

3.5 Ověření frekvenční závislosti kapacity a indukčnosti

Online: <http://www.sclpx.eu/lab3R.php?exp=10>

I tento experiment patří mezi další původní experimenty autora práce. Stejně jako v předešlém experimentu 3.4 je jako zdroj střídavého napětí využit výstup zvukové karty. Změnu frekvence provádíme pomocí programu Visual Analyser a opět nám stačí pouze jeden kanál.

Úvod

Jak víme z teorie [45], kondenzátor i cívka kladou střídavému proudu odpor, který nazýváme kapacitance X_C , resp. indukčnost X_L . Tyto veličiny jsou frekvenčně závislé a platí pro ně následující vztahy (3.5.1) a (3.5.2):

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}, \quad (3.5.1)$$

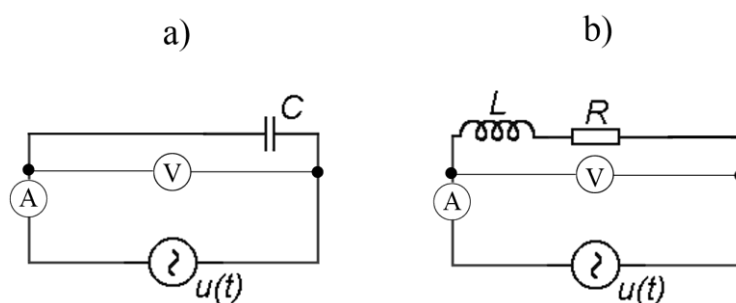
$$X_L = 2\pi f L, \quad (3.5.2)$$

kde C je kapacita kondenzátoru, L je indukčnost cívky a f je frekvence střídavého proudu.

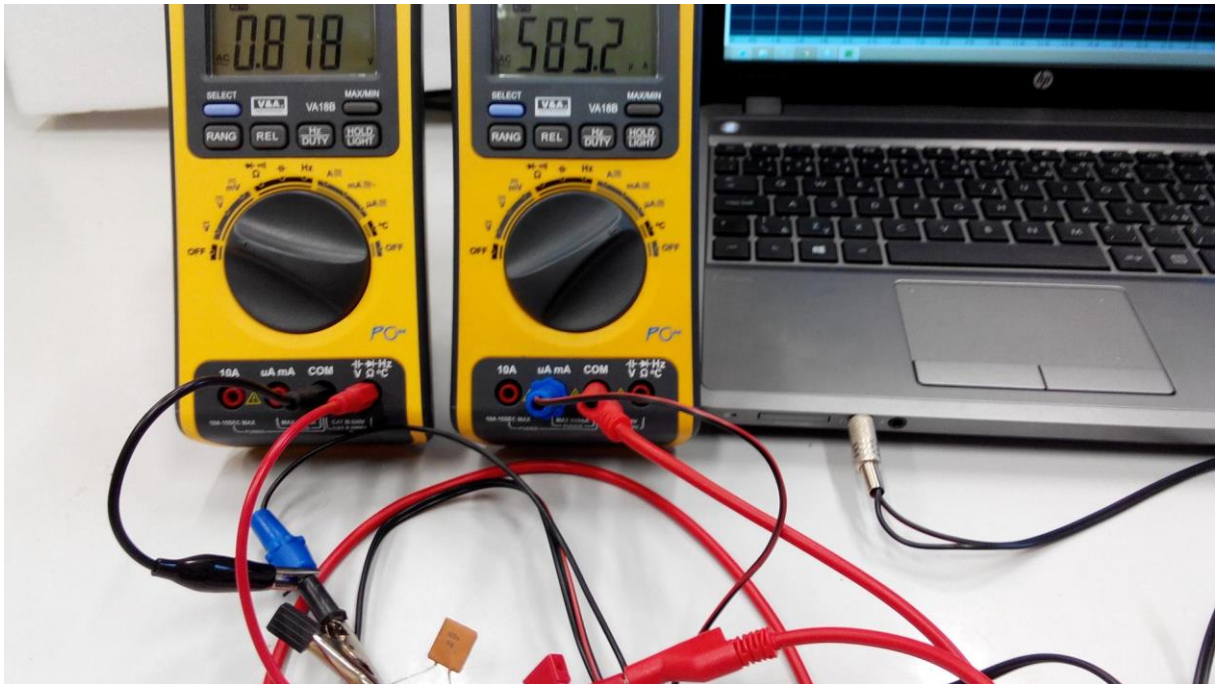
Pomůcky: multimetr VA18B (2 ks), kondenzátor 4,7 μF (3 ks), cívka ($N = 600$, $L = 6$ mH), vodič jack 3,5 mm / 2 banánky, PC (notebook), Visual Analyser, propojovací vodiče

