

许爱德 李作洲 编著
王维刚 主审

电路原理实验

Dianlu Yuanli Shiyan

大连海事大学出版社

电路原理实验

许爱德 李作洲 编著
王维刚 主审



大连海事大学出版社

© 许爱德,李作洲 2012

图书在版编目(CIP)数据

电路原理实验 / 许爱德,李作洲编著. —大连:大连海事大学出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-5632-2744-0

I. ①电… II. ①许… ②李… III. ①电路理论—实验—高等学校—教材 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 198101 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2012年8月第1版

2012年8月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:8.25

字数:204 千

印数:1 ~ 2000 册

责任编辑:杨子江 杨冠尧

版式设计:木 易

封面设计:王 艳

责任校对:蒋宗彦

ISBN 978-7-5632-2744-0 定价:15.00 元

前 言

电路原理实验是电路课程的重要实践环节。本教材以上海宝徕提供的设备为基础编写,供不同专业根据自己的需要选用。本书的目的是通过实验使学生巩固和拓展电路理论知识,掌握基本的实验技能、测试方法和测量技术,奠定扎实的实验基础;培养学生严谨的科学态度;开发学生的创新与动手能力。

全书分为四部分:第一部分为电路实验基础知识,第二部分为基本电路实验,第三部分为仿真实验,第四部分为综合、创新设计实验。第一部分包括4章,首先介绍课程的意义和教材特点,并提出学生实验守则;然后论述电路实验的预备知识;继而介绍电路实验中常用的几种仪器,讨论仪器的基本性能和基本操作方法;最后对仿真软件 OrCAD10.0 如何应用进行了介绍。第二部分包括15个实验,可供不同专业根据教学实际需求选用。第三部分和第四部分的仿真和综合、创新设计实验,可根据学生学习情况灵活选用,目的在于培养学生利用计算机仿真进行电路分析的综合能力,开发学生的创新与动手能力。

本书总结多年电路实验课的教学经验、结合现有设备,由许爱德和李作洲共同编写而成。王维刚对书稿进行了审阅。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2012年6月

目 录

第一部分 电路实验基础知识.....	1
第一章 绪 论.....	1
第一节 学习本课程的意义和本教材的特点.....	1
第二节 学生实验守则.....	1
第二章 预备知识.....	3
第一节 测量的基本概念.....	3
第二节 误差来源、分类及减小误差的途径.....	3
第三节 有效数字和误差的表示方法.....	5
第四节 实验数据处理与运算.....	8
第五节 实验报告.....	10
第六节 实验考核标准.....	13
第三章 常用电子仪器使用常识.....	14
第一节 单相电量仪表.....	14
第二节 数字合成信号发生器.....	15
第三节 示波器.....	16
第四节 交流毫伏表.....	17
第四章 电路仿真软件 OrCAD10.0 应用指导.....	20
第一节 电路图的绘制.....	20
第二节 电路的仿真分析计算.....	28
第二部分 基本电路实验.....	32
实验 1 电子元件伏安特性的测定.....	32
实验 2 基尔霍夫定律验证和电位的测定.....	37
实验 3 电压源与电流源的等效变换.....	40
实验 4 叠加和齐性原理的验证.....	44
实验 5 戴维南定理验证和最大功率传输条件的测定.....	47
实验 6 受控源特性的研究.....	51
实验 7 RC 一阶电路响应研究.....	58

实验 8	二阶电路的响应研究	63
实验 9	交流电路等效参数的测定	67
实验 10	RLC 串联谐振电路的研究	71
实验 11	互感电路的测量	75
实验 12	三相交流电路	79
实验 13	两表法测量三相电功率	83
实验 14	日光灯 $\cos\varphi$ 的提高	86
实验 15	非正弦电路	79
第三部分	仿真实验	93
实验 1	动态电路响应的研究	93
实验 2	RLC 电路串联谐振的研究	96
实验 3	三相电路的分析与研究	99
实验 4	非正弦周期电流电路的分析与研究	102
实验 5	二端口网络的研究与测量	104
第四部分	综合、创新设计实验	107
实验 1	电桥测量电路的研究与设计	107
实验 2	运算放大器的简单应用	110
实验 3	波形变换电路的设计与实现	113
实验 4	负阻抗变换器的设计与实现	116
实验 5	回转器的设计与实现	120
实验 6	延迟开关的设计	123
实验 7	实用电路的设计与实现	124
参考文献		126

