

· 高等院校技术基础课系列教材 ·

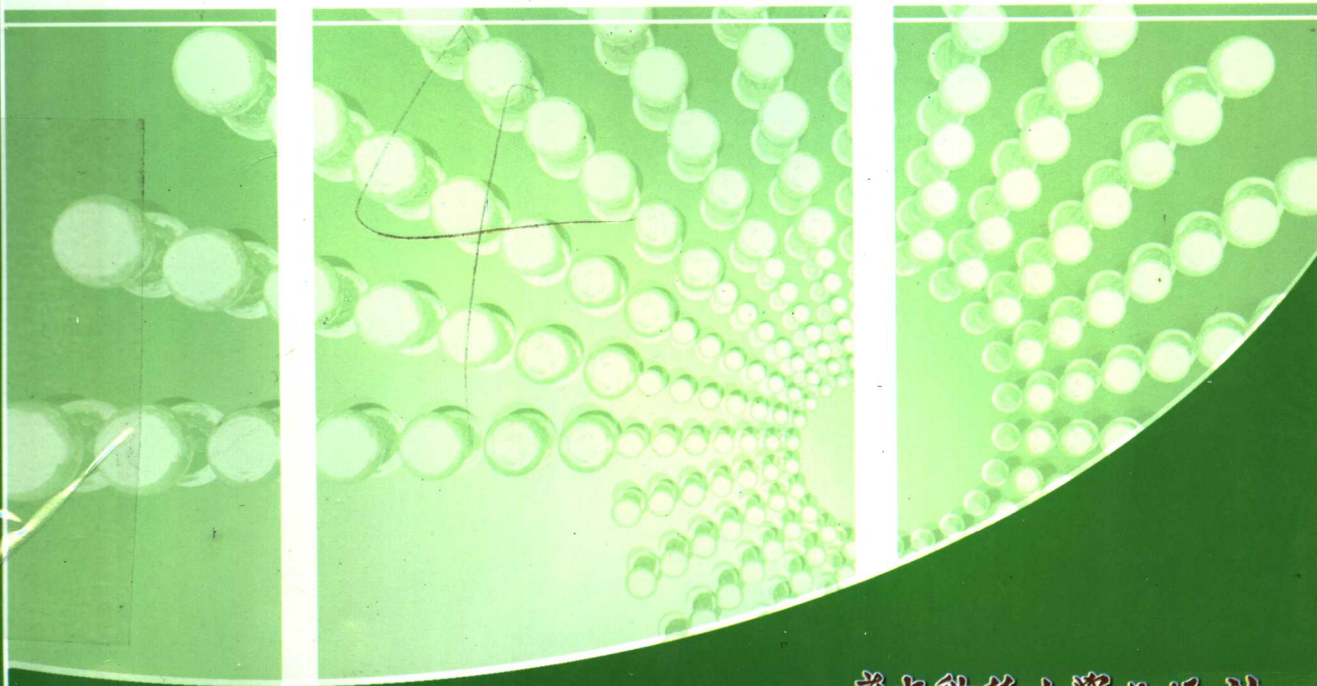


电工电子技术

实验实训指导

DIANGONG DIANZI JISHU
SHIYAN SHIXUN ZHIDAO

◎ 熊海涛 / 刘晓静 / 张 敏 主编 吴麟章 主审



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

GAODENG
YUAXIAO
JISHU
JICHUKE
XILIE
JIAOCAI

TM-33/43

2007

高等院校技术基础课系列教材

电工电子技术实验实训指导

主 编	熊海涛	刘晓静	张 敏
副主编	鲍 方	桂 毅	朱 琥
参 编	柳秀华	曾凡平	程 果
	欧艺文		
主 审	吴麟章		

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实验实训指导/熊海涛 刘晓静 张 敏 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2007 年8 月

ISBN 978-7-5609-4132-5

I. 电… I. ①熊… ②刘… ③张… II. ①电工技术-实验-高等学校-教学参考资料 ②电子技术-实验-高等学校-教学参考资料 IV. TM-33 TN-33

中国版本图书馆CIP 数据核字(2007)第130886 号

电工电子技术实验实训指导

熊海涛 刘晓静 张 敏 主编

策划编辑:曾 光

责任编辑:张 毅 赵巧玲

责任校对:张 梁

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:龙文排版工作室

印 刷:湖北金海印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:8

字数:169 000

版次:2007 年8 月第1 版

印次:2007 年8 月第1 次印刷

定价:14.00 元

ISBN 978-7-5609-4132-5/TM·91

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

高等院校技术基础课系列教材

编审委员会

主 审 吴麟章(湖北工业大学)

