

Měření kapacity kondenzátoru a indukčnosti cívky. Ověření frekvenční závislosti kapacitance a induktance pomocí TG nebo SC

Kondenzátor i cívka kladou střídavému proudu odpor, který nazýváme kapacitance X_C , resp. induktance X_L . Tyto veličiny jsou frekvenčně závislé a platí pro ně následující vztahy (1) a (2):

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

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

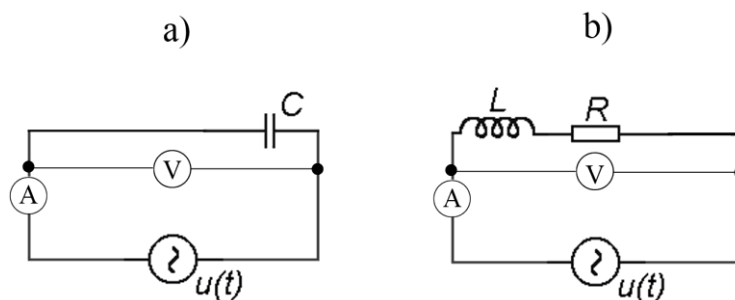
kde C je kapacita kondenzátoru, L je indukčnost cívky a f je frekvence střídavého proudu.

Pomůcky: multimetr VA18B (2 ks), svítkový kondenzátor $4,7 \mu\text{F}$ (3 ks), cívka $N = 600$, $L = 6 \text{ mH}$, vodič jack $3,5 \text{ mm} / 2$ banánky, TG nebo PC (notebook), Visual Analyser, propojovací vodiče

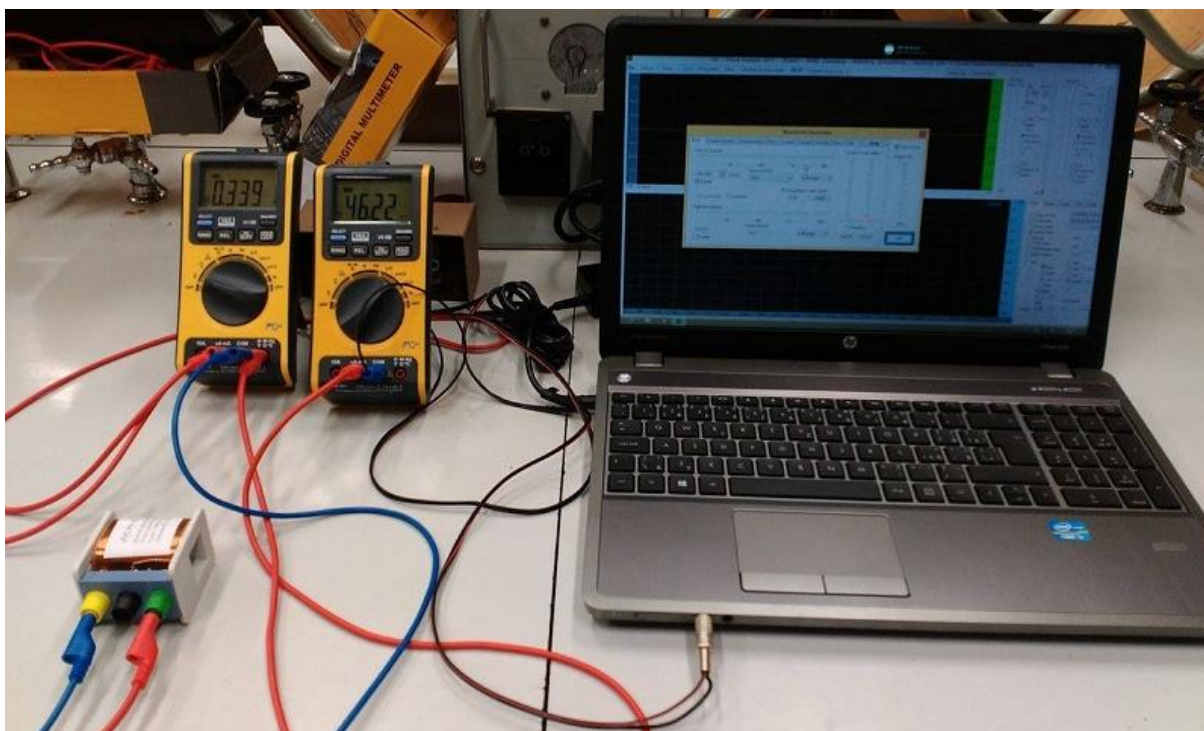
Postup práce

Schéma zapojení je na následujícím obrázku 1.