Postup práce

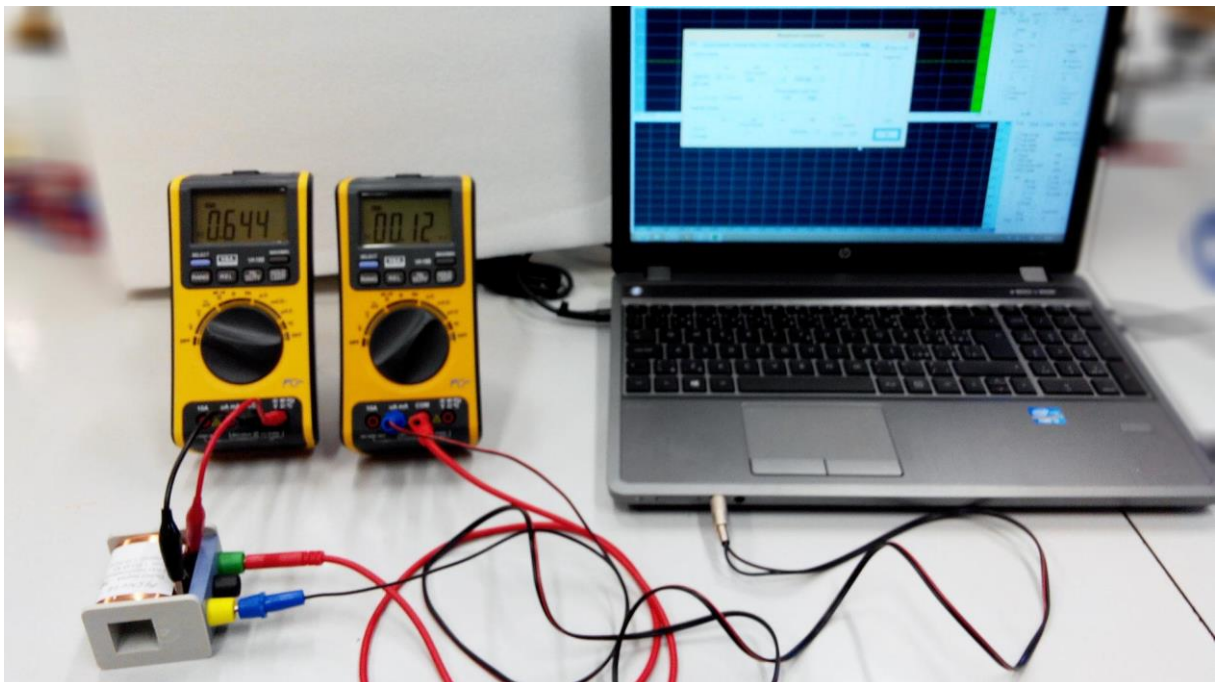
Uspořádání experimentu při měření kapacity je patrné z obrázku 3.5.2 a při měření indukčnosti z obrázku 3.5.3. Schéma zapojení je na následujícím obrázku 3.5.1.



Obrázek 3.5.1 Schéma zapojení kondenzátoru a) a cívky b) – Ověření frekvenční závislosti X_C a X_L



Obrázek 3.5.2 Uspořádání experimentu – zapojení kondenzátoru – Ověření frekvenční závislosti kapacity



Obrázek 3.5.3 Uspořádání experimentu – zapojení cívky – Ověření frekvenční závislosti indukčnosti

Ve frekvenčním intervalu (100 – 4000) Hz zvolíme rovnoměrně přibližně 10 frekvencí, které generujeme v programu Visual Analyser pomocí tlačítka *Apply* na kartě *Wave*.

Pro každou frekvenci změříme pomocí multimetrů VA18B proud a napětí, ze kterých pak můžeme vypočítat hodnotu kapacitance $X_C = \frac{U}{I}$, resp. indukčnosti $X_L = \frac{U}{I}$. Vypočítané hodnoty zapíšeme do tabulky a vyneseme grafickou závislost kapacitance, resp. indukčnosti na frekvenci. Grafy tvoříme pomocí programu MS Excel a doplníme je o regresní analýzu.

V druhé části výpočtů využijeme vztahy (3.5.1) a (3.5.2) k výpočtu kapacity kondenzátoru, resp. indukčnosti cívky.

