



21 世纪电工电子学课程系列教材

电工电子实验教程

(第 3 版)

主 编 陈明义
副主编 宋学瑞 赖旭芝
罗桂娥 李 飞

中南大学出版社

TM-33/54

2007

21 世纪电工电子学课程系列教材

电工电子实验教程

第 3 版

主 编 陈明义
副主编 宋学瑞 赖旭芝
罗桂娥 李 飞

中南大学出版社
2007 · 长沙

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验教程/陈明义主编. —3版. —长沙:

中南大学出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-81105-616-7

I. 电... II. 陈... III. ①电工技术-实验-高等学校-教材

②电子技术-实验-高等学校-教材

IV. TM-33 TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第177900号

电工电子实验教程

(第3版)

主 编 陈明义

副主编 宋学瑞 赖旭芝 罗桂娥 李 飞

☐责任编辑 肖梓高

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南大学印刷厂

☐开 本 730×960 1/16 ☐印张 18.5 ☐字数 336千字

☐版 次 2007年12月第3版 ☐2007年12月第1次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-616-7

☐定 价 26.00元

图书出现印装问题,请与经销商调换

21 世纪电工电子学课程系列教材编委会

主 任 陈明义

成 员 (以姓氏笔画为序)

李 飞 肖梓高 陈明义

陈 宁 宋学瑞 罗桂娥

赖旭芝 覃爱娜

前 言

为了培养 21 世纪高科技工程技术人才,使之掌握电工电子信息技术基本理论、基本实验技能而编写了该实验教程。该书淡化了电类与非电类的传统界限,把电工学、电工技术、电子技术、电路、模拟电子技术、数字电子技术等课程的实验融合为一体,即保留传统的基本实验,又增加了大量综合性、设计性实验。该书吸收当前电工电子学的新器件、新技术、新的实验手段与方法。

该书共分为五篇。第 1 篇为基础篇,主要介绍电路的测量数据的处理方法,常用电工电子仪器仪表的基本工作原理及其电路元器件的基本知识;第 2 篇为电路篇,主要包含直流电路、交流电路的基本实验和电路与系统时域分析及频域分析的综合性实验;第 3 篇为模电篇,主要包含基本放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、直流稳压电源等基本实验和有关集成运放应用的综合分析及设计性实验;第 4 篇为数电篇,主要包含基本门电路、触发器、常用中规模集成电路的逻辑功能测试和组合逻辑电路、时序逻辑电路、数字系统的综合分析及设计性实验;第 5 篇为综合应用篇,主要包含电机的基本控制技术(继电接触控制技术、可编程控制技术、变频调速技术),PSPICE 编程及应用,GAL 的编程及应用,虚拟仪器、虚拟实验及 EWB 的使用。

本书是由中南大学电工电子教学实验中心组织集体编写。陈明义任主编,宋学瑞、罗桂娥、赖旭芝、李飞任副主编。其中李飞负责第 1 篇的编写,赖旭芝负责第 2 篇的编写,罗桂娥负责第 3 篇的编写,宋学瑞负责第 5 篇的编写,陈明义负责第 4 篇的编写和全书的审稿工作。

本书在编写过程中得到中南大学信息科学与工程学院的各级领导的大力支持;同时得到了吕向阳、王力为、朱明勇、余笛、彭卫韶、朱利香等同志的热情支持并提出许多宝贵意见,在此谨致诚挚的谢意。

该书既可作为电工学、电工技术、电子技术、电路、模拟电子技术、数字电子技术等课程配套的实验教材,又可以作为电工电子学实验单独设课的教材;该书的实验可以根据学时多少、内容的深浅自由选作,以满足不同层次学生的要求,同时为开放性实验和个性培养创造了条件;该书还可作为一般工程技术

人员、电子工程师、自学爱好者的良师益友。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，殷切期望读者批评和指正。

编 者

2007 年 12 月

目 录

第 1 篇 实验基础

第 1 章 基本知识	(1)
1.1 测量与测量误差	(1)
1.2 测量误差的消除	(4)
1.3 测量数据处理	(4)
第 2 章 常用电工测量仪表	(8)
2.1 电工仪表基本知识	(8)
2.2 指示式仪表的基本结构	(9)
2.3 电流表、电压表、功率表的原理和使用	(15)
第 3 章 常用电子测量仪器	(19)
3.1 交流毫伏表	(19)
3.2 数字式万用表	(19)
3.3 直流稳压电源	(22)
3.4 函数发生器	(23)
3.5 示波器	(26)
第 4 章 常用电路元器件介绍	(32)
4.1 常用电阻器、电位器、电容器型号命名法	(32)
4.2 电阻器	(33)
4.3 电位器	(35)
4.4 电容器	(36)
4.5 常用半导体器件及特性	(37)

