

Úkol

1. Změřte účinník:
 - (a) rezistoru,
 - (b) kondenzátoru ($C = 10 \mu\text{F}$),
 - (c) cívky.
2. Spočítejte fázový posun proudu a napětí. Určete chybu měření. Diskutujte shodu výsledků s teoretickými hodnotami pro ideální prvky.
3. Pro cívku vypočítejte indukčnost a odpor v sériovém a paralelním náhradním zapojení.
4. Změřte účinník sériového a paralelního zapojení rezistoru a kondenzátoru pro kapacity v intervalu $C = 1 - 10 \mu\text{F}$ a spočítejte fázový posuv. Výsledky zpracujte graficky. Z naměřených hodnot stanovte odpor rezistoru a porovnejte ho s hodnotou přímo naměřenou digitálním multimetrem. Určete chyby měření a rozhodněte, které z obou zapojení je v daném případě vhodnější pro stanovení odporu.
5. Změřte závislost proudu a výkonu na velikosti kapacity zařazené do sériového RLC obvodu pro kapacity do $10 \mu\text{F}$. Výsledky zpracujte graficky, v závislosti na zařazené kapacitě vynesete účinník, fázový posuv napětí vůči proudu a výkon.
6. V průběhu měření sériového RC obvodu připojte na kondenzátor digitální osciloskop **Tektronix** a pozorujte změnu fáze napětí na kondenzátoru vzhledem k průběhu napětí zdroje v závislosti na velikosti nastavené kapacity v intervalu $1 - 10 \mu\text{F}$. Popište kvalitativně pozorované jevy a vysvětlete je. Stručný popis ovládání a schema připojení osciloskopu je přiloženo u úlohy.

Teorie

Výkon střídavého proudu závisí na fázovém posunu napětí vůči proudu φ vztahem

$$P = UI \cos \varphi, \quad (1)$$

kde U a I jsou efektivní hodnoty napětí a proudu.

Pomocí komplexního formalismu řešení střídavých obvodů je možné odvodit vztahy pro absolutní hodnotu komplexní impedance $Z = \frac{U}{I}$ a fázový posun napětí vůči proudu φ sériového RL obvodu

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}, \quad (2)$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} \quad (3)$$

a paralelního RL obvodu

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{\omega^2 L^2}}, \quad (4)$$

$$\varphi = \arctan \left(\frac{R}{\omega L} \right). \quad (5)$$

Z těchto vztahů pak plynou rovnice pro odpor a indukčnost prvků

$$R_s = \frac{U}{I} \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}, \quad (6)$$

$$L_s = \frac{1}{\omega} \frac{U}{I} \sqrt{\frac{\tan^2 \varphi}{1 + \tan^2 \varphi}} \quad (7)$$

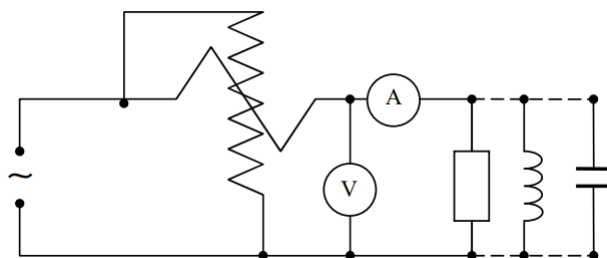
v sériovém a

$$R_p = \frac{U}{I} \sqrt{1 + \tan^2 \varphi}, \quad (8)$$

$$L_p = \frac{1}{\omega} \frac{U}{I} \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \varphi}{\tan^2 \varphi}} \quad (9)$$

v paralelním zapojení. V těchto vztazích je $\omega = 2\pi f$ úhlová frekvence střídavých veličin.

Pro měření účinníku bylo použito zapojení z obrázku 1.



Obrázek 1: Zapojení pro měření účinníku

Výsledky měření

Pro všechna měření byl použit zdroj **STATRON 50 V**.

Úkol 1

Následující tabulka obsahuje naměřené hodnoty napětí, proudu a výkonu odporu, cívky a kondenzátoru potřebné k výpočtu účinníku a absolutní hodnoty fázového posunu jakožto i tyto vypočtené hodnoty. Účinník byl počítán pomocí vztahu (1). Jako voltmetr byl použit multimetr **METEX MXD-4660A**, jako ampérmetr sloužil multimetr **METEX M-3270D**. Pro měření výkonu byl použit analogový wattmetr s rozsahem 75 V, 0,5 A. Chyby veličin byly určeny chybami přístrojů.

