Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II – Elektřina a magnetismus

Úloha č. VI.

Název: Měření účiníku

Pracoval: Radim Pechal stud. skup. F – 11 dne 31. října 2008

Odevzdal dne: ....

Hodnocení:.......................................

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 9	
Diskuse výsledků	0 – 5	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Pracovní úkol

1. Změřte účiník:
   a) rezistoru,
   b) kondenzátoru ($C = 10\,\mu$F),
   c) cívky.

   Určete chybu měření. Diskutujte shodu výsledků s teoretickými hodnotami pro ideální prvky. Pro cívku vypočtěte indukčnost a odpor v sériovém a paralelním náhradním zapojení.

2. Změřte účiník sériového a paralelního zapojení rezistoru a kondenzátoru ($C = 1; 2; 5; 10\,\mu$F). Z naměřených hodnot stanovte odpor rezistoru. Určete chyby měření a rozhodněte, které z obou zapojení je v daném případě vhodnější pro stanovení odporu.

3. Změřte závislost proudu a výkonu na velikosti kapacity zařazené do sériového RLC obvodu.

4. Výsledky úkolu 3. zpracujte graficky, v závislosti na zařazené kapacitě vyneste účiník, fázový posuv napětí vůči proudu a výkon.

Teoretický úvod

Střední hodnota elektrického výkonu P, který vykoná elektrický proud při průchodu pasivním prvkem, je podle [1.] dána vztahem:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T u(t) \cdot i(t)\mathrm{d}t, \tag{1}$$

kde T je časová perioda za kterou se elektrický výkon sleduje. $u(t)$ je okanžitá hodnota elektrického napětí a $i(t)$ je omažitá hodnota elektrického proudu.

Integrováním a úpravou vztahu (1) je možno dostat vztah:

$$P = u_{ef} \cdot i_{ef} \cos\varphi. \tag{2}$$

V tomto vztahu u_{ef} je efektivní hodnota napětí a i_{ef} je efektivní hodnota proudu. Úhel φ určuje zpoždění proudu vůči napětí. Může nabývat hodnoty $\left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right)$. Hodnota $\cos\varphi$ se nazývá účiník. Může nabývat hodnot $(-1; 1)$. Za vztahu (2) je možné vyjádřit účiník:

$$\cos\varphi = \frac{P}{u_{ef} \cdot i_{ef}}. \tag{3}$$

Ohmův zákon pro stejnosměrné napějí je možno zobecnit pro případ střídavého proudu vztahem:

$$Z^\star(t) = \frac{u^\star(t)}{i^\star(t)} = \frac{U_0 \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{i}(\omega t+\varphi_u)}}{I_0 \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{i}(\omega t+\varphi_i)}} = \frac{U_0}{I_0}\mathrm{e}^{\mathrm{i}(\omega t+\varphi_u-\omega t-\varphi_i)} = \frac{U_0}{I_0}\mathrm{e}^{\mathrm{i}(\varphi_u-\varphi_i)}, \tag{4}$$

kde $Z^\star(t)$ je okamžitá impedance obvodu. Vyjadřuje ji komplexní číslo $Z^\star(t) = |Z| \cdot \mathrm{e}^{\mathrm{i}\varphi_Z}$. Úhlová frekvence ω je definována jako $\omega = 2\pi \cdot f$. I_0 a U_0 jsou špičkové hodnoty proudu a napětí. Úhly $\varphi_u, \varphi_i, \varphi_Z$ reprezentují fázove zpožedění dané veličiny.

U rezistoru je napětí ve fázi s procházejícím proudem. Platí tedy $\varphi_u = \varphi_i$. Ze vztahu (4) tak plyne:

$$Z_R^\star = \frac{U_0}{I_0} = R. \tag{5}$$

Při průchodu střídavého napětí cívkou platí, že proud je zpožděn o $\frac{\pi}{2}$. Lze předpokládat, že v čase $t = 0$ může nastat $\varphi_u = 0$, $\varphi_i = \frac{-\pi}{2}$, Ze vztahu (4) plyne:

$$Z_L^\star = \frac{U_0}{I_0} \mathrm{e}^{\mathrm{i}\frac{\pi}{2}} = \mathrm{i}\omega L. \tag{6}$$