委 员 (以姓氏笔画为序)

刘建萍(湖北工业大学)

刘晓静(湖北工业大学)

刘 焰(长江大学)

李继林(武汉工程大学)

张 敏(武汉工程大学)

高玉良(长江大学)

黄元峰(武汉工程大学)

熊海涛(武汉职业技术学院)

内 容 简 介

本书较系统地介绍了电工电子技术课程的实验与实训,内容包括:测量的基础知识、常用仪器仪表及其使用、常用元器件简介、验证性实验、应用及设计性实验、综合性实验、常见控制电路(如报警电路等)和小型器件(如稳压电源、石英钟等)制作实训等内容。每个实验后均附有思考题,引导学生科学的创新意识,提高创新能力。

本书内容由浅入深、通俗易懂,实验实训项目丰富,能较好的培养学生的操作技能、分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等院校各层次非电类专业电工电子技术课程配套的实验实训教材,也可供从事电工与电子技术的工程技术人员参考。

前 言

在科学技术高速发展的今天,对人才的要求越来越高。特别是在加入世界贸易组织以后,我国各方面正全面走向国际化,为适应现代化建设的需要,满足用人单位对人才的需求,我们培养的学生不仅要有扎实的理论知识,还要有一定的工程素养。通过实验和实训可以帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,培养他们的动手能力、分析问题和解决问题的能力、工程设计能力和创新意识,以及树立严谨的科学作风。

本教材是《电工电子技术》的配套实验实训教材。要求学生通过实验和实训掌握测量的基本知识、电工电子实验的基本方法,学会各种常用电工仪表和电子仪器的正确使用方法,能认识常用电工器件和电子元件并了解其如何使用,具备正确选择电工器件和电子元件且能正确安装使用的能力,能独立进行实验操作、读取数据、观察实验现象和测绘波形,能整理分析实验数据、得出实验结论、写出条理清楚、内容完整的实验报告,具备制作一般电路(如报警电路等)和小型器件(如稳压电源、石英钟等)的能力。

本书由熊海涛(武汉职业技术学院)、刘晓静(湖北工业大学)、张敏(武汉工程大学)担任主编,由鲍方(武汉职业技术学院)、桂毅(武汉职业技术学院)、朱骥(武汉工程大学)担任副主编。其中,第1章由熊海涛(编写1.1~1.2)执笔;第2章由张敏(编写2.1~2.5、2.7)、刘晓静(编写2.14~2.20)、朱骥(编写2.8~2.10)执笔;第3章由鲍方(编写3.1~3.5、2.6)、桂毅(编写3.6~3.10)执笔;同时参与本书编写的还有柳秀华(武汉职业技术学院,编写1.3)、曾凡平(湖北工业大学,编写2.11)、程果(武汉工业学院工商学院,编写2.12)、欧艺文(武汉工业学院工商学院,编写2.13)。全书由熊海涛负责统稿。

