

# 基于频率响应法的RLC串联电路参数的测量

曲 韵, 田社平, 陈洪亮

(上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

**摘 要:** 本文通过频率响应法给出了RLC串联电路参数的测量方法。频率响应与RLC串联电路参数之间呈现非线性关系, 通过变量代换得到了线性拟合模型, 从而简化了求解过程。基于Multisim的仿真计算结果和基于实际测量的计算结果表明, 本文方法作为RLC串联电路参数的测量方法简单可行。

**关键词:** RLC串联电路; 频率响应; Multisim

**中图分类号:** TM13

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-0686(2009)03-0053-03

## Measurement of RLC Series Circuit Using Frequency Response Method

QU Yun, TIAN She-ping, CHEN Hong-liang

(School of Electrical and Electronic Eng., Shanghai Jiao Tong Univ., Shanghai 200240, China)

**Abstract:** Measurement of parameters of RLC series circuits is discussed in this paper. The relationship between frequency response and parameters of RLC series circuits is nonlinear and variable transforms are applied to get linear fitting model. Multisim simulation results and real experimental results show that above method is easy and practical.

**Keywords:** RLC series circuit; frequency response; Multisim

RLC串联电路是电路理论中一个重要内容, 为了设计满足电路响应要求的RLC串联电路, 必须选择合适的元件参数。同样, 对一个已经存在的RLC串联电路, 测量电路中的RLC参数, 也是在实际中经常遇到的问题。参数的测量可以采用RLC测量仪器对每种元件进行单独的测量<sup>[1,2]</sup>, 但当RLC串联电路已经连接在电路中, 则无法进行单独的元件参数测量, 此时必须通过测量RLC串联电路的端口特性, 间接地计算出各元件参数。

本文基于频率响应法给出了RLC串联电路参数的测量方法。采用Multisim的仿真计算结果和基于实际测量的计算结果表明, 本文的方法具有简单可行的特点, 可以作为RLC串联电路参数的测量

方法。

### 1 基于频率响应法的RLC参数测量

如图1所示的串联电路中, 元件参数 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 未知。电路端口的频率特性为

$$\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (1)$$

式中,  $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$  为端口电压和电流相量;  $\omega$  为激励角频率。由式(1)可得相应的幅值特性为

$$\left| \frac{\dot{U}}{\dot{I}} \right| = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (2)$$

当上式角频率  $\omega$  取不同值  $\omega_i (i = 1, 2, \dots, n)$  时, 有:

收稿日期: 2008-10-15; 修回日期: 2008-11-29 基金项目: 上海交通大学 PRP 项目资助

作者简介: 曲 韵(1986-), 男, 电子信息与电气工程学院在读本科生;

田社平(1967-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电路理论和动态检测技术等教学和科研工作, E-mail: sptian@stu.edu.cn

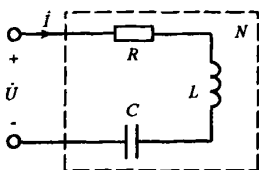


图 1 RLC 串联电路

$$\left| \frac{U}{I} \right|_{\omega=\omega_i} = \sqrt{R^2 + (\omega_i L - \frac{1}{\omega_i C})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

令

$$z_i = \left( \left| \frac{U}{I} \right|_{\omega=\omega_i} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

则有:

$$z_i = R^2 - 2L/C + \omega_i^2 L^2 + 1/\omega_i^2 C^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式(5)是关于  $R, L, C$  的非线性方程。令  $x_1 = L^2, x_2 = R^2 - 2L/C, x_3 = 1/C^2$ , 则有:

$$z_i = x_1 \omega_i^2 + x_2 + x_3 / \omega_i^2 \quad (6)$$

令  $y_i = z_i \omega_i^2 (i = 1, 2, \dots, n)$ , 则式(6)变为一个关于  $\omega_i^2$  的一元二次方程, 即:

$$y_i = x_1 \omega_i^4 + x_2 \omega_i^2 + x_3 \quad (7)$$

令

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} \omega_1^4 & \omega_1^2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_n^4 & \omega_n^2 & 1 \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

