

示波器测电感的方法研究

任丽英

(忻州师范学院物理电子系,山西 忻州 034000)

摘要:从电感的定义及 RL 串联电路、 LC 谐振电路的基本性质出发,设计了示波器测电感的5种方法,以0.01 H标准电感作为待测电感进行实验,验证了这5种方法的正确性和可行性,并就误差产生的原因、频率和电阻的取值原则、测量方法进行了讨论。

关键词:示波器;电感;电阻;电容

中图分类号:TM934.4

文献标志码:A

Study of Inductance Measurement with an Oscilloscope

REN Li-ying

(Department of Physics and Electronic, Xinzhou Teachers University, Xinzhou 034000 China)

Abstract: Based on the definition of inductance and the properties of RL series circuit and LC resonant circuit, five methods are designed for measuring inductance with an oscilloscope in this paper. Standard inductance is regarded as measured inductance in the experiments by which the correctness and feasibility of the methods are demonstrated. The causes leading to error, the principles of determining frequency and resistance and measuring method are discussed.

Key words: oscilloscope; inductance; resistance; capacitance

电感器是电子设备中大量使用的元件之一。电感是电感器的一个重要参数,实验室常用的测量电感的方法有交流电桥法^[1-2]、谐振法^[3-5]、数字万用表法^[6-8]等。近年来,随着电子测量技术的发展,人们研究用示波器测电感,已得到如下可行的实验方案。

1) 利用示波器测定 RL 串联电路放电电流曲线,计算曲线与坐标轴所包围的面积得到放电过程迁移的电量 Q ,根据电感 L 与电量 Q 的关系确定电感值^[9]。

2) 利用示波器测定 RL 串联电路的路端电压最大值 U_m 、电阻两端电压最大值 U_{Rm} 及路端电压与电阻两端电压的相差 α ,根据 RL 串联电路的幅频特性和相频特性列出方程组,解方程组确定电感值和损耗电阻^[10]。

3) 将待测电感和电阻箱串联,用示波器将电阻两端的电压 u_R 和电感两端的电压 u_L 合成圆形李萨如图形,由两电压的幅值比确定电感值;将可调电

感、待测电感、电阻箱串联,用示波器将可调电感和电阻两端的电压 u_R 、待测电感两端的电压 u_L 叠加为直线,则待测电感值等于可调电感值^[11]。

4) 对于 RLC 串联谐振电路,利用示波器判定谐振频率,测定谐振时路端电压和电阻两端电压的幅值比,由谐振频率公式确定电感值,由谐振时电压幅值比确定损耗电阻;对于 RLC 并联谐振电路,利用示波器判定谐振频率,由谐振时的相位关系和频率公式列出方程组,解方程组得到电感值和损耗电阻^[5]。

在综合设计实验的教学实践中笔者发现,从电感的定义及 RL 串联电路、 LC 谐振电路的基本性质出发,还可以设计5种示波器测电感的方法,这些方法与大学物理的基础实验紧密衔接,实验操作更为简单,数据处理更为简洁。这5种方法只用 RL 串联电路和 LC 谐振电路进行测量,便于培养学生的创新思维能力。

收稿日期:2010-12-08

作者简介:任丽英(1969-),女,副教授,硕士,主要研究方向为大学物理。E-mail: xzsy_rly@163.com

1 测电感和电阻两端峰值电压

1.1 实验原理

设 i 代表 RL 串联电路的电流, u 和 v 分别代表电感和电阻两端电压, 根据电感的定义 $u = L \frac{di}{dt}$, 有

$$i = \frac{1}{L} \int u dt \quad (1)$$

于是

$$i = \frac{v}{R} = \frac{1}{L} \int u dt, \quad (2)$$

设 U_{pp} 和 V_{pp} 分别代表电感和电阻两端电压的峰—峰值, U_m 和 V_m 分别代表电感和电阻两端电压的最大值, 则

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2}, U_m = \frac{U_{pp}}{2} \quad (3)$$

设电路中通入的为正弦交流电

$$u = U_m \cos \omega t \quad (4)$$

将式(4)代入式(2), 得

$$\frac{v}{R} = \frac{1}{L} \int U_m \cos \omega t dt = \frac{1}{\omega L} U_m \sin \omega t \quad (5)$$