第 2 篇 电路实验

第 5 章 直流电路	(43)
实验 1 电阻元件的伏安特性	(43)
实验 2 直流电路的基本概念	(45)
实验 3 线性有源一端口网络等效参数测定电路设计	(47)
实验 4 电源的等效变换	(49)
实验 5 双口网络的特性研究	(52)
第 6 章 交流电路	(55)
实验 1 交流电路参数的测定(三表法)	(55)
实验 2 RLC 正弦交流电路的研究	(57)
实验 3 阻抗的并联及功率因数的提高	(60)
实验 4 串联谐振电路及电感参数测量电路的设计	(63)
实验 5 三相交流负载电路的设计及测量	(66)
实验 6 三相电路的功率测量	(67)
实验 7 互感实验电路的设计及研究	(69)
实验 8 单相铁芯变压器特性的测试及极性判断	(72)
实验 9 网络函数(输入/输出特性)的研究	(75)
实验 10 非正弦电路的研究	(77)
第 7 章 动态电路	(81)
实验 1 一阶 RC 电路过渡过程的研究	(81)
实验 2 二阶电路的研究	(84)
实验 3 动态实验电路的设计	(85)
实验 4 综合实验——设计一简易型万用表并安装与调试	(86)

第 3 篇 模拟电子技术实验

第 8 章 放大电路分析与设计	(91)
实验 1 单管放大电路的分析	(91)

实验 2	单管放大电路的设计	(95)
实验 3	单管放大电路频率特性的研究	(96)
实验 4	反馈放大电路的综合研究	(99)
第 9 章	集成运算放大器的应用	(103)
实验 1	运算电路分析与设计	(103)
实验 2	集成运算放大器应用电路设计	(106)
实验 3	集成电压比较器的研究	(107)
实验 4	波形发生与变换电路设计	(109)
实验 5	有源滤波电路的综合研究	(111)
实验 6	精密整流电路的设计	(113)
第 10 章	功率放大与直流电源	(115)
实验 1	OCL 功率放大电路	(115)
实验 2	功率放大电路设计	(117)
实验 3	整流、滤波和稳压电路的研究	(119)
实验 4	直流稳压电源设计	(121)
第 11 章	模拟电路综合训练	(123)
实验 1	产品分档电路设计	(123)
实验 2	压控振荡器的设计	(124)
实验 3	温度测量放大电路的设计	(126)
实验 4	多功能函数发生器的设计	(127)
实验 5	频率/电压转换电路的设计	(129)
实验 6	集成锁相环及其应用研究	(132)
 第 4 篇 数字电子技术实验		
第 12 章	逻辑门电路的测试及其应用	(135)
实验 1	基本门电路逻辑功能测试	(135)
实验 2	基本门电路特性及参数测试	(137)
实验 3	逻辑门的应用	(140)
实验 4	特殊门电路的应用	(142)

第 13 章 组合逻辑电路的分析及其应用	(145)
实验 1 常用组合逻辑电路(SSI)的功能测试	(145)
实验 2 常用中规模集成组合逻辑电路(MSI)的功能测试	(147)
实验 3 常用中规模集成组合逻辑电路的应用	(150)
实验 4 组合逻辑电路的设计	(152)
第 14 章 时序逻辑电路的分析及其应用	(154)
实验 1 触发器的逻辑功能测试及应用	(154)
实验 2 常用中规模集成时序逻辑电路(MSI)的功能测试	(158)
实验 3 常用中规模集成时序逻辑电路的应用	(161)
实验 4 时序逻辑电路的设计	(163)
第 15 章 数字系统的分析及应用	(165)
实验 1 数字系统分析与设计	(165)
实验 2 555 定时器的应用	(166)
实验 3 EEPROM 只读存储器的应用	(167)
实验 4 ADC 及 DAC 的应用	(169)
第 16 章 数字系统的综合训练	(173)
实验 1 多功能数字钟	(173)
实验 2 彩灯控制器	(173)
实验 3 数字电压表	(174)
实验 4 智能竞赛抢答器	(175)

第 5 篇 综合应用

第 17 章 可编程逻辑器件(GAL)编程及应用	(177)
实验 1 BCD—七段显示译码器设计	(177)
实验 2 三位二进制加法计数器	(182)
实验 3 串行数据检测器	(184)

