

高自考、新高职电工基础课丛书

康晓东 主编

电工技术基础 实验指导

(应用电子技术及电气电子类)

刘 枫 李玲玲 赵全明 马树昌 编著

33
9

南开大学出版社

高自考、新高职电工基础课丛书

电工技术基础实验指导

(应用电子技术及电气电子类)

康晓东 主编

刘 帆 李玲玲 编著
赵 明 马树昌

南开大学出版社

· 天津 ·

内 容 提 要

本书是“高自考、新高职电工基础课丛书”的第四册。全书由基础篇、实验篇和附录三部分组成。第一部分总结了电工实验和电工测量的基础知识,第二部分收集了19个基本电工实验,第三部分介绍了电路的计算机辅助分析方面的内容。

本书可作为高等教育自学考试和高等职业教育考生、函授生及自学者的辅助教材,同时也可作为高等院校、职业师范学院相关专业师生的参考书,还可供有关工程技术人员参考。

图 书 在 版 编 目 (C I P) 数 据

电子技术基础实验指导. 应用电子技术及电气电子类/
康晓东主编. 一天津:南开大学出版社,2001.12
(高自考、新高职电工基础课丛书)
ISBN 7-310-01560-6

I. 电... II. 康... III. ①电子技术—实验—高等教育—自学参考资料②电子电路—实验—高等教育—自学参考资料 IV. TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 037648 号

出版发行 南开大学出版社

地址:天津市南开区卫津路 94 号

邮编:300071 电话:(022)23508542

出版人 肖占鹏

承 印 天津蓟县宏图印务有限公司

经 销 全国各地新华书店

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

开 本 850mm×1168mm 1/32

印 张 5

字 数 120 千字

印 数 1—3000

定 价 9.00 元

高自考、新高职电工基础课 丛书编写委员会

策划:李正明

顾问:康巨珍

主编:康晓东

委员:白慧珍

张立升

刘建民

付植桐

刘永增

姬淑梅

王振声

刘子媛

李春华

黄敬塘

张国香

张秀敏

马树昌

出版说明

电工基础课程是应用电子技术专业、电气类专业和电子类专业的一门重要的技术基础课,它的目标是使学生掌握电工基础的基本理论、分析计算电路的基本方法和进行实验的初步技能,并为相关课程准备必要的电工知识。为帮助学生和广大读者能够在较短的时间内,较好地达到电工基础课程所要求的目标,南开大学出版社特组织有关专家学者成立了以康晓东先生为主编的电工基础课丛书编写委员会,具体撰写了这套电工基础课丛书。

本丛书根据 1999 年 8 月颁布的《天津市高等教育自学考试(应用电子技术专业)电工基础课程自学考试大纲》(试行本)编写。全套丛书共分四册出版,各册的题目分别是《电工技术基础教程》、《电工技术基础学习指导》、《电工技术基础习题集》和《电工技术基础实验指导》。

本套丛书适合高等工业院校、高等职业师范院校、高等职业院校涉电类专业本、专科、新高职、函授学生及教师。尤其可供广大自学考试读者阅读学习。本丛书同时也是其他相近专业师生及有关工程技术人员参考书。

南开大学出版社

1999 年 9 月

前 言

本书是“高自考、新高职电工基础课丛书”的第四册。

本书参照天津市高等教育自学考试委员会 1999 年 8 月颁布的《天津市高等教育自学考试电工基础课程自学考试大纲》(试行本)和教育部颁发的有关大纲文件编写而成。全书共分为三部分,第一部分是基础篇,总结了电工实验和电工测量的基础知识;第二部分是实验篇,收集了 19 个基本电工实验;在第三部分附录中,简要介绍了电路的计算机辅助分析方面的内容。

本书第一部分主要由康晓东、马树昌撰写;刘枫除参与第一部分电工仪表内容的撰写外,还撰写了第二部分的实验 1~实验 6、实验 8 和实验 9;李玲玲撰写了实验 7 和实验 10~实验 16;赵全明撰写了实验 17~实验 19;康晓东撰写了第三部分。全书由马树昌副教授统稿。