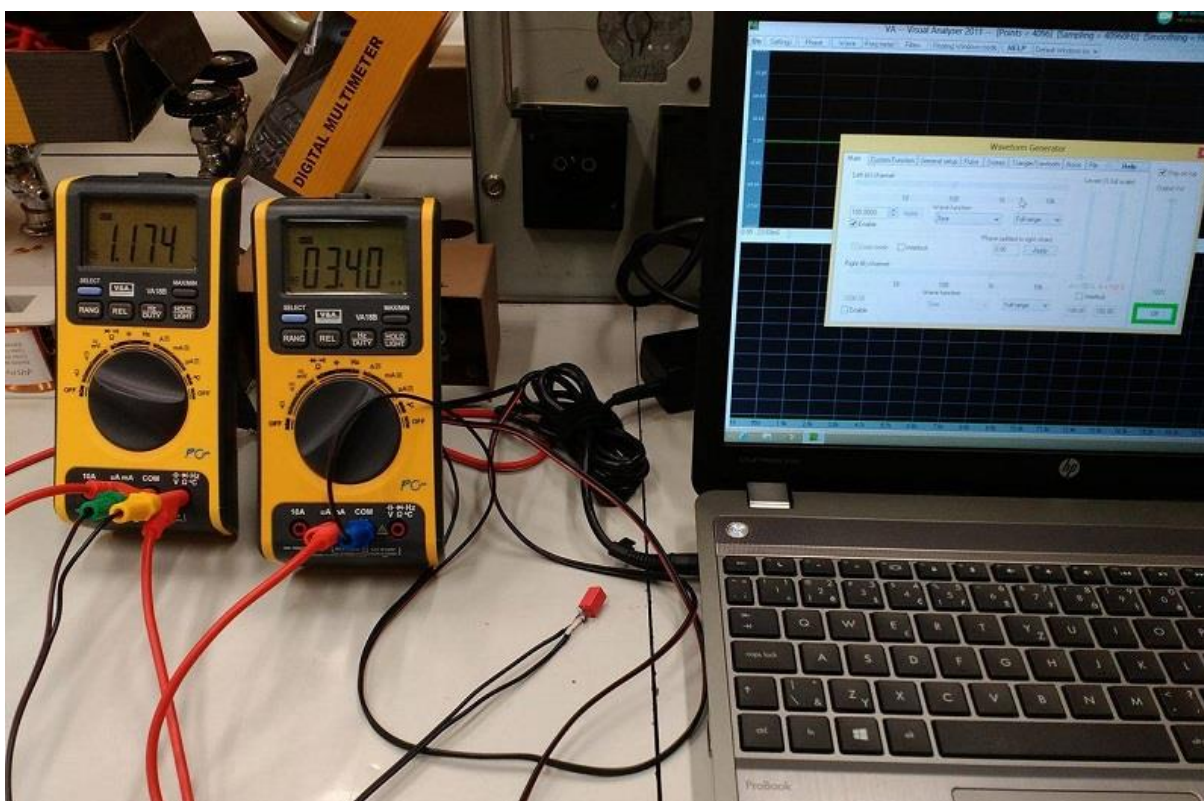
Uspořádání experimentu při měření indukčnosti a induktance je patrné z obrázku 2 a při měření kapacity a kapacitance z obrázku 3.



Obrázek 1 Schéma zapojení kondenzátoru a) a cívky b) – ověření frekvenční závislosti X_C a X_L .



Obrázek 2 Měření indukčnosti cívky a frekvenční závislosti indukčnosti pomocí SC.



Obrázek 3 Měření kapacity kondenzátoru a frekvenční závislosti kapacity pomocí SC.

Ve frekvenčním intervalu (100 – 2000) Hz zvolíme rovnoměrně přibližně 20 frekvencí, které na TG generujeme nastavením frekvence jemným laděním na daném frekvenčním rozsahu a pomocí SC v programu Visual Analyser pomocí tlačítka *Wave*. Nastavenou frekvenci ověříme pomocí multimetru VA18B.

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

V druhé části výpočtů využijeme vztahy (1) a (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 $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$. **Hodnoty kapacit jsou orientační, použijte kondenzátory, které máte k dispozici.**

Námi naměřené hodnoty pro výpočet kapacitance a kapacity kondenzátorů uvádíme v tabulce 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 $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$.

