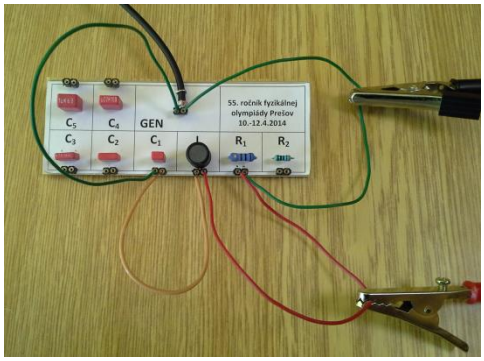
55. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2013/2014

Experimentálna úloha celoštátneho kola kategórie A – Vzorové výsledky

1. úloha: Meranie prúdovej frekvenčnej charakteristiky sériového RLC obvodu

a) pohľad na zapojený obvod: **0,5 bodu**



b), c), d) tabuľka nameraných hodnôt: **2 body**

č.	frekvencia f [Hz]	U_{R1} [mV]	I_1 [mA]	U_{R2} [mV]	I_2 [mA]
1	100	5	0,05	20	0,06
2	300	14	0,14	55	0,15
3	500	25	0,25	90	0,25
4	800	41	0,41	143	0,40
5	1200	67	0,67	220	0,61
6	1600	98	0,98	300	0,83
7	1800	115	1,15	338	0,94
8	2000	136	1,36	370	1,03
9	2200	161	1,61	402	1,12
10	2400	181	1,81	425	1,18
11	2600	200	2,00	442	1,23
12	2800	212	2,12	451	1,25
13	2900	214	2,14	454	1,26
14	3000	213	2,13	453	1,26
15	3200	208	2,08	450	1,25
16	3500	191	1,91	435	1,21
17	3800	173	1,73	417	1,16
18	4100	155	1,55	390	1,08
19	4500	133	1,33	359	1,00
20	5000	115	1,15	322	0,89
21	5500	102	1,02	290	0,81
22	6000	91	0,91	263	0,73
23	6500	82	0,82	242	0,67
24	7000	75	0,75	222	0,62
25	8000	64	0,64	195	0,54
26	9000	55	0,55	170	0,47

1,5 bodu	R_1	R_2
namerané U_R [V]	0,214	0,45
namerané U_{C1} [V]	1,24	0,76
faktor kvality *Q [-]**	**5,79**	**1,69**