本书由湖北工业大学吴麟章教授审阅,并提出了宝贵的修改意见。在此向吴麟章教授表示深深的谢意。

由于编者经验不足,加之水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请广大师生及其他读者批评指正。

编 者

2007年6月

目 录

第 1 章 电路实验基础知识	(1)
1.1 测量的基础知识	(1)
1.2 常用仪器、仪表及其使用	(10)
1.3 常用元器件简介	(28)
第 2 章 电路基础实验	(33)
2.1 元件伏安特性的测量	(33)
2.2 叠加定理	(36)
2.3 戴维南定理	(39)
2.4 频率特性及 RLC 串联交流电路	(42)
2.5 一阶 RC 电路的矩形脉冲响应	(45)
2.6 三相电路	(49)
2.7 日光灯电路的测试及功率因数的提高	(52)
2.8 单相铁心变压器特性的测试	(55)
2.9 三相鼠笼式异步电动机正反转控制	(58)
2.10 三相异步电动机的启动与调速	(61)
2.11 晶体管单管放大电路	(64)
2.12 两级阻容耦合负反馈放大电路	(67)
2.13 运算放大器的应用	(70)
2.14 直流稳压电路	(73)
2.15 门电路逻辑功能及其测试	(75)
2.16 组合逻辑电路的设计与测试	(78)
2.17 触发器	(79)
2.18 计数、译码、显示电路	(82)
2.19 555 定时器及其应用	(84)
2.20 A/D、D/A 转换器	(86)
第 3 章 电路综合实训	(91)
3.1 线间短路报警电路	(91)
3.2 电动机能耗制动控制	(93)
3.3 两台三相异步电动机顺序启动控制	(96)
3.4 自动开门电路	(98)
3.5 红外线光电行程开关电路	(100)
3.6 声光控延时开关	(102)
3.7 ZX-2018 直流稳压电源与充电器	(104)

2 电工电子技术实验实训指导

3.8 石英数字钟	(108)
3.9 音乐门铃的制作与安装	(112)
3.10 防盗和水位报警电路的制作	(115)
参考文献	(118)

第1章

电路实验基础知识

1.1 测量的基础知识

测量是人类从客观世界获取定量信息的过程。人们通过对客观事物大量观察和测量,形成定性和定量的认识,归纳并建立起各种定理和定律。测量是用数字语言描述周围世界、揭示客观世界规律,进而改造世界的重要手段。

1.1.1 电工测量方法的分类

对同一电量的测量,可使用不同的测量仪器和设备,可采用各种不同的测量方法。测量方法有多种分类方式,下面介绍几种常见的分类方式。

1. 按测量的手段分类

(1) 直接测量

直接测量是指从测量仪器上直接得到被测量值的测量方法。例如,用电压表测量电压值,用安培表测量电流值,用功率表测量功率,用欧姆表测量电阻值等。其优点是简单、便于操作、节省时间,缺点是不够准确。

(2) 间接测量

间接测量是指通过测量与被测量值有函数关系的其他量,经过计算而得到被测量值的测量方法。例如,用伏安法测量电阻值,就是通过测量出电阻两端的电压 U 及流过电阻的电流 I 后,再用欧姆定律计算求出电阻值;又如,测量电阻上消耗的直流功率 P ,可以通过直接测量电阻两端的电压 U 及流过电阻的电流 I ,再根据函数关系 $P=UI$,“间接”获得功率 P 。

(3) 组合测量

组合测量是指当某被测量值与几个未知量有关,通过改变测量条件进行多次测量,根据被测量值与未知量的函数关系列方程组并求解,从而得到未知量的测量方法。这是一种兼用直接测量和间接测量的方法。

2. 按被测量值的性质分类

(1) 时域测量

时域测量是指测量以时间为函数的量。例如,随时间变化的电压、电流等。这些量的稳

2 电工电子技术实验实训指导

态值、有效值多用仪器、仪表直接测量;它们的瞬态值可通过示波器等仪器显示其波形,以便观测其随时间变化的规律。

(2) 频域测量

频域测量是指测量以频率为函数的量。例如,随频率变化的电路的增益、相位移等。这些量可通过分析电路的频率特性或频谱特性等方法进行测量。

(3) 数字域测量

数字域测量是指测量数字量。例如,用具有多个输入通道的逻辑分析仪,可以同时观测许多单次并行的数据;对于微处理器地址线、数据线上的信号,既可显示时序波形,也可用1、0显示其逻辑状态。

(4) 随机测量

这是目前较新的测量技术,例如,对各类噪声、干扰信号等的测量均属于随机测量。

3. 按测量方式分类

按测量方式分类有替代法、指零法、差值法等。

4. 按与被测量值的距离分类

按与被测量值的距离分类有原位测量和远距离测量。

除了上述几种常见分类方式外,电子测量技术还有许多其他的分类方式,例如,动态与静态测量技术、模拟与数字测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术、点频和扫频与多频测量技术等。测量方法是多种多样的,测量者应根据测量任务的要求,进行分析,确定切实可行的测量方法,然后选择合适的测量仪器组成测量系统,进行实际测量。

