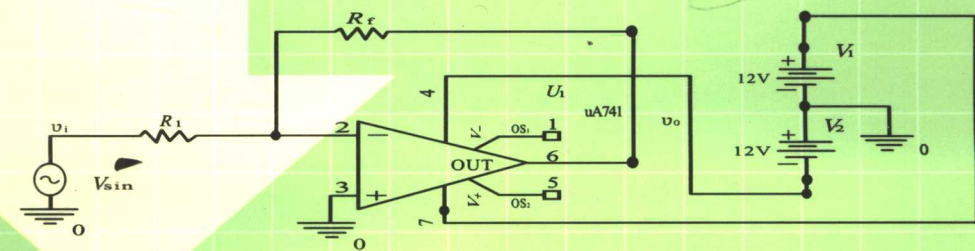


杨育霞 章玉政 胡玉霞 编著

电路实验

操作与仿真



高等学校教材

电 路 实 验

——操作与仿真

杨育霞 章玉政 胡玉霞 编著

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路实验—操作与仿真/杨育霞,章玉政,胡玉霞编著. —郑州:
郑州大学出版社,2003.2
ISBN 7-81048-704-3

I. 电… II. ①杨…②章…③胡… III. 电路—实验—高等
学校—教材 IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 007283 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:谷振清

全国新华书店经销

郑州文华印刷厂印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:11.875

字数:270 千字

版次:2003 年 2 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-6966070

1/16

印次:2003 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-81048-704-3/T·14

定价:18.00 元

本书如有印装质量问题,由承印厂负责调换

内 容 提 要

本书是根据电路课程教学基本要求编写的高等学校工科电气类各专业电路课程的实验教材。全书共分四章。第一章介绍了工程实践中常用的电工测量仪表与电工测量的基本知识,以及计算机仿真实验平台——PSpice 软件;后三章为 31 个电路实验,分别包括 16 个电路基本常规操作实验、8 个计算机仿真实验和 7 个设计研究性实验。

本书既可作为本、专科电类专业电路理论课程的实验教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

前 言

《电路实验——操作与仿真》是为电类专业本、专科电路实验课程编写的教学用书。电路实验课程是电路课程的实践性环节。本书是按照电工课委会制订的电路课程实验教学的基本要求编写的。在本书的编写过程中,加入了作者近年来在电路实验教学改革方面的最新成果,并吸取了其他兄弟院校的许多成功的经验。

本书具有以下几个特色:①利用先进的实验设备加强学生的基本实验技能的训练。如第二章编写的16个基本操作实验与目前较先进的EEL-Ⅱ型电工电子实验台完全配套。②为适应信息时代对人才的要求,本书加入了计算机辅助电路分析的内容,简单介绍了电路仿真软件OrCAD PSpice 9.0;并通过8个仿真实验,使学生由浅入深地掌握软件使用方法的同时,培养了利用计算机仿真进行电路分析的综合能力。③为适应现代社会对大学生创新能力的要求,本书还精心编制了7个设计与研究性实验;让学生利用电路理论、计算机仿真以及实验室提供的电工实验设备,自己设计实验方案,分析实验数据,并提出完整的实验报告。相信经过这样的设计训练,一定会大大提高学生的综合素质。④本书按照由易到难,由验证性实验到综合设计性实验,由操作实验到仿真实验进行编排。每个操作实验安排的内容较多,旨在加强实验的综合性;设计与研究性实验既具有实用性,又考虑到尽量不超出电路课程所涉及的内容;仿真实验既注重与操作实验的对比性,也注重与操作实验的互补性,例如:二阶电路增幅振荡在操作实验中不容易观测到,而用计算机仿真却很容易实现。

全书共分四章。第一章介绍了电工测量常用仪表的基本知识,简单介绍了OrCAD PSpice 9.0软件的特点,并对操作实验中用到的EEL-Ⅱ型电工电子实验台作了介绍,作为电路实验的预备知识。第二章选编了16个基本电路操作实验,使用时可根据专业和课时的要求进行选择。第三章提供了8个计算机仿真实验,把PSpice的使用方法由浅入深地均匀分配到8个实验中,且内容联系紧密,所以要求学生一定要从第一到第八个实验顺序上机完成。第四章选编了7个设计与研究性实验,使用时可视情况让学生自选若干个感兴趣的内容。

