

8. Měření kapacit a indukčností

Úkoly

- 1) Změřte kapacity a indukčnosti vybraných kondenzátorů a cívek přímou metodou (přístrojem).
- 2) Změřte kapacity a indukčnosti vybraných kondenzátorů a cívek pomocí voltmetru a ampérmetru.
- 3) Změřte kapacity a indukčnosti vybraných kondenzátorů a cívek rezonanční metodou.

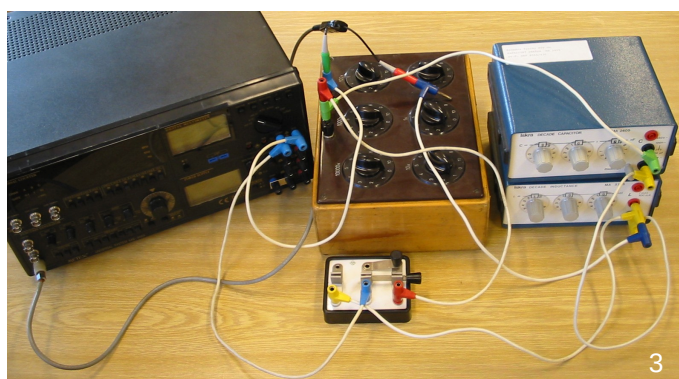
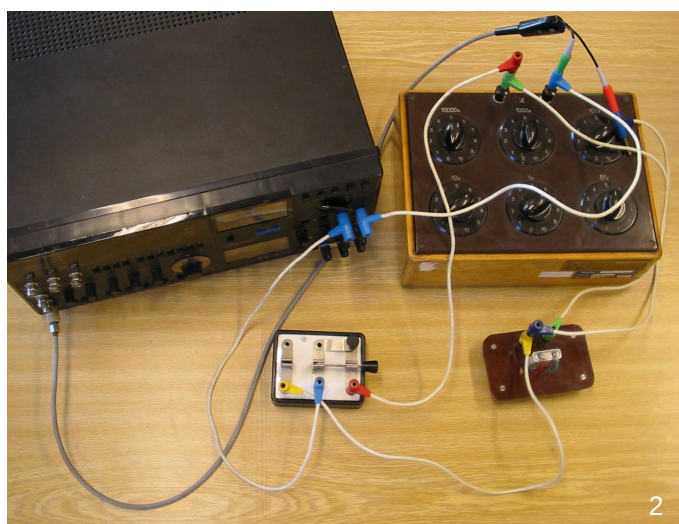


Pojmy k zapamatování

Kondenzátor, cívka, kapacita, indukčnost, impedance, admittance, kapacitance, induktance, přímá a nepřímá metoda měření, rezonanční metoda, střídavý proud, úhlová frekvence, rezonanční frekvence, Thompsonův vztah, rezonanční křivka.



Uspořádání pracoviště



Pomůcky

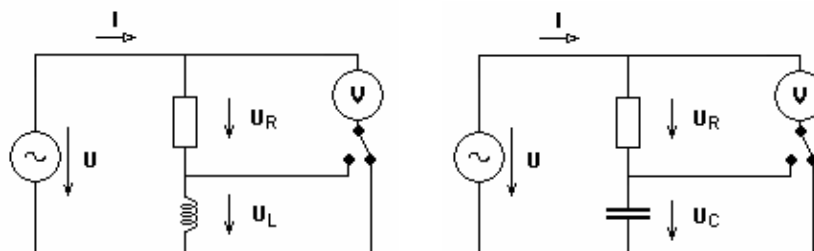
Měřicí systém MS-9150 (použije se funkční generátor a milivoltmetr), odporová dekáda, kapacitní dekáda, indukčnostní dekáda, proměřované kondenzátory ($1\ \mu\text{F}$, $0,5\ \mu\text{F}$), proměřované cívky ($300\ \Omega / 5\ \text{A}$, $600\ \Omega / 2\ \text{A}$), digitální LCR měřič.