1.1.2 测量误差

一个量本身所具有的真实数值称为这个量的真值。使用测量仪器进行测量时,无论采用什么测量仪器和测量方法,测量结果与被测量的真值总会有所差异,这个差异称为测量误差。测量误差有多种分类方式。

1. 按误差表示方法分类

(1) 绝对误差

被测量值 x 与其真值 A_0 之差,称为绝对误差,用 Δx 表示,即

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

绝对误差是误差的代数值,量纲与测量值相同。真值是一个理想的概念,实际应用(工程上)通常用实际值 A 来代替真值 A_0 。实际值是根据测量误差的要求,用更高一级的标准器具测量所得的值。因此,绝对误差一般按下式计算

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

与绝对误差的大小相等,但符号相反的量值,称为修正值,用 C 表示,即

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-3)$$

对测量仪器进行鉴定时,要用标准仪器与受检仪器对比,以表格、曲线或公式的形式给出受检仪器的修正值。日常测量中,用下面的公式修正测量值,以求得被测量的实际值,即

$$A = x + C \quad (1-4)$$

(2) 相对误差

绝对误差只能说明测量结果偏离实际值的情况,但不能确切反映测量的准确度。因此,另外给出相对误差的概念。被测量值的绝对误差与其真值之比称为相对误差,用 γ_{A_0} 表示,即

$$\gamma_{A_0} = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

在实际应用中,常用实际值 A 代替真值 A_0 来表示相对误差,称为实际值相对误差,用 γ_A 表示,即

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-6)$$

在误差较小、要求不太严格的情况下,也可用被测量值 x 代替实际值 A 来表示相对误差,称为指示值相对误差,用 γ_x 表示,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-7)$$

当 Δx 很小时, $x \approx A$, 有 $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

有些情况下,也常用绝对误差与仪器的满刻度值 x_m 之比来表示相对误差,称为引用相对误差(或称满度相对误差),用 γ_m 表示,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

测量仪器使用最大引用相对误差来表示它的准确度,即

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta x_{max}}{x_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中: Δx_{max} 表示仪器在该量程范围内出现的最大绝对误差。

γ_{mm} 是仪器在工作条件下不应超过的最大相对误差,它反映了该仪表的综合误差大小。电工仪表按 γ_{mm} 值分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共 7 级。例如,1.0 级的电表,也称准确度等级为 1.0 级,常用符号 S 表示,表明 $\gamma_{mm} \leq \pm 1.0\%$ 。

准确度公式(1-9)表明,当仪表的准确度等级选定后,被测量值 x 越接近满刻度值 x_m , 测量的相对误差就越小。

2. 按测量误差的性质分类

(1) 系统误差

若在同种条件下多次测量同一被测量时,误差的绝对值和符号保持不变;或在测量条件改变时,误差按某一确定的规律变化,则这样的误差称为系统误差。

产生系统误差的主要原因有以下几种。

1) 测量方法或测量所依据的理论不完善,也称由这种原因引起的系统误差为方法误差或理论误差。

2) 测量仪器、仪表结构和制作上欠完善,也称由这种原因引起的系统误差为基本误差。

3) 使用仪器、仪表时,未能满足所规定的使用条件。例如,仪器、仪表的放置位置、温

4 电工电子技术实验实训指导

度、电压、频率、外磁场等不满足使用要求,也称由这种原因引起的系统误差为附加误差。

4) 测量人员的不良测量习惯或其感觉器官不完善,也称由这种原因引起的系统误差为人为误差。

系统误差有以下三个基本特点。

1) 系统误差为非随机变量,即系统误差的出现不服从统计规律,而是满足某种确定的函数关系。

2) 系统误差具有重现性,即若测量条件不变,则重复测量时,系统误差可以重现。

3) 系统误差具有可修正性,由于系统误差可以重现,因此可加以修正。

(2) 偶然误差

偶然误差是指在相同条件下,多次测量同一被测量时,误差的大小和方向均发生变化,且无确定的变化规律,这种误差称为偶然误差,也称为随机误差。随机误差对个体而言是不确定的,但就其总体来说(即大量测量结果的总和),用统计学观点看,随机误差的分布接近正态分布,只有少数服从均匀分布或其他分布。

