

Srovnání charakteristik tónového generátoru a zvukové karty PC

ČENĚK KODEJŠKA – LENKA MYSLIVCOVÁ – FRANTIŠEK HOŠEK – MATYÁŠ ROUHA

Gymnázium, Komenského 77, Nový Bydžov

Úvod

Cílem naší práce bylo prozkoumat různé vlastnosti a charakteristiky tónového generátoru a zvukové karty PC jako zdrojů střídavého napětí.

V experimentální části jsme se zabývali nejprve porovnáním charakteristik obou zdrojů a posléze experimenty uvedenými v [1], které jsme provedli s tónovým generátorem i zvukovou kartou PC. Nejprve jsme se zabývali otázkou, zda oba zdroje patří mezi tzv. tvrdé zdroje napětí, nebo jestli vykazují při zatížení výrazný pokles napětí. Současně jsme zkoumali závislost výstupního napětí zdroje na frekvenci proudu. Po přezkoumání těchto charakteristik jsme došli k závěru, že všechny výše uvedené zdroje lze považovat za tzv. měkké zdroje napětí a přistoupili jsme ke srovnání chování zdrojů v níže uvedených experimentech.

Prvním experimentem bylo měření indukčnosti cívky, druhým měření kapacity kondenzátoru, třetím frekvenční závislost kapacity a indukčnosti, čtvrtým ověření frekvenční závislosti sériového RLC obvodu a posledním ověření frekvenční závislosti paralelního RLC obvodu.

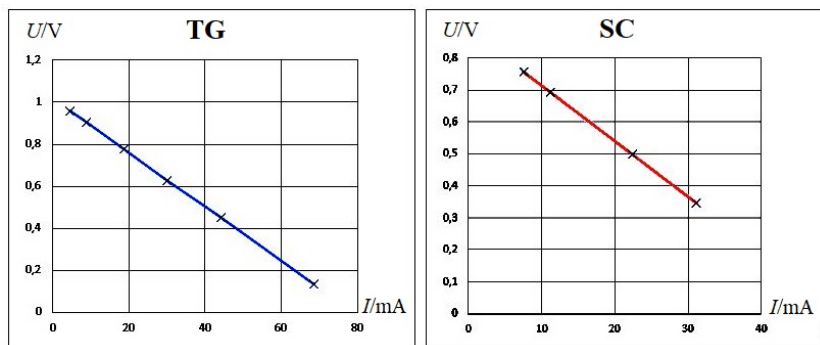
Ve všech případech jsme pomocí statistické analýzy v programu MS Excel na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ zjišťovali, jak se experimentální data liší od teoreticky vypočítaných. Kde to bylo možné, určili jsme i příslušnou nejistotu měření dané veličiny.

Voltampérové charakteristiky tónového generátoru a zvukové karty PC

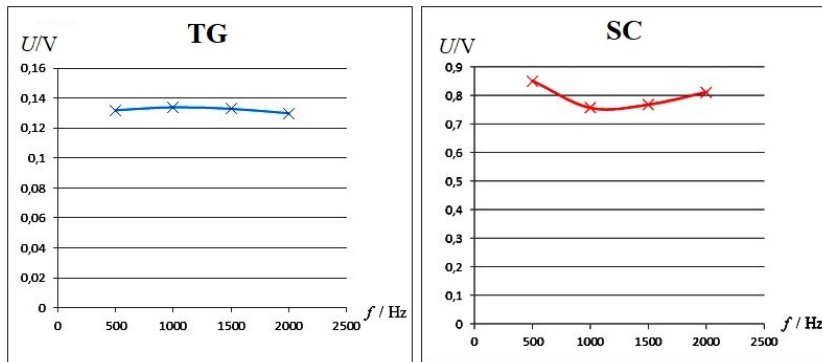
V první části popíšeme nejdříve voltampérové charakteristiky obou zdrojů a poté čtyři základní experimenty pro 3. ročník gymnázia, ve kterých jsme porovnávali tónový generátor BM 365 a zvukovou kartu notebooku. V následujícím textu budeme tónový generátor označovat zkratkou TG a zvukovou kartu počítače zkratkou SC.