Teorie



Měření přímou metodou (přístrojem) probíhá tak, že propojíme příslušné zdířky na měřicím přístroji s vývody měřeného jednobranu. Na měřicím přístroji nastavíme správný rozsah, u multimetru také typ měřené veličiny.

Schéma zapojení pro měření pomocí voltmetru a ampérmetru je na obrázku 1. Voltmetr připojujeme přepínačem paralelně k tomu prvku, na kterém měříme napětí. Tj. jednak měříme napětí na sérii RL resp. RC, jednak napětí U_R na známém odporu R dekádou za účelem dopočtení proudu v obvodu podle vztahu $I = U_R / R$ (místo tohoto nepřímého měření bychom však mohli proud měřit i přímo ampérmetrem). Frekvenci zdroje volíme vhodně tak, aby obě napětí byla pohodlně měřitelná, tzn. nepříliš malá.



Obr. 1

Známe-li napětí na (ideálním) kondenzátoru a proud, který jím protéká, spočítáme kapacitu ze vztahu

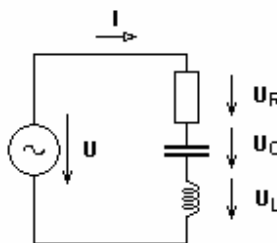
$$\frac{U_C}{I} = |Z| = \frac{1}{\omega C}.$$

Podobně pro cívku, kde přistupuje ještě její ohmický odpor R_L

$$\frac{U_L}{I} = |Z| = \sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}.$$

Ohmický odpor R_L cívky změříme také nepřímo přes napětí a proudy. Použijeme stejnosměrný zdroj a k výpočtu použijeme stejný vztah jen s úhlovou frekvencí $\omega = 0$

Schéma zapojení pro měření rezonanční metodou je na obrázku 2. Jedná se o jednoduchý sériový RLC obvod.



Obr. 2

Rezonancí v elektrotechnice nazýváme jev, kdy se obvod s kapacitami a induktory nebo jeho část chová jako činný odpor, tzn. imaginární složka jeho impedance je nulová. Tento případ nastává tehdy, jestliže zdroj má určitou, tzv. rezonanční frekvenci $\omega_r = 2\pi f_r$. Hodnota této

frekvence závisí na parametrech prvků v obvodu a na jeho zapojení. Dá se odvodit z podmínky uvedené výše, t.j. $\text{Im}(Z(\omega_r)) = 0$. Pro rezonanční frekvenci sériového RLC obvodu (a také paralelního, nikoli však obecně každého) platí tzv. Thompsonův vztah

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

Známe-li tedy přesně např. kapacitu C (použijeme-li kapacitní normál), můžeme ze znalosti rezonanční frekvence vypočítat neznámou indukčnost L a naopak.

Při rezonanci v sériovém RLC obvodu zdroj kryje pouze ohmické ztráty v obvodu, elektrická energie v kondenzátoru se střídavě mění na magnetickou energii cívky a naopak.

Rezananční křivkou daného obvodu rozumíme obecně graf, vyjadřující závislost proudu nebo napětí na frekvenci, příp. některém parametru obvodu (L , C , ...). Ostatní veličiny udržujeme konstantní. Nejčastěji se používá proudová rezonanční křivka, což je závislost proudu na frekvenci při konstantním napětí a daných parametrech obvodu. V našem případě je tato křivka až na multiplikativní faktor totožná s průběhem modulu admitance $Y(\omega) = 1/Z(\omega)$, neboť platí $I(\omega) = Y(\omega) \cdot U$. Rezananční frekvence odpovídá lokálnímu maximu na proudové rezonanční křivce.