$I = U_{R1}/R_1 = 2{,}14\text{mA}$ **2,5 bodu**

namerané $\mathbf{U_v = U_0 = 0{,}84V}$

namerané $U_r = 0{,}322\text{V}$

$U_{RL} = U_r - U_{R1} = 0{,}108\text{V}$

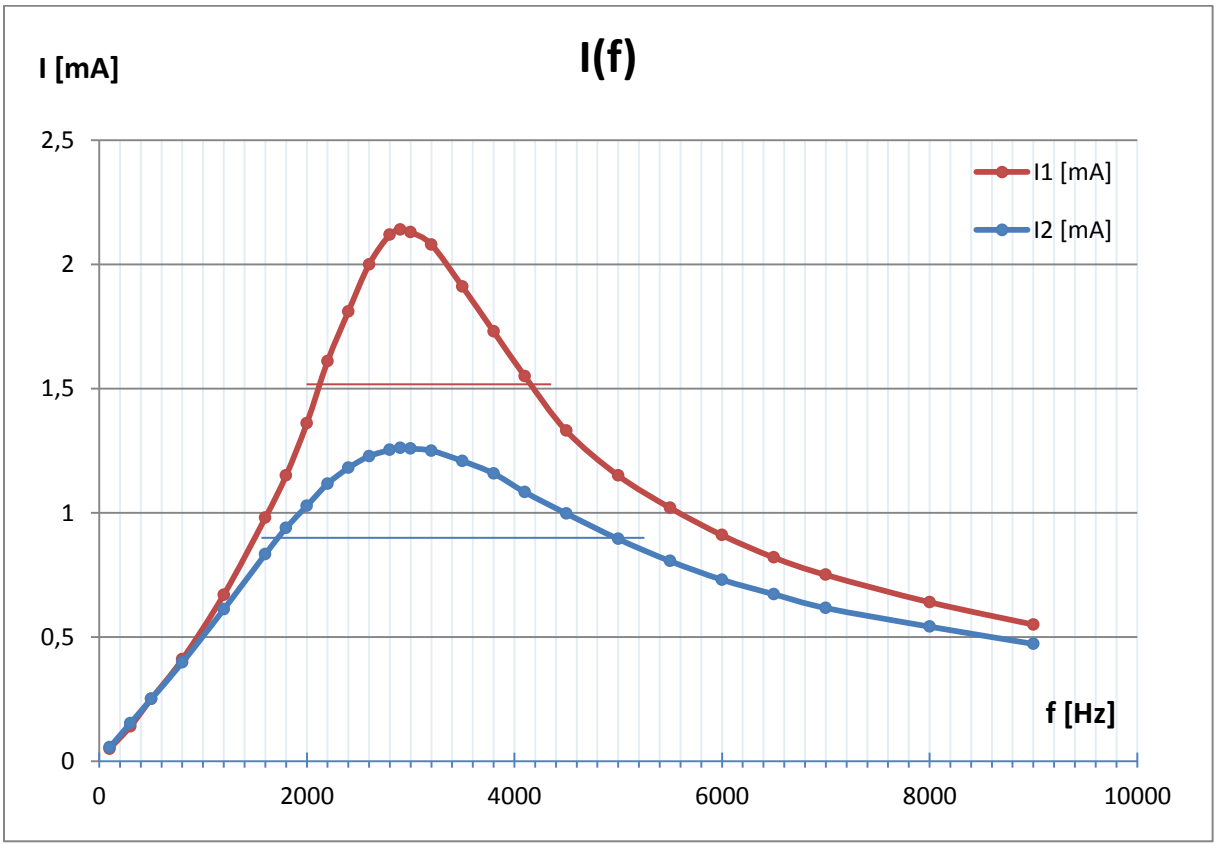
$U_{Rv} = U_v - U_r = 0{,}518\text{V}$

$\mathbf{R_L = U_{RL}/I = R_1\,(U_r - U_{R1})/U_{R1} = 50\ \Omega}$

$\mathbf{R_v = U_{Rv}/I = R_1\,(U_v - U_r)/U_{R1} = 242\ \Omega}$

U_0 [V]	**0,84**	**0,84**
odpor vinutia cievky R_L [Ω]	**50**	**56**
vnútorný odpor generátora R_v [Ω]	**242**	**256**

e), f) **3 body**



Všetky výsledky sa nachádzajú v nasledujúcej tabuľke: **2,5 bodu**

	R_1	R_2
I_m [mA]	2,14	1,26
0,7 I_m [mA]	1,51	0,89
rezonančná frekvencia f_r [Hz]	2900	2900
frekvencia f_d [Hz]	2150	1700
frekvencia f_h [Hz]	4150	5000
šírka pásma Δf [Hz]	2000	3300
faktor kvality $Q = f_r / \Delta f$ [-]	1,45	0,88
faktor kvality z úlohy c) a d) Q^* [-]	5,79	1,69
Indukčnosť cievky L [mH]	30,1	30,1

Pri porovnaní hodnôt faktorov kvality Q a Q^* bol pozorovaný nesúlad z dôvodu zanedbania vnútorného odporu generátora a činného odporu vinutia cievky. Faktor kvality by sme vyjadrili $Q_1^{**} = U'_{C1}/(U'_{R1} + U'_{Rv} + U'_{RL})$, resp. $Q_2^{**} = U''_{C1}/(U''_{R1} + U''_{Rv} + U''_{RL})$. Ak by sme zohľadnili tieto činné odpory, dostali by sme nasledovné hodnoty:

	R_1	R_2
faktor kvality $Q = f_r / \Delta f$ [-]	1,45	0,88
faktor kvality Q^{**} (zohľadnený R_v a R_L) [-]	1,48	0,93

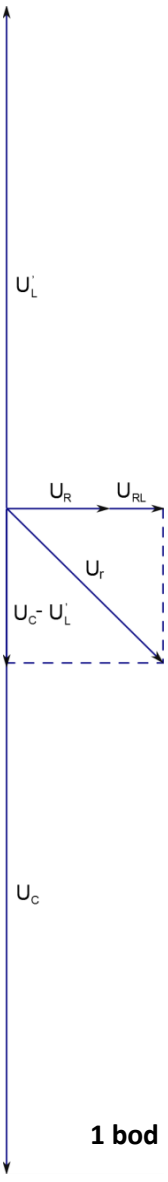
g) Voltmetrom odmeriame úbytky na rezistore, kondenzátore a cievke, pričom reálnu cievku možno nahradiť sériovou kombináciou rezistora rovného odporu vinutia cievky a ideálnej cievky. Na základe znalosti odporu vinutia cievky a veľkosti prúdu pretekajúceho obvodom možno určiť úbytky napätí na prvkoch náhradného obvodu:

