + (8.5 \pm 0.3) \cdot \left( \frac{f}{218.1 \pm 0.2} - \frac{218.1 \pm 0.2}{f} \right)^2}}$  a závislosť veľkosti prúdu  $I$  na rezonančnej frekvencii  $f$  pre cievku s jadrom, preložená funkciou  $I = \frac{11.5 \pm 0.14}{\sqrt{1 + (2.5 \pm 0.1) \cdot \left( \frac{f}{212.2 \pm 0.1} - \frac{212.2 \pm 0.1}{f} \right)^2}}$ .

Posledné meranie vzdialenosti je predovšetkým pri hľadaní maxima zaťažené mnohými systematickými chybami. V prvej rade sú obe cievky za v plastovom obale teda neviem odmerať ich presnú vzdialenosť ale len vzdialenosť krytov. Cievky nie sú dokonalé rovnobežné voči sebe a teda ich vzdialenosť sa v rôznych miestach po obvode líši, odhadom  $\sim 0,2$  cm.

## 7 Záver

Vlastná frekvencia obvodu bola určená  $f_0 = (216 \pm 1)$  kHz. Cievka s jadrom má indukčnosť  $L_2 = 0,085$  mH. Neznámy kondenzátor má kapacitu  $C_x = 79$  pF.

## Reference

- [1] Sériový a vázaný rezonanční obvod [cit. 4.12.2016] Dostupné po prihlásení z Kurz: Fyzikální praktikum I: [https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/123/mod\\_resource/content/7/navod\\_rezonancni\\_obvody\\_161005.pdf](https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/123/mod_resource/content/7/navod_rezonancni_obvody_161005.pdf)