Hodnoty zátěže byly voleny v případě TG 100 Ω , 500 Ω , 1000 Ω , 2000 Ω , 5000 Ω a 10000 Ω , u SC jsme zvolili hodnoty 8 Ω , 20 Ω , 60 Ω , 100 Ω . U obou zdrojů byla měření provedena pro frekvence 500 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz a 2000 Hz, které svým rozsahem pokrývají dostatečně interval frekvencí volených při experimentech.

Zatěžovací charakteristika TG, resp. SC, je na obr. 1 vlevo, resp. vpravo. Hodnota RZ v popisku obr. 2 představuje použitou zátěž.



Obr. 1 VA charakteristika TG (vlevo) a SC (vpravo) při frekvenci 1000 Hz



Obr. 2 Frekvenční závislost výstupního napětí TG (vlevo) a SC (vpravo) pro $R_Z = 100 \Omega$

Z grafu na obr. 2 vlevo plyne, že napětí je na námi zvoleném frekvenčním rozsahu konstantní a jeho velikost není volbou frekvence ovlivněna. Pomocí MS Excel jsme určili průměrnou hodnotu tohoto napětí a jeho nejistotu jako $U = (0,132 \pm 0,001) \text{ V}$.

V grafu na obr. 2 vpravo je vidět mírný pokles napětí pro frekvenci cca 1 200 Hz. Pomocí MS Excel jsme určili průměrnou hodnotu tohoto napětí a jeho nejistotu jako $U = (0,80 \pm 0,02)$ V. V měřicí technice se obvykle za hraniční hodnotu pro konstantní veličinu považuje nárůst nebo pokles veličiny o 3 dB, což odpovídá 1,4 násobku měřené hodnoty [2]. V našem případě se jedná maximálně o 1,025 násobek měřené hodnoty napětí, a proto považujeme i zvukovou kartu za zdroj napětí, který není frekvenčně závislý.

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

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 (1) a (2):

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

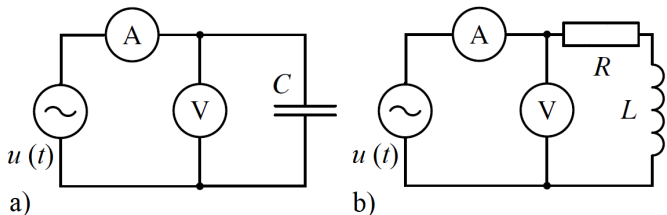
$$X_L = 2\pi f L \quad (2)$$

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

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

Postup práce

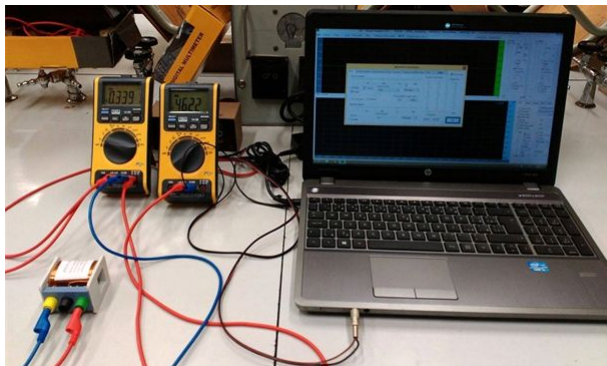
Schéma zapojení je na následujícím obr. 3.



Obr. 3 Schéma zapojení kondenzátoru (a) a cívky (b) – ověření frekvenční závislosti X_C a X_L

Uspořádání experimentu při měření indukčnosti a indukčnosti je patrné z obr. 4, podobně postupujeme při měření kapacity a kapacity.

Ve frekvenčním intervalu (100–2 000) 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*. V případě TG jsme nastavenou frekvenci vždy ověřili pomocí multimetru VA18B.



Obr. 4 Měření indukčnosti cívky a frekvenční závislosti indukčnosti pomocí SC

Pro každou frekvenci změříme pomocí multimetrů VA18B proud a napětí, ze kterých pak můžeme vypočítat hodnotu kapacity $X_C = U/I$, resp. indukčnosti $X_L = U/I$. Vypočítané hodnoty zapíšeme do tabulky a vyneseme grafickou závislost kapacity, resp. indukčnosti 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 kapacity 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 $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$.