Obdobně se dá postupovat i při určování impedance kondenzátoru. Jen s výjimkou, že proud předbíhá napětí o $\frac{\pi}{2}$. Pak platí:

$$Z_C^\star = \frac{1}{\mathrm{i}\omega C}. \tag{7}$$

Při sériovém složení ideálního rezistoru, kondenzátoru a cívky se úpravou (5), (6) a (7) a uvážením Kirchhoffových zákonů dostane vztah pro komplexní impedanci $Z^\star$:

$$Z_s^\star = Z_R^\star + Z_L^\star + Z_C^\star = R + \mathrm{i}\omega L - \mathrm{i}\frac{1}{\omega C}. \tag{8}$$

Velikost impedance Z se dá určit pomocí Pythagorovy věty:

$$Z_s = |Z_s^\star| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \tag{9}$$

Podílem komplexní a reálné části impedance $Z_s^\star$ ze vztahu (8) je možno určit velikost účiníku pro sériové zapojení rezistoru, kondenzátoru a cívky:

$$\cos\varphi_s = \cos\left(\arctan\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right). \tag{10}$$

Při paralelním složení ideálního rezistoru, kondenzátoru a cívky je vhodnější místo impedance jednotlivých součástek zavést admitanci Y, která je definována jako převrácená hodnota impedance. Ze vztahu (4) plyne:

$$Y^\star = \frac{1}{Z^\star(t)} = \frac{I_0}{U_0}\mathrm{e}^{\mathrm{i}(\varphi_i - \varphi_u)}. \tag{11}$$

Admitance rezistoru je $Y_R^\star = \frac{1}{R}$, admitance ideální cívky $Y_C^\star = \mathrm{i}\omega C$ a admitance ideální cívky je dána $Y_L^\star = \mathrm{i}\frac{1}{\omega L}$ Admitance paralelního obvodu je pak dána vztahem, který je velmi podobný výrazu (11):

$$Y_p^\star = Y_R^\star + Y_L^\star + Y_C^\star = \frac{1}{R} + \mathrm{i}\frac{1}{\omega L} - \mathrm{i}\omega C. \tag{12}$$

Velikost admitance jde stejně jako v předchozím případě vyjádřit pomocí Pythagorovy věty:

$$Y_p = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \mathrm{i}\omega C\right)^2}. \tag{13}$$

Fázový posuv φ_p jde obdobně jako u předchozího případu určit:

$$\cos\varphi_p = \cos\left(2\pi - \arctan\left(\omega R \cdot C - \frac{R}{\omega L}\right)\right). \tag{14}$$

Výsledky měření

Nejříve jsem měřil účiník jednotlivých součástek. K měření napětí jsem používal digitální voltmetr MXD − 4660A s přesností $\pm 2,5\% \pm 10$ digit. K měření proudu jsem používal analogový ampérmetr DU 20 s třídou přesnosti 1,5. K měření výkonu jsem používal wattmetr s třídou přesnosti 0,2. Výkon jsem měřil na rozsahu 75 V, 0,1 A. Frekvence použitého zdroje byla $f = (50,0 \pm 0,5)\,\mathrm{Hz}$.

	$u_e f$ [V]	$i_e f$ [mA]	P [W]	$\cos\varphi$
rezistor R	$61,7 \pm 1,6$	$61 \pm 1,5$	$3,80 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,03$
kondenzátor C	$62,7 \pm 1,7$	$195 \pm 4,5$	$0,30 \pm 0,02$	$0,025 \pm 0,001$
cívka L	$62,3 \pm 1,7$	$34 \pm 1,5$	$0,88 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,02$

Tabulka 1: Měření účiníku jednotlivých součástek.

Z výsledků z tabulky 1. mohu určit hodnoty jednotlivých součástek. Odpor rezistoru R jsem určil ze vztahu (5): $R = (1011 \pm 37)\,\Omega$.

Dále jsem pro cívku určil indukčnost a odpor v sériovém zapojení. Úpravou vzrahu (8) jsem dostal:

$$L_s = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{u_{ef}}{i_{ef}} \sin\left(\arccos\left(\cos\varphi\right)\right), \tag{15}$$

$$R_s = \frac{u_{ef}}{i_{ef}} \cos\varphi. \tag{16}$$

Z těchto vztahů jsem vypočítal: $L_s = (5,31 \pm 0,14)\,\mathrm{H}$ a $R_s = (756,9 \pm 20,0)\,\Omega$.