第一部分 电路实验基础知识

第一章 绪 论

第一节 学习本课程的意义和本教材的特点

一、课程的意义

电路实验是和电路理论课程一起开设的实验课程,其主要任务是使学生在理论学习课程后,通过实验加深对所学概念、理论、分析方法的理解,学习一些基本的实验方法,掌握电路实验的基本技能,提高运用所学理论独立分析和解决实际问题的能力,培养安全用电的意识,养成良好的实验习惯,为后续课程的学习、毕业设计,乃至毕业后的科研和工作奠定坚实的基础。

二、教材的特点

本教材以上海宝徕提供的设备为基础编写,供不同专业根据自己的需要选用。其中一部分是经典基本实验,需要具体操作完成;一部分是仿真实验,借助 PSpice 仿真软件实现电路的分析运算;一部分是综合、创新设计实验,可全面培养学生的综合创新能力。

本书实验内容的总课程学时远远超出任何一个专业规定的课时,指导教师可以根据学生的实际情况及内容的难易程度给出每个实验的分值,供学生选做。

第二节 学生实验守则

为了在实验中培养学生良好的习惯,使每一个学生都用严谨、科学的态度自觉对待每一个实验数据,同时确保人身和设备安全,特制定本实验守则。

1. 课前认真预习,明确实验目的,正确理解实验原理,熟悉实验步骤,了解实验仪器的使用方法和注意事项。
2. 按时出勤,遇到特殊情况应在课前请假,并在事后及时找指导教师预约补做实验的时间。
3. 课上按要求连接电路,检查无误后,方可通电观察和测量。
4. 正确记录实验结果,包括所用仪器的名称、规格、型号、实验现象、数据、单位、误差、实验过程中出现的故障及排除故障的方法等。
5. 严格按照安全操作规程操作。
6. 接通电源后,若发现有冒烟、元件发烫、焦糊气味等异常现象,应立即关断电源,保护现场,报告指导教师,待查明原因并妥善处理并经指导教师同意后方可继续进行实验。

7. 仔细观察实验现象,并用所学的理论知识作出合理的解释。

8. 遇到自己无法理解的实验现象,要及时同指导教师探讨。

9. 完成实验后,立即切断实验台的总开关,整理好实验器材,包括将实验仪器和元器件放回原处,按要求将仪器上的旋钮和按钮调整到规定的位置,按相同规格将导线分类整理,搞好本实验台及附近的卫生,方可离开实验室。

10. 各组使用自己实验台上的器材,未经指导教师允许,不得互相借用。

11. 保持实验台整洁,不得在实验台面板或仪器面板上做标记。

12. 不在实验室进食,保持实验环境整洁。

13. 课后独立、认真、如实地填写实验报告,不得编造、修改原始数据。

14. 按规定时间认真完成并提交实验报告。

15. 只在规定区域进行实验,严禁乱搬乱动与本次实验无关的仪器。

16. 遇到意外情况,听从指导教师的指挥。

第二章 预备知识

第一节 测量的基本概念

实验离不开测量,测量不可避免地存在误差。为了得到准确的实验结果,必须首先了解有关测量的基本概念,理解误差的含义、来源、分类、表示方法和处理方法,这样才能根据具体情况找出减小误差的实验方法,从而提高实验数据的精度。

1. 测量

测量是将未知物理量与作为标准单位的物理量进行比较,得到二者倍率关系的过程。例如,某未知电压与作为标准电压的 1 V 电压比较,未知电压是标准电压的 12.3 倍,则被测的未知电压就是 12.3 V 。

2. 被测量

被测量就是被测量的量。

3. 量值

一个物理量的量值包括数值和计量单位。例如, 1.23 mA 其数值是 1.23 , 计量单位是 mA 。

4. 真值

一个物理量本身的、客观存在的量值。

5. 测量值

用某种测量方法,通过测量仪器获得物理量的量值称为测量值。测量值的大小与测量方法、测量仪器、测量者有关。

6. 误差

一个物理量的测量与其真值之差称为绝对误差。绝对误差与真值之比定义为相对误差。真值是客观存在的。由于测量过程中不可避免地存在测量误差,所以真值永远不可能得到。相对误差通常是用绝对误差与理论值之比或绝对误差与测量值之比得出的近似结果。