产生偶然误差的主要原因有以下几种。

1) 测量仪器中零部件配合不稳定或有摩擦,使仪器内部器件产生噪声等。

2) 温度及电源电压的频繁波动,电磁场干扰,地基振动等。

3) 测量人员感觉器官的无规则变化、读数不稳定等原因所引起的误差均可造成随机误差,使测量值产生上下起伏的变化。

偶然误差有以下四个基本特性。

1) 有界性,在一定的测量条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的界限。

2) 单峰性,绝对值小的误差出现的概率大,而绝对值大的误差出现的概率小。

3) 对称性,绝对值相等的正误差和负误差出现的概率相同。

4) 抵偿性,将全部的误差相加时可相互抵消。

根据偶然误差的抵偿性,在实际测量中可采用多次测量后取算术平均值的方法来消除偶然误差。一般情况下偶然误差较小,工程测量中可以不考虑。

(3) 粗大误差

在一定的测量条件下,测量值明显地偏离实际值所形成的误差称为粗大误差,也称为疏失误差,简称粗差。含有粗大误差的实验数据是不可靠的,应予舍弃。

产生粗大误差的主要原因有以下几种。

1) 测量方法不当或错误。例如,用普通万用表电压挡直接测量高内阻电源的开路电压,用普通万用表交流电压挡测量高频交流信号的幅值等。

2) 测量操作疏忽和失误。例如,未按规程操作,读错读数或单位,记录及计算错误等。

3) 测量条件的突然变化。例如,电源电压突然增高或降低、雷电干扰、机械冲击等引起测量仪器示值的剧烈变化等。这类变化虽然也带有随机性,但由于它造成的示值明显偏离实际值,因此将其列入粗差范围。

1.1.3 测量数据的处理

测量数据的处理,就是从测量得到的原始数据中进行计算、分析、整理和归纳,去粗取精,

去伪存真,求出被测量的最佳估计值,并计算其精确程度,以引出正确的科学结论。测量结果通常用数字、表格、图形或经验公式表示。用数字方式表示的测量结果,可以是一个数据,也可以是一组数据;用图形方式表示的测量结果,可以是将测量中数据处理后绘制的图形,也可以是显示在屏幕上的图形,具有形象、直观的特点。例如,放大器的幅频特性曲线等。

1. 有效数字表示法

有效数字是指从被测数据左边第一个非零数字算起,直到右边最后一位数字为止的所有各位数字。例如,0.0516 k Ω 、9.06 V、465 kHz、2.30 mA 等都是三位有效数字。以数字方式表示的测量结果——数据,包括数值和计量单位两部分,例如 3.27 V、98 A 等。测量结果一定要注明单位,否则就毫无意义。有时为了表明测量结果的可信度,还要注明误差范围,如 3.27 V $\pm$ 0.01 V 等。

(1) 关于有效数字的几个问题

1) 在第一位非零数字左边的 0 不是有效数字,而在非零数字中间的 0 和右边的 0 是有效数字,例如,0.0516 k Ω 的左边两个 0 不是有效数字,而 9.06 V 和 2.30 mA 中的 0 都是有效数字。

2) 有效数字与测量误差的关系:一般规定误差不超过有效数字末位单位数字的一半。因此有效数字的末位数字为 0 时,不能随意删除。例如 2.30 mA 表明误差不超过 ± 0.005 mA,若随意改写为 2.3 mA,则意味着测量误差不超过 ± 0.05 mA。

3) 若用 10 的方幂来表示数据,则 10 的方幂前面的数字都是有效数字,如 10.50×10^3 Hz,它的有效数字是 4 位。

4) 有效数字不能因选用的单位变化而改变,如 9.06 V,它的有效数字为 3 位,若改用 mV 为单位,则 9.06 V 变为 9060 mV,有效数字就变成了 4 位,所以当单位改变后应写为 9.06×10^3 mV,这时它的有效数字仍是 3 位。

(2) 有效数字的数据舍入规则

当只需要 N 位有效数字时,对第 N+1 位及其后面的各位数字就要根据舍入规则进行处理,现在普遍采用的舍入规则有两种。

1) 四舍六入。当第 N+1 位为小于 5 的数时,舍掉第 N+1 位及其后面的所有数字;若第 N+1 位为大于 5 的数时,舍掉第 N+1 位及其后面的所有数字的同时第 N 位加 1。

