

Pracovní úkoly

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 $C = 1\text{--}10 \mu\text{F}$ 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 schéma připojení osciloskopu je přiloženo u úlohy.

Teoretická část

Pokud obvodem protéká střídavý proud, pak je hodnota výkonu v tomto obvodu daná vztahem [1]:

$$P = UI \cos(\phi) \quad (1)$$

Kde P je výkon, U je efektivní hodnota napětí, I je efektivní hodnota proudu a $\cos(\phi)$ je tzv. účinník. Úhel ϕ vyjadřuje fázový posuv napětí vůči proudu.

Pro výpočet indukčnosti a odporu cívky v paralelním a sériovém náhradním zapojení lze použít tyto vzorce [1]:

$$R_S = \frac{U}{I} \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2(\phi)}} \quad (2)$$

$$L_S = \frac{1}{\omega} \frac{U}{I} \sqrt{\frac{\text{tg}^2(\phi)}{1 + \text{tg}^2(\phi)}} \quad (3)$$

$$R_P = \frac{U}{I} \sqrt{1 + \text{tg}^2(\phi)} \quad (4)$$

$$L_P = \frac{1}{\omega} \frac{U}{I} \sqrt{\frac{1 + \operatorname{tg}^2(\phi)}{\operatorname{tg}^2(\phi)}} \quad (5)$$

Kde R a L odpovídají odporu a indukčnosti a jejich index (S nebo P) odpovídá náhradnímu sériovému nebo paralelnímu zapojení. ω je úhlová frekvence kmitů zdroje. V našem případě uvažujeme frekvenci (50 ± 0.5) Hz, a tudíž ze známého vztahu pro úhlovou frekvenci plyne, že $\omega = 100\pi$.

Pokud zapojíme do obvodu sériově odpor o velikost R a kondenzátor o kapacitě C , fázový posuv napětí a proudu bude podle [1]:

$$\phi = \arctg\left(-\frac{1}{\omega RC}\right) \quad (6)$$

Pokud chceme zjistit velikost odporu v obvodu a máme naměřenou závislost pro více hodnot kapacity C , můžeme použít lineární regresi a to tak, že na osu x vyneseme hodnoty $\operatorname{tg}(\phi)$, na osu y $-\frac{1}{\omega C}$, poté směrnice tohoto grafu bude odpor zařazený do obvodu. Pokud obvod zapojíme paralelně, platí podobný vzorec [1]:

$$\phi = -\arctg(\omega RC) \quad (7)$$

Velikost neznámého odporu můžeme opět určit pomocí lineární regrese, avšak v tomto případě vyneseme na osu x $\frac{1}{\operatorname{tg}(-\phi)}$ a na osu y $\frac{1}{\omega C}$, pak směrnice bude opět velikost odporu.

Metoda měření

Při měření úkolu 1 jsme použili analogový wattmetr, digitální voltmetr a ampérmetr. Úkol 1 jsme měřili také za pomoci digitálního wattmetru, který však umožňuje měřit napětí i proud. Ostatní úkoly jsme měřili za pomoci digitálního wattmetru. Napětí na zdroji bylo při měření všech úkolů konstantní a bylo přibližně 50V.

Pomůcky

- Cívka (1200 závitů)
- Odpor
- Kondenzátorová dekáda
- Analogový wattmetr (třída přesnosti: 0.2)
- Multimetr MXD 4660A (zapojený jako voltmetr)
- Multimetr MY-65 (zapojený jako ampérmetr)
- Digitální wattmetr HM8115-2
- Multimetr PU-510 (použitý jako ohmmetr)
- Laboratorní zdroj
- Vodiče

Schémata

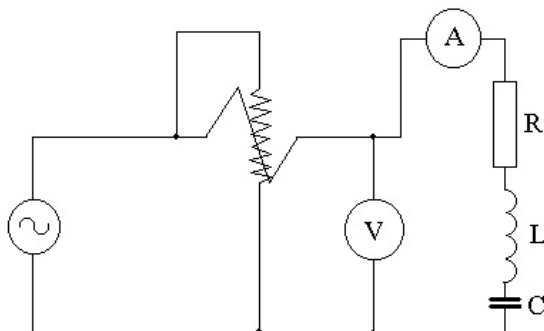


Schéma 1: měření za pomoci analogového wattmetru [1]

Výsledky měření

Laboratorní podmínky by neměly výsledky experimentu znatelně ovlivnit.