7. 额定值

额定值是制造者为设备或仪器规定工作条件后,某物理量的指定量值。例如,普通白炽灯的额定工作电压是 220 V , 某仪器在 220 V 供电电压下的额定功率是 25 W 等。

8. 读数和示值

在仪器刻度盘或显示器上直接读到的示值是测量仪器的指示值或记录值,示值包括读数和单位。例如,某电流表满刻度值是 100 mA , 分为 100 等份(即 100 分度),若指针指在中间位置,则读数为 50 ,即示值为 50 mA 。

第二节 误差来源、分类及减小误差的途径

测量中产生误差是必然的。实践证明,根据实际情况将误差分类,找出其规律,就有可能

减小误差。

一、误差来源

1. 方法误差

由于测量方法不完善、物理模型或计算公式不能完全等效、使用的经验公式与实际情况存在某种程度的偏差等,造成测量结果与真值不吻合,这类误差称为方法误差。

例如,用伏安法测量某元件的电阻值,有电流表外接法和电流表内接法之分,如图 1-2-1 所示。用电流表外接法测量得到的电流是通过被测元件的电流和通过电压表的电流之和,而并不仅仅是流过被测元件的电流,因此,测量电流值的结果偏大,计算出来的电阻偏小;用电流表内接法测量时,得到的电压是降在被测元件上的电压与降在电流表上的电压之和,电压值永远大于被测元件两端的电压,因此,电阻的测量结果偏大。

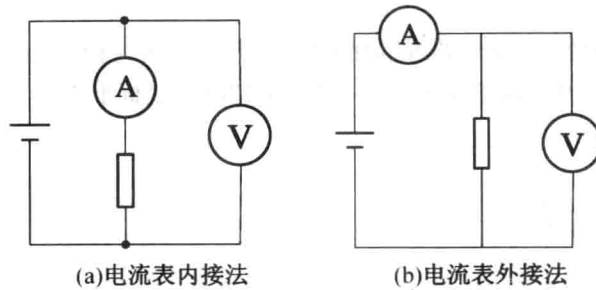


图 1-2-1 伏安法测量电阻的两种方法

2. 仪器误差

仪器误差是仪器本身不完善产生的测量误差。

例如,用示波器测量某信号的电压峰峰值,由于示波器探头衰减倍率存在误差,致使测量值产生误差,而且误差的大小和方向都可以找到规律。

3. 使用误差

使用误差指在测量过程中因操作不当或人为因素引起的误差。

例如,在使用指针式功率表测量功率时,按设计要求,功率表应该水平放置,但放置功率表的桌面往往与水平面存在一定的夹角,从而使测量结果产生误差。

4. 环境的影响

电磁干扰、振动、加速度、温度、湿度、气压、辐射等都有可能影响测量结果。

例如,在强电磁干扰的环境中用示波器测量某信号,可以明显地看到扫描线变粗的现象。

二、误差分类

误差的分类方法有多种。电路实验中按误差的性质分类,可分为系统误差、随机误差和疏失误差。

1. 系统误差

在相同条件下用同一方法多次测量同一个物理量,误差的大小和符号保持不变,或在测试条件发生变化时,误差按一定规律变化,这种误差称为系统误差。

方法误差、仪器误差和使用误差都有可能是系统误差。

2. 随机误差

在相同条件下用同一种方法多次测量同一个物理量,每次测量的大小和符号不确定,并且

是无规律的,但是,就大量重复测量而言,误差又是服从某种统计规律的,这类误差称为随机误差,有时也称为偶然误差。

3. 疏失误差

在相同条件下用同一种方法多次测量同一个物理量,个别测量结果明显远离其他测量结果,就个别测量结果而言,表现为偶然性,就整体测量结果而言,不符合任何统计规律,从误差来源分析,源于读数或记录数据时的疏失,因此称为疏失误差。

