



电阻箱 R 对串联谐振电路中 Q 值测量精度的影响

颜秋林 吴先球

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 511400)

(收稿日期:2017-04-08)

摘要:串联谐振电路在交流电压作用下,电感箱和电容箱存在损耗电阻,而通过对串联电路中电阻箱的阻值 R 的选择,可以降低电感箱和电容箱损耗电阻对 Q 值测量的影响,从而提高 Q 值测量的精确度,甚至在较高频率的串联谐振电路里也可使 Q 值测量值和准确值的百分误差 $E(Q)$ 低于 1%。

关键词:串联谐振 电阻箱 R 值 Q 值 测量精度

RLC 串联谐振电路广泛用于电路选频,它的品质因数 Q 反映了谐振曲线的尖锐程度和选频率性能,但由于电感箱和电容箱在交流电压作用下存在不可忽略的损耗电阻,使得 RLC 串联谐振电路中 Q 值的测量误差总是过大.对此,已经有许多文献在实验方法上进行改进.比如文献[1]提出在电路中串入一电流表来计算谐振电流,继而求出交流损耗电阻便于 Q 值的计算,这种方法确实提高了 Q 值的测量精度,但所用电表级别较高不为一般的实验室所具有.又比如文献[2]通过对谐振时 L 和 C 两端的总电压降即为 L 和 C 总的串联损耗电阻在电路中的电压降,以此来修正 Q 值的理论值,虽然较好地解决了较高频率时 Q 值的测量值与计算值偏离较大的问题,但随着频率的增加误差还是会逐渐变大.为此,本文提出通过改变串联在电路中的电阻箱的阻值 R ,降低交流损耗电阻对 Q 值测量的影响,从而提高 Q 值测量的精度.

1 实验原理及方法

谐振时,通常用品质因数 Q 来反映谐振电路的固有性质,且常常考虑电感器的直流电阻 r_R 和电源的内阻对电路的影响,因而计算品质因数 Q 的公式如下^[3]

$$Q_{\text{测}L} = \sqrt{\left(\frac{U_L}{U_S}\right)^2 - \left(\frac{r_R}{R+r_R}\right)^2} \quad (1)$$

$$Q_{\text{理}} = \frac{1}{R+r_R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

式中 U_S 为路端电压.

虽然实验过程中已排除电感直流电阻 r_R 对 Q 值测量精度的影响,但没有考虑到实际的电感器和电容器存在交流损耗,因而设电感器的直流电阻为 r_R ,损耗电阻为 r_L ,电容器的损耗电阻为 r_C .

谐振电流

$$I_0 = \frac{U_S}{R+r_R+r_L+r_C} \quad (3)$$

电感器上的电压

$$U_{L_0} = (r_R+r_L+j\omega_0 L)I_0 = \left(\frac{r_R+r_L}{R+r_R+r_L+r_C} + jQ\right)U_S \quad (4)$$

由此可知,品质因数的理论值

$$Q_{\text{理}L} = \sqrt{\left(\frac{U_L}{U_S}\right)^2 - \left(\frac{r_R+r_L}{R+r_R+r_L+r_C}\right)^2} \quad (5)$$

所以由式(1)测量值中的 $\frac{r_R}{R+r_R}$ 和由式(5)理论值

中的 $\frac{r_R+r_L}{R+r_R+r_L+r_C}$ 的差距是造成 Q 值的测量值和理论值之间的偏差与 R 值有关的原因,差距用 Δ 表示

$$\Delta = \frac{r_R+r_L}{R+r_R+r_L+r_C} - \frac{r_R}{R+r_R} \quad (6)$$

令差距 Δ 的一阶导数 $\Delta' = 0$ 得

作者简介:颜秋林(1993-),女,在读研究生,研究方向为信息技术在物理实验中的应用.

指导教师:吴先球(1968-),男,博士,教授,研究方向信息技术在物理实验中的应用、核磁共振技术及其应用研究.

$$R = \frac{2r_R r_C \pm \sqrt{4r_R^2 r_C^2 + 4r_L r_R y}}{2r_L} \quad (7)$$

$$y = (r_L + r_C)^2 + r_R r_L + 2r_R r_C \quad (8)$$

取 R 的正值部分, 此时差距 Δ 的二阶导数 $\Delta'' > 0$, 所以随着 R 值的增大, Q 测量值与理论值之间的差距先减小而后增大, 也就是说存在一个 R 值使得品质因数百分误差 $E(Q)$ 有最小值. 同时, 用 Origin 对公式(6) 进行拟合, 得到图 1 中 Δ 与 R 之间的关系, 如上所说.

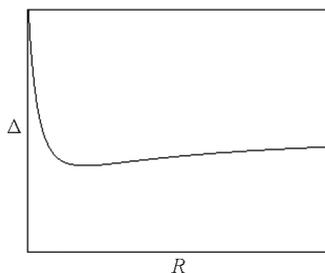


图 1 Δ 与 R 之间的关系

2 实验数据及结果分析

按电阻箱、电感器、电容器串联形成电路, 分别取以下 4 种情况: $L=0.1 \text{ H}, C=0.3 \text{ mF}$; $L=0.02 \text{ H}, C=0.1 \text{ mF}$; $L=0.04 \text{ H}, C=0.1 \text{ mF}$; $L=0.06 \text{ H}, C=0.1 \text{ mF}$. 在每一种情况之下, 取不同的电阻 R 值, 记录电感 L 的直流电阻 r_R , 谐振时电感 L 两端的电压 U_L 以及路端电压 U_S , 运用修正后的式(1) 和式(2) 分别计算其品质因数测量值和理论值进而计算其百分误差 $E(Q)$ 进行比较.