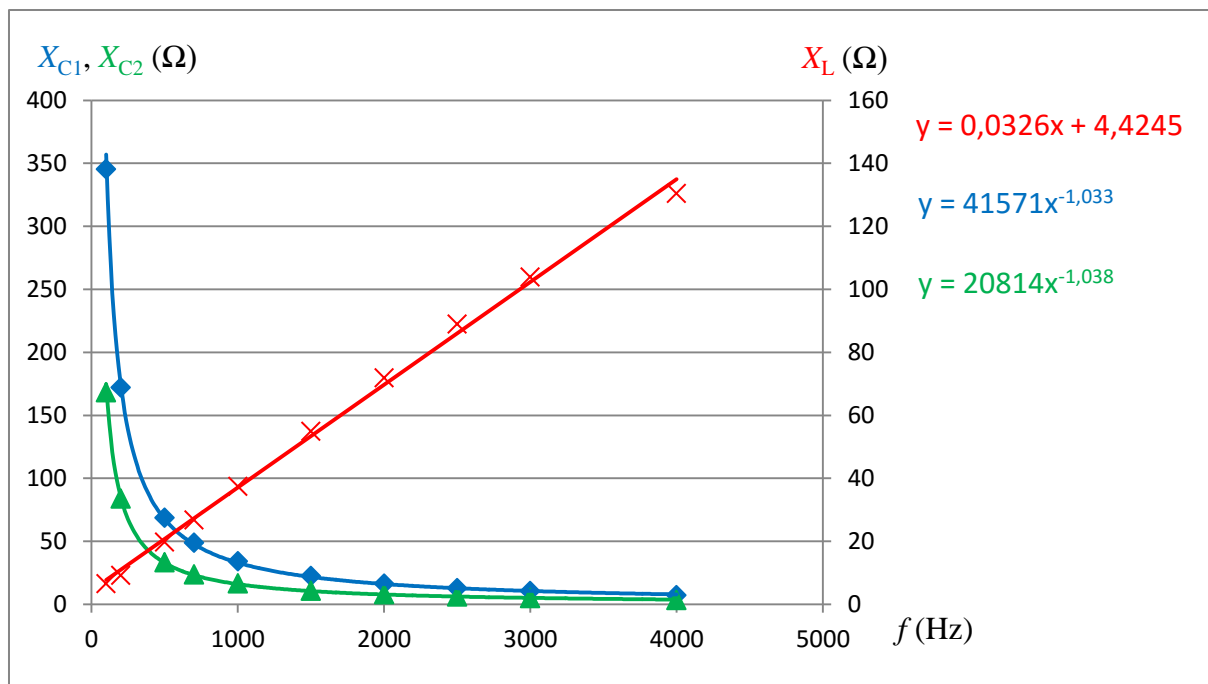
V případě určení kapacitance a kapacity kondenzátoru provedeme měření nejprve pro jeden kondenzátor s kapacitou $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$ a potom pro dva paralelně spojené kondenzátory s výslednou kapacitou $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$.

Námi naměřené hodnoty pro výpočet kapacitance uvádíme v tabulce 3.5.1. Indexem 1 je označeno měření s kondenzátorem o kapacitě $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$ a indexem 2 měření s kondenzátorem o kapacitě $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$. Grafická závislost experimentálně určených kapacitancí kondenzátorů (hlavní svislá osa) a indukčnosti cívky (vedlejší svislá osa) na frekvenci proudu je zobrazena na obrázku 3.5.4.

Tabulka 3.5.1 Měření kapacitance kondenzátorů v závislosti na frekvenci

f (Hz)	U_1 (V)	I_1 (mA)	X_{C1} (Ω)	C_1 (μF)	U_2 (V)	I_2 (mA)	X_{C2} (Ω)	C_2 (μF)
100	1,174	3,40	345	4,61	1,168	6,94	168	9,46
200	1,166	6,77	172	4,62	1,144	13,64	84	9,49
500	1,042	15,18	69	4,64	0,865	25,81	34	9,50
700	1,012	20,68	49	4,65	0,723	30,27	24	9,52
1000	0,997	29,26	34	4,67	0,585	35,25	17	9,59
1500	0,884	39,42	22	4,73	0,456	41,72	11	9,71
2000	0,754	45,63	17	4,82	0,383	47,71	8	9,91
2500	0,641	49,68	13	4,92	0,330	53,01	6	10,23
3000	0,552	52,72	10	5,07	0,287	57,29	5	10,59
4000	0,410	55,60	7	5,40	0,206	58,41	4	11,28

Na grafu 3.5.4 můžeme zřetelně pozorovat exponenciální pokles kapacitance jak pro hodnotu $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$ (modrá křivka), tak pro hodnotu $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$. Z důvodu přehlednosti jsme do grafu nezakreslili teoretické hodnoty kapacitance vypočítané ze vztahu (3.5.1). Jak lze rychle ověřit v programu MS Excel, graf teoretických hodnot je v rámci nejistoty měření identický s grafem naměřených hodnot.