$U_{RL} = I.R_L = U_R . R_L / R_1$

$$U'_L = \sqrt{U_L^{\,2} - U_{RL}^{\,2}}$$

Pre fázový posun platí:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{U_L - U_C}{U_R + U_{RL}}\right)$$, fázorový diagram pre frekvenciu 2500 Hz:



Frekvencia f	**2500 Hz**
U_R [V]	**0,193**
U_L [V]	**0,97**
U_C [V]	**1,27**
U'_L [V]	**0,97**
U_{RL} [V]	**0,10**
I [mA]	**1,93**
fázový posun φ [°]	**-46,40**
typ záťaže	**kapacitná**

2 body **1 bod**

h) Pri meraní úbytkov napätí sa voltmeter pripája k prvku obvodu paralelne. To znamená, že v prípade použitia reálneho voltmetra bude časť prúdu z nerozvetvenej časti obvodu pretekať voltmetrom. Čím je odpor voltmetra väčší, tým bude prúd pretekajúci voltmetrom nižší. Vzájomný pomer prúdov pretekajúcich prvkom obvodu a voltmetrom závisí od pomeru elektrických odporov prvku obvodu a voltmetra. Preto platí, že čím je väčší elektrický odpor časti obvodu, ktorého úbytok napätia meriame, tým väčšej chyby sa pri meraní dopúšťame. Pre meranie úbytku napätia na činnom odpore teda platí, že väčšej chyby sa dopustíme pri meraní na rezistore R_2. Elektrický odpor cievky a kondenzátora sú pri rezonančnej frekvencii pre obvod s R_1 rovné približne hodnote 450 Ω. Táto hodnota predstavuje pri rozsahu 3V iba 1,5% z vnútorného odporu voltmetra (30 kΩ). Maximálna hodnota reaktancií v intervale frekvencií 1kHz – 10kHz je rádovo 1,5 kΩ, teda 20% z vnútorného odporu voltmetra. Vzhľadom na zadanie úlohy, ako aj na použité súčiastky, najväčšej chyby by sme sa dopustili pri meraní úbytku napätia na kondenzátore pod frekvenciou 1kHz. **1 bod**

2. úloha: Detekcia elektromagnetického vlnenia

a) Ako anténa EM signálu slúži cievka, ktorej 4 závity vinuté vodorovne, obopínajú laboratórium. Cievka je pripojená namiesto reproduktorov k zosilňovaču, na ktorého vstup je privedený NF signál z počítača, MP3 prehrávača, alebo iného zdroja. Nominálny výkon zosilňovača je 2x10W, ale keďže je využitý iba jeden kanál, využitý výkon je 10W. Skutočný výkon antény je však ešte nižší, pretože elektrický odpor štyroch závitov vysielacej antény je približne 10 Ω, čo predstavuje 2,5-násobný odpor oproti elektrickému odporu reproduktorov 4 Ω. Experimentálny priestor sa nachádza vo vnútri cievky. V kruhovej anténe sa indukuje striedavé elektrické napätie, ktoré sa po pripojení k slúchadlám premieňa na akustický signál. Pri otáčaní antény dochádza k zmene veľkosti indukovaného napätia a tým aj intenzity akustického signálu v slúchadlách. Vo vnútri vysielacej cievky, v mieste najhomogénnejšieho magnetického poľa (dostatočne ďaleko od vinutia) je pozorovaná maximálna intenzita akustického signálu v slúchadlách pri horizontálnej orientácii, čo je súhlasná orientácia vzhľadom na vysielaciu anténu. Smer elektrického prúdu v kruhovej anténe (vektora intenzity elektrického poľa) je vzhľadom na vodorovnú rovinu Zemského povrchu rovnobežná, preto polarizácia EM vlnenia je horizontálna. **1 bod**

b) Správu prenášanú EM vlnením prevedieme s využitím tabuľky Morseovej abecedy na text, ktorý predstavuje dve písmená „FO“. **0,5 bodu**