2.1 实验数据

实验数据如图 2 所示. 谐振频率 f 分别为 1 591 Hz, 2 054 Hz, 图 3 的谐振频率分别为 2 516 Hz, 3 558 Hz.

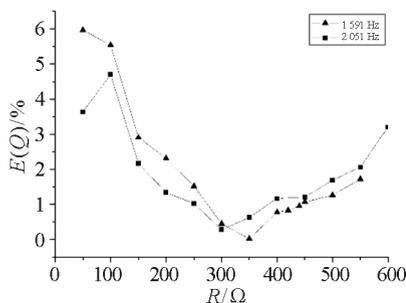


图 2 频率为 1 591 Hz 和 2 054 Hz 下 $E(Q)$ 与 R 之间的关系

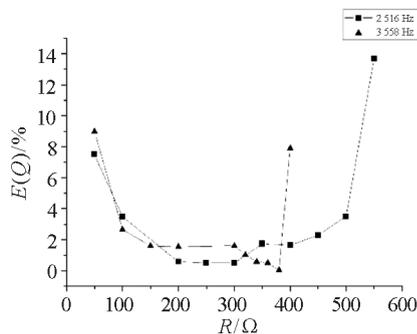


图 3 频率为 2 516 Hz 和 3 558 Hz 下 $E(Q)$ 与 R 之间的关系

2.2 实验结果分析

通过实验结果可以看出, 随着电阻箱 R 值的增加, Q 值的测量值和理论值之间的偏差会先下降后上升. 但不管在低频阶段还是在高频阶段, 均能找到一个 R 值使得 $E(Q)$ 低于 1%. 对此, 给出的解释是: 随着 R 值的不断增加, 电感器和电容器的交流损耗电阻占总电阻的比例较小, 对 Q 值的影响比较小, 所以 $E(Q)$ 越来越小; 而当 R 值增加到一定的水平之后, 交流电路中的电流较小, 电感器和电容器的交流损耗电压所占比重已不可忽略, 对 Q 值的影响比较大, 所以 $E(Q)$ 越来越大.

表 1 不同谐振频率下 R 选取的最佳值

谐振频率 f/Hz	$E(Q)$ 低于 1% 时 R 值范围 / Ω	R 最佳值 / Ω
1 591	300 ~ 450	300 附近
2 054	250 ~ 400	
2 516	200 ~ 300	
3 558	300 ~ 400	

从表 1 可以看出, 不同频率的串联谐振电路中, Q 值的测量值和理论值之间的偏差 $E(Q)$ 低于 1% 时, 电阻箱 R 的取值范围是比较相近的:

谐振频率为 1 591 Hz 时, R 取值为 300 ~ 450 Ω ; 谐振频率为 2 054 Hz 时, R 取值为 250 ~ 400 Ω ; 谐振频率为 2 516 Hz 时, R 取值为 200 ~ 300 Ω ; 谐振频率为 3 558 Hz, 取值为 300 ~ 400 Ω . 所以当电阻箱 R 取值为 300 Ω 附近时, 不同频率的串联谐振电路中 Q 值测量值和理论值之间的偏差 $E(Q)$ 都比较小.

3 结束语

从公式推导和实验结果均可以看出,电阻箱 R 值的选取对 Q 值测量的精确度影响还是较大的,即使在较高频率的电路中,选择恰当的 R 值也能使 Q 值测量的百分误差下降到 1% 以下,因此建议实验中电阻箱 R 值的选取要在 $300\ \Omega$ 附近,这对于提高 Q 值的测量精度还是具有现实意义的.

参考文献

- 1 聂映中. 提高 RLC 串联谐振中 Q 值的测量精度. 大学物理, 1997(03): 30, 33 ~ 34
- 2 李兴毅, 高金辉, 陈运保, 等. RLC 串联谐振电路 Q 值的一种修正方法. 河南师范大学学报(自然科学版), 2004(03): 118 ~ 120
- 3 赵平华, 贺晓华. RLC 串联谐振电路的研究. 大学物理实验, 2012(12)

Influence of Resistor Box R on Measurement Accuracy of Q Value in Series Resonant Circuit

Yan Qiulin Wu Xianqiu

(Department of Physics, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 511400)

Abstract: Under the effect of alternating current, the inductor and the capacitance in series resonance involve loss. Through the choose of a standard dial resistor's R value, measuring precision of Q value can be proved, even in the high frequency circuit, percentage error can be less than 1%.

Key words: series resonance; resistance box R value; Q value; measuring precision

(上接第 6 页)

Application Analysis on Blended Teaching in the University Physics Experiment

Jiang Fengchun

(School of Physics and Electronic Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002)

Lu Xueyan

(Gilight Education Technology Co., Ltd, Zhengzhou, Henan 450002)

Wu Jie Li Junyu

(School of Physics and Electronic Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract: To promote the teaching reform of "University Physics Experiments" course under the background of "Internet + education", this study combines the Sakai e-learning space to carry out the mixed teaching activities. We compared blended teaching with traditional teaching to determine the change and impact on students brought by blended teaching. The result shows that this teaching practice not only reduces the workload of teachers, but also provide insights on students learning results by quantifying their learning activities, so that offline guidance can be better targeted. Meanwhile, Students improve their self-learning ability through online learning.

Key words: Sakai e-learning space; college physics experiment; blended teaching; teaching management