当 $\sin \omega t = 1$ 时, 上式变为

$$\frac{V_m}{R} = \frac{1}{\omega L} U_m \quad (6)$$

将(3)式代入(6)式得

$$L = \frac{RU_{pp}}{\omega V_{pp}} \quad (7)$$

1.2 实验内容

1) 按图 1 连接电路, 调节信号发生器使其输出频率为 1 kHz、幅度为 1 V 的正弦波信号。

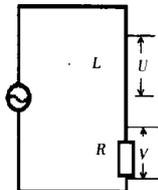


图 1 测电感和电阻两端峰值电压图

2) 用示波器分别测出电感和电阻两端的电压峰—峰值 U_{pp} 和 V_{pp} 。

3) 改变信号发生器的输出频率, 重复以上测量。

1.3 实验结果

实验结果如表 1 所示。

测量平均值为 $\bar{L}_x = 0.0099 \text{ H}$;

实验标准偏差为 $s(L_x) = 0.0003 \text{ H}$;

测量结果为 $L_x = (0.0099 \pm 0.0003) \text{ H}$ 。

表 1 测电感和电阻两端峰值电压实验数据表

f/kHz	U_{pp}/V	V_{pp}/V	L_x/H
1	3.50×0.1	5.80×0.1	0.00961
2	5.82×0.1	4.80×0.1	0.00965
3	7.22×0.1	3.90×0.1	0.00983
4	4.20×0.2	3.20×0.1	0.0104
5	4.24×0.2	2.68×0.1	0.0101
6	4.40×0.2	2.34×0.1	0.00998

注: $L = 0.01 \text{ H}$, $R = 100 \Omega$ 。

2 测电感的最大电压和电阻电压的变化率

2.1 实验原理

将 $i = \frac{v}{R}$ 代入电感的定义 $u = L \frac{di}{dt}$, 得到

$$L = \frac{uR}{dv/dt} \quad (8)$$

在 $\frac{dv}{dt}$ 最大时, u 也取最大值, 故测出电感电压最大值和电阻电压的最大变化率即可求出电感值。

将(3)式中 $U_m = \frac{U_{pp}}{2}$ 代入(8)式得:

$$L = \frac{U_{pp}R}{2 \frac{dv}{dt}} \quad (9)$$

2.2 实验内容

1) 按图 1 连接电路, 调节信号发生器使其输出频率为 1 kHz, 幅度为 3 V 的正弦信号。

2) 测出电感两端的电压峰—峰值 U_{pp} 和 V_{pp} 及电阻上电压轨迹的最大斜率。

3) 改变信号发生器的输出频率, 重复以上测量。

2.3 实验结果

电感最大电压和电阻电压变化率实验数据如表 2 所示。

表 2 测电感最大电压和电阻电压变化率实验数据表

f/kHz	U_{pp}/V	dv/mV	$dt/\mu\text{s}$	L_x/H
1	4.76×0.2	1.92×50	4.00×5	0.00992
2	3.20×0.5	3.20×50	4.00×5	0.0100
3	4.02×0.5	1.60×50	4.00×2	0.0100
4	4.50×0.5	1.68×50	4.00×2	0.0107
5	4.76×0.5	1.76×50	4.00×2	0.0108
6	4.90×0.5	1.92×50	4.00×2	0.0102

注: $L = 0.01 \text{ H}$, $R = 100 \Omega$ 。

测量平均值为 $\bar{L}_x = 0.0103 \text{ H}$;

实验标准偏差为 $s(L_x) = 0.0004 \text{ H}$;

测量结果为 $L_x = (0.0103 \pm 0.0004) \text{ H}$;

3 测 RL 电路电流和电源电压的相位差

3.1 实验原理

RL 串联电路的电流与电源电压的相位差为

$$\Delta\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} \quad (10)$$

设示波器上电压和电流波形的水平间隔为 Δt , $\omega\Delta t$ 便是电流及电压二者的相位差 $\Delta\varphi$, 即

$$\omega\Delta t = \arctan \frac{\omega L}{R} \quad (11)$$

于是

$$L = \frac{R \tan(\omega\Delta t)}{\omega} \quad (12)$$

测出 Δt , 根据上式就可得到电感值。

3.2 实验内容

1) 按图 2 连接电路, 调节信号发生器使其输出频率为 1 kHz、幅度为 1V 的正弦波信号。

2) 调节示波器, 使两个轨迹都显示出一个完整的波形(见图 2), 在水平上测出两个波形的时间差 Δt , $\omega\Delta t$ 便是电流及电压二者的相位差。