第 18 章 电子线路 PSpice 编程及应用	(187)
实验 1 互补对称功率放大器	(187)
实验 2 三点式振荡电路的研究	(193)
实验 3 串联型稳压电路的分析	(197)
第 19 章 虚拟电子实验平台(EWB)在 EDA 中的应用	(199)
实验 1 一阶电路过渡过程分析	(199)
实验 2 受控源电路分析	(205)
实验 3 非正弦波电路分析	(208)
第 20 章 电机控制技术	(211)
实验 1 异步电动机 Y- Δ 启动继电器接触控制	(211)
实验 2 三相异步电动机的正反转继电器接触控制	(213)
实验 3 PLC 控制交流异步电动机正反转实验	(214)
实验 4 PLC 与变频器联机控制交流异步电动机调速实验	(219)
附录 1 部分模拟集成器件介绍	(222)
附录 2 部分常用数字集成芯片管脚分布图	(226)
附录 3 PSpice 软件的使用	(237)
附录 4 EWB(5.0)的基本操作	(260)
参考文献	(283)

第1篇 实验基础

第1章 基本知识

1.1 测量与测量误差

测量是通过试验的方法,最终获得客观事物的实际值的过程。在测量中,无论所用测量器具如何精密,测量方法如何完善,所得测量结果都不能完全与被测量的实际值一致。测量所得的数值与被测量实际值之间的差值称为测量误差,简称误差。而测量误差常常会歪曲某些客观现象。研究测量误差,提高测量精度是实验中需要重视的问题。研究测量误差,就是研究产生误差的原因、性质、如何正确处理测量结果,以便消除、修正或减弱误差的影响。掌握了测量误差的变化规律可以指导正确地组织实验和合理地选定测量方法,从而达到提高测量实验质量的目标。

一、测量误差的分类

测量误差根据其性质和特点可分为系统误差、偶然误差和疏忽误差。

(1)系统误差。在一定条件下,对同一个对象进行测量时,如出现的误差其大小与正负是恒定不变或按遵循某一规律,那么这种测量误差就属于系统误差。

产生系统误差的原因有:仪器仪表误差(刻度的偏差、仪表的零点偏移或指针安装偏心等);环境误差(测量时环境实际温度、湿度及其他外界干扰等引起的误差);读数误差(读数者的习惯或不正确的读数方法);测量方法(近似测量方法以及在间接测量时近似计算方法所引起的误差)等。

(2)偶然误差。同一个实验者,用同一台仪器在相同条件下对同一个事物

量进行多次等精度测量时,发现每次测量结果都不尽相同,可见每次测量都有误差,这种误差称为偶然误差,也称为随机误差,即误差的大小随机改变而无法控制。

产生偶然误差的原因有:测量用的仪器仪表之间的配合不符合要求;测量人员读数的无规律;电源电压的频繁波动,电磁场干扰等。

(3)疏忽误差。由于疏忽引起的测量值明显地偏离实际值所造成的误差称为疏忽误差。将含有疏忽误差的测量值称为坏值或异常值。在实验测量过程中或数据处理时应尽量剔除这些坏值。

产生疏忽误差的原因有:不适当的测量方法;测量者粗心大意等。

二、误差的表示方法

指示式仪表的误差表示方法有三种:绝对误差、相对误差、引用误差。

(1)绝对误差。绝对误差是测量结果(A_x)与被测量真值(A_0)之间的差值。绝对误差 Δ 即为

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

真值一般无法求得。在实际应用中,可用标准表的指示值作为被测量的真值。当 $A_x > A_0$ 时, Δ 为正值;当 $A_x < A_0$ 时, Δ 为负值,所以绝对误差是具有大小,正负的数值。它的大小和符号分别表示指示值偏离真值的程度和方向。

例 1-1 用一只标准电压表校准两只电压表,用标准电压表测量电路中某一电阻上的电压降为 80V,而用电压表 1 和 2 测量时,读数分别为 80.5V 和 79V,求两表的绝对误差。