Výběr námi naměřených hodnot pro výpočet kapacity a kapacity kondenzátorů s využitím SC 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 $C_2 = 9,4 \mu\text{F}$.

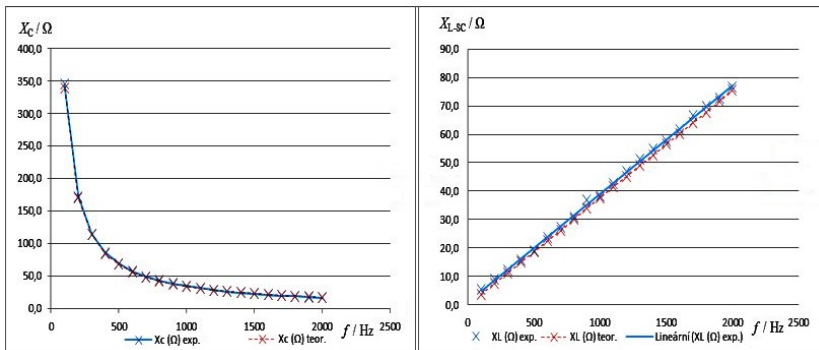
Průměrná hodnota kapacity kondenzátoru C_1 byla určena jako $C_{1TG} = (5,5 \pm 0,2) \mu\text{F}$, pro kondenzátor C_2 jsme vypočítali hodnotu $C_{2TG} = (15 \pm 2) \mu\text{F}$. Z grafu na obr. 5 vlevo je dobře patrný exponenciální pokles kapacity v závislosti na frekvenci. Experimentálně naměřené hodnoty jsou vyznačeny modrými křížky, teoretické hodnoty kapacity vypočítané ze vztahu (1) 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	$C_1/\mu\text{F}$	U_2/V	I_2/mA	X_{C2}/Ω	$C_2/\mu\text{F}$
100	1,177	3,41	345,2	4,6	1,171	6,99	167,5	9,5
500	0,960	14,03	68,4	4,7	0,867	26,00	33,3	9,6
1 000	0,774	22,82	33,9	4,7	0,587	35,42	16,6	9,6
1 500	0,690	30,95	22,3	4,8	0,448	41,32	10,8	9,8
2 000	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 $C_{2SC} = (9,68 \pm 0,03) \mu\text{F}$. Obdobným způsobem jsme změřili indukčnost cívky s parametry $N = 600$, $L = 6 \text{ mH}$ a indukčnost cívky s $N = 12000$ a $L = 95 \text{ mH}$.

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



Obr. 5 Graf frekvenční závislosti kapacitance (vlevo) a indukčnosti (vpravo) pomocí SC pro $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$

Průměrná hodnota indukčnosti cívky L_{TG} měřené pomocí TG byla určena jako $L_{TG} = (6,4 \pm 0,1) \text{ mH}$, hodnota zjištěná 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 %.

Rezonanční křivka paralelního obvodu RLC s TG a SC

Vzhledem k tomu, že v naší loňské práci [4] jsme se podrobně zabývali sériovým obvodem RLC , v této práci se pokusíme porovnat hodnoty získané pomocí TG a SC u paralelního obvodu RLC a v případě zvukové karty jsme ještě zkusili proměřit nastavbu se zesilovačem Marshall na jejím výstupu.

Tímto experimentem ověřujeme známý vztah pro frekvenci oscilátoru LC , který platí jak pro sériové, tak i paralelní zapojení cívky a kondenzátoru. Vzhledem k tomu, že běžné školní laboratorní zdroje střídavého proudu pracují pouze s frekvencí 50 Hz, není klasickým způsobem možné tuto frekvenční závislost ověřit.

Z opakovaných měření kapacity kondenzátoru a indukčnosti cívky plyne, že digitální multimetr VA18B měří přesně v rozsahu 200 Hz – 2 000 Hz i mimo výrobcem udávaný frekvenční rozsah 40 Hz – 400 Hz. Frekvenci střídavého napětí pak dokáže měřit v rozsahu 10 Hz – 1 MHz.