Nejistotu vypočítané kapacity C pro každý řádek tabulky vypočítáme podle následujícího vzorce (3):

$$s_C = \frac{I}{2\pi f U} \sqrt{\left(\frac{s_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{s_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{s_f}{f}\right)^2}. \quad (3)$$

Průměrná hodnota kapacity kondenzátoru C_1 byla určena jako $C_{1TG} = (5,5 \pm 0,2) \mu\text{F}$, pro kondenzátor C_2 jsme vypočítali hodnotu $C_{2TG} = (15 \pm 2) \mu\text{F}$. **Stanovte i relativní nejistoty měření.**

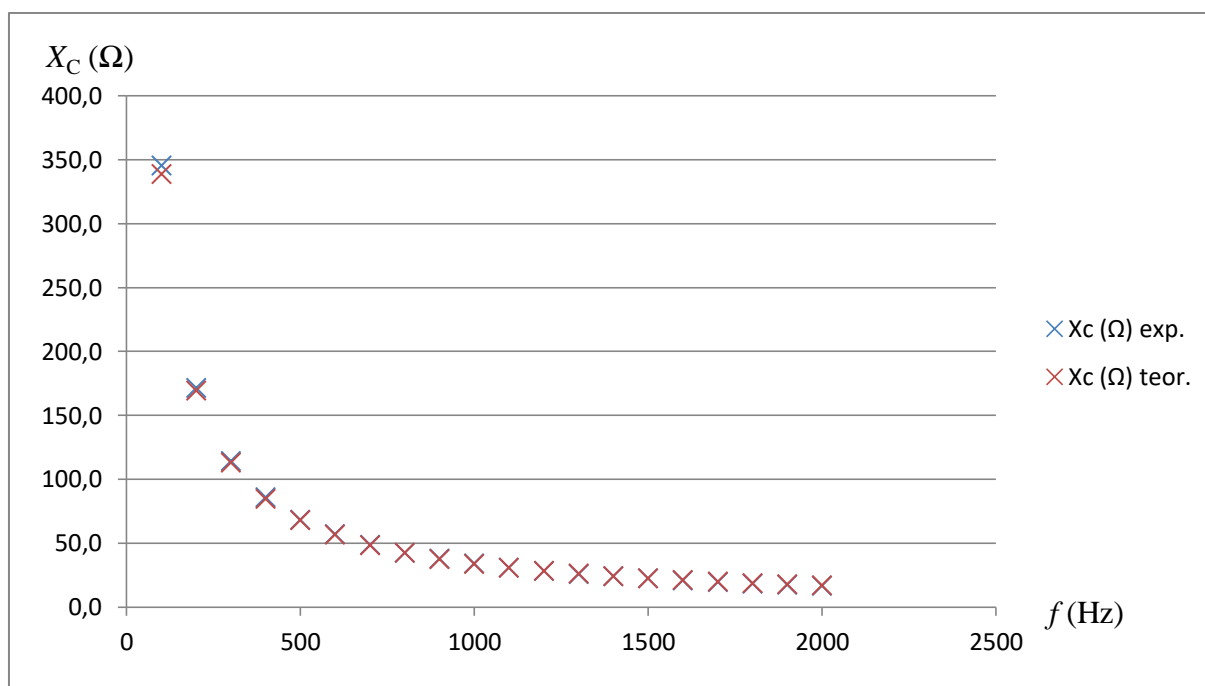
Na grafu 4 můžeme zřetelně pozorovat exponenciální pokles kapacitance pro hodnotu $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$. Experimentálně naměřené hodnoty jsou vyznačeny modrými křížky, teoretické hodnoty kapacitance vypočítané ze vztahu (5) jsou zobrazeny červeně.