3) 改变信号发生器的输出频率, 重复以上测量。

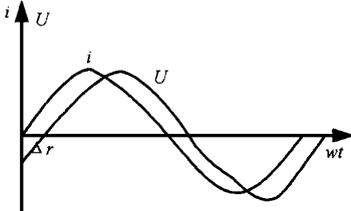


图 2 电流电压波形图

3.3 实验结果

测得的 RL 电路电流和电源电压的相位差实验数据如表 3 所示。

表 3 测 RL 电路电流和电源电压的相位差实验数据表

f/kHz	$\Delta t/\mu\text{s}$	L_x/H
1	1.80×50	0.0101
2	1.44×50	0.0101
3	1.20×50	0.0112
4	2.30×20	0.00904
5	2.00×20	0.00980
6	1.70×20	0.00892

注: $L=0.01 \text{ H}$, $R=100 \Omega$ 。

测量平均值为 $\bar{L}_x = 0.0099 \text{ H}$;

实验标准偏差为 $s(L_x) = 0.0008 \text{ H}$;

测量结果为 $L_x = (0.0099 \pm 0.0008) \text{ H}$ 。

4 测 LC 谐振电路谐振频率

4.1 实验原理

LC 谐振回路的谐振频率为

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (13)$$

若已知电容 C , 测出谐振频率 f , 则电感 L 可由下式求得

$$L = \frac{1}{4\pi^2 C f^2} \quad (14)$$

4.2 实验内容

1) 按图 3 连接电路。

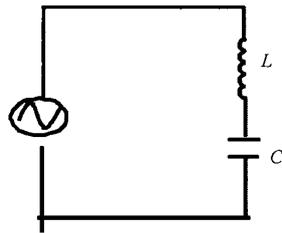


图 3 测 LC 谐振频率

2) 在调节信号发生器的频率的同时观察电感两端电压的变化, 当调到某一频率时, 电压为最大, 记下这个频率值。

3) 改变电容值, 重复以上测量。

4.3 实验结果

测得的 LC 谐振电路谐振频率实验数据如表 4 所示。

表 4 测 LC 谐振电路谐振频率实验数据表

$C/\mu\text{F}$	f/kHz	L_x/H
0.5	2.38	0.00895
0.1	5.03	0.0100
0.05	7.08	0.0101
0.01	15.88	0.0101
0.005	22.23	0.0103
0.001	47.58	0.0112

注: $L=0.01 \text{ H}$ 。

测量平均值为 $\bar{L}_x = 0.0101 \text{ H}$;

实验标准偏差为 $s(L_x) = 0.0007 \text{ H}$;

测量结果为 $L_x = (0.0101 \pm 0.0007) \text{ H}$ 。

5 测定 RL 电路暂态过程的时间常数

5.1 实验原理

如图 4 所示, 当电键 S 打到“1”时, 一个从 0 到 ε 的阶跃电压作用在 LR 电路上, 由于有自感, 回路中电流随时间 t 变化的关系^[12]为:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (15)$$

接通电源后, i 经过一指数增长过程逐渐达到稳定值 $\frac{\varepsilon}{R}$, 令 $I_0 = \frac{\varepsilon}{R}$, $\tau = \frac{L}{R}$, (15) 式变为