本书由杨育霞、章玉政、胡玉霞编写。其中绪论与第一章的第一至第六节由胡玉霞编写,并绘制了第一章、第二章的全部插图以及第四章的部分插图。第一章的第七节和第二章由章玉政编写。第一章的第八节、第三章和第四章由杨育霞编写。全书由杨育霞统稿。

本书承高金峰教授主审,并提出了许多宝贵意见。王俊鹏教授对本书的编写给予了指导和帮助。郑州大学电气工程学院电路教学组的其他教师也对本书提出了许多好的建议。作者在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于我们水平所限,书中如有错误和不妥之处,恳请读者提出宝贵意见。

作者

2002年9月于郑州大学

目 录

绪论	(1)
第一章 电路实验基础知识	(4)
第一节 电工测量与测量误差的基本概念	(4)
第二节 测量数据的处理	(8)
第三节 电工测量指示仪表的一般知识	(10)
第四节 常用电工测量指示仪表的测量机构	(14)
第五节 电流、电压和功率的测量	(18)
第六节 数字仪表的基本知识	(22)
第七节 EEL - II 型电工电子实验台简介	(29)
第八节 电路仿真软件 OrCAD PSpice A/D 9.0 简介	(33)
第二章 基本电路操作实验	(42)
实验 1 基本电工仪表的使用及减小内阻测量误差的方法	(42)
实验 2 伏安特性的测定	(45)
实验 3 网络定理的研究	(49)
实验 4 等效变换原理及电路最大功率传输的研究	(54)
实验 5 回转器特性及并联谐振电路的研究	(59)
实验 6 一阶电路暂态过程的研究	(62)
实验 7 二端口网络的等效参数的测定	(65)
实验 8 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	(69)
实验 9 交流电路基本参数测量	(71)
实验 10 互感的测量	(74)
实验 11 单相电度表的校验	(77)
实验 12 功率因数的提高	(79)
实验 13 串联谐振电路特性的研究	(83)
实验 14 三相正弦交流电路电压、电流的测量	(86)
实验 15 三相正弦交流电路功率的测量	(90)
实验 16 负阻抗变换器	(93)
第三章 仿真实验 *	(96)
实验 17 绘制第一张电路图	(96)
实验 18 直流电阻电路的分析计算	(104)
实验 19 戴维宁与诺顿定理的研究	(113)
实验 20 含运算放大器电路的分析	(121)
实验 21 一阶电路暂态分析	(129)

实验 22	正弦稳态电路的分析计算	(140)
实验 23	周期信号的傅里叶分析	(147)
实验 24	无源滤波器的频率特性分析	(154)
第四章	设计与研究性实验	(159)
实验 25	简易白炽灯调光器的设计	(159)
实验 26	电阻温度计的制作	(162)
实验 27	受控源的研究	(164)
实验 28	感性负载断电保护电路的设计	(167)
实验 29	二阶电路暂态的研究与状态轨迹	(169)
实验 30	简单带通滤波器电路的分析与设计	(174)
实验 31	相序仪的分析与设计	(177)
参考文献		(181)

绪 论

一、实验课的目的

任何自然科学理论都离不开实践。实验就是一种认识世界或事物、检验理论正确与否的实践性工作。在工科学生的培养过程中,实验是一项重要的实践性教学环节,它对培养学生研究问题和解决问题的能力具有重要作用。电路实验是电路理论课的后续课程。通过该课程的学习,学生可以得到基本实践技能的训练,学会运用电路理论分析、解决实际问题;还可以加强工程实际观念,培养严谨细致的科学作风,为本学科的专业实验、生产实践和科学研究打下基础。