	U [V]	σ_U [V]	I [A]	σ_I [A]	P [W]	σ_P [W]	$\cos \varphi$ []	$\sigma_{\cos \varphi}$ []	$ \varphi $ [°]	$\sigma_{ \varphi }$ [°]
R	50,8	0,5	0,0504	0,0011	2,50	0,07	0,98	0,04	12	10
L	51,0	0,5	0,0300	0,0005	0,50	0,07	0,33	0,05	71,0	3,0
C	49,6	0,5	0,1522	0,0026	0,12	0,07	0,017	0,010	89,1	0,6

Tabulka 1: Hodnoty pro úkol 1 při použití analogového wattmetru

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky totožného experimentu měření digitálním wattmetrem **HM-8115-2**. Výpočty a chyby byly provedeny stejně jako výše.

	U [V]	σ_U [V]	I [A]	σ_I [A]	P [W]	σ_P [W]	$\cos \varphi$ []	$\sigma_{\cos \varphi}$ []	$ \varphi $ [°]	$\sigma_{ \varphi }$ [°]
R	50,1	0,7	0,051	0,005	2,548	0,030	1,00	0,10	0	8
L	50,3	0,7	0,030	0,005	0,594	0,015	0,39	0,07	67	4
C	50,7	0,7	0,163	0,006	0,012	0,010	0,0015	0,0012	89,92	0,07

Tabulka 2: Hodnoty pro úkol 1 při použití digitálního wattmetru

Úkol 3

Pomocí vztahů (6), (7), (8) a (9) byly spočteny hodnoty odporu a indukčnosti sériového a paralelního zapojení cívky