由于本书编写时间较短,错误和疏漏之处在所难免,诚恳希望广大读者提出宝贵意见和修改建议。

编者

2001 年 4 月

目 录

1. 基础篇

- 1.1 电工实验测量误差及数据处理…………… (1)
 - 1.1.1 电工实验测量误差的分类…………… (1)
 - 1.1.2 消除或减小系统误差的一般方法…………… (5)
 - 1.1.3 电工实验测量数据有效数字处理…………… (8)
 - 1.1.4 电工实验测量数据的图示法…………… (9)
- 1.2 电工实验室安全用电知识…………… (10)
 - 1.2.1 电工实验室供电系统…………… (10)
 - 1.2.2 电工实验室供电配置…………… (12)
- 1.3 电工实验测量仪表的原理…………… (13)
 - 1.3.1 直读式机电仪表的分类和符号…………… (13)
 - 1.3.2 几种常用电工仪表的工作原理…………… (15)
 - 1.3.3 电工仪表的准确度等级…………… (17)
 - 1.3.4 示波器…………… (18)
- 1.4 电工实验报告标准格式…………… (19)

2. 实验篇

- 2.1 电工测量仪表的使用…………… (21)
- 2.2 直流电路中电位与电压的关系…………… (34)
- 2.3 基尔霍夫定律与叠加原理实验…………… (38)
- 2.4 戴维南定理与诺顿定理实验…………… (43)
- 2.5 电压源与电流源的等效互换…………… (51)
- 2.6 受控源特性的研究…………… (58)
- 2.7 一阶电路的研究…………… (66)

2.8	二阶电路的过渡过程	(72)
2.9	交流电路参数的测定	(76)
2.10	正弦交流电路中 R 、 L 、 C 各种特性研究	(80)
2.11	RLC 串联谐振电路	(85)
2.12	对称三相电路中的电流电压关系	(90)
2.13	无源二端口网络的研究	(96)
2.14	三相电路功率的测量	(102)
2.15	周期性电压极大值的测量	(109)
2.16	交流电路等效参数的测定——三表法	(118)
2.17	交流电路参数的测定——交流电桥法	(122)
2.18	惠斯通电桥测中值电阻	(128)
2.19	开尔文电桥测低值电阻	(134)
3. 附录		
3.1	电路的计算机辅助分析	(141)
3.1.1	电路的计算机辅助分析	(141)
3.1.2	电路分析设计常用软件介绍	(144)
3.2	PSPICE	(147)
参考文献		(150)

1. 基础篇

实验是电工基础课程教学中一个重要的组成部分。通过实验,可以获得必要的感性认识,进一步巩固所学电工技术理论知识;通过实验,可以学习基本电路的连接方法和常用电气设备及电工技术仪表的使用方法,培养从事科学实验的技能、技巧,提高分析问题和解决问题的能力。

1.1 电工实验测量误差及数据处理

测量是人们对客观事物定量认识的必要手段。自古以来人们对测量技术就十分重视。中国“度、量、衡”的统一使得测量有了统一的量度标准,为科学技术的发展作出了突出贡献。随着科学技术的高速发展,对测量的精确度和可靠性等方面的要求也越来越高,同时也促进了测量手段和测量方法的不断完善。然而,无论用什么测量方法和测量设备都必然会产生一定的测量误差。因此正确选择测量方法,完善测试手段,进行测量误差分析和数据处理就变得十分重要。

1.1.1 电工实验测量误差的分类

所有的实验数据必须经过测量获得。而测量中由于仪器的精确度、测量方法、测量环境以及人为因素等限制,测量结果和被测量对象的真实值之间必然会存在误差。这就要求实验操作者了解

测量误差产生的原因,对误差进行分析和处理,使测量误差限制在允许的范围之内。

为了对测量误差进行系统了解,从测量误差的定义出发,通常可以分为绝对误差和相对误差两种。

1. 绝对误差

绝对误差又称为绝对真误差,它可以表示为:

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1-1)$$

式(1-1-1)中:

Δx ——绝对误差;

x ——被测量的指示值或量具、元件的标称值;

x_0 ——被测量的真值。

绝对误差被定义为被测量的指示值和真值之差。在一定的条件下真值是客观存在的。在有的情况下真值可以从理论上给出。但在通常情况下要准确给出真值的大小是很困难的,因此常用精度更高一级的标准仪器所测得的量值来代替真值,称为实际值。

在实际测量中还经常用修正值的概念来表示绝对误差

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

式中:

C ——修正值;

x ——测量示值;

A ——实验值。

由式(1-1-2)可看出,修正值就是绝对误差,只是符号相反。在有的测量仪器中,在校准仪器时测出修正值,并以表格或曲线形式给出修正值,以提高测量精度。在自动测量仪器中,通常将修正值编入程序,对测量结果自动地修正,这就大大提高了测量精度。

2. 相对误差

绝对误差有时不能确切反映测量的精度,因此提出了相对误差的概念。相对误差通常用符号 γ 表示,为绝对误差与真值之比,

用百分比来表示：

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times (100\%) \quad (1-1-3)$$

在实际应用中通常用标称相对误差的概念：

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x} \times (100\%) \quad (1-1-4)$$

它定义为绝对误差 Δx 与测量值 x 之比。这种近似算法适用于误差较小的情况。

相对误差也常用对数形式表示，称为分贝误差：

$$\gamma[\text{dB}] = A[\text{dB}] - A_0[\text{dB}] \quad (1-1-5)$$

式中 A_0 为真值， A 为测量值。

在指针式电子仪表中，通常用引用误差 r_n 来表示仪表准确程度，又称为满度相对误差：

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

其中

γ_n —— 引用相对误差；

Δx —— 绝对误差；

x_m —— 仪表满刻度值。

常用的电工仪表分为 ± 0.1 、 ± 0.2 、 ± 0.5 、 ± 1.0 、 ± 1.5 、 ± 2.5 、 ± 5.0 七级，表示引用相对误差的最大百分比（如精度为 0.5 级的电压表，表示其最大引用相对误差为 $\pm 0.5\%$ ）。

根据引用相对误差的仪表精度等级的概念可以正确地选用仪表的量程和精度。

如果某仪表精度等级为 N ，仪表满量程为 x_m ，被测量的真值为 x_0 ，则测量的绝对误差为：

$$\Delta x \leq x_m \cdot N \% \quad (1-1-7)$$

测量的相对误差为：

$$\gamma \leq \frac{x_m \cdot N \%}{x_0} \quad (1-1-8)$$

从表达式可以看出：

(1) 当仪表等级 N 选定后 x_0 越接近 x_m , 相对误差 r 越小, 测量越准确。因此尽量使被测量值在仪表满刻度的三分之二以上。

(2) 进行测量时不是仪表的等级越高越好。由式(1-1-8)可知, 当 γ 一定时, 仪表等级反比于 x_m/x_0 。如仪表量程太大, x_0 大大小于 x_m , 高等级的仪表也可能产生较大的相对误差。

根据测量误差的性质和特点, 可将测量误差分为系统误差、随机误差和过失误差三大类。

① 系统误差

如果在相同条件下对某一量进行多次重复测量, 其误差值不变, 或者在条件改变时按一定的规律变化, 这种误差称为系统误差。由于系统误差具有一定的规律, 因此可以根据系统误差的产生原因和变化规律, 采用一定的技术措施来消除或削弱。

② 随机误差

如果在相同条件下对同一量进行多次测量, 其测量误差的数值和符号是随机变化的, 这种测量误差称为随机误差。如果测量次数足够多, 则随机误差的平均值趋近于零(如噪声干扰、热骚动等多种因素均会造成随机误差)。对某一量进行一次性测量, 其随机误差没有规律, 不能预测, 也不能用实验方法消除。但进行足够多次测量时随机误差具有以下规律: 随机误差的绝对值具有有界性, 不会超过一定的界限; 随机误差具有对称性, 在多次测量中随机误差具有抵偿性, 如果取多次测量值的平均值, 则可以削弱或消除随机误差的影响。