2) 当第 N+1 位恰为 5 时,若 5 之后有非零数字,则在舍 5 的同时第 N 位加 1;若 5 之后无数字或为 0 时,则由 5 之前的数的奇偶性来决定舍入:如果 5 之前为奇数,则舍 5 且第 N 位加 1;如果 5 之前为偶数,则舍 5,第 N 位不变。

(3) 有效数字的运算

当需要对 N 个测量结果进行运算时,有效数字的保留原则上取决于误差最大即小数点后有效数字位数最少的那一项。

1) 加、减运算。先将各数据小数点后的位数处理成与小数点后有效数字位数最少的数据相同后再进行计算。要尽量避免两个相近数的相减,以免对计算结果产生很大的影响,非减不可时,应多取几位有效数字。

2) 乘、除运算。先将各数据处理成与有效数字位数最少的数据相同或多一位后再进行

6 电工电子技术实验实训指导

计算,运算结果的有效数字位数也应处理成与有效数字位数最少的数据相同。注意:在乘、除运算中,有效数字的取舍与小数点无关。

3) 乘方、开方运算。运算结果应比原数据多保留一位有效数字。

4) 对数运算。取对数前后的有效数字位数应相等。

2. 列表法

测量获得的实验数据,首先都是以表格的形式记录下来。当然,表格往往需要整理。若测量结果是线性关系,则从表格中就能看出被测量值的变化规律来。不过通常都要把测量数据用一条连续光滑的曲线表示出来,这样,被测量值的变化规律就更直观明了。

3. 作图法

适当选择纵坐标和横坐标的比例关系与比例尺得到平面坐标系,把实验数据用点标在坐标系中,然后用平滑法或分组平均法以尽可能小的误差绘制出连续光滑的曲线。

(1) 平滑法

将坐标系中各点依次用虚线连线,然后在这些连线的中间作一条连续光滑的曲线,尽量使曲线两边的虚线与曲线所围成的面积相等,如图 1-1(a)所示。

(2) 分组平均法

将坐标系中各点按相邻分组,偏离曲线较多者三点一组构成三角形找其重心,偏离曲线较少者也可两点一组,找其连线的中点。然后联结重心或中点成一条光滑连续的曲线,如图 1-1(b)所示。

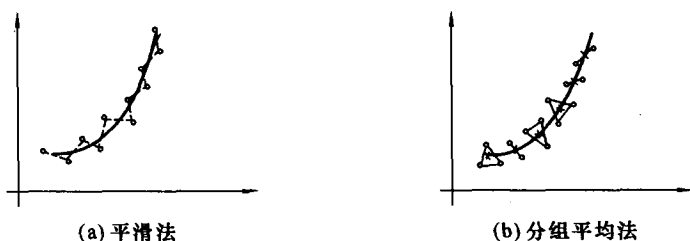


图 1-1 作图法

4. 函数法

将实验数据用函数式表示称为实验数据的函数表示法,又称为回归分析法。观察作图法所得到的曲线的变化规律,判定其最接近哪种常见函数的变化规律,以确定函数的类型,得到函数的一般表达式,再由实验数据确定函数式中的常系数和常数。