Při určování indukčnosti a odporu v paralelním zapojení jsem vycházel ze vztahu (12). Úpravou jsem získal vztahy:

$$L_p = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{u_{ef}}{i_{ef}} \cdot \frac{1}{\sin\left(\arccos\left(\cos\varphi\right)\right)}, \tag{17}$$

$$R_p = \frac{u_{ef}}{i_{ef}} \cdot \frac{1}{\cos\varphi}. \tag{18}$$

Z těchto vztahů jsem určil $L_p = (6,40 \pm 0,17)\,\mathrm{H}$ a $R_p = (4435,8 \pm 116,9)\,\Omega$.

Dále jsem proměžil sériové a paralelní zapojení kondenzátoru C a rezistoru R. Kondenzátor jsem volil v hodnotách $1\,\mu\mathrm{F}$, $2\,\mu\mathrm{F}$, $5\,\mu\mathrm{F}$, $10\,\mu\mathrm{F}$.

	$u_e f$ [V]	$i_e f$ [mA]	P [W]	$\cos\varphi$
C_1	$62,7 \pm 1,7$	$18 \pm 0,5$	$0,35 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,03$
C_2	$62,6 \pm 1,7$	$33 \pm 1,5$	$1,10 \pm 0,02$	$0,53 \pm 0,02$
C_3	$62,2 \pm 1,7$	$48 \pm 1,5$	$2,78 \pm 0,02$	$0,929 \pm 0,017$
C_4	$61,9 \pm 1,6$	$59 \pm 1,5$	$3,50 \pm 0,02$	$0,958 \pm 0,015$

Tabulka 2: Měření účiníku sériového zapojení kondenzátoru a cívky.

	u_ef [V]	i_ef [mA]	P [W]	$\cos\varphi$
C_1	$62,0 \pm 1,7$	$61,0 \pm 0,5$	$3,85 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,02$
C_2	$62,1 \pm 1,7$	$79,0 \pm 1,5$	$3,88 \pm 0,02$	$0,790 \pm 0,014$
C_3	$62,0 \pm 1,7$	$125 \pm 4,5$	$3,95 \pm 0,02$	$0,510 \pm 0,013$
C_4	$62,1 \pm 1,7$	$180 \pm 4,5$	$4,25 \pm 0,02$	$0,380 \pm 0,012$

Tabulka 3: Měření účiníku paralelního zapojení kondenzátoru a cívky.

Obdobě jako při určování indukčnosti cívky, jsem postupoval při určování kapacity kondenzátoru při paralelním a sériovém zapojení. K výpočtu jsem používal vztahy (13), (17) a odvozené vztahy:

$$C_s = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{i_{ef}}{u_{ef}} \cdot \frac{1}{\sin\left(\arccos\left(\cos\varphi\right)\right)}, \tag{19}$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{i_{ef}}{u_{ef}} \cdot \sin\left(\arccos\left(\cos\varphi\right)\right). \tag{20}$$

Výsledné hodnoty uvádím pro přehlednost v následující tabulce:

	C_s [μF]	R_s [Ω]	C_p [μF]	R_p [Ω]
C_1	$0,96 \pm 0,16$	$1080,2 \pm 28,7$	$0,20 \pm 1,05$	$998,4 \pm 28,5$
C_2	$2,0 \pm 0,2$	$1010,1 \pm 26,9$	$2,5 \pm 1,3$	$995,20 \pm 25,10$
C_3	$6,7 \pm 0,9$	$1204,43 \pm 32,05$	$5,5 \pm 1,6$	$973,2 \pm 24,3$
C_4	$10,6 \pm 1,2$	$1005,5 \pm 26,8$	$8,53 \pm 2,08$	$907,4 \pm 15,5$

Tabulka 4: Určení kapacity kondenzátoru a odporu rezistoru při sériovém a paralelním zapojení.

Dále jsem měřil závislost poroudu a výkonu na kapacitě. Odtud jsem určil účiník $\cos\varphi$ a fázový posuv φ pro jednotlivé hodnoty kapacity.