解 由式(1-1)得

电压表 1 的绝对误差为

$$\Delta_1 = A_{x1} - A_0 = 80.5\text{V} - 80\text{V} = 0.5\text{V}$$

$$\Delta_2 = A_{x2} - A_0 = 79\text{V} - 80\text{V} = -1\text{V}$$

从两表的绝对误差可知,电压表 1 的测量比电压表 2 的要准确。

(2)相对误差。测量不同大小的被测量时,不能简单地用绝对误差来判断其准确程度。用例 1-1 的电压表 1 测量真值为 10V 的电压时,绝对误差 $\Delta_1 = 0.5\text{V}$;用电压表 2 测量真值为 100V 的电压时,绝对误差为 $\Delta_2 = -1\text{V}$,从绝对误差的大小来看,表 2 大于表 1。但从仪表测量结果的相对影响来看,却是表 1 对结果影响较大。因为表 1 的误差占被测量的 5%,而表 2 的误差却只占被测量的 1%。所以绝对误差的表示方法有它的不足之处,它往往不能确切地反映测量质量,因而工程上通常采用相对误差来衡量测量结果的准确度。

相对误差(r)是绝对误差与真值的比值。并且通常用百分数来表示,即

$$r = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

(3) 引用误差。相对误差可以较好地反映测量的准确度,但不能说明仪表本身的准确性。在连续刻度的仪表中,用相对误差来表示仪表在整个量程内的准确度就不太适合,因为对不同的真值,同一仪表的绝对误差相同,而根据式(1-2)可知,不同真值就具有不同的相对误差。

引用误差是指绝对误差 Δ 与仪表测量上限 A_m (仪表的满刻度值) 比值的百分数,用 r_m 表示,即为

$$r_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

因仪表的测量上限是一个常数,而仪表的绝对误差又基本上不变,对某一个仪表来说,引用误差就近似为一个常数。因而可用引用误差来表示仪表的准确度。引用误差事实上就是测量的真值为仪表最大测量上限时的相对误差。

国家标准规定用最大引用误差来表示仪表的准确度等级,准确度等级用 K 表示,为

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

即准确度等级为仪表测量时的最大绝对误差与仪表测量上限的比值的 100 倍。

$K=0 \sim 0.1$ 为 0.1 级仪表。类似地, K 共有 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七个等级。对满量程为同一个大小的仪表来说,仪表等级越小,仪表测量越准确。

在使用电工仪表测量时,应选择指针尽可能接近满刻度的量程,一般应工作在不小于满刻度值一半的区域。这样才能使测量更加准确。

例 1-2 要测量一个真值为 20V 左右的电压,有 ± 1.0 级量程为 100V 和 ± 1.5 级量程为 30V 的两制电压表,选用哪只电压表最合适?

解 由公式(1-4)得 ± 1.0 级量程为 100V 的电压表的绝对误差为 $\pm 1.0V$, 则真值为 20V 左右的电压的被测量值为 $20 \pm 1.0V$; ± 1.5 级量程为 30V 的电压表的绝对误差为 $\pm 0.45V$, 则真值为 20V 左右的电压的被测量值为 $20 \pm 0.45V$ 。

从分析结果可知, ± 1.0 级量程为 100V 的电压表测量真值为 20V 左右的电压比用 ± 1.5 级量程为 30V 的电压表测量真值为 20V 左右的电压的绝对误差要大。所以在选择仪表进行测量时,必须兼顾准确度等级和量程,不能只单方面的根据仪表的准确度等级来选择。

1.2 测量误差的消除

消除或尽量减少测量误差是进行准确测量的条件之一,所以在进行测量之前,必须预先估计所有产生误差的根源,有针对性地采取相应的措施加以处理,才能测得更加接近被测量的真值。

一、系统误差的消除

(1)修正误差。在测量之前,应对测量所用仪器和仪表用更高一级标准仪器进行检定,从而确定它们的修正值,则实际值 = 修正值 + 测量值,通过修正值消除仪表误差。

(2)消除误差来源。在进行测量之前,测量者应对整个测量过程及测量装置进行必要的分析与研究,找出可能产生系统误差的原因,在测量之前对产生误差的因素采取一些必要的措施,使这些因素得到消除或削弱。

二、偶然误差的消除

偶然误差的特点是在多次测量中,误差绝对值的波动有一定的界限,正负误差出现的机会相同。根据统计学的知识分析知道,当测量次数足够多时,偶然误差的算术平均值趋近于零。因此,取多次测量值的平均值的方法可以用来消除偶然误差。

三、疏忽误差的消除

凡是由于偶然疏忽所造成的误差,数据就明显的与实际值相差甚远,这种由于疏忽所测得的数据均为坏值,在进行数据处理时将其剔除。

综上所述,3种误差同时存在的情况下,对于偶然误差的测量值,首先给予剔除;对于偶然误差采用统计学求平均值的方法来削弱它的影响;对于系统误差,在进行测量之前,必须预先估计一切产生系统误差的根源,有针对性地采取相应的措施来消除系统误差,如对仪表进行校正,配置适当的仪器仪表,选择合理的测量方法等。