Postup práce

- 1) Seznamte se s měřicím přístrojem pro přímé měření kapacit a indukčností a proměřte kapacity připravených kondenzátorů, indukčností a ohmické odpory připravených cívek přímou metodou (měřicím přístrojem). Na základě dokumentace k přístroji stanovte chyby měření jednotlivých výsledků.
- 2) Sestavte obvod pro měření kapacity a indukčností pomocí voltmetru a ampérmetru podle obrázku 1 a nechte si jej zkontrolovat.
- 3) Změřte kapacity vybraných kondenzátorů. Kondenzátory považujte za ideální.
- 4) Změřte stejnou metodou indukčností a ohmické odpory vybraných cívek. Nakreslete orientační fázorový diagram napětí pro reálnou cívku.
- 5) Sestavte sériový RLC obvod podle obrázku 2 a nechte si jej zkontrolovat.
- 6) Použijte kapacitní, resp. indukční dekádu a proměřte rezonanční metodou vybrané cívky, resp. kondenzátory. Nakreslete orientační fázorový diagram napětí pro daný obvod a fázorový diagram pro případ rezonance.
- 7) Výsledky všech měření uveďte přehledně do tabulek.



Výstupy

- 1) Tabulka naměřených hodnot kapacit, indukčností a ohmických odporů (rezistancí) vybraných prvků přímou metodou včetně určení chyby měření.
- 2) Tabulka naměřených hodnot kapacit, indukčností a ohmických odporů (rezistancí) vybraných prvků metodou měření napětí a proudů (dodejte do tabulky také).
- 3) Obrázky – orientační fázorové diagramy napětí pro reálnou cívku a pro sériový RLC obvod mimo rezonanci a v rezonanci.



Protokol musí obsahovat: jméno autora a spolupracovníka, datum měření, úkol měření, teorii měření (stručně), postup měření, naměřené hodnoty, vypočtené hodnoty (v požadované formě), chybu měření (pokud není uvedeno v zadání jinak), závěr (porovnání s tabelovanými hodnotami, zhodnocení průběhu a přesnosti měření).

- 4) Rezonanční křivky získané při měření vybraných kondenzátorů a cívek rezonanční metodou včetně určení rezonančních frekvencí.
- 5) Tabulka hodnot kapacit a indukčností vybraných prvků vypočtených na základě naměřených rezonančních frekvencí včetně příkladu jejich výpočtů.

Kontrolní otázky



- 1) Co je to impedance, admitance, rezistance, kapacitance, induktance? Jak se vypočtou tyto veličiny pro ideální kondenzátor, ideální cívku a reálnou cívku?
- 2) Vysvětlíte princip měření impedance dvojbranů metodou měření napětí a proudů.
- 3) Nakreslete schéma sériového RLC obvodu.
- 4) Definujte pojem rezonanční křivky.
- 5) Definujte obecně rezonanční frekvenci. Jak se jmenuje a jakou má podobu výpočetní vztah pro rezonanční frekvenci sériového RLC obvodu?
- 6) Vysvětlíte princip měření kapacit a indukčností rezonanční metodou.

Literatura



Teorie

- 1) LIAO, S., DOURMASHKIN, P., BELCHER, J. W., *Elektřina a magnetismus (kurz MIT Physics 8.02)*. <http://www.aldebaran.cz/>, 2006.
- 2) HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J., *Fyzika, část 3*. 1. vydání Brno: VUTIUM, 2000.
- 3) MECHLOVÁ, E. A KOL., *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz fyziky*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1999.

Měření

- 4) BROŽ, J. A KOL., *Základy fyzikálních měření I*. 2. vydání Praha: SPN, 1983.
- 5) BROŽ, J. A KOL., *Základy fyzikálních měření II*. 1. vydání Praha: SPN, 1974.
- 6) MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991.
- 7) SMÉKAL, P., *Fyzikální praktikum II*. 1. vydání Ostrava: PdF OU.
- 8) HAJKO, V. A KOL., *Fyzika v experimentoch*. 1. vydání Bratislava: Veda, 1988.