Tabulka 1 Měření kapacity kondenzátorů a frekvenční závislosti kapacitance s SC

f (Hz)	U_1 (V)	I_1 (mA)	X_{C1} (Ω)	C_1 (μ F)	U_2 (V)	I_2 (mA)	X_{C2} (Ω)	C_2 (μ F)
100	1,177	3,41	345,2	4,6	1,171	6,99	167,5	9,5
200	1,170	6,82	171,6	4,6	1,148	13,73	83,6	9,5
300	1,159	10,15	114,2	4,6	1,113	19,98	55,7	9,5
400	1,042	12,16	85,7	4,6	0,972	23,28	41,8	9,5
500	0,960	14,03	68,4	4,7	0,867	26,00	33,3	9,6
600	0,904	15,87	57,0	4,7	0,788	28,38	27,8	9,6
700	0,860	17,67	48,7	4,7	0,724	30,48	23,8	9,6
800	0,827	19,42	42,6	4,7	0,671	32,32	20,8	9,6
900	0,799	21,14	37,8	4,7	0,625	33,99	18,4	9,6
1000	0,774	22,82	33,9	4,7	0,587	35,42	16,6	9,6
1100	0,753	24,49	30,7	4,7	0,552	36,84	15,0	9,7
1200	0,735	26,12	28,1	4,7	0,515	37,59	13,7	9,7
1300	0,718	27,75	25,9	4,7	0,488	38,90	12,5	9,8
1400	0,704	29,35	24,0	4,7	0,47	40,13	11,7	9,7
1500	0,690	30,95	22,3	4,8	0,448	41,32	10,8	9,8
1600	0,678	32,52	20,8	4,8	0,431	42,49	10,1	9,8
1700	0,666	34,09	19,5	4,8	0,416	43,67	9,5	9,8
1800	0,656	35,65	18,4	4,8	0,401	44,83	8,9	9,9
1900	0,646	37,19	17,4	4,8	0,388	45,96	8,4	9,9
2000	0,636	38,72	16,4	4,8	0,377	47,25	8,0	10,0

Průměrná hodnota kapacity kondenzátoru C_1 byla určena jako $C_{1SC} = (4,71 \pm 0,02) \mu\text{F}$, pro kondenzátor C_2 jsme vypočítali hodnotu $C_{2SC} = (9,68 \pm 0,03) \mu\text{F}$.

V případě kondenzátoru C_1 je relativní nejistota měření 0,4 %, u stanovení kapacity kondenzátoru C_2 je relativní nejistota měření dokonce 0,3 %. Odchylka od jmenovité hodnoty $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$ a $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$ pak v průměru činí 0,2 %, resp. 3 %. Měření kapacity s využitím SC se tedy ukázalo jako velmi přesné a na obou grafech na obrázcích 12 a 13 je vidět téměř dokonalá shoda experimentálně naměřených hodnot (modře) a teoreticky vypočítaných hodnot (červeně).



Obrázek 4 Graf frekvenční závislosti kapacitance pomocí SC pro $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$.

Obdobným způsobem jsme změřili indukčnost cívky s parametry $N = 600$, $L = 6 \text{ mH}$ a indukčnost cívky s $N = 12000$ a $L = 95 \text{ mH}$.

Experimentálně zjištěné hodnoty indukčnosti a induktance pro cívku s indukčností $L = 6 \text{ mH}$ jsou uvedeny v tabulce 2. Indexem TG je označeno měření s tónovým generátorem, indexem SC je označeno měření se zvukovou kartou.

Grafická závislost induktance na frekvenci proudu při měření SC je zobrazena na obrázku 5. Modře jsou znázorněny experimentálně naměřené hodnoty, červeně teoreticky vypočítané ze vztahu (2).