三、对不同误差的描述

为了方便地表述测量结果的特性,引入与误差相关的3个概念,即准确度、精密度和精确度。

1. 准确度

在一定条件下,用相同的测量方法对某一物理量进行多次测量,其结果与真值之间的差异程度称为测量的准确度。准确度通常取决于系统误差的大小,用系统误差的界限 Δx 与测量值 x 的比值来度量, $\frac{\Delta x}{x}$ 越小,准确度越高。

2. 精密度

在一定条件下,用相同的测量方法对某一物理量进行多次测量,所有结果的接近程度或测量值的起伏程度,称为测量的精密度。精密度通常取决于随机误差的大小,疏失误差对精密度也有影响,用绝对平均误差 $|\Delta x|$ 来量度, $|\Delta x|$ 越小,精密度越高。

3. 精确度

精确度是综合评定误差大小的概念,准确度和精密度都高时,才称精确度高,其他情况精确度都不高。

四、减小误差的主要途径

系统误差是由于测量仪器的偏差或测量方法不完善等原因造成的,系统误差的特点是误差的大小和符号在一定范围内不变,能找到误差的规律,可以根据具体情况通过某种方法进行修正。

从每次测量的数据看,随机误差的数值和符号都是无规律的,但从大量相同条件的重复测量结果看,又是服从某种统计规律的,通常在多次测量后,用某种统计平均的方法减小或消除随机误差。

疏失误差既不具备系统误差的特点,也不遵从统计规律,其测量值往往与平均值相距甚远,一旦确认某测量值的误差属于疏失误差,则应剔除或重新测量。

第三节 有效数字和误差的表示方法

从任何实验中得到的测量数据都存在误差,下面讨论实验数据的表示方法和运算方法。

一、有效数字

所有测量值都是近似值。通常根据测量值与真值的近似程度,用若干位可靠数字和一位欠准数字(也称为存疑数字)构成有效数字。在测量中,左起第一个不为零的数字及右面所有的数字均为有效数字。

为书写方便,可以将有效数字写成指数形式,有效数字的位数与有效数字的书写形式、小

数点的位置均无关。

例 1-2-1 $0.000\ 136 = 1.36 \times 10^{-4}$

有效数字的位数与小数点的位置无关。

$0.25\ 8$, 10.6 , $0.000\ 11\ 2$, $12\ 3$, $3.1\ 4$, $2.9\ 9 \times 10^{10}$, $1.3\ 6 \times 10^{-4}$ 都有 3 位有效数字,其中带下划线的数字是存疑数字。

二、有效数字的取舍原则

有效数字的取舍原则为“4 舍 6 入 5 留双”,即在取舍中遇到不大于 4 的数字舍去,遇到不小于 6 的数字进位,遇到数字 5 时若前面一位数字是奇数则进位,若前面一位数字是偶数则舍去。

例 1-2-2 原始数据为 $a = 0.012\ 300$, $b = 1.398\ 9$, $c = 1.355\ 5$, $d = 1.345\ 5$,保留 3 位有效数字后, $a = 0.012\ 3$, $b = 1.40$, $c = 1.36$, $d = 1.34$ 。

三、有效数字的运算

有效数字运算的原则:准确数字与准确数字之和为准确数字,欠准数字与任何数字相加,其和为欠准数字。

1. 加减运算

直接运算后按取舍原则保留一位存疑数字。

例 1-2-3 $a = 12.35$, $b = 106.709$, $c = 1.21 \times 10^{-2}$, $d = 2.007\ 8 \times 10^2$,将这 4 个数字做加法运算,即

$$\begin{array}{r} 12.3\ 5 \\ 106.7\ 0\ 9 \\ 0.0\ 1\ 2\ 1 \\ + \quad 200.7\ 8 \\ \hline 319.8\ 5\ 1\ 1 \end{array}$$

相加后出现了 3 位存疑数字,舍去最后 2 位,得到 $a + b + c + d = 319.85$ 。

例 1-2-4 $a = 108.56 \times 10^3$, $b = 0.125 \times 10^6$,求和,即

$$\begin{array}{r} 108.5\ 6 \times 10^3 \\ + \quad 12\ 5 \times 10^3 \\ \hline 233.5\ 6 \times 10^3 \end{array}$$