二、实验课的内容和基本要求

电路实验作为电路理论联系实践的教学环节,安排的教学内容有:电工测量的基本知识和常用电工测量仪表的工作原理、使用方法的介绍,电路实验,计算机仿真实验和辅助分析。电工测量和常用电工测量仪表知识是电气类专业学生在实践中应具备的最基本的知识。通过电路实验,学生要学会仪表的使用,了解几种常用的电工指示仪表和数字仪表的工作原理。电路实验由两个层次的实验组成:基本电路操作实验和设计与研究性实验。基本电路操作实验内容包括基本验证性实验和综合性实验,主要是训练基本的实验技能,加深和扩大理论知识;设计与研究性实验给出一些简单的实际电工问题,要求学生自己设计实验,主要是用电路理论分析、解决实际的电工问题,强化学生的工程意识和能力。计算机仿真实验,介绍了常用的电路分析软件 PSpice,要求学生学会用该软件分析基本电路和进行仿真实验;在设计与研究性实验中,要求用该软件对自己设计的实验电路进行分析,其目的是培养计算机的应用能力。总之,通过实验课的学习,要求学生在实验技能方面达到下列要求:

1. 正确熟练地使用常用的电工测量仪表(如电压表、电流表、功率表等)及电工设备,学会使用电子仪器(如示波器、信号源等)。
2. 能合理布线,正确连接实验线路。实验出现故障时能分析、排除故障。
3. 能认真观察实验现象,正确读取数据,正确书写实验报告并分析实验结果。
4. 初步具有根据实验要求,设计实验线路和实验方案,选择仪器设备的能力。
5. 能根据电路分析的算法,编制简单的程序;并掌握程序调试的方法,学会用 PSpice 等电路分析软件进行电路仿真实验。

三、实验课的进行

完成一个电路实验,一般按实验准备、实验进行和实验结束三个环节进行。

(一) 实验准备

实验准备主要是预习实验。实验效果的好坏与实验预习好坏有关。每次实验前,要认真阅读实验指导书,明确本次实验的目的和任务,熟悉实验线路和实验步骤;复习实验内容所涉及的电路理论知识,对实验中可能出现的现象进行思考;了解实验设备的使用方法和实验中应注意的事项;对设计性实验,要按要求设计好实验线路和方案,设计好实验数据表格。按以上要求写出预习报告。

进入实验室后,不要立即接线,应先检查所用的仪器设备是否完好,是否符合本次实验要求;然后,了解它们的性能和使用方法,特别是它们的额定值;根据实验要求选择好仪表量程,了解读数方法,对指示式仪表要检查仪表指针是否指在零位。

(二) 实验进行

接线时,应根据实验线路合理布置各仪表和设备的位置,以便于接线、检查、操作和读数。一般可与电路图对应进行布局,较复杂的电路应先串联后并联。每个接线端子上应避免连接三根以上的连线,这样可减少因牵动一线而引起端子松动、接触不良。仪表端子原则上只接一根导线。

接好后,经全组仔细自查无误,再请教师复查后,方可接通电源进行实验。通电实验后,必须集中注意力观察电路的情况,如有异常(如声、味、冒烟等)现象,应立即切断电源,检查原因。

实验中最重要步骤是实验数据和现象的观测、记录。接通电源后,应将设备大致调试一遍,观察各被测量的变化情况和出现的现象,判断结果是否合理。若不合理,应切断电源,找出原因,并进行改正。若调试无问题,则可开始读取数据。如果数据是一变化的曲线,测量点数目和间隔应选择合适的。对被测量的最大值或最小值,必须测量。曲线变化曲率较大处要多取几点,曲线变化曲率较小处可少取几点,取点应分布在需要研究的范围内。实验数据应记在预先列好的表格中,保持定值的量可单独记录。为了获得正确的数据,有时需要重新或重复读取数据。要将这些数据记录在原数据旁或重新列表,不要涂改原数据,以便分析。

仪表读数时,思想要集中,防止误读。对于数字式仪表,要注意量程、单位和小数点位置。对于指示式仪表,姿势要正确,注意刻度。

在实验过程中,应注意人身与设备安全,特别是人身安全。实验中,接通电源后,不要用手触及电路的裸露部分,改接线路或拆除电路不能带电操作。使用仪器、仪表要符合操作规程,切勿随意乱拨乱调旋钮、挡位。发现异常情况,立即切断电源,排除后再继续进行。