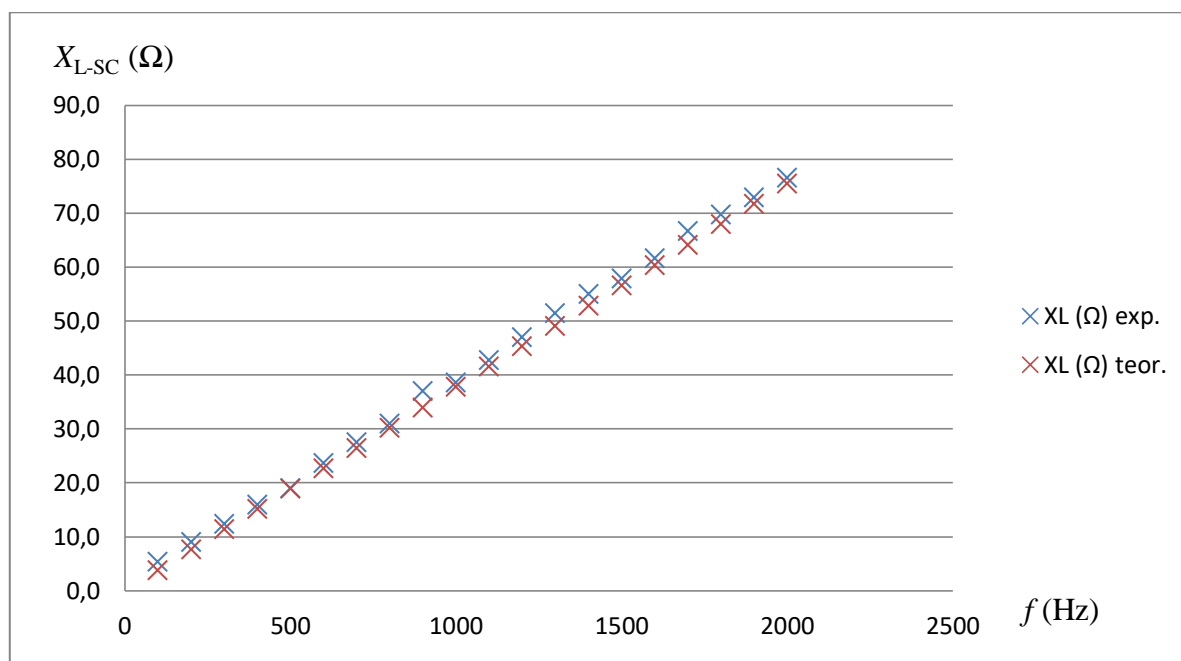
Hodnoty indukčnosti cívky v posledním sloupci tabulky jsou vypočítány ze vztahu (2), nejistota indukčnosti z následujícího vztahu (4):

$$s_L = \frac{U}{2\pi f I} \sqrt{\left(\frac{s_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{s_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{s_f}{f}\right)^2}. \quad (4)$$

Průměrná hodnota indukčnosti cívky L_{TG} měřené pomocí TG byla určena jako $L_{TG} = (6,4 \pm 0,1) \text{ mH}$, hodnota zjištěné pomocí SC je $L_{SC} = (6,2 \pm 0,2) \text{ mH}$. Relativní nejistota činila v případě TG 1,5 %, pro SC vychází relativní nejistota 3,2 %.

Tabulka 2 Měření indukčnosti cívky $L = 6$ mH a frekvenční závislosti indukčnosti s TG a SC

$f(\text{Hz})$	$U_{TG}(\text{V})$	$I_{TG}(\text{mA})$	$X_{LTG}(\Omega)$	$L_{TG}(\text{mH})$	$U_{SC}(\text{V})$	$I_{SC}(\text{mA})$	$X_{LSC}(\Omega)$	$L_{SC}(\text{mH})$
100	0,010	1,88	5,3	8,5	0,308	48,16	6,4	10,2
200	0,019	2,13	8,9	7,1	0,408	45,12	9,0	7,2
300	0,026	2,11	12,3	6,5	0,546	45,79	11,9	6,3
400	0,033	2,08	15,9	6,3	0,602	38,90	15,5	6,2
500	0,039	2,06	18,9	6,0	0,642	33,71	19,0	6,1
600	0,048	2,03	23,6	6,3	0,675	29,80	22,7	6,0
700	0,054	1,97	27,4	6,2	0,702	26,71	26,3	6,0
800	0,061	1,97	31,0	6,2	0,723	24,21	29,9	5,9
900	0,072	1,95	36,9	6,5	0,742	22,16	33,5	5,9
1000	0,082	2,13	38,5	6,1	0,759	20,48	37,1	5,9
1100	0,091	2,13	42,7	6,2	0,774	19,07	40,6	5,9
1200	0,100	2,13	46,9	6,2	0,790	17,88	44,2	5,9
1300	0,109	2,12	51,4	6,3	0,805	16,87	47,7	5,8
1400	0,116	2,11	55,0	6,3	0,820	16,01	51,2	5,8
1500	0,122	2,11	57,8	6,1	0,835	15,27	54,7	5,8
1600	0,130	2,11	61,6	6,1	0,852	14,63	58,2	5,8
1700	0,140	2,10	66,7	6,2	0,865	14,07	61,5	5,8
1800	0,145	2,08	69,7	6,2	0,880	13,57	64,8	5,7
1900	0,153	2,10	72,9	6,1	0,897	13,14	68,3	5,7
2000	0,160	2,09	76,6	6,1	0,912	12,74	71,6	5,7

**Obrázek 5** Graf frekvenční závislosti indukčnosti pomocí SC pro $L = 6$ mH.