保留最高位的一位存疑数字,则 $a + b = 234 \times 10^3$ 。

2. 乘除运算

运算结果的有效数字位数与参加运算各数值中有效数字位数最少者相同。

例 1-2-5 $12.0 \times 0.1\ 2 = 1.4$

3. 对数运算

取对数前后的有效数字位数相等。

例 1-2-6 $\ln 10.5 = 2.3\ 5$

四、采样点的选取

1. 通过实验确定特征点

在实验中,经常要研究一个物理量随另一个物理量变化的关系,将两个物理量之间的关系在平面坐标系中绘制成曲线,曲线上就会出现一些特殊的点,如最大值、最小值、拐点等,这些

点通常称为特征点,一个特征点表征一个特定的状态,在取样时通常要准确地找出这些点。例如,做 RLC 串联谐振实验时,可通过改变频率找出电压的最大值,确定并记录谐振频率和谐振电压。

2. 在规定的范围内采样

超出规定范围的采样点没有意义。例如,测量 6 V 小灯泡灯丝的伏安特性时,必须在额定电压范围内测量;否则,将电压升高到 6 V 以上,不仅测量值没有意义,还会加速灯丝的蒸发速率,甚至烧断灯丝。

3. 选择合理的采样间隔

一般在被测量变化剧烈的区间采样点应密集一些,在被测量变化缓慢的区间采样点可稀疏一些。

五、测量次数的确定

1. 单次测量

当多次重复测量的读数起伏不超过仪器的最小分度值时,可采用单次测量。此时的测量误差主要取决于仪器的误差。在电学指针式仪表中,多以满刻度相对误差表示仪表的误差,即以仪表的最大绝对误差与仪表的满刻度值比值的百分数表示。例如,1.5 级电流表的最大限为 100 mA,则其最大误差为仪表满刻度的 1.5%,即 $\Delta I = 100 \times 1.5\% = 1.5 \text{ mA}$ 。其他测量仪器的误差多以最小分度的一半作为仪器的误差。

2. 多次测量

凡是多次重复测量的读数起伏超过仪器的最小分度值,并显示随机误差的特性,根据实验精度要求,可进行多次测量。

六、误差的表示方法

有些物理量可以直接测量,有些物理量则不能直接测量或很难直接测量,这时往往先测量一些相关的物理量,然后再利用这些测量值计算待测物理量,这种方法称为间接测量。

1. 直接测量

单次测量结果 y 用测量值 x 和仪器误差 Δx 之和表示,即

$$y = x \pm \Delta x$$

多次测量结果 y 用 n 次测量的平均值 $\bar{x}$ 与平均误差 $\Delta \bar{x}$ 之和表示,即

$$y = \bar{x} \pm \Delta \bar{x}$$

$$\text{其中, } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \Delta \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}, x_i \text{ 为第 } i \text{ 次测量值。}$$

2. 间接测量

设待测量为 y , 相关可直接测量的 n 个量为 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 函数关系为

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

则测量后的计算结果为

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \pm \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)}{\partial x_i} \Delta \bar{x}_i \right)$$

第四节 实验数据处理与运算

在实验中通过测量得到原始实验数据,经过分析、整理、计算、对比等工作,得到最终测量结果,或验证定律、定理,或发现新的规律,这个过程称为数据处理。

一、原始数据的记录

原始数据包括测量仪表的显示值、仪表的量程、分格常数、单位、误差、测量条件等。

按显示方式分类,可将测量仪表分为指针式仪表和数字式仪表。

1. 用指针表测量

用指针表测量涉及量程选择、读数方法、示值换算和测量误差等问题。

(1) 量程选择

为扩大测量量限范围,同时尽可能提高测量精度,多数指针表设有多量程开关。选择量程时,应在指针不超出量限的前提下,使指针尽量接近满刻度,减小测量误差。

(2) 读数方法

按指示值读数并记录,读到最小分度后再估读1位。例如,某表盘的分度是100格,指针指向68格与69格中间的位置,准确数字为2位,再估读1位,应记录68.5格,最后1位是欠准数字。