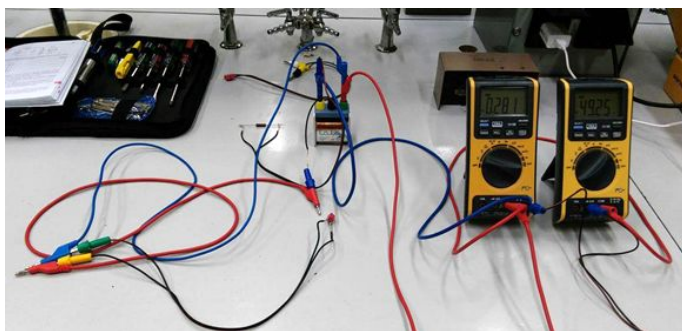
Pro vlastní frekvenci oscilátoru LC platí obecně známý Thomsonův vztah, který je shodný pro sériové i paralelní zapojení kondenzátoru o kapacitě C a cívky s indukčností L .

Pro impedanci paralelního obvodu RLC platí vztah, ze kterého plyne, že pro frekvenci střídavého proudu, která je rovna vlastní frekvenci f_0 , je impedance obvodu největší.

Pomůcky: multimetr VA18B (2 ks), svitkový kondenzátor 4,7 μF (3 ks), cívka $N = 600$, $L = 6$ mH, rezistor $R = 135$ k Ω , propojovací vodiče, vodič jack 3,5 mm / 2 banánky, PC (notebook), TG, Visual Analyser

Postup práce

Uspořádání experimentu je patrné z obr. 6.



Obr. 6 Uspořádání experimentu – paralelní zapojení obvodu RLC

Voltmetr, cívku, rezistor i kondenzátor zapojíme paralelně. Voltmetrem měříme napětí na cívce a kondenzátoru.

Výstup TG i SC slouží jako zdroj střídavého napětí, které pomocí speciálního vodiče s konektorem jack 3,5 mm přivedeme na svorky paralelního obvodu RLC .

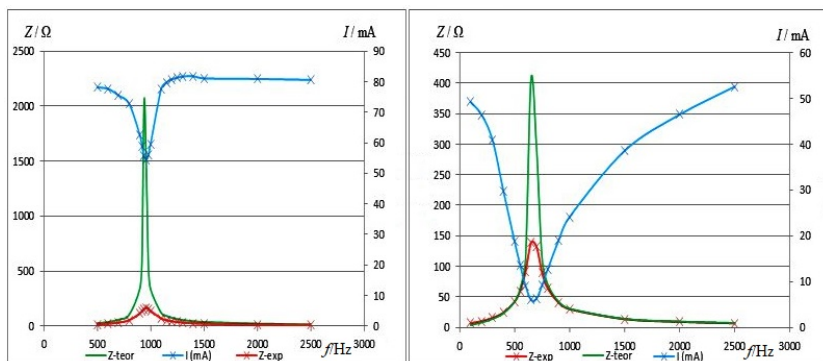
Jeden multimetr VA18B zapojíme jako ampérmetr, přičemž navolíme střídavý typ proudu (na displeji vlevo se objeví AC) a mA. Druhým multimetrem měříme velikost střídavého napětí na rezistoru, cívce a kondenzátoru.

Postupně zvyšujeme frekvenci od 100 Hz až do frekvence 2 500 Hz. V okamžiku, kdy zaznamenáme na ampérmetru největší hodnotu proudu, proměříme okolí této frekvence po cca 20 Hz.

Z naměřených hodnot napětí a proudu vypočítáme hodnotu impedance $Z = U/I$ a vyneseme do grafu závislost impedance na frekvenci. Nakonec se z grafu pokusíme určit rezonanční frekvenci f_0 , která odpovídá největší hodnotě Z a porovnat ji s frekvencí získanou z Thomsonova vztahu.

Tabulka 2 uvádí měření provedené s využitím SC a kondenzátorem o kapacitě 9,4 μF . Hodnoty impedance Z_{teor} jsou vypočítány ze vztahu pro impedanci paralelního obvodu RLC pro parametry $R = 135 \text{ k}\Omega$, $L = 6 \text{ mH}$ a $C = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$.