Fázový posuv jsem určil z účiníku vztahem:

$$\varphi = \arccos\left(\cos\varphi\right). \tag{21}$$

Problém nastal v okamžiku, kdy chybou měření vyšla hodnota fázového posuvu > 1. Což je teoreticky němožné. Hodnoty, které byly > 1, měly dostatečnou chybu měření aby daný interval zahrnoval i hodnotu 1. Proto jsem v tomto případě nahradil tyto hodnoty hodnotou 1 a fázový posuv φ mi pak vyšel $\varphi = 0$.

Při určování fázového posuvu došlo k problémům při určování chyby měření. Chyby jsem určoval pomocí kvadratického zákona přenosu chyb. Derivace funkce $\cos(x)$ je:

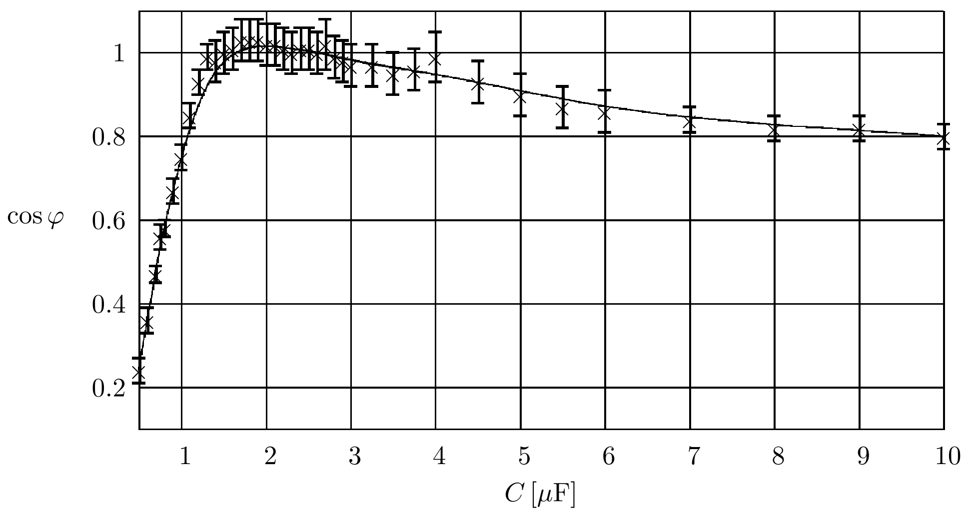
$$\frac{\mathrm{d}\cos(x)}{\mathrm{d}x} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}. \tag{22}$$

Chyba v tomto případě vychází ∞. Proto jsem tyto hodnoty nezanesl do grafu. Viz. kapitola ,,Diskuse výsledků".

