

文章编号: 1007-2934(2011)01-0061-03

# 黑匣子实验的设计与解答

关文翠

(北华大学, 吉林 吉林 132013)

**摘 要:** 本文设计了一种判断串并联谐振黑匣子实验, 并给出了测试方案, 通过测试的数据求出黑匣子内部元器件的参数值, 并指出此方案在教学中的优势。

**关 键 词:** 黑匣子; 谐振; 示波器

中图分类号: TN141.1

文献标识码: A

## 1 提出问题

传统的串并联谐振电路实验是教师给出串并联谐振电路及元器件参数, 给出测试仪器及测试步骤。要求学生画出串并联谐振特性的曲线( $U_R \sim f$ )。从而掌握串并联电路特征。通过多年教学实践, 发现学生收效甚微, 原因是学生按照已定格式操作, 没有让学生充分思考的环境。为了使学生通过该实验教学更好的掌握基础知识, 培养学生的独立思考及创新能力, 现将该实验教学方式变化如下:

(1) 元件及器材: 将电感、电容、电阻三种元件, 按串联或并联谐振电路焊接好, 并封入不透明的盒中, 只留两个端子。

(2) 测试仪器: 音频信号发生器一台, 示波器一台, 电阻箱1个, 电键, 导线若干。

(3) 要求: 根据LRC电路的谐振特性, 用示波器判断“黑匣”中元器件是串联谐振电路还是并联谐振电路, 并求出电感, 电容, 电阻的参数值。

## 2 实验的设计思想

(1) 本实验要求实验者对电磁学的基本概念和实验现象掌握的很清楚(特别是交流电路的谐振现象及电磁学元件的交流特性)。要求学生能运用示波器进行观察和测量, 完成物理实验。根据物理现象准确判断其中是串联谐振电路还是并联谐

振电路, 并计算出“黑匣”内部电学元器件的参数值。

(2) 测量电压有多种方法, 本文用示波器通过观察图象来测量电压, 这是简单、便捷的一重方法, 也使学生更加熟练的掌握示波器的操作方法。

(3) 本实验将电学实验和磁学实验相结合, 要求学生知识面广, 具有综合分析能力和实验操作能力。

## 3 参考解答

### (1) 确定黑匣子内电路的方法

将一个电阻 $R$ 与黑匣子串联后接到音频信号发生器的两端, 在 $C$ 点接一示波器(如图1), 示波器的一端接一双向开关 $K$ , 当 $K$ 连接2时, 示波器测量 $U_{BC}$ 为总电压; 当 $K$ 连接1时, 示波器测量 $U_{AC}$ 为电阻 $R$ 两端的电压。若 $U_{BC}$ 始终保持不变为1V, 当改变信号源频率时, 用示波器监控并测 $U_{AC}$ , 根据串联谐振电路的特征, 谐振时阻抗 $Z_{\min} = R$ , 则发生谐振时 $U_{AC}$ 有最大值, 则黑匣内电路为串联谐振电路, 若 $U_{AC}$ 有最小值, 则“黑匣”内电路为并联谐振电路。

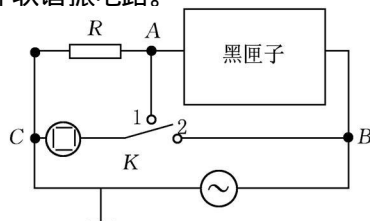


图1 黑匣子实验电路图

(2) 测量串并联电路黑匣子内部元器件参数

①测量串联电路黑匣子内部元器件参数

将一个阻值为  $50\ \Omega$  的电阻与黑匣子串联后接到音频信号发生器的两端, 在  $C$  点接一示波器, 示波器另一端接电键  $K$ , 见图 2。

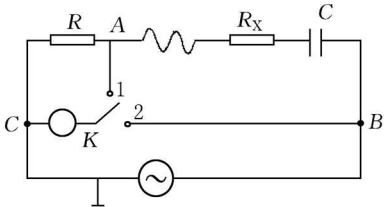


图 2 串联电路

当  $K$  指向 2 时, 由示波器测出  $U_{BC}$  为总电压, 使  $U_{BC} = 1\text{ V}$ , 当  $K$  指向 1 时, 调节信号源频率为

$500\text{ Hz}$ , 用示波器测出  $U_{AC}$  大小, 并记录。始终保持  $U_{BC}$  即电源电压为  $1\text{ V}$ , 当改变信号源频率依次记录该频率下对应的  $U_{AC}$  的数值, 记录数值见表 1。