Obrázek 3.5.4 Graf závislosti kapacity a indukčnosti na frekvenci

Experimentálně zjištěné hodnoty indukčnosti jsou uvedeny v tabulce 3.5.2. Grafická závislost indukčnosti na frekvenci proudu je zobrazena červenou lineární křivkou na obrázku 3.5.4. Hodnoty indukčnosti cívky v posledním sloupci tabulky jsou vypočítány ze vztahu (3.5.2).

Tabulka 3.5.2 Měření indukčnosti cívky v závislosti na frekvenci

f (Hz)	U (mV)	I (mA)	X_{L-exp} (Ω)	X_{L-teor} (Ω)	L (mH)
100	315	47,66	7	4	6,48
200	426	46,22	9	8	6,05
500	675	34,10	20	19	6,08
700	800	29,84	27	26	5,98
1000	954	25,48	37	38	5,90
1500	1052	19,14	55	57	5,81
2000	1069	14,86	72	75	5,71
2500	1048	11,78	89	94	5,65
3000	1047	10,08	104	113	5,50
4000	995	7,63	130	151	5,18

Závěr

Grafický průběh frekvenční závislosti kapacity na obrázku 3.5.4 má pro oba kondenzátory hyperbolický pokles zcela v souladu se vztahem (3.5.1). Experimentální i teoreticky vypočítané hodnoty se liší v jednom případě pro $f = 100$ Hz maximálně o 3 %, pro ostatní hodnoty frekvencí je rozdíl mezi teoretickými a experimentálně určenými hodnotami menší než 1,1 %.

Průměrná hodnota kapacity jednoho kondenzátoru byla experimentálně určena jako $C_1 = (4,8 \pm 0,2) \mu\text{F}$. Hodnota uvedená na kondenzátoru je $4,7 \mu\text{F} \pm 10\%$. Hodnota kapacity změřená přímo multimetrem VA18B je $C_1 = (4,6 \pm 0,1) \mu\text{F}$.

Naměřená hodnota výborně koresponduje s hodnotou uvedenou na kondenzátoru a je důkazem toho, že multimetr VA18B měří s dostatečnou přesností střídavé napětí i proud i pro frekvence větší než 400 Hz, kterou udává výrobce jako garantovanou horní mez přesnosti.

Pro dva paralelně zapojené kondenzátory jsme experimentálním měřením proudu a napětí získali hodnotu $C_2 = (9,9 \pm 0,2) \mu\text{F}$, multimetr VA18B udal hodnotu $C_2 = (9,6 \pm 0,1) \mu\text{F}$. Jak plyne z tabulky 3.5.1, hodnoty kapacity jsou vyšší o více než 1,1 % pro frekvence větší než 2500 Hz.

Grafická závislost indukčnosti na frekvenci, která je na obrázku 3.5.4 znázorněna červenou křivkou, je ukázkově lineární a koresponduje s lineární závislostí danou vztahem (3.5.2).

V případě indukčnosti se grafy teoretické a experimentální křivky shodují ve frekvenční oblasti 100 Hz – 2500 Hz. Pro větší frekvence jsou experimentální hodnoty v průměru o 10 % nižší.

Hodnota indukčnosti cívky určená podle měření uvedených v tabulce 3.5.2 byla určena jako $L = (5,8 \pm 0,2) \text{mH}$. Výsledek měření velmi dobře koresponduje s hodnotou $L = 6 \text{mH}$ uvedenou na cívce a podobně jako v případě měření kapacity kondenzátorů dokládá, že multimetr VA18B měří s uvedenou třídou přesnosti i v rozsahu 100 Hz – 3000 Hz.

Otázky na závěr

1. Jak můžeme z grafu 3.5.4 určit hodnotu kapacity kondenzátoru?
2. Z lineární regresní funkce na obrázku 3.5.4 vypočítejte hodnotu indukčnosti cívky.