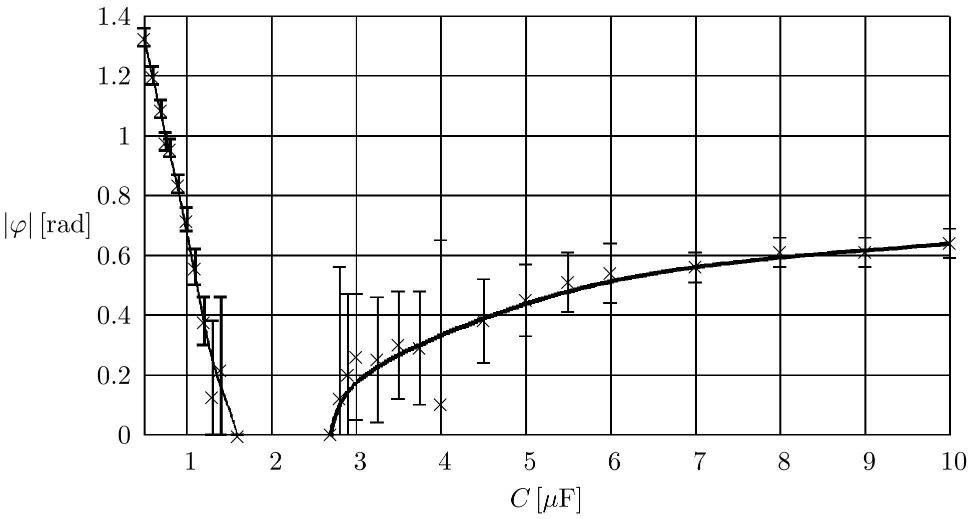
$C\,[\mu\mathrm{F}]$	$u_{ef}\,[\mathrm{V}]$	$i_{ef}\,[\mathrm{mA}]$	$P\,[\mathrm{W}]$	$\cos\varphi$	$\varphi\,[\mathrm{rad}]$
$0,50$	$62,6 \pm 1,7$	$11,50 \pm 0,45$	$0,18 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,03$	$1,33 \pm 0,03$
$0,60$	$62,6 \pm 1,7$	$14,50 \pm 0,45$	$0,33 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,03$	$1,20 \pm 0,03$
$0,70$	$62,6 \pm 1,7$	$18,00 \pm 0,45$	$0,53 \pm 0,02$	$0,47 \pm 0,02$	$1,09 \pm 0,03$
$0,75$	$62,5 \pm 1,7$	$18,00 \pm 0,45$	$0,63 \pm 0,02$	$0,56 \pm 0,03$	$0,98 \pm 0,03$
$0,80$	$62,5 \pm 1,7$	$21,50 \pm 0,45$	$0,78 \pm 0,02$	$0,58 \pm 0,02$	$0,96 \pm 0,03$
$0,90$	$62,4 \pm 1,7$	$24,50 \pm 0,45$	$1,03 \pm 0,02$	$0,67 \pm 0,03$	$0,84 \pm 0,03$
$1,00$	$62,3 \pm 1,7$	$24,00 \pm 0,45$	$1,13 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,03$	$0,72 \pm 0,04$
$1,10$	$62,3 \pm 1,7$	$26,50 \pm 0,45$	$1,40 \pm 0,02$	$0,85 \pm 0,03$	$0,56 \pm 0,06$
$1,20$	$62,3 \pm 1,7$	$28,50 \pm 0,45$	$1,65 \pm 0,02$	$0,93 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,08$
$1,30$	$62,2 \pm 1,7$	$30,00 \pm 0,45$	$1,85 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,25$
$1,40$	$62,1 \pm 1,7$	$33,00 \pm 1,50$	$2,00 \pm 0,02$	$0,98 \pm 0,05$	$0,22 \pm 0,24$
$1,50$	$62,2 \pm 1,7$	$33,00 \pm 1,50$	$2,05 \pm 0,02$	$1,00 \pm 0,05$	$0,05 \pm 1,06$
$1,60$	$62,1 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,13 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,05$	$0,00$
$1,70$	$62,0 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,18 \pm 0,02$	$1,03 \pm 0,05$	$0,00$
$1,80$	$62,1 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,18 \pm 0,02$	$1,03 \pm 0,05$	$0,00$
$1,90$	$62,2 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,18 \pm 0,02$	$1,03 \pm 0,05$	$0,00$
$2,00$	$62,1 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,15 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,05$	$0,00$
$2,10$	$62,1 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,15 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,05$	$0,00$
$2,20$	$62,1 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,13 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,05$	$0,00$
$2,30$	$62,0 \pm 1,7$	$34,00 \pm 1,50$	$2,10 \pm 0,02$	$1,00 \pm 0,05$	$0,09 \pm 0,60$
$2,40$	$62,1 \pm 1,7$	$33,00 \pm 1,50$	$2,08 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,05$	$0,00$
$2,50$	$62,2 \pm 1,7$	$33,00 \pm 1,50$	$2,08 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,05$	$0,00$
$2,60$	$62,2 \pm 1,7$	$33,00 \pm 1,50$	$2,05 \pm 0,02$	$1,00 \pm 0,05$	$0,05 \pm 1,06$
$2,70$	$62,1 \pm 1,7$	$32,00 \pm 1,50$	$2,03 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,06$	$0,00$
$2,80$	$62,2 \pm 1,7$	$32,00 \pm 1,50$	$1,98 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,05$	$0,12 \pm 0,44$
$2,90$	$62,2 \pm 1,7$	$32,00 \pm 1,50$	$1,95 \pm 0,02$	$0,98 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,27$
$3,00$	$62,2 \pm 1,7$	$32,00 \pm 1,50$	$1,93 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,05$	$0,26 \pm 0,21$
$3,25$	$62,1 \pm 1,7$	$32,00 \pm 1,50$	$1,93 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,21$
$3,50$	$62,2 \pm 1,7$	$32,00 \pm 1,50$	$1,90 \pm 0,02$	$0,95 \pm 0,05$	$0,30 \pm 0,18$
$3,75$	$62,2 \pm 1,7$	$31,00 \pm 1,50$	$1,85 \pm 0,02$	$0,96 \pm 0,05$	$0,29 \pm 0,19$
$4,00$	$62,0 \pm 1,7$	$30,00 \pm 1,50$	$1,85 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,06$	$0,10 \pm 0,55$
$4,50$	$62,0 \pm 1,7$	$30,00 \pm 1,50$	$1,73 \pm 0,02$	$0,93 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,14$
$5,00$	$62,1 \pm 1,7$	$30,00 \pm 1,50$	$1,68 \pm 0,02$	$0,90 \pm 0,05$	$0,45 \pm 0,12$
$5,50$	$62,1 \pm 1,7$	$30,00 \pm 1,50$	$1,63 \pm 0,02$	$0,87 \pm 0,05$	$0,51 \pm 0,10$
$6,00$	$62,1 \pm 1,7$	$30,00 \pm 1,50$	$1,60 \pm 0,02$	$0,86 \pm 0,05$	$0,54 \pm 0,10$
$7,00$	$62,2 \pm 1,7$	$29,50 \pm 0,45$	$1,55 \pm 0,02$	$0,84 \pm 0,03$	$0,56 \pm 0,05$
$8,00$	$62,1 \pm 1,7$	$29,50 \pm 0,45$	$1,50 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,03$	$0,61 \pm 0,05$
$9,00$	$62,1 \pm 1,7$	$29,00 \pm 0,45$	$1,73 \pm 0,02$	$0,96 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,11$
$10,00$	$62,2 \pm 1,7$	$29,00 \pm 0,45$	$1,45 \pm 0,02$	$0,80 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,05$