根据记录数值画出  $f - U_{AC}$  曲线

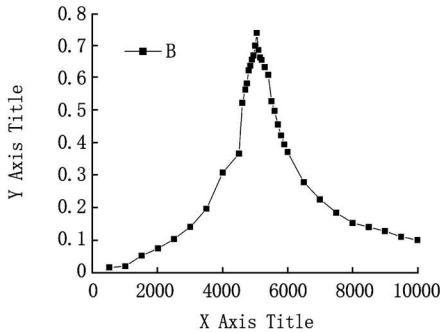


图 3  $f - U_{AC}$  曲线

表 1 测量串联电路黑匣子内部元器件参数数据表

$f/\text{Hz}$	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000
$U_{AC}/\text{mV}$	14. 847	19. 089	51. 611	74. 235	102. 515	140. 693	197. 253	308. 959
$f/\text{Hz}$	4 500	4 600	4 700	4 750	4 800	4 850	4 900	4 950
$U_{AC}/\text{mV}$	367. 64	524. 948	565. 043	585. 043	625. 695	639. 835	659. 278	671. 650
$f/\text{Hz}$	5 000	5 050	5 100	5 150	5 200	5 300	5 400	5 500
$U_{AC}/\text{mV}$	701. 698	742. 350	689. 325	666. 348	657. 510	636. 300	611. 555	530. 25
$f/\text{Hz}$	5 600	5 700	5 800	5 900	6 000	6 500	7 000	7 500
$U_{AC}/\text{mV}$	499. 668	457. 783	424. 200	395. 92	372. 265	279. 265	226. 24	184. 527
$f/\text{Hz}$	8 000	8 500	9 000	9 500	10 000			
$U_{AC}/\text{mV}$	152. 712	139. 986	126. 553	110. 999	100. 045			

由图象可以看出当频率为  $5\ 050\text{ Hz}$  时,  $U_{AC}$  有最大值, 对应的  $U_{AC} = 742. 350\text{ mV}$ , 则

$$U_{AC\text{有效}} = \frac{U_{AC}}{\sqrt{2}} = 524. 841\text{ mV}$$

有图象中可得  $U_{AC\text{有效}}$  对应的频率:

$$f_1 = 5\ 050\text{ Hz} \quad f_2 = 4\ 600\text{ Hz}$$

$$Q = \frac{f_0}{f_1 - f_2} = \frac{5\ 050}{5\ 500 - 4\ 600} = 5. 61$$

由  $I_0 = \frac{U_R}{R}$ ,  $I_0 = \frac{U_0}{R + R_X}$ , 则  $\frac{U_R}{R} = \frac{U_0}{R + R_X}$ 。

所以  $R_X = \frac{U_0}{R} \cdot R = \frac{U_0 R}{U_R} - R = 17. 35\ \Omega$ 。

$Q = \frac{\omega_0 L}{R + R_X}$ , 而  $\omega_0 = 2\pi f_0$ 。所以得电感的参数为:

$$\begin{aligned} L &= \frac{Q(R + R_X)}{\omega_0} = \frac{Q(R + R_X)}{2\pi f_0} \\ &= \frac{5. 61 \times (50 + 17. 35)}{2 \times 3. 14 \times 5\ 050} = 0. 011\ 91\text{ H} \end{aligned}$$

又  $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ , 所以得出电容的参数为:

$$C = \frac{1}{\omega_0 L} = 0. 008\ 43\ \mu\text{F}$$

②测量并联谐振电路黑匣子中元器件的参数。

先将一阻值为  $2\ 000\ \Omega$  的电阻与黑匣子串联后, 通过一单刀双掷开关与音频信号发生器相连, 并在  $A, B$  间接一示波器, 电路图见图 4。

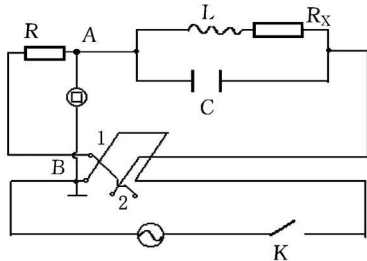


图 4 并联电路

由电路图 4 可知, 当双向开关连接 1 时, 示波器测试的是  $U_R$  两端电压, 当双向开关连接 2 时, 示波器测试的是  $U_C$  两端电压。先将开关连接 1, 使  $U_R$  两端电压为  $1\text{ V}$ , 再将开关连接 2, 调节频率为  $3\ 000\text{ Hz}$ , 测出  $U_C$  两端电压, 使始终保持  $U_R$  为  $1\text{ V}$ , 依次调节频率测出  $U_C$  的值, 并记录数值见表 2。