Tabulka č. 1 obsahuje účinník odporu, kondenzátoru a cívky, zjištěného pomocí analogového i digitálního wattmetru. Účinník jsme spočetli za pomoci vzorce (1). Chyba uvedená v tabulce byla spočítaná jako chyba nepřímého měření. V tabulce je také uveden fázový posuv proudu Φ , respektive jeho absolutní hodnota (protože z naměřených dat nemůžeme určit znaménko posuvu). Tabulka č. 2 obsahuje indukčnost a odpor cívky v paralelním a sériovém náhradním zapojení. Spočtené podle vzorců (2-5) za pomoci dat zaznamenaných v tabulce 1.

Tabulka 1: účinník odporu, cívky a kondenzátoru a odpovídající fázový posuv

	účinník	chyba	Φ [°]
Odpor Analog:	0.98	0.05	10.2
Odpor Digital:	1.00	0.04	5.4
Kondenzátor A:	0.00	0.05	90
Kondenzátor D:	0.00	0.04	89.9
Cívka Analog:	0.31	0.05	71.8
Cívka Digital:	0.40	0.04	66.2

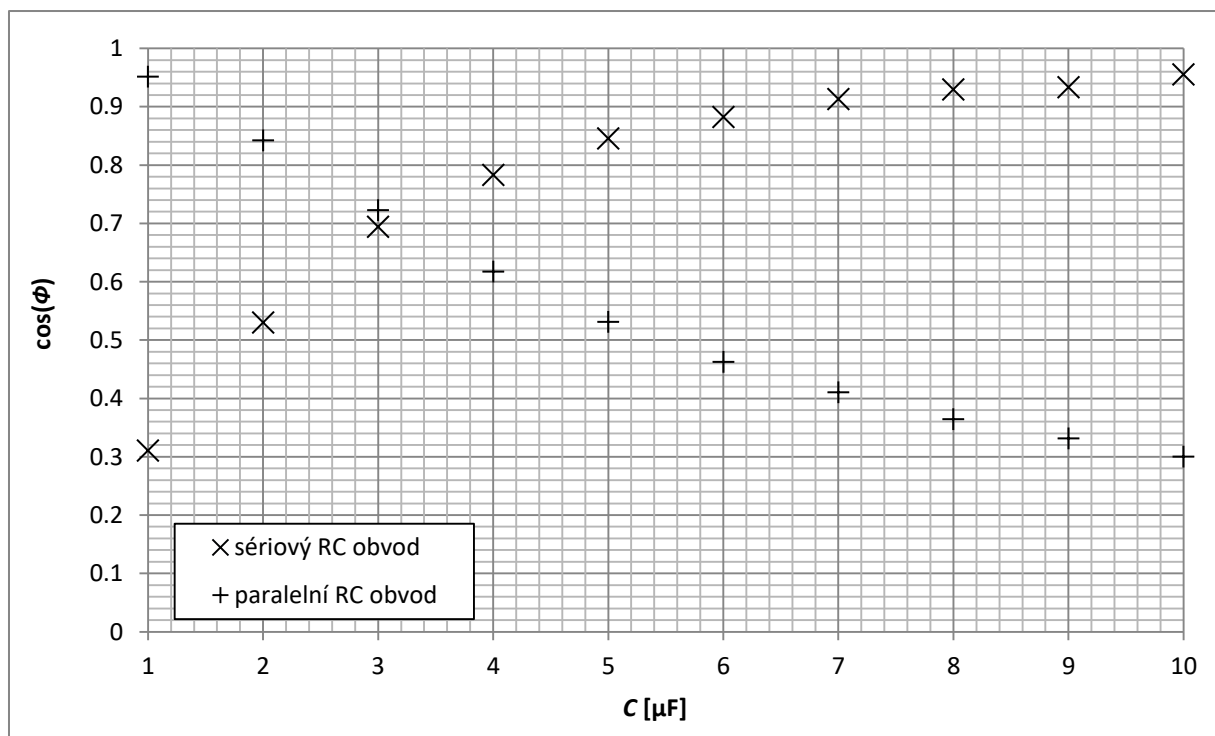
Tabulka 2: indukčnost a odpor cívky v náhradním sériovém a paralelním zapojení

	Analog	Digital
L_s [H]	5.21	4.96
R_s [Ω]	538	687
L_p [H]	5.77	5.93
R_p [Ω]	5513	4222