$$i = I_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (16)$$

当 $t = \tau$ 时

$$i(\tau) = I_0(1 - e^{-1}) = 0.63I_0 \quad (17)$$

即 τ 等于电流从 0 增加到稳定值的 63% 所需的时间。测出时间常数 τ , 则

$$L = R\tau \quad (18)$$

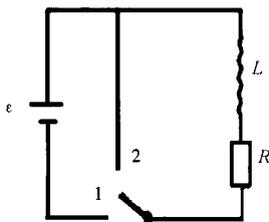


图4 测定 LR 电路暂态过程的时间常数

5.2 实验内容

1) 按图 5 所示电路连接好实验电路。

2) 用函数信号发生器的方波信号来控制电路的闭合和断开, 调整电阻、频率, 使示波器上显示出完整的暂态过程, 通过图象求出时间 τ 。

3) 改变电阻和频率值, 重复以上测量。

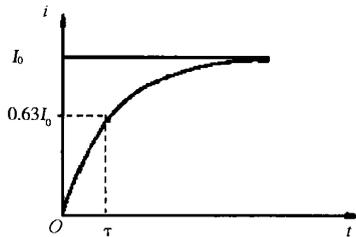


图5 RL 电路接通直流电源后的暂态电流

5.3 实验结果

测得的 LR 电路暂态过程的时间常数实验数据如表 5 所示。

表5 测定 LR 电路暂态过程的时间常数实验数据表

f/kHz	R/Ω	$\tau/\mu\text{s}$	L_x/H
3	300	1.60×20	0.00960
4	400	1.04×20	0.00832
5	500	1.00×20	0.0100
6	600	1.60×10	0.00960
7	700	1.28×10	0.00900
8	800	1.20×10	0.00960

注: $L = 0.01 \text{ H}$ 。

测量平均值为 $\bar{L}_x = 0.0094 \text{ H}$;

实验标准偏差为 $s(L_x) = 0.0003 \text{ H}$;

测量结果为 $L_x = (0.0094 \pm 0.0006) \text{ H}$ 。

6 讨论

6.1 关于实验结果的讨论

多次实验的结果表明, 方法 3, 4, 5 的误差较大。方法 3 误差大, 是因为电流与电压的峰值确定有较大误差, 从而导致两峰时间间隔 Δt 的测定有较大误差; 方法 4 误差大, 是因为测量者对电感两端电压极值的判定和信号发生器频率计显示的谐振频率都有较大误差; 方法 5 误差大, 是因为判定稳态电压值 I_0 、确定图线上 $i = 63\% I_0$ 的点及测定电流从 0 增加到 $63\% I_0$ 的时间都有误差。

6.2 关于频率和电阻取值的讨论

方法 1, 2, 3 都是在给定电阻的情形下, 选择频率进行实验, 频率的选择应保证感抗 ωL 与电阻 R 相当。

方法 5 是在给定频率的情形下, 选择电阻进行实验, 电阻的选取应保证半个周期的时间内, 可以出现稳态曲线, 即保证 $\frac{1}{2f} > 5 \frac{L}{R}$ 成立。

6.3 关于测量方法的讨论

方法 1, 2, 4, 5 中, 电压分度值、扫描分度值的选取应保证所测的数据有效位数为 3 位。

方法 2 中, 为了使测量更为准确, 可增大扫描时间, 并调节示波器的灵敏度, 使电压轨迹呈一线性。

方法 3 中, 为了减小测量误差, 增大扫描灵敏度, 使 2 者的轨迹在过 0 处尽可能分离得远些, 测得这个时间差。

方法 5 中, RL 电路暂态过程的时间常数 τ 也可以用放电过程来求, 已通电的 RL 电路短接后, 电流随时间按指数规律衰减, 设电流的初始值为 I_0 , 当 $t = \tau$ 时, $i(\tau) = 0.37I_0$, 即 τ 等于电流衰减到初始值的 0.37% 时的时间。

7 结束语

本文从电感的定义及 RL 串联电路、LC 谐振电路的基本性质出发, 设计了示波器测电感的 5 种方法, 以 0.01 H 标准电感作为待测电感进行实验, 平均值标准偏差均小于 0.0008 H, 实验结果较为理想。同其他测定电感的方法相比, 示波器测电感所用实验仪器为电磁学实验室的常用仪器, 实验原理、实验装置简单, 实验结果直观。通过实验, 既巩固了大学物理实验课中学到一些原理和方法, 又培养了学生科学严谨的态度和勤于思考、(下转第 81 页)

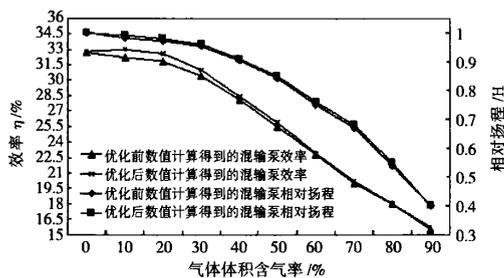


图7 优化前后数值计算得到混输泵外特性曲线

5.2 数值模拟结果分析

从上图中可以看出:优化前动叶背面进口部位容易发生汽液分离区域,影响混输泵效率。优化后的动叶背面压力梯度变小。优化后动叶工作面静压力梯度变小,压力分布均匀。

优化后的静叶工作面与背面压力也较优化前压力分布均匀,叶片对流体的控制能力增强,有效地将动压转化为静压,不易发生边界层分离,泵的效率提高。

6 结论

1)以混输泵增压单元为优化对象,利用神经网络的高度非线性映射能力,建立目标函数与优化变量间的复杂响应关系。

2)根据正交设计表中的效应曲线,得到混输泵最优优化参数间的水平组合,优化后的混输泵水力性能更优。

(上接第76页)