由于指针要在表盘上自由摆动,指针不能直接与表盘面接触。如果人眼的观察方向与表盘不垂直,必然产生读数误差。为消除这一误差,有些表盘上安装了平面反光镜,读数时应看到表针与镜子里面的指针相重合。

(3) 示值换算

表盘上每格对应被测量的大小称为仪表常数或分格常数 C ,定义为仪表量程 x 与表盘满刻度格数 a 之比,即

$$C = x/a$$

显然,即使对于同一仪表,不同量程对应的分格常数也不会完全相同。

仪表读数对应被测量的测量值称为示值。示值等于读数与仪表常数的乘积。

(4) 测量误差

电学仪表上一般标有精度等级,精度等级决定测量误差,误差是实验数据中必不可少的一部分。

2. 用数字表测量

用数字表测量有读数简单的优点。示值和单位都在显示器上,但是误差的大小还要查阅说明书。

二、数据的整理

1. 排列数据

为了便于观察并找出数据的变化规律,通常将测量值按大小顺序或其他有利于观察数据变化规律的方式排列。

2. 分析误差

通过对测量值进行分析,确定误差的特性,为改进测量方法提供理论依据。

3. 减小或消除误差

根据误差分析结果寻找合适的改进测量方法,修正系统误差,用多次测量取平均值的办法减小随机误差,剔除疏失误差,尽可能减小测量值的误差。

三、数据的进一步处理

1. 列表法

列表是整理实验数据最基本、最常用的方法之一,将测量值按一定规律排列后,不仅容易总结规律,而且便于发现疏失误差。

列表的目的是为了把大量实验数据整理成有规律排列的形式,便于观察和分析。因此,对实验表格有如下基本要求:

①表号,便于在实验报告或文章中引用。

②表头,用尽可能简洁的词语反映表格的内容。

③结构,表格的第一行和第一列分别为自变量和因变量,如需进一步分类,可以将第一行和第一列拆分。

④单位,有量纲的物理量都必须标注单位。

如果表中一行或一列的数值具有相同的单位,应按行或按列标注单位;如果一个表中所有数值的单位都相同,应作为共用单位并将它标注在表格右上方(第一行之上)。

⑤数据,表中填写的数据既可以是测量值,也可以是计算值。

记录原始数据的表格中应用读数和示值,计算值一般与原始数据对应。测量值和根据测量值计算的数值必须按有效数字的形式填写,一般将小数点对齐,便于阅读和比较。

⑥顺序,一般按自变量从小到大的顺序排列。

按以上要求设计并填写的表格如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 线性电阻的伏安特性

U/V	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000
I/mA	7.80	13.00	20.2	27.1	34.5

2. 常用二维图形

用二维图形描述实验结果,比列于表格中的数据更直观。二维图形适于表述单变量函数的实验结果。为了便于对比,有时将几条曲线绘制在同一坐标系中,此时要求自变量相同。

对于多个自变量的函数,若想用二维图形表达,只能保留一个自变量,其他变量设为常数。

为使二维图形准确反映测量或计算精度,应在坐标纸上绘图,若有条件,也可以用计算机绘图,再将图贴在实验报告里。

典型二维曲线制图应注意遵循以下惯例:

①建立坐标系。选择适合描述数据特性的坐标系。常用的坐标系有线性直角坐标系、半对数直角坐标系、全对数直角坐标系、极坐标系,其中最常用的是线性直角坐标系,一般以横轴代表自变量,纵轴代表因变量。

②绘制坐标轴。横轴和纵轴上若没有给出标值以表明其增值方向,应分别为横、纵轴线加上箭头;若已给出标值表明了横轴和纵轴的增量方向,则不应再添加箭头,因为这时箭头是冗余信息。一般以两坐标轴的交点为坐标原点,若所有数据点都远离坐标原点,允许平移坐标轴,但绘图区域必须覆盖所有数值(坐标点)。在两个坐标轴的外侧应标出该坐标轴所代表的

物理量及其单位。

③坐标轴分度。在最常用的线性直角坐标系中,对坐标轴采用线性分度。原则上坐标轴的最小分度恰好能反映有效数字的精度。在坐标轴上一般只标5~10个等分格的标尺,并标注每个格的数值,小格一般不标数字。