表2 测量并联电路黑匣子内部元器件参数数据表

$f/\text{Hz}$	3 000	3 500	4 000	4 500	4 600	4 700	4 800
$U/\text{mV}$	135.744	212.1	341.481	567.368	836.028	1067.57	1343.3
$f/\text{Hz}$	4 900	5 000	5 100	5 200	5 300	5 400	5 500
$U/\text{mV}$	1 636.705	1 965.46	1 802.85	1 406.93	1 088.78	926.17	783.003
$f/\text{Hz}$	6 000	6 500	7 000	7 500	8 000		
$U/\text{mV}$	441.875	286.335	197.96	183.82	113.474		

根据记录数值画出  $U_R-U_C$  图象图:

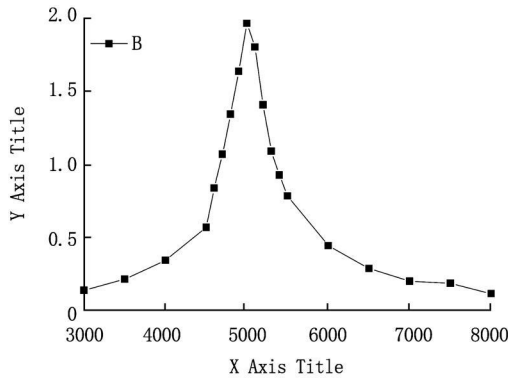


图5  $U_R-U_C$  曲线

由图象可知当频率为5 000 Hz时,  $U_C$  有最大值, 也就是当  $f_0 = 5\,000\text{ Hz}$  时, 则  $U_C = 1\,965.46\text{ mV}$ ,  $U_{C\text{有效}} = 1\,389.580\text{ mV}$ 。而  $U_C$  和  $U_{C\text{有效}}$  对应的频率为  $f_1 = 4\,800\text{ Hz}$ ,  $f_2 = 5\,200\text{ Hz}$ 。

则  $Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{5\,000}{5\,200 - 4\,800} = \frac{5\,000}{400} = 12.5$

又由  $Q = \frac{I_C}{I_R}$ , 而  $I_C = \frac{U_C}{\frac{1}{W_0 C}} = U_C W_0 C$ ,  $I_R = \frac{U_R}{R}$ ,

$\therefore C = \frac{Q U_R}{U_C R \omega_0}$   
 $= \frac{12.5 \times 1}{1.965 \times 2\,000 \times 2 \times 3.14 \times 5\,000}$   
 $= 0.1012 \times 10^{-6}\text{ F}$

即:  $C = 0.1012\text{ }\mu\text{F}$

又  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ,  $\therefore L = \frac{1}{\omega_0^2 C}$ ,  $\omega_0 = 2\pi f_0$

$\therefore L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C}$   
 $= \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 5\,000)^2 \times 0.1012}$   
 $= 0.01002\text{ H}$

又  $Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{\omega_0 L}{R_X}$ ,  
 $\therefore R_X = \frac{\omega_0 L}{Q} = \frac{2\pi f_0 L}{Q} = 25.170\text{ }\Omega$

4 结束语

本实验要求实验者对电磁学的基本概念和实验现象掌握的很清楚。本实验在学生不知道黑匣子内部电路的情况下, 让学生自己通过实验得出内部是什么电路并确定其内部电学元件的参数值, 能培养学生独立思考, 自己动手的能力, 以及勇于克服困难的优秀品质, 也是对教学方法改革的初步尝试。

参考文献:

[1] 杨述武. 普通物理实验(电磁学部分)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.  
[2] 王文颖. LRC 电路谐振法应用的实验[J]. 华东师范大学物理系, 1997.  
[3] 朱世嘉等. 奥林匹克设计性实验题解荟萃[M]. 北京: 北京大学出版社, 1996.  
[4] 宋友林, 叶翠珍, 张明亮. LRC 谐振电路频率特性的解析推导[J]. 教育学院学报, 2003.

Design and Solution of the Black Box Experiment

GUAN Weir cui

(Beihua University, Jilin, Jilin 132013)

**Abstract:** The paper presents a design of black box experiment for judging series and parallel resonance, and provides the test scheme. The parameter values of the components in the black box can be found through the test data. Also, the paper points out the superiority of this design in teaching.

**Key words:** black box; resonance; oscilloscope