则式(7)可写成矩阵形式:

$$y = Ax \quad (8)$$

采用最小二乘法求解式(8)中的  $x$ , 得

$$x = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (9)$$

定义估计标准偏差为

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 / (n-3)} \quad (10)$$

式中,  $\hat{y}_i (i = 1, 2, \dots, n)$  为实际测得值。

当解得  $x = [x_1, x_2, x_3]^T$  后, 即可得到元件参数  $R, L, C$  的值为

$$L = \sqrt{x_1}, C = \sqrt{1/x_3}, R = \sqrt{x_2 + 2L/C} \quad (11)$$

由上面的推导可得采用频率响应法测量参数的步骤如下:

(1) 在图 1 所示电路的端口加接正弦电压源, 同时接入测量端口电流有效值的电流表。

(2) 改变电压源的激励频率  $f_i$ , 记录电压和电流有效值。

(3) 由式(4)和式(7)计算得到  $y_i$ , 同时由  $\omega_i =$

$2\pi f_i$ , 利用式计算向量  $y$  和矩阵  $A$ 。由式(9) 计算得到  $x = [x_0, x_1, x_2]^T$ , 由式(11) 计算元件参数  $R, L$  及  $C$  的值。

## 2 Multisim 仿真实验

为验证本文方法的正确性, 采用电路仿真软件 Multisim 进行仿真测量, 仿真电路如图 2 所示, 其中  $R=1\text{k}\Omega, L=1\text{H}, C=1\mu\text{F}$ 。通过函数信号发生器 XFG1 产生不同频率的正弦波激励, 通过数字万用表 XMM1 和 XMM2 分别测量端口电流和电压的有效值, 同时用示波器 XSC1 观察端口电压波形。这里, 激励电压的振幅取  $20\text{V}$ , 故  $U=14.142\text{V}$ 。

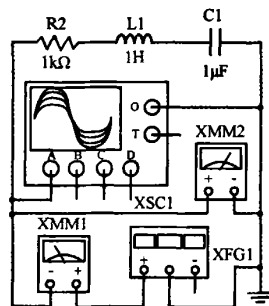


图 2 Multisim 仿真实验电路

仿真测试数据如表 1 所示, 通过计算可得到  $x = [1.021, -1.091 \times 10^6, 1.083 \times 10^{12}]^T$ , 估计标准偏差为  $\sigma = 0.044$ 。由式(11)得到的 RLC 参数估计结果为:  $R=1000.13\Omega, L=0.9973\text{H}, C=0.96\mu\text{F}$ 。

表 1 仿真测试数据 ( $U=14.142\text{V}$ )

序号	$f_i (\text{Hz})$	$\omega_i (\text{rad/s})$	$I (\text{mA})$	$y_i (\Omega^2 \text{rad}^2 / \text{s}^2)$
1	75	471.24	6.771	8.27056E+11
2	100	628.32	10.186	7.60985E+11
3	125	785.40	12.711	7.63561E+11
4	150	942.48	14.045	9.0058E+11
5	175	1099.56	13.895	1.2524E+12
6	200	1256.64	12.845	1.91415E+12
7	225	1413.72	11.552	2.99526E+12
8	250	1570.8	10.332	4.62269E+12
9	275	1727.88	9.286	6.92455E+12
10	295	1853.54	8.565	9.36640E+12

由计算结果可知: 仿真实验能够较为精确地估计出 RLC 电路参数值。由于仿真实验的条件较为理想, 估计的标准差也非常小。在得到 RLC 参数值后, 不难求出 RLC 电路的其他特性参数, 如由上述结果可得到 RLC 电路的谐振频率为  $f_0 = 1/(2\pi \sqrt{LC}) = 159\text{Hz}$ 。

3 实验测量结果

在仿真实验的基础上进行了实际电路的测量实验。RLC 串联电路标称参数取  $R=200\Omega$ ,  $L=220\mu\text{H}$ ,  $C=0.1\mu\text{F}$ 。采用的测量仪器为 DF1641A 函数信号发生器、TDS200 数字式示波器及 UT804 台式万用表。