$$R_s = (1,11 \pm 0,19) \times 10^3 \Omega,$$

$$L_s = (4,0 \pm 0,7) \text{ H},$$

$$R_p = (2,5 \pm 0,4) \times 10^3 \Omega,$$

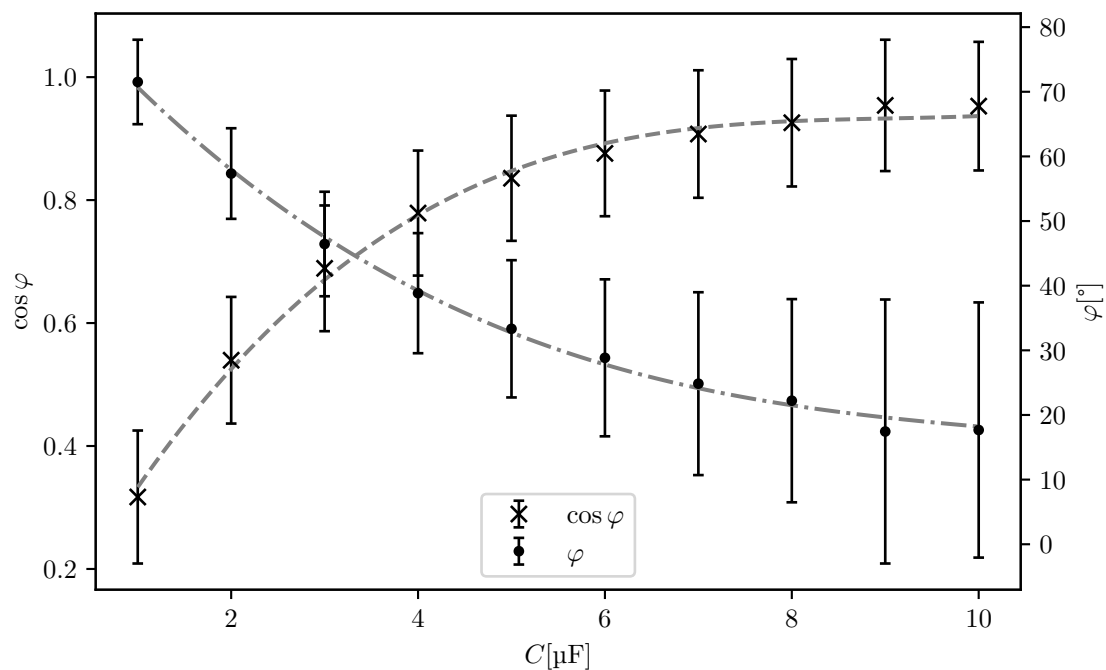
$$L_p = (7,1 \pm 1,2) \text{ H}.$$

Úkol 4

Tabulky 3 a 4 obsahují naměřené hodnoty napětí, proudu a výkonu sériového a paralelního RC obvodu v závislosti na kapacitě. Dále v nich lze nalézt vypočítané účinnky a fázové posuny. Ty jsou také zaznamenány v odpovídajících grafech 2 a 3. Pro měření byl opět použit digitální wattmetr, chyby sestávají z chyb přístroje.

C [μF]	U [V]	σ_U [V]	I [A]	σ_I [A]	P [W]	σ_P [W]	$\cos \varphi$ []	$\sigma_{\cos \varphi}$ []	$ \varphi $ [°]	$\sigma_{ \varphi }$ [°]
1	51,1	0,7	0,015	0,005	0,243	0,012	0,32	0,11	72	7
2	50,8	0,7	0,027	0,005	0,740	0,016	0,54	0,10	57	7
3	50,3	0,7	0,035	0,005	1,213	0,020	0,69	0,10	46	8
4	50,2	0,7	0,040	0,005	1,564	0,023	0,78	0,10	39	9
5	50,1	0,7	0,043	0,005	1,800	0,024	0,84	0,10	33	11
6	49,9	0,7	0,045	0,005	1,967	0,026	0,88	0,10	29	12
7	49,9	0,7	0,046	0,005	2,083	0,027	0,91	0,10	25	14
8	49,8	0,7	0,047	0,005	2,167	0,027	0,93	0,10	22	16
9	49,8	0,7	0,047	0,005	2,233	0,028	0,95	0,11	17	20
10	49,7	0,7	0,048	0,005	2,273	0,028	0,95	0,10	18	20

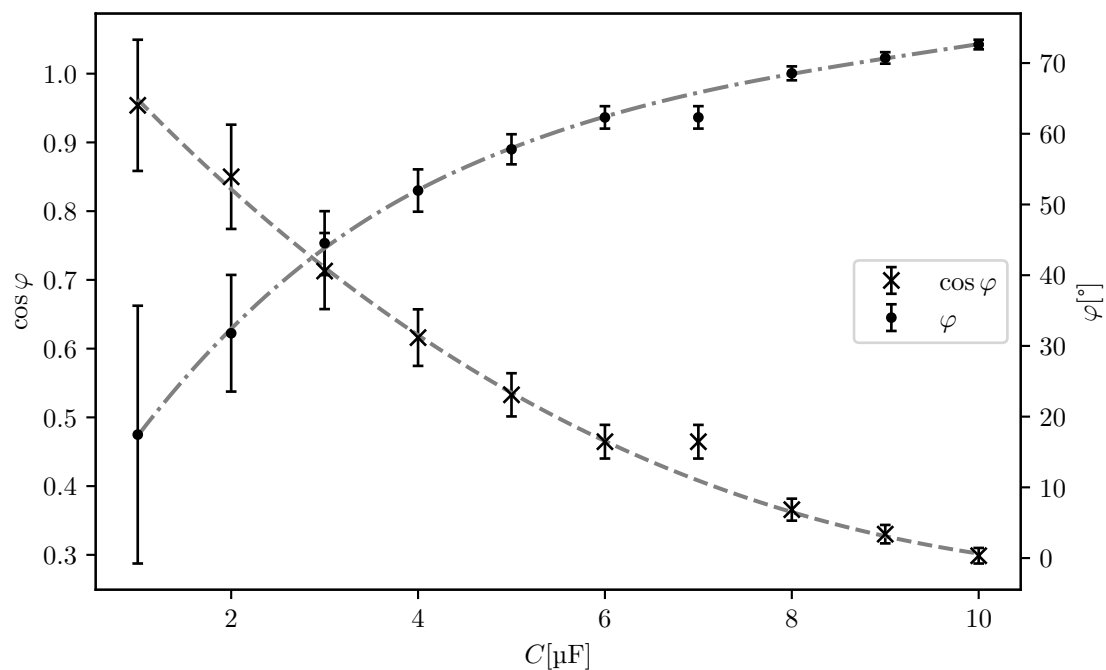
Tabulka 3: Hodnoty pro úkol 4 pro sériový RC obvod