Tabulka 5: Závislost proudu a výkonu na kapacitě kondenzátoru C.

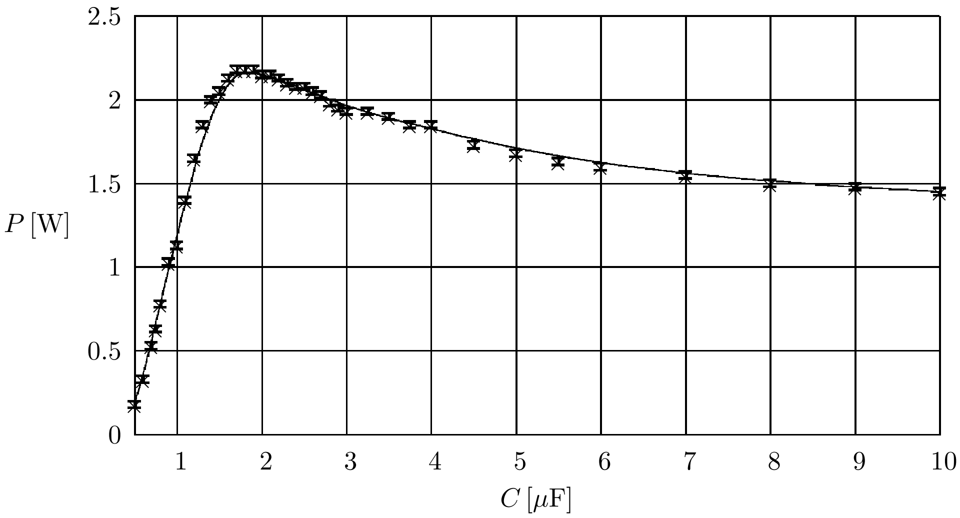
Graf 1.: Závislost účiníku na zadané kapacitě



Graf 2.: Závislost absolutní hodnoty fázového posuvu φ na kapacitě kondenzátoru C



Graf 3.: Závislost výkonu P na kapacitě kondenzátoru C.



Diskuse výsledků

U měření účiníku rezistoru, kondenzátoru a cívky jsem použil pouze bodové měření, proto nemělo smysl uvažovat statistickou chybu. Chybu jsem určoval pomocí kvadratického zákona přenosu chyb.

Při výpočtu účiníku rezistoru jsem použil vztah (3). Výsledná hodnota $\cos\varphi_R = 1,01 \pm 0,03$ odpovídá faktu, že impedance rezistoru nemá žádnou komplexní složku, což je ve shodě s teorií použitou k odvození vztahu (5).