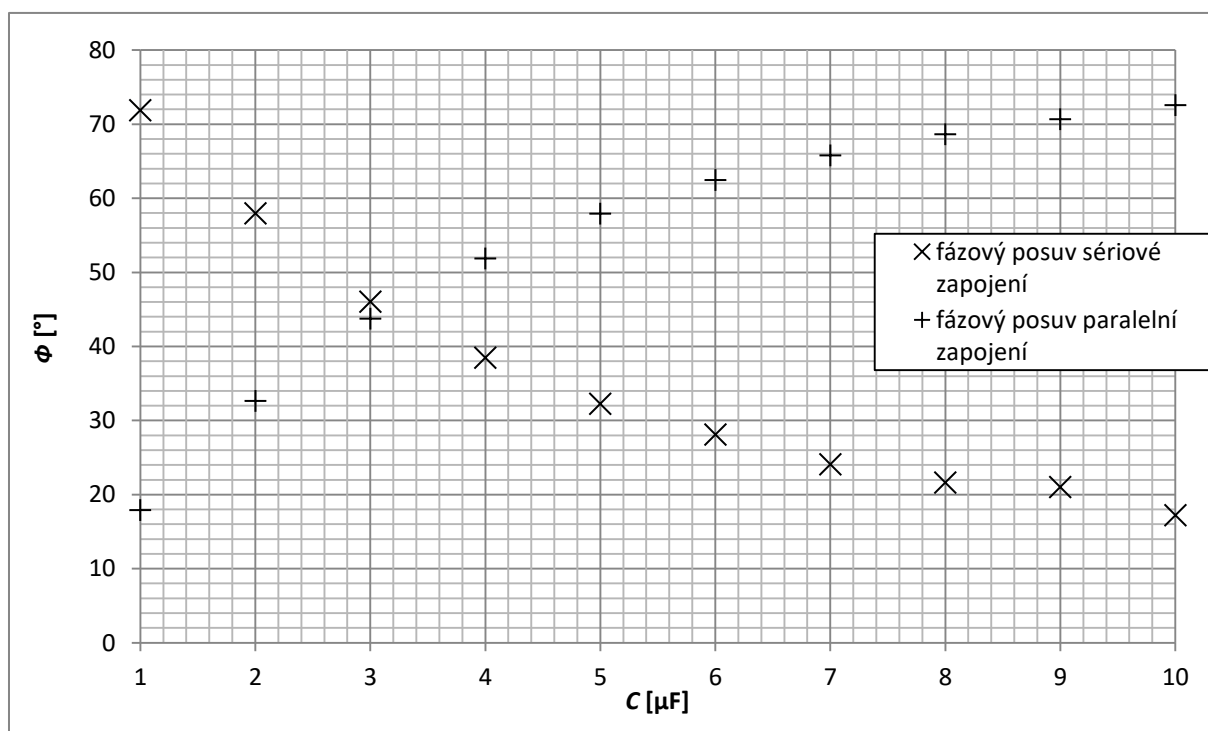
Tabulka 3: Velikost odporu v RC obvodu

zapojení	R [Ω]	chyba
sériové	1027	0.7%
paralelní	1023	0.2%
ohmmetr	983	1.1%

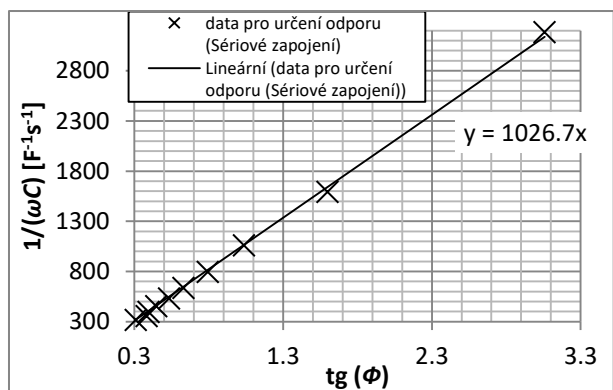
Graf č. 1 obsahuje závislost účinníku na kapacitě v sériovém i paralelním RC obvodu. Graf č. 2 ukazuje v podstatě stejnou závislost, akorát místo účinníku je vynesena hodnota fázového posuvu Φ . Grafy 3 a 4 ukazují lineární fit pro zjištění velikosti odporu. Velikost takto určeného odporu je zachycena v tabulce č. 3. Chybu odporu jsme určili jako chybu lineární regrese. V tabulce je doplněna také velikost odporu změřená ohmmetrem, chyba takto změřeného odporu je daná přesností přístroje.