④描点。按数据对应的坐标描点,同一组数据用相同的符号,可以用实心圆、叉、空心圆等符号区分各组数据,也可以用不同颜色区分不同的数据。

⑤拟合曲线。在电路实验中,一般将所有有效实验数据对应的坐标点拟合成光滑的曲线。由于测量值可能有随机误差,即使在相同的条件下测量,测量值也会在某点附近随机变化,所以严格通过所有坐标拟合的曲线会出现很多奇异的弯曲拐点,这样的曲线不能真实地反映实验结果。正确的拟合方法是绘制一条光滑的、拐点尽可能少的曲线,所有坐标点到该曲线的最短距离之和为最小;对于已知因变量随自变量呈线性变化的情况,需要拟合成一条直线,使所有坐标点到该直线的距离之和为最小,或将所有二维坐标输入计算机,用最小二乘法计算直线的斜率和截距,再按计算值绘图。

⑥多组数据的处理。在同一坐标系中用不同的线型或不同颜色的实线绘制各组数据对应的曲线,并在空白位置标注各条曲线对应的数据或数据组。

3. 其他图形

为了简洁、清楚地描述数据,给读者更形象的印象,可根据需要选用直方图、饼图、折线图,甚至三维图。

第五节 实验报告

实验报告是对实验工作的总结。没做过这个实验的人通过实验报告应能够了解实验的全部工作内容。一份完整的实验报告一般包括概述、实验目的、原理、实验器材、实验内容及步骤、原始实验数据记录、数据处理、误差分析、结论等。学生的实验报告还包括一些与本次实验有关的思考题的答案。

1. 概述

概要说明本实验的背景、意义、用途等,学生实验报告中通常不包括此项。

2. 实验目的

对于验证性的学生实验报告,用若干简单句说明通过本实验要观察什么现象、了解某元件或某器件的什么作用,学习什么测量方法、掌握什么实验技能、验证什么定理或什么公式等。对于设计性的学生实验报告,则是用什么原理设计什么单元电路等。

3. 原理

简要概述本实验所涉及的理论、公式、方法。必要时,应从通用的公式、公理、定理、经验公式等进行简单的推导,得出本实验所需要的计算公式。其中每一部分内容都要写清楚,原理图、公式都要有,插图要有图题和图标,公式要有编号,变量要有定义。

4. 实验器材

一般列表说明所有实验仪器和器材,包括实验仪器、单元板、专用电路实验板、元器件、导线等实验中用到的所有仪器和器材。每一件仪器或器材都应填写相应的序号、名称、规格、型号、数量、主要技术参数等。

5. 实验内容及步骤

实验内容要分清层次,按实验顺序列出每一步实验工作的详细内容,阐明实验方法,绘制实验电路等。步骤是相应内容的具体实施方法,例如,如何调整电源、如何连接电路图、有什么特殊的注意事项、如何记录数据等。

6. 原始记录

原始记录包括实验现象和测量数据。实验现象可用文字描述,必要时可给出示意图或照片、曲线等,达到简洁、明了的目的;测量数据包括按一定有效数字记录的实测数值、误差、量纲等。

7. 数据处理

首先说明用哪个公式处理哪些数据,然后列出最终的计算结果,如有必要,还要绘制实验曲线。实验曲线一般有直方图、折线图、光滑曲线等,其中最常用的是光滑曲线,可用手工绘制,也可通过某种算法拟合或插值。注意在手工描绘曲线时,由于测量存在误差,曲线可以不通过实测值所确定的坐标点,但要求曲线光滑、实测坐标点分居曲线两侧,并且力求实测坐标点与曲线的距离尽可能小。

8. 误差分析

通过测量方法、近似计算、数据特征等分析误差种类,找出误差原因,给出误差的大小,判断是否能修正误差,提出减小测量误差的方法。

9. 结论

给出与实验目的相呼应的结论,总结实验过程中的体会,也可以提出一些对本实验的改进建议和展望。

10. 思考题

思考题是针对学生实验设置的内容,是必做内容。通过回答思考题,可以加深对实验内容的理解。一般对思考题只需简要回答若干要点,不必高谈阔论,必要时可用示意图、公式、数据等进行说明。

学生实验报告的典型格式如表 1-2-2 所示。