K určení účiníku kondenzátoru jsem vycházel opět ze vztahu (3). Výsledný účiník $\cos\varphi_C = 0,025 \pm 0,001$ odpovídá předpokladu, že impedance této součástky má imaginární charakter. Tudíž kondenzátor má malý parazitní odpor. Což je ve skodě s faktem, že paralelní parazitní odpory jsou obvykle řádu MΩ. A sériové parazitní odpory jsou zanedbatelné.

Při určování indukčnosti cívky jsem použil sériové a paralelní náhradní schéma. V případě sériového zapojení jsem vycházel ze vztahu (8). Impedance se v tomoto případě rozdělí na imaginární složku, které odpovídá indukčnosti cívky L a reálnou složku, které odpovídá parazitní odpor R. Odvodil jsem vztahy (15) a (16).

U paralelního náhradního schématu jsem postupoval obdobně. Vyšel jsem ze vztahu (12). Odvozením jsem dostal vztahy (17) a (18).

Účiník mi podle vztahu (3) vyšel $\cos\varphi_L = 0,41 \pm 0,02$. Hodnotu indukčnosti cívky a parazitní odpor jsem u sériového náhradního schématu určil: $L_s = (5,31 \pm 0,14)$ H a $R_s = (756,9 \pm 20,0)\,\Omega$. Pro paralení zapojení mi vyšly hodnoty: $L_p = (6,40 \pm 0,17)$ H a $R_p = (4435,8 \pm 116,9)\,\Omega$. Tyto hodnoty se řádově shodují.

Při sériovém a paralelním zapojení jsem kondenzátoru a rezistoru jsem používal kondenzátory s kapacitou $C_1 = 1\,\mu$F, $C_2 = 2\,\mu$F, $C_3 = 5\,\mu$F a $C_4 = 10\,\mu$F. Výsledné hodnoty uvedené v tabulce 4 řádově odpovídají až na hodnotu C_1 při sériovém zapojení.

Ukázalo se, že vhodnějším zapením pro určení hodnoty odporu rezistoru je sériové zapojení. Hodnoty jsou blíže hodnotě $R = (1011 \pm 37)\,\Omega$ naměřené při měření účiníku.

Při měření veličin z pracovního úkolu bod 3. a 4. se ukázaly problematické hodnoty účiníku $\cos\varphi \to 1$. Neboť vinou chyby měření jsem dostal hodnoty, které byly > 1, což odporuje teorii. Proto jsem tyto hodnoty pro další výpočet zaokrouhlil na 1. Ovšem i samotná hodnota $\cos\varphi = 1$ se ukázala problematická, neboť podle vzorce (22) vychází chyba měření fázového posuvu $\sigma_\varphi \to \infty$. Tyto hodnoty nemají žádnou vypovídající hodnotu, proto jsem je ani neuváděl v Grafu 3.

Závěr

Změřil jsem účiník rezistoru: $\cos\varphi_R = 1,01 \pm 0,03$, účiník kondenzátoru $\cos\varphi_C = 0,025 \pm 0,001$ a účiník cívky $\cos\varphi_L = 0,41 \pm 0,02$.

Pro cívku jsem uvažoval sériové a paralelní náhradní schéma indukčnosti a parazitního odporu. Určil jsem hodnotu indukčnosti L_s, L_p a parazitního odporu R_s, R_p u těchto zapojení: $L_s = (5,31 \pm 0,14)\,\mathrm{H}$, $R_s = (756,9 \pm 20,0)\,\Omega$, $L_p = (6,40 \pm 0,17)\,\mathrm{H}$, $R_p = (4435,8 \pm 116,9)\,\Omega$.

Hodnoty kapacity a odporu při sériovém zapojení jsou uvedeny v tabulce 4. Hodnoty se v rámci chyby shodují s předpokladanými hodnotami.

Při sériovém zapojení kondenzátoru, cívky a rezistoru jsem proměřil závislost proudu a výkonu na hodnotě kapacity. Z těchto hodnot jsem určil hodnotu účiníku $\cos\varphi$ a fázového posuvu φ. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5. Závislost účiníku $\cos\varphi$, fázového posuvu φ a výkonu P jsem také graficky vyjádřil v Grafech 1 až 3.

Seznam použité literatury

[1.] R. Bakule, J. Šternberk: *Fyzikální praktikum II.* Elektřina a magnetismus.
Státátní pedagogické nakladatelství, Praha.