Obrázek 2: Závislost účinku a fázového posunu sériového zapojení rezistoru a kondenzátoru

C [μF]	U [V]	σ_U [V]	I [A]	σ_U [A]	P [W]	σ_P [W]	$\cos \varphi$ []	$\sigma_{\cos \varphi}$ []	$ \varphi $ [$^\circ$]	$\sigma_{ \varphi }$ [$^\circ$]
1	50,1	0,7	0,053	0,005	2,533	0,030	0,95	0,10	17	18
2	50,1	0,7	0,060	0,005	2,555	0,030	0,85	0,08	32	8
3	50,1	0,7	0,070	0,005	2,500	0,030	0,71	0,06	45	5
4	50,4	0,7	0,083	0,005	2,577	0,031	0,62	0,04	52,0	3,0
5	50,5	0,7	0,096	0,005	2,583	0,031	0,533	0,031	57,8	2,1
6	50,5	0,7	0,110	0,005	2,581	0,031	0,465	0,024	62,3	1,6
7	50,7	0,7	0,110	0,005	2,591	0,031	0,465	0,024	62,3	1,6
8	50,6	0,7	0,140	0,006	2,591	0,031	0,366	0,016	68,5	1,0
9	50,6	0,7	0,155	0,006	2,589	0,031	0,330	0,013	70,7	0,8
10	50,8	0,7	0,171	0,006	2,595	0,031	0,299	0,011	72,6	0,7

Tabulka 4: Hodnoty pro úkol 4 pro paralelní RC obvod



Obrázek 3: Závislost účinku a fázového posunu paralelního zapojení rezistoru a kondenzátoru

V průběhu měření byl připojen osciloskop **Tektronix** podle úkolu 6. Fázový rozdíl napětí na kondenzátoru vůči napětí zdroje se se zvyšující kapacitou snižuje. Při malých kapacitách totiž převládá impedance kapacity, která implikuje velký fázový rozdíl, při velké kapacitě naopak převládá impedance odporu.