3. úloha: Určenie frekvencie vysielača

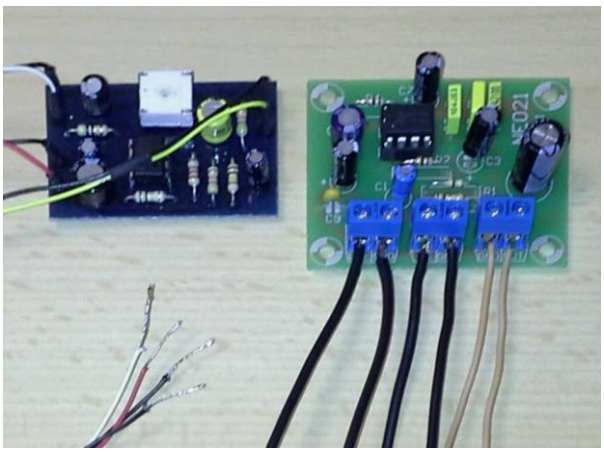
a) Vzhľadom na to, že indukované napätie v cievke s indukčnosťou L je výrazne nižšie, nižšia je aj hodnota prúdu v sériovom RLC obvode oproti obvodu s generátorom pri odporúčanom nastavení amplitúdy. Preto je aj úbytok napätia na rezistore výrazne nižší, a z tohto dôvodu je nutné znížiť rozsah milivoltmetra. Pre použitý typ vysielacej antény a použitých súčiastok, je pri umiestnení cievky L cca 15 cm od závitov vysielacej antény najvhodnejší rozsah milivoltmetra 10mV. Postupnou zámenou kondenzátorov z panela vyberieme kondenzátor, pri ktorom je úbytok napätia na rezistore, a tým aj prúd v obvode maximálny. **1 bod**

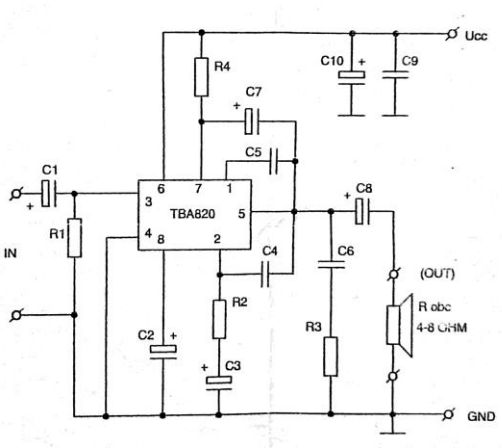
b) Po pripojení sériového RLC obvodu s kondenzátorom určeným v úlohe 3a) ku generátoru (zvukovej dosky počítača) zmenou frekvencie pomocou programu Soundcard Scope analogickým spôsobom, ako v úlohe 1c) nájdeme frekvenciu, pri ktorej je úbytok napätia na rezistore maximálny. Hľadaná frekvencia predstavuje rezonančnú frekvenciu sériového RLC obvodu, a zároveň frekvenciu EM vlnenia, ktoré je vysielané vysielacou anténou. Frekvencia vysielania má hodnotu 1950 Hz. Z tejto frekvencie a indukčnosti cievky, ktorú sme určili v úlohe 1f) môžeme vypočítať hodnotu kapacity kondenzátora prijímacieho RLC obvodu naladeného na frekvenciu vysielania. Hodnota kapacity kondenzátora je: **1,5 bodu**

$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} = 221\,nF$, vlnová dĺžka EM vlnenia je $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8\ m.s^{-1}}{1950\ s^{-1}} \approx 154\,km$

Pozn.: Aby sme boli schopní zachytiť elektromagnetické vlnenie v úlohe 3, boli sme nútení výrazne znížiť vzdialenosť prijímača od vysielača, teda sme sa museli výrazne priblížiť s RLC obvodom k vysielacej anténe. Ak je vzdialenosť prijímača a vysielača väčšia (v praxi býva aj niekoľko kilometrov, ale aj oveľa viac), zvýšiť intenzitu prijímaného signálu môžeme niekoľkými spôsobmi:

1. *zvýšenie výkonu vysielacej antény (výkon pozemných komerčných vysielačov rozhlasu a televízie zväčša dosahuje hodnoty rádovo jednotiek až desiatok kW)*
2. *použitie antény s vyšším ziskom (dosiahnutie vyššej smerovosti vysielaného signálu použitím vhodného geometrického usporiadania prvkov rezonančnej antény)*
3. *použitie zosilňovača v prijímači (signál je zosilnený vďaka vonkajšiemu zdroju elektrickej energie, napríklad batérie – príklad zosilňovača viď obr.)*





Obr. príklad jednoduchého NF zosilňovača na báze operačného zosilňovača