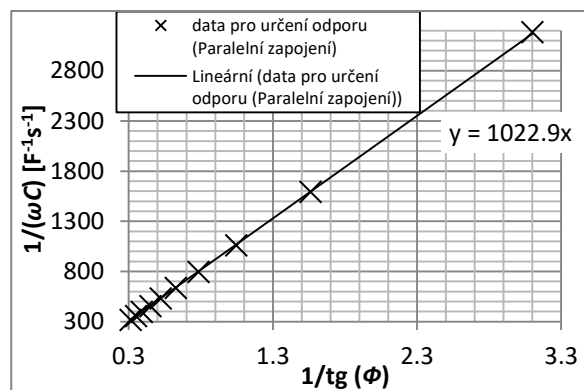
Graf 1: Závislost účinníku na kapacitě v sériovém/paralelním RC obvodu



Graf 2: Fázový posuv napětí a proudu v závislosti na kapacitě kondenzátoru v paralelním/sériovém RC obvodu

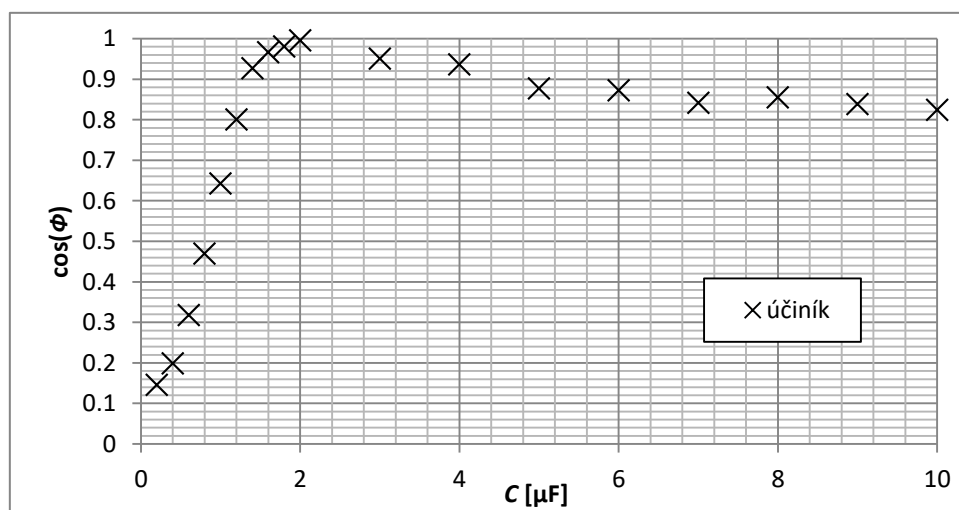


Graf 3: lineární fit pro zjištění velikosti odporu v sériovém RC obvodu

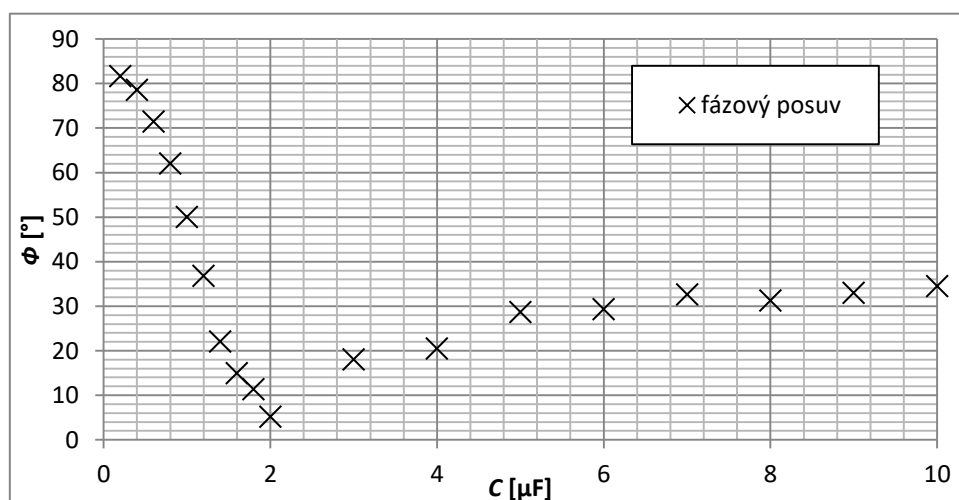


Graf 4: lineární fit pro zjištění velikosti odporu v paralelním RC obvodu

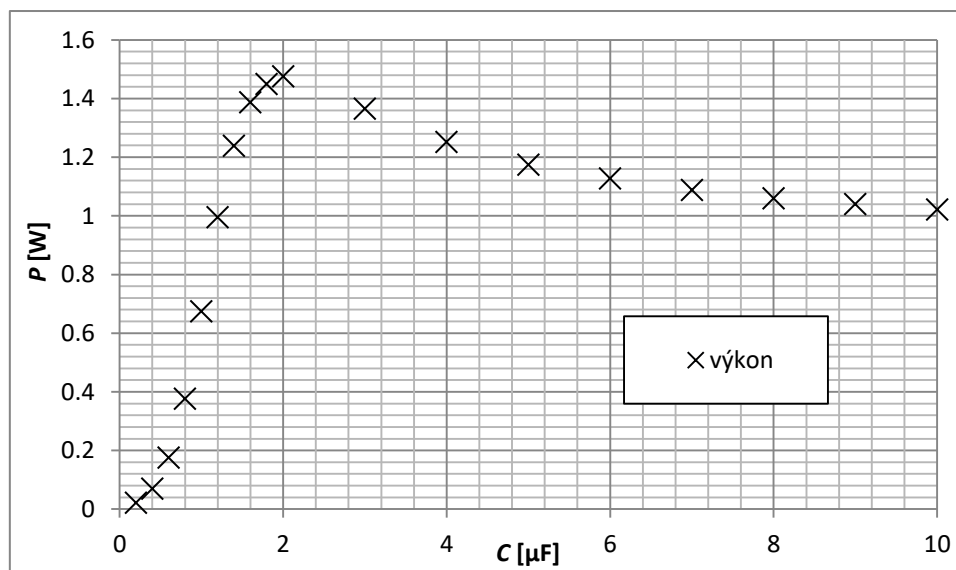
Graf č. 5 ukazuje závislost účinníku na kapacitě v sériovém RLC obvodu. Graf č. 6 ukazuje závislost fázového posuvu napětí vůči proudu v sériovém RLC obvodu. Graf č. 7 zobrazuje závislost výkonu na kapacitě kondenzátoru v sériovém RLC obvodu.



Graf 5: Závislost účinníku na kapacitě kondenzátoru v RLC obvodu



Graf 6: Závislost fázového posuvu na kapacitě kondenzátoru v RLC obvodu



Graf 7: Závislost výkonu na kapacitě kondenzátoru v RLC obvodu

Diskuse

Chyba měření při určování účinníku je způsobena zejména nepřesnostmi měřících přístrojů. Naměřené hodnoty odpovídají teoretickým předpokladům u kondenzátoru (fázový posuv 90°) a odporu (fázový posuv 0°). U cívky je odchylka od teoretické hodnoty způsobena tím, že má poměrně velký odpor.