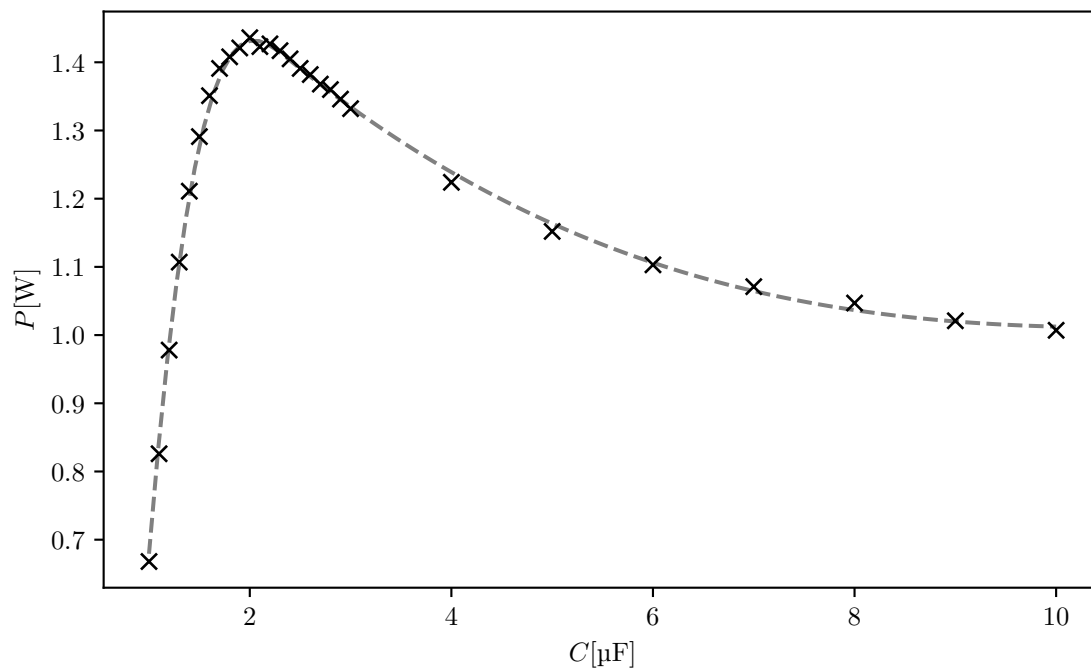
Úkol 5

V tabulce 5 jsou zaznamenány naměřené hodnoty napětí, proudu a výkonu RLC obvodu v závislosti na kapacitě spolu se spočtenými účinitky a fázovými posuny. Průběh měření a výpočet chyb odpovídá úloze 4.

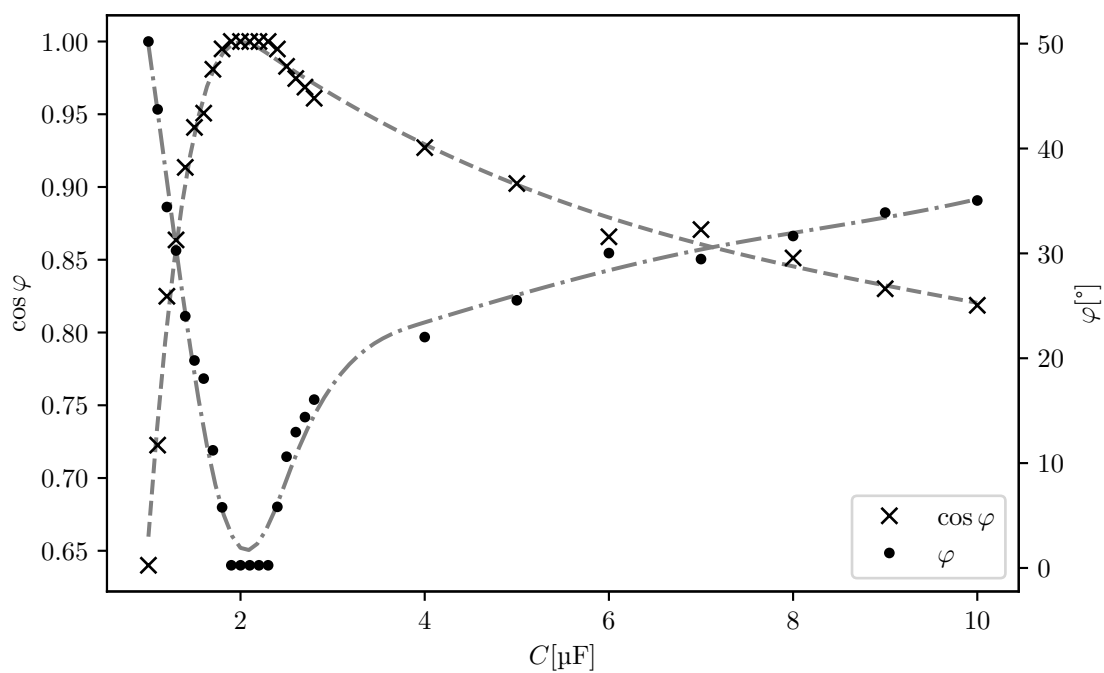
V grafu 4 je vyobrazena závislost výkonu na RLC obvodu na kapacitě, v grafu ?? závislost účinku a absolutní hodnoty fázového posunu na kapacitě.