③ 过失误差

过失误差又称为粗大误差, 是指在一定测量条件下由于读数错误、记录错误、仪器故障、操作方法不当等原因造成的测量值显

著偏离真值的误差。过失误差测得的数据称为坏值。特别在对某一量进行多次重复测量或进行平滑特性曲线测试时坏值是显而易见的,应该剔除。

1.1.2 消除或减小系统误差的一般方法

1. 系统误差的分析

系统误差是测量误差的一个重要方面,可以通过对它的分析、判别和处理,使之削弱或消除。对于系统误差没有通用的处理方法,但通常总涉及到以下几个方面。

(1) 设法检验系统误差是否存在

通常的测量误差包含系统误差和随机误差。在测量恒值系统误差时,可利用随机误差的抵偿特性,进行足够多次重复测试,测量误差的算术平均值即为系统误差值,通常用 ϵ 表示。对变值系统误差的判别就比上面的恒值系统误差困难,可以通过其他方法来分析。

(2) 产生系统误差的原因

消除系统误差的重要方法是在测量前尽可能消除产生系统误差的根源。对于不同的测试对象、不同的测量方法和不同的测试手段,产生系统误差的主要原因不同,具体问题要具体分析。通常产生系统误差有以下几个原因。

① 仪器误差

指仪器本身存在的误差。仪器在出厂时必须保证其测量精度满足一定的技术指标。仪器的安装、使用不当也将使仪器出现附加误差。因此仪器在安装、调试后应进行校准,才能保证一定的测量精度。特别值得指出的是,对测量仪器应定期进行检定和校准。通常应用标准计量进行校正。在实际工作中常用经过校正的高等级测量仪器作为计量标准,所测得的量值作为实际值。

② 人为误差

指由于测量人员主观因素造成的系统误差。例如测量者的错误读数习惯(因不是垂直于仪表表面进行读数造成),又如人的生理分辨能力的限制带来的误差。此类误差可以通过提高测量人员素质、改进测量设备来消除或减少。

③ 方法误差或理论误差

通常由于测量方法不完善或所依据的理论不严密造成(如用电压表和电流表测量电阻两端的电压及流过电阻的电流时由于电表内阻的影响,采用不同的连接方法可能产生方法误差)。

④ 测量环境变化,例如温度、湿度、电源电压变化等因素带来的误差。

2. 减小系统误差的方法

除了在测量之前注意分析和避免产生系统误差的来源外,在测量过程中还可以采用一些专门的测量技术和测量方法来减小系统误差。消除固定误差主要有以下几种方法。

(1) 零示法

本方法主要用于消除指示仪表不准造成的误差。主要工作原理是利用已知的标准量与被测量相抵消,使指示仪表为零,这时的被测量就等于已知的标准量。本方法的精确度只取决于标准量,而与指示仪表的读数精确度无关。在电子仪表中广泛使用的平衡电桥就是应用零示法进行测量。在测试电路中用过零检流计作为指示仪表,逐步提高检流计灵敏度可以提高测量精确度。

(2) 代替法

代替法又称为置换法,其基本测量原理是保持测量条件不变,用一标准已知量去代替被测的量,使两种情况下指示值不变,则被测量等于标准已知量。本方法排除了仪器误差和其他因素造成的系统误差。例如在 Q 表中测量电容就是利用代替法。

(3) 交换法

本方法又称为误差抵消法或对照法。通常用于消除单一方向

的系统误差。利用交换被测量在测量系统中的位置或测量方向,使两次测量所产生的系统误差符号相反,取两次测量值的平均值,即可大大削弱系统误差的影响。

(4) 微差法

在前面的测量方法中,标准量很难实现连续可变,因此很难做到使标准量与被测量完全相等。如果标准量与被测量的差别较小,可以采用微差法,使指示仪表的差对测量结果的影响大大减弱。其基本原理如下。

设 x ——被测量;

B ——和被测量相近的标准量;

A ——被测量与标准量的微差。 A 的数值可由指示仪表读出。

由定义可写出:

$$\begin{aligned}x &= B + A \\ \frac{\Delta x}{x} &= \frac{\Delta B}{x} + \frac{\Delta A}{x} \\ &= \frac{\Delta B}{A + B} + \frac{A}{x} \frac{\Delta A}{A}\end{aligned}$$