为了简化测量过程,信号发生器的正弦电压有效值固定为 19.8V。表 2 给出了部分测量结果。经过计算,得到  $x=[4.844\times10^{-8},3.486\times10^4,1.153\times10^{14}]^T$ ,估计标准偏差为  $\sigma=3.488$ 。得到的 RLC 参数估计结果为: $R=199.00\Omega$ ,  $L=220.09\mu\text{H}$ ,  $C=0.093\mu\text{F}$ 。该 RLC 电路的谐振频率为  $f_0=35\text{kHz}$ 。

表 2 部分实验测量数据( $U=19.8\text{V}$ )

序号	$f_i(\text{Hz})$	$\omega_i(\text{rad/s})$	$I(\text{mA})$	$y_i(\Omega^2\text{rad}^2/\text{s}^2)$
1	11.4	7.1592E+04	82.46	2.9551E+14
2	16.5	1.0362E+05	92.17	4.95494E+14
3	20.7	1.3000E+05	96.01	7.18716E+14
4	24.2	1.5198E+05	97.79	9.46873E+14
5	30.9	1.9405E+05	99.29	1.49746E+15
6	36.0	2.2608E+05	99.54	2.02236E+15
7	40.7	2.5560E+05	99.24	2.60055E+15
8	46.6	2.9265E+05	98.54	3.45777E+15
9	58.5	3.6738E+05	96.30	5.7057E+15
10	75.2	4.7226E+05	92.11	1.03056E+16
11	100.4	6.3051E+05	84.86	2.16427E+16

4 结语

本文讨论了基于频率响应法给出了 RLC 串联

电路参数的测量方法,从仿真实验和实际电路实验的结果可以看出,该方法是可行的。在电路实验中,RLC 的标称值本身就有一定的误差,而且在实际测量中不可能完全考虑到电路其它部分对 RLC 的影响,如导线电阻、各种电表的内阻以及探头和接线处的接触电阻等,因此实验数据不如仿真实验精确。

RLC 串联电路实际上构成了一个 LC 选频网络(或称谐振电路),由电路幅频响应通带和阻带的制约<sup>[4]</sup>,在相同的激励电压下,电流-频率曲线中只有谐振点附近一部分频率区间(过渡带)上电流才有明显变化,在实际实验中,应尽可能让测量点选在端口电流变化较大的区间,也就是过渡带上。

采用本文方法还可以测量等效 RLC 串联电路的等效参数,即将一个一端口网络等效为 RLC 串联电路,然后测量出 RLC 的值。

参考文献:

[1] 任斌,余成,陈卫等.基于频率法和 MCU 的智能 RLC 测量仪研制[J].北京:微机计算机信息,2007(28),129-130,272

[2] 陈庭勋.RLC 串联谐振电路实验误差的分析及改进[J].舟山:浙江海洋学院学报,2001(2),163-166

[3] 李瀚荪.简明电路分析基础[M].北京:高等教育出版社.2002

[4] 陈洪亮,张峰,田社平.电路基础[M].北京:高等教育出版社.2007

[5] J. W. Nilsson, S. A. Riedel. Electric Circuits[M]. seventh edition, NY: Prentice Hall, 2005

(上接第 52 页许庆涛等文)

参考文献:

[1] Rinder P and Bertelsen N. Design of a single frequency GPS software receiver [D]. Alborg University, 2004

[2] Starzyk J A, Zhu Z. Averaging correlation for C/A code acquisition and tracking in frequency domain [C]. MWSCS Conf. Fairborn, Ohio, 2001

[3] Deuk Jae Cho, Chansik Park and Sang Jeong Lee. An assisted GPS acquisition method using L2 civil signal in weak signal environment [J]. Journal of Global Positioning Systems, 2004, 3(1-2): 25-31

[4] Yu T. Morton, Mikel Miller, James Tsui, et al. GPS civil signal self-interference mitigation during weak signal acquisition [J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2007, 55 (12): 5859-5863

[5] Heung Choi, Sang Hyun Park, Deuk Jae Cho, et al. A novel weak signal acquisition scheme for assisted GPS [C], ION GPS, 2002

[6] Wei Yu, Bo Zheng, Rob Watson, et al. Differential combining for acquiring weak GPS signals [J]. Signal processing, 2007 (87): 824-840