善于动手的习惯,因此,可作为物理专业3、4年级学生的综合设计实验课题。

参考文献

- [1]陆申龙,曹正东.交流电桥实验分析与研究[J].物理实验,1998,18(05):27-28.
- [2]王中元.交流电桥实验的创新拓展[J].湖北师范学院学报:自然科学版,2004,24(04):83-85.
- [3]胡应东.RL-C并联谐振法测量电感线圈电感的实验研究[J].西安科技学院学报,1998(02):197-200.
- [4]尚鹤岭,丁丽芬.谐振法测电感的一种实验方法[J].物理实验,2000,20(05):3-5.
- [5]李荣华.谐振法测电感及损耗电阻[J].实验室科学与管理,2005,5(01):94-96.
- [6]叶启明.一种用数字万用表来测量电感的方法[J].电子世

3)通过对优化前后的混输泵增压单元进行数值模拟及对比分析,验证了此方法的可行性。

参考文献

- [1]余志毅,曹树良,彭国义.运用正反问题迭代法进行叶片式气液混输泵叶轮的水力设计[J].机械工程学报,2006,42(2):136-141.
- [2]张金亚,朱宏武,李艳,等.叶片式油气混输泵叶轮多目标优化设计[C]//中国工程热物理学会.20097024.
- [3]马希金,邵莲,曲鑫,等.油气混输泵叶片参数匹配的优化[J].西华大学学报:自然科学版,2009,28(2):75-77.
- [4]Hara T, Kao S. Numerical Simulation of Thermal Plumes in Free Space Using the Standard κ & Epsilon Model [J]. Fire Safety Journal, 2004, 39(2): 105-129.
- [5]Shen Y M, Ng C O, Zheng Y H. Simulation of Wave Propagation Over a Submerged Bar Using the VOF Method with a Two-equation κ & Epsilon: Turbulence Modeling [J]. Ocean Engineering, 2004, 31(1):87-95.
- [6]马希金,王智,张明紫.基于CFX软件的油气混输泵压缩级流场模拟及分析[J].石油矿场机械,2011,40(3):32-35.
- [7]YU Zhiyi, WANG Guoyu, CAO Shuliang. Extended Two-fluid Model Applied to Analysis of Bubbly Flow in Multiphase Rotodynamic Pump Impeller[J]. Front. Mech. Eng. China 2009,4(1):53-59.
- [8]张彼得,裴子春,袁宇春.基于遗传算法优化的BP神经网络的变压器油中气体预测[J].西华大学学报:自然科学版,2010,29(2):146-147.
- [9]张德丰.MATLAB神经网络应用设计[M].北京:机械工业出版社,2009.

(编校:夏书林)

界,2002(08):47.

[7]龙从玉,陈一之.数字万用表电容档测量电感的实验研究[J].荆州师范学院学报,2003,26(02):72-73.

[8]张恩杰,翟国彬.一种用数字万用表测量电感的方法[J].白城师范学院学报,2004,48(04):51-52.

[9]高鹤岭,丁丽芬,马力.用示波器测电感值[J].物理实验,1990,10(06):288-289.

[10]邹华,赵光胜.用示波器测电感[J].潍坊教育学院学报,1996(03):34-35.

[11]曾天海,徐加勤,谢路平.用示波器粗测电容电感值[J].大学物理实验,1996,9(04):26-28.

[12]赵凯华,陈熙谋.电磁学[M].北京:高等教育出版社,2003:322-330.

(编校:叶起)

微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



微波射频测量仪器操作培训课程合集

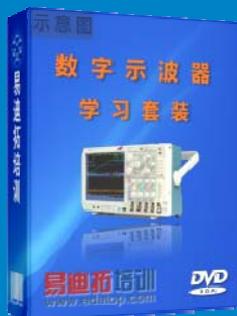
搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>