由于 $A \ll B$ 可以认为 $A + B \approx B$, 则测量误差可以表示为:

$$\frac{\Delta x}{x} \approx \frac{\Delta B}{B} + \frac{A}{x} \frac{\Delta A}{A} \quad (1-1-9)$$

由公式(1-1-9)可见,用微差法测量时,测量误差由两部分组成:第一部分 $\Delta B/B$ 为标准相对误差,一般情况下数值很小;第二部分是指示仪表的相对误差 $\Delta A/A$ 和系数 A/x 的乘积。系数 A/x 为微差与被测量之比,在微差较小时,它远小于1。因此测量误差将大大小于指示仪表误差。即采用微差法使指示仪表误差对测量的影响被大大地削弱。在对稳压电源的稳定度测试中就常用微差法。

1.1.3 电工实验测量数据有效数字处理

通过测量得到的数据通常需要进行数据处理,进行误差分析、运算和整理。在进行数据处理中,必须正确进行有效数字的正确取舍。

1. 有效数字的表示方法

为了准确反映测量数据,必须规定测量值的准确度。通常规定测量值的误差不得大于最后一位数字的一半。此时测量值从最左边第一位不为零的数值起,至右边最后一位数值止,都称为有效数字。

2. 有效数字的舍入

在进行数据处理时,如果需要 n 位有效数字,则对超过 n 位的数字就应根据“四舍五入”规则进行处理。“四舍五入”的法则如下:

如果求保留 n 位有效数字,第 n 位以后的数字需作以下处理:

- (1) 小于第 n 位单位数字的 0.5 就舍掉;
- (2) 大于第 n 位单位数字的 0.5 就向第 n 位进 1;
- (3) 若保留 n 位有效数字以后的余数恰好为 n 位单位数字的 0.5, 则当第 n 位数为偶数或零时就舍掉后面的数值;若第 n 位数值为奇数,则第 n 位数值加 1。

例如,把下面数值的有效数字保留三位:

38.25——38.2:第 4 位为 5 即第 3 位单位数字的 0.5,同时第 3 位为偶数,所以第 4 位值舍掉。

32.157——32.2:第 3 位以后的数为第 3 位单位数字的 0.57,大于 0.5,所以向第 3 位进 1。

35037—— 350×10^2 :第 3 位以后的数为第 3 位单位数字的 0.37,小于 0.5,所以舍掉。

20.15——20.2:第 3 位以后为第 3 位单位数字的 0.5,且第 3

位为奇数,所以向第3位进1。

3. 有效数字的运算

由于测量值均为近似值,所以测量结果的计算也是近似计算。怎样来处理运算结果,目前尚无统一的规定。通常一个测量结果用被测量的量值和不确定度共同表示,它们的最低位保持一致。例如,电压值表示为 $1.23 \pm 0.05\text{V}$,电流值表示为 $3.15 \pm 0.03\text{A}$ 。

在对一个数值进行运算时往往不附加不确定度。但为了提高运算的准确程度,往往首先由误差(或不确定度)的大小来确定测量值的有效数字的最低位,然后测量时再在有效数字末位之后多取1~2位安全数字,运算完毕后再按舍入规则处理。

在做减法运算时,如果两个数相近,则应尽量多取几位有效数字或避免出现这种情况。

在做指数运算时,当指数的底远大于或小于1时,指数很小的变化都将产生很大的误差,此时指数应尽可能多保留几位有效数字。

在进行测量数据处理中,除了应用前面介绍的误差知识、掌握有效数字的舍入规则外,还需要掌握处理非等精度测量数据的方法,了解最小二乘原理和回归分析方法。

1.1.4 电工实验测量数据的图示法

为了了解测量数据的规律、各物理量之间的关系,以便于进行数据分析,常用曲线来表示数据。绘制数据曲线的基本方法和注意事项是:

(1) 首先将测量数据的自变量、应变量、参变量以及测量条件列出数据表。

(2) 正确选择坐标系统。常用的坐标有直角坐标和极坐标。坐标轴可以是线性刻度、对数刻度等。

(3) 根据测量函数要求,在坐标轴上标明自变量和应变量名