Při měření účinníku v paralelním/sériovém RC obvodu byly chyby měření způsobeny nepřesnostmi přístrojů, přesnost kondenzátorové dekády zde nehrála příliš velkou roli. Pro určení velikosti odporu se jako vhodnější jeví zapojení paralelní, při tomto zapojení je vliv vnitřního odporu kondenzátoru menší. Ovšem v obou případech nám odpor vyšel větší, než jaký byl naměřen přímo ohmmetrem, což bylo očekávatelné, jelikož v obvodu je navíc kondenzátor (s nenulovým vnitřním odporem).

Během měření sériového RC obvodu jsme připojili na kondenzátor osciloskop a pozorovali fázový posuv přímo na osciloskopu. Při nastavení nulové kapacity byla fáze i amplituda shodná s fází na zdroji. Při zvyšování kapacity kondenzátoru docházelo k většímu posuvu a snižování amplitudy, což se shoduje s teoretickými předpoklady.

Při měření sériového RLC účinník nejprve roste, až dosáhne svého maxima (v obvodu nastává resonance). Poté pozvolna klesá.

Závěr

Naměřené závislosti odpovídají teoretickým předpokladům, případné odchylky lze dobře vysvětlit tím, že prvky v obvodu nejsou ideální.

Účinník byl naměřen:

- Odpor: $\cos(\phi) = (1.00 \pm 0.04)$
- Kondenzátor: $\cos(\phi) = (0.00 \pm 0.04)$

- Cívka: $\cos(\phi) = (0.40 \pm 0.04)$

Pro cívku jsme zjistili její indukčnost a odpor v sériovém/paralelním náhradním zapojení:

$$L_S = (5.0 \pm 0.2) \text{ H}$$

$$L_P = (5.9 \pm 0.3) \text{ H}$$

$$R_S = (687 \pm 34) \Omega$$

$$R_P = (4222 \pm 211) \Omega$$

Literatura

- [1] Měření účinníku. *Fyzikální praktikum* [online].
[cit. 14.12.2016]. Dostupné z:
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_206.pdf