Z grafu na obr. 7 vlevo je dobře pozorovatelná shoda minima proudu a maxima impedance odpovídající hodnotě rezonanční frekvence $f_0 = 948 \text{ Hz}$ vypočítané z Thomsonova vztahu.



Obr. 7 Graf závislosti impedance a proudu na frekvenci paralelního obvodu RLC pro TG (vlevo) a SC (vpravo)

Z grafu na obr. 7 vpravo je dobře pozorovatelná shoda minima proudu a maxima impedance odpovídající hodnotě rezonanční frekvence $f_0 = 671$ Hz vypočítané z Thomsonova vztahu. I zde je patrný rozdíl mezi hodnotami teoretickými (zelená křivka) a experimentálními (červená křivka), zejména v okolí rezonanční frekvence.

Tabulka 2 Impedance paralelního obvodu RLC v závislosti na frekvenci SC pro $C = 9,4 \mu\text{F}$

f/Hz	U/V	I/mA	Z/Ω	Z_{teor}/Ω
100	0,350	49,24	7	4
200	0,481	46,42	10	8
300	0,642	40,86	16	14
400	0,727	29,62	25	23
500	0,794	18,80	42	42
550	0,817	13,68	60	63
600	0,833	9,10	92	113
650	0,837	6,03	139	407
700	0,835	6,34	132	293
750	0,826	9,21	90	113
800	0,811	12,62	64	71
900	0,770	18,97	41	42
1 000	0,723	24,13	30	31
1 500	0,530	38,56	14	14
2 000	0,427	46,46	9	10
2 500	0,361	52,56	7	7

Podrobné statistické výsledky ze všech provedených měření jsou uvedeny v [5].

Závěr

V naší práci jsme se zabývali srovnáním různých charakteristik tónového generátoru BM 365 a zvukové karty notebooku a jejich využitím v různých experimentech pro 3. ročník.

Experimentálně naměřená data byla porovnána hodnotami predikovanými teorií a párově statisticky analyzována. Ze statistické analýzy jednoznačně vyplynulo, že použití zvukové karty jako zdroje sinusového napětí malé hodnoty ve všech provedených experimentech se na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ poskytuje experimentální hodnoty, které se statisticky významně neliší od teorie.

V případě tónového generátoru jsme dospěli k podobnému závěru s výjimkou paralelního RLC obvodu, kde se hodnoty statisticky významně liší. Dalším zjištěním je, že použití zesilovače na výstupu zvukové karty přineslo horší výsledky, než měření pouze s SC.

Závěrem můžeme konstatovat, že zvuková karta je plnohodnotnou náhradou tónového generátoru a lze ji úspěšně používat při školních fyzikálních experimentech.

Poděkování

Autoři děkují všem studentům zapojeným do výzkumu. Výzkum je podpořen z prostředků projektu No. CZ.02.3.68/0.0/0.0/16_011/0000669 (PŘÍRodovědné Oborové Didaktiky A praktikující učitel). Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Literatura

- [1] *Lepil, O.*: Fyzika pro gymnázia, Elektřina a magnetismus, Prometheus, Praha, 2011.
- [2] Elektronika, teoretické základy, praktické zapojení, kap. Decibely, [online]. [cit. 2017-02-27].
Dostupné z: <http://elnika.sweb.cz/mereni/decibely.htm>
- [3] Cvičení ze statistiky IV., [online]. [cit. 2017-02-27].
Dostupné z: <http://ulb.upol.cz/praktikum/statistika4.pdf>
- [4] *Myslivcová, L., Hošek, F., Rouha, M.*: Náhrada tónového generátoru pomocí zvukové karty PC, Středoškolská odborná práce, Nový Bydžov, 2016.
- [5] *Myslivcová, L., Hošek, F., Rouha, M.*: Srovnání charakteristik tónového generátoru a zvukové karty PC, [Středoškolská odborná práce], Nový Bydžov, 2017, [online]. [cit. 2017-04-29].
Dostupné z: http://www.sclpx.eu/clanky/SOC_2017_final.pdf