1.3 测量数据处理

实验中,被记录下来的一些数据还需要经过适当的处理和计算才能反映出事物的内在规律,这种处理过程称为测量数据处理。测量数据处理是建立在误

差分析的基础上。因此,应制定出合理的数据处理方法,以减少测量过程中随机误差的影响。

进行测量数据处理时,应注意结果通常用数字和图形两种形式表示。对用数字表示的测量结果,在进行数据处理时,除了注意有效值的正确取舍外,还应制订出合理的数据处理方法,以减少测量过程中偶然误差的影响。对用图形表示的测量结果,应考虑坐标的选择和正确的作图方法,以及对所作图形的评定等。

一、测量结果的数据处理

用数字表示测量结果时,主要包括有效数字的取舍与数据的运算。

(1)有效数字。有效数字是指测量得到的数据,从它的左边第一个非零的数字开始,直到右边最后一个数字为止的所有数字。小数点的位置不影响有效数字的位数。如:25.5mA 与 0.0255A 这两个数都是三位有效数字。

测量数据的有效数字位数的取舍主要与所使用的仪表的量程有关系。如有一个电压表的量程为10V,电压表每一小格代表0.1V,测量电压时,指针指示在5.5V和5.6V之间,读取数据为5.53V,其中“5.5”是准确的,称为测量数据中的可靠部分,而小数点后面的第二位数字“3”为估计值。

如有一个电压表的量程为100V,电压表每一小格代表1V,测量电压时,指针指示在55V和56V之间,读取数据为55.5V,其中“55”是准确的,而小数点后面的数字“5”为估计值。

测量误差本身是不准确的估计值,在测量结构中对应在可疑部分上。因此,测量和计算出来的误差均只取一位数。

(2)有效数字的运算。当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的位数对运算结果影响较大,正确选定运算数据有效数字的位数是实现高精度测量的保证。但有效数字位数保留太多将使计算变得复杂;而有效数字保留太少又可能影响测量精度。究竟保留多少位有效数字,原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般取舍规则分为下面几种情况。

①加减运算。进行加减运算时,结果所保留的小数点后面的位数应该不多于各项值中小数点后面位数最少项的位数。

②乘除运算。进行乘除运算时,有效数字取决于其中有效位数最少的项。

③乘方及开方运算。进行乘方与开方运算时,得数的有效数字位数与原数据的有效数字位数相同。

④三角函数、对数运算。进行三角函数运算时,三角函数的有效数字的位数与角度的有效数字位数相同。进行对数运算时,对数运算结果的有效值的位

数与原数据有效值位数相等。

二、测量结果的图解分析

图解分析是根据测量数据作出一条尽可能反映真实情况的曲线,并对该曲线进行定量的分析。熟练掌握作图规则是正确进行图解分析的关键。其作图规则如下:

(1)确定坐标轴。首先将已记录好的数据列成数据表,图解分析时一般以纵坐标代表因变量,横坐标代表自变量,根据数据正负、大小选好坐标轴的方向和比例,并用箭头和比例数标在坐标轴上。选取的原则是使曲线充满整个图纸。

(2)根据实验数据作图。根据数据表一一找出各对应的实验点并给以鲜明的标记,比如打上“*”或“ Δ ”等符号。实验点不一定都落在曲线上,只要均匀地分布在曲线的两侧即可,切忌连成折线或多弯线,这样的曲线不能反映客观事物的单值的函数关系。另外,有时在测量数据时就应该注意观察,当曲线出现弯曲时,取测量点尽量密集些,在平直部分可以稀松。有条件时,可以一边测量一边描一个草图,发现可疑之处,可以重测。

(3)图解分析。用图解分析来处理实验数据设计,比如求斜率或截距,应取平均效果,不要取个别实验点。

例 1-3 用伏安法测电阻实验中,数据如下表,试用作图法求出电阻值。

表 1-1 伏安特性测试数据

次数 名称	1	2	3	4	5	6
V(V)	0	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
I(mA)	0	19.8	40.6	60.2	79.7	98.8

由图 1-1 可知, A 点坐标为(9.00, 90.1), B 点坐标为(3.00, 29.9), 由 A、B 两点坐标可得电阻值

$$R = \frac{9.00 - 3.00}{90.1 - 29.9} = 0.0997 \text{ k}\Omega = 99.7 \Omega \quad (1-5)$$