1.1.4 电阻、电感、电容的测量

1. 电阻的测量

电阻值的范围很大,约为 $10^{-6} \sim 10^{17} \Omega$,所以应采用不同的测量方法。

(1) 直接测量

用欧姆表或万用表的电阻挡,可直接测量电阻的阻值。测量时要选择合适的量程,使指针的偏转角度稍大些,两手不要同时接触两表笔的金属部分。

(2) 间接测量

间接测量法也称为外加电压法。对于正处于工作状态的非线性元件的电阻用欧姆表是无法测量的,而用间接法则可测量。如图 1-2 所示。

一般情况下,电压表的读数与电流表的读数之比就是被测量电阻之值。若要考虑测量仪表的影响,则要分不同接法分别考虑。

在图 1-2(a)中,电压表的读数包含了电流表的压降 U_A ,电流表的内阻给测量带来误差,应去除电流表的内阻 R_A ,被测电阻为

$$R = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$

在图 1-2(b)中,电流表的读数中含有电压表的电流 I_V ,由 $R//R_V = \frac{U_R}{I_A}$,可得被测量电阻为

$$R = \frac{R_V U_R}{R_V I_A - U_R}$$

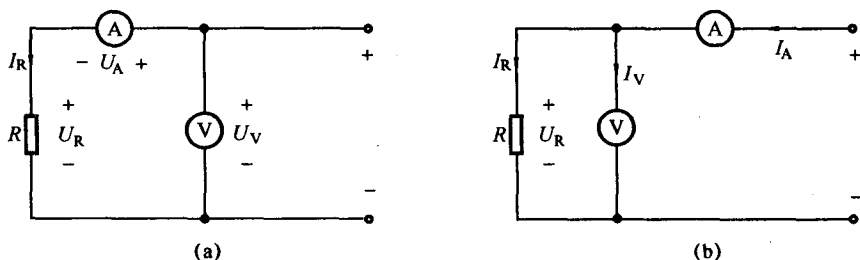


图 1-2 间接法测量电阻

2. 电感、电容的测量

电感和电容的测量可用谐振法,如图 1-3 所示。图中标准信号发生器输出信号电压的大小及其频率可连续调节且能直接读出。若要测量电感,则须用标准电容,已知其电容量;若要测量电容,则须用标准电感,已知其电感量。测量过程是:调节信号发生器输出信号电压的频率,其大小保持不变,使毫安表或毫伏表的读数达到最大。此时电路已达串联谐振状态,已知信号源的频率 f ,用下式计算 L 或 C ,即

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1-10)$$

式(1-10)称为 R 、 L 、 C 串联谐振的条件。

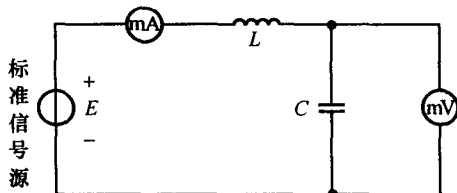


图 1-3 测量电感或电容

1.1.5 电流、电压、功率的测量

1. 电流的测量

电流的测量过程首先要保证电路的工作状态不受影响。电流表的内阻很小(精确度越高其内阻越小),直接测量法是将电流表串联接入被测量支路,其读数就是该支路的电流,如图 1-4(a)所示。图 1-4(b)、(c)是间接测量法。图 1-4(b)是在被测量支路中串联接入阻值较小的已知电阻,用高内阻电压表测出已知电阻的端电压 U ,再用欧姆定律计算出电流。图 1-4(c)用于测量交流大电流,不用断开电路,通过电流互感器,可用小电流表测出较大的电流。

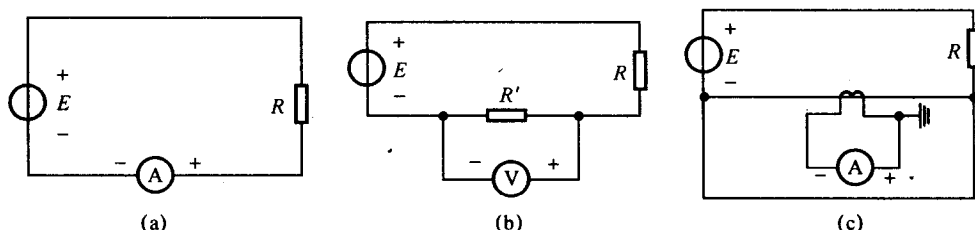


图 1-4 测量电流

注意:电流互感器的次级绕组和铁心都要有良好接地,且次级绕组决不允许断开。

2. 电压的测量

如图 1-5 所示,图 1-5(a)是直接测量法,内阻高(越高越好)的电压表与被测量电路并联对电路工作无影响,故其读数就是电阻 R 两端的电压。图 1-5(b)是间接测量法,用于测量交流高电压,通过电压互感器实现测量。