C [μF]	U [V]	σ_U [V]	I [A]	σ_I [A]	P [W]	σ_P [W]	$\cos \varphi$ []	$\sigma_{\cos \varphi}$ []	$ \varphi $ [°]	$\sigma_{ \varphi }$ [°]
1,0	49,7	0,7	0,021	0,005	0,668	0,015	0,64	0,16	50	1
1,1	49,7	0,7	0,023	0,005	0,826	0,017	0,72	0,16	44	1
1,2	49,4	0,7	0,024	0,005	0,978	0,018	0,82	0,18	34	1
1,3	49,3	0,7	0,026	0,005	1,107	0,019	0,86	0,17	30	1
1,4	49,1	0,7	0,027	0,005	1,211	0,020	0,91	0,17	24	2
1,5	49,0	0,7	0,028	0,005	1,291	0,020	0,94	0,17	20	2
1,6	49,0	0,7	0,029	0,005	1,351	0,021	0,95	0,17	18	3
1,7	48,9	0,7	0,029	0,005	1,391	0,021	0,98	0,17	10	5
1,8	48,8	0,7	0,029	0,005	1,408	0,021	0,99	0,18	5	5
1,9	48,7	0,7	0,029	0,005	1,421	0,021	1,00	0,18	0	5
2,0	48,7	0,7	0,029	0,005	1,436	0,021	1,00	0,18	0	5
2,1	48,8	0,7	0,029	0,005	1,423	0,021	1,00	0,18	0	5
2,2	48,8	0,7	0,029	0,005	1,427	0,021	1,00	0,18	0	5
2,3	48,7	0,7	0,029	0,005	1,417	0,021	1,00	0,18	0	5
2,4	48,7	0,7	0,029	0,005	1,405	0,021	0,99	0,18	6	5
2,5	48,8	0,7	0,029	0,005	1,391	0,021	0,98	0,17	11	5
2,6	48,9	0,7	0,029	0,005	1,382	0,021	0,97	0,17	13	4
2,7	48,7	0,7	0,029	0,005	1,368	0,021	0,97	0,17	14	4
2,8	48,8	0,7	0,029	0,005	1,360	0,021	0,96	0,17	16	3
2,9	48,9	0,7	0,028	0,005	1,346	0,021	0,98	0,18	11	5
3,0	49,0	0,7	0,028	0,005	1,332	0,021	0,97	0,18	14	4
4	48,9	0,7	0,027	0,005	1,224	0,020	0,93	0,18	22	2
5	49,1	0,7	0,026	0,005	1,152	0,019	0,90	0,18	26	2
6	49,0	0,7	0,026	0,005	1,103	0,019	0,87	0,17	30	2
7	49,2	0,7	0,025	0,005	1,071	0,019	0,87	0,18	29	2
8	49,2	0,7	0,025	0,005	1,047	0,018	0,85	0,17	32	1
9	49,2	0,7	0,025	0,005	1,021	0,018	0,83	0,17	34	1
10	49,2	0,7	0,025	0,005	1,007	0,018	0,82	0,17	35	1

Tabulka 5: Tabulka



Obrázek 4: Průběh výkonu sériového RLC obvodu v závislosti na kapacitě



Obrázek 5: Závislost účinku a fázového posunu sériového RLC obvodu

Diskuse

Fázový posun napětí vůči proudu způsobený odporem je podle předpokladů v rámci chyby nulový (téměř nulový v případě analogového měření, což bylo nejspíše způsobeno špatným odečtem stupnice experimentátorem). Fázový posun způsobený kondenzátorem je téměř 90° kvůli zanedbatelnému vnitřnímu odporu. V případě cívky se výrazně projevuje vnitřní odpor, proto je lepší počítat s náhradním zapojením.

Celé měření je zatíženo výraznými systematickými chybami měřicích přístrojů. Do naměřených hodnot také nebyl zpočítán vliv jejich vnitřních odporů.

Závěr

Byl změřen účinek odporu, cívky a kondenzátoru a z něho absolutní hodnota fázového posunu. Ve shodě s teoretickými předpoklady je fázový posun odporu v rámci chyby nulový, pro kondenzátor dosahuje téměř 90° a pro cívku kvůli zanedbatelnému odporu nenabývá ani jednoho extrému.

Byla vypočtena indukčnost a odpor v sériovém a paralelním náhradním zapojení cívky:

$$R_s = (1,11 \pm 0,19) \times 10^3 \Omega,$$

$$L_s = (4,0 \pm 0,7) \text{ H},$$

$$R_p = (2,5 \pm 0,4) \times 10^3 \Omega,$$

$$L_p = (7,1 \pm 1,2) \text{ H}.$$

Byla naměřena závislost sériového a paralelního RC obvodu a sériového RLC obvodu na kapacitě.

Literatura

- [1] Studijní text "Měření účinku", dostupné z
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_206.pdf,
13.12.2017