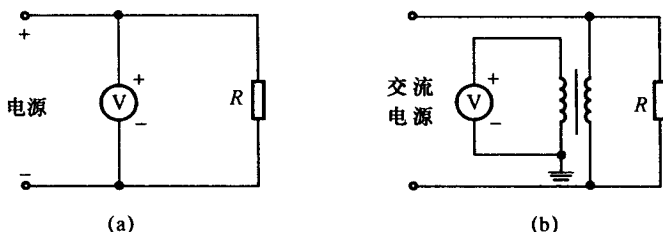


图 1-5 测量电压

注意:电压互感器的初级绕组和次级绕组中都应串联保险装置,以防短路;次级绕组、外壳和铁心都要有良好接地,万一绝缘元件损坏时,次级绕组、外壳和铁心对地的电压也不会升高,以确保人身和设备安全。

测量精度要求较高时可采用补偿测量法,如图 1-6 所示。图中, R 和 E 是标准元件, R_p 是可变电阻, G 是灵敏度较高的检流计。若要测量 a 、 b 两端的电压,测量电路按如图 1-6 所

示接好后,调节 R_p 使检流计电流为零,可得

$$U_{ab} = U_{cd} = \frac{R_p}{R + R_p} E = KE$$

由于测量过程对被测量电路没有任何影响,且式中有两个标准元件,故测量精度较高。

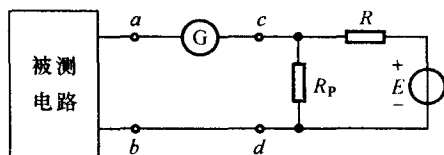


图 1-6 补偿法测量电压

3. 功率的测量

利用功率表(瓦特表)直接测量功率。功率表

有单相和三相之分;单相功率表用于测量单相交流电路和直流电路的功率;三相功率表可一次测得三相电路的总功率。功率表有两个线圈:一个是电压线圈,其匝数很多,呈现高阻,常用电阻和线圈串联表示,测量时并联在被测量负载两端;另一个是电流线圈,其匝数较少,测量时串联在被测量负载所在支路之中。两个线圈有一个公共端,常用“*”表示,测量时应联结在一起接入电路,否则可能出现功率表指针反向偏转的情况。

(1) 直流或单相交流电路功率的测量

测量电路如图 1-7 所示。加在电压线圈上的电压为 U ,通过电流线圈的电流为 I ,带“*”的端子是公共端联结在一起。若为直流电路,则读数为 $P = UI$;若为交流电路,则读数为 $P = UI \cos \varphi$ 。

(2) 三相交流电路功率的测量

若为对称三相电路,则可用单相功率表如上述测得某一相的功率,再乘以 3 便是三相电路的总功率。若为不对称三相电路,则可用一个单相功率表分三次分别测量各相功率求得总功率。也可用三个表一次性测量,三个表读数之和即总功率。还可采用两瓦特表法(见图 1-8)一次性测量,两个表读数之和即三相电路的总功率。由图 1-8 可知,瞬时值电流的关系是 $i_A + i_B + i_C = 0$,即

$$i_C = -(i_A + i_B)$$

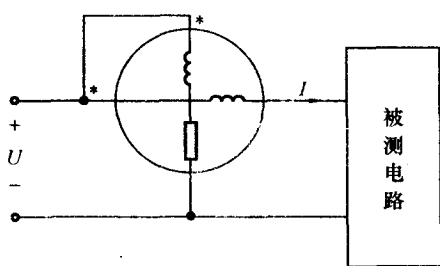


图 1-7 测量直流或单相交流电路的功率

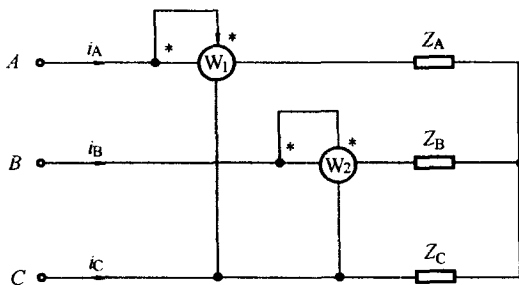


图 1-8 两瓦特表法测量三相电路的功率

此三相电路的瞬时功率为

$$p = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C = u_A i_A + u_B i_B - u_C (i_A + i_B) = u_{AC} i_A + u_{BC} i_B = p_1 + p_2$$

其平均(有功)功率为

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u_{AC} i_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T u_{BC} i_B dt = U_{AC} I_A \cos \varphi_1 + U_{BC} I_B \cos \varphi_2 = P_1 + P_2$$

(1-11)