在实验室常见的 EEL - II 型实验台上进行实验时,当仪表超量限或电路过流的情况下,会发出报警信号,这时要更换量限或切断电源。

(三) 实验结束

完成实验内容后,应先拉断电源,暂不拆线。待认真检查实验结果无遗漏和错误后,经实验指导教师检查同意再拆线。

实验结束后,应将所用设备复归原位,整理好实验台;记录好本次实验仪器仪表编号,以备实验结果有问题时查找原因。

四、实验报告的编写

实验报告是对实验工作的总结。它主要包括实验目的,实验原理,实验内容,实验所用设备的名称、型号、规格等,实验结果及其分析。实验报告最重要的部分是实验结论。对没有得出结论的实验报告,可以认为是一份不完整的报告。

撰写实验报告,首先要对实验数据进行整理和有关的计算,数据处理过程要充分发挥图表和曲线的作用。绘制曲线必须用坐标纸。曲线名称、坐标的分度及单位,要完整。描点时,可先用小圆点或十字叉标出数据所对应的点,再用曲线板描出光滑曲线;不要强求通过所有的实验点,应与所有的点相接近;而未被曲线经过的点大致均匀地分布在曲线的两侧。报告中的公式、曲线和图表,应有编号、标题等必要的说明,使阅读者一目了然。

此外,实验报告对实验中发现的问题、现象及事故,也要进行分析,并回答有关的思考题。

五、实验故障检查与分析

实验过程中出现各种故障是难免的,应及时予以排除。分析、排除故障可以训练学生分析问题和解决问题的能力。电路实验中,常见的故障多为开路、短路或介于两者之间的接触不良。

故障检查的方法,一般是根据故障类型确定部位,缩小范围,然后在小范围内逐点检测。可采用以下方法:

1. 断电检查法 当实验发生故障时,应立即关掉电源。使用万用表电阻挡,根据实验原理,对有疑点的元件、连接线逐一进行检查,根据测出的电阻大小,找出故障点。

2. 通电检查法 当电路工作不正常时,用电压表或万用表的电压挡,根据实验原理,逐一检测电路中有疑点的元件、连接线间的电压,由电压的大小判断故障点。

选择检测方法时,要根据故障类型和电路结构。对短路过流或电路中工作电压超过正常电压较大的故障,不宜用通电法,应断电检测,否则会损坏仪表和实验设备。当电路中有多个故障时,要细致分析查找。

检查电路元件和连接时,当故障原因和部位不易确定的情况下,按下列顺序检查:①检查电路接线有无接错;②检查供电系统,从电源进线、熔断器、开关至电路输入端子,依次检查有无电压、是否符合额定值;③检查电路中各元件、仪器、仪表的连接是否完好和接触良好;④检测仪器仪表的供电部分是否正常,测试线及接地线是否完好。

第一章 电路实验基础知识

实验过程常借助各种仪表对电流、电压、功率等电量进行测量。测量过程还要进行数据的处理、分析。本章简单介绍测量误差的基本概念和表示方式、常用指示式仪表的基本组成和结构,还介绍越来越得到广泛使用的数字仪表的基本知识,以及仿真实验用到的 PSpice 软件和一般实验室常见的电工电子实验台,作为电路实验的预备知识。通过本章的学习,要学会常用仪表的使用方法。

第一节 电工测量与测量误差的基本概念

一、电工测量

所谓测量是将两个同类量进行比较的量的认识过程。在这两个同类量中,一个是已知量(标准量),另一个为未知量(被测量);两个量进行比较的结果使测量者得到了未知量的大小。

因此,在测量中测量对象、测量设备和测量方法是测量过程的三要素。测量时,应根据测量对象的要求,确定测量设备和测量方法。为此,必须了解各种测量设备和测量方法。

电工测量就是借助于各种电工仪表,对电压、电流、功率等各种电、磁量进行测量,以确定被测电、磁量的值。

利用电工仪表进行测量,具有速度快、量程广、精度高等特点,能满足快速测量、连续测量、自动检测和远距离测量的需要。它不仅可以测量电量或磁量,而且可以将温度、流量、压力等非电量转换为电量进行测量。因此,电工测量在工业生产和现代科学技术领域得到越来越广泛的应用。

二、测量方法的分类

测量的方法一般有直读法和比较法。

(一)直读法

用直读式仪表直接读取被测量的值的方法称为直读法。直读式仪表可以是指式仪表,也可以是数字式仪表。

(二)比较法

应用已知量(A_0)和未知量(A_x)进行比较,求得读数的方法称为比较法。例如用电桥测电阻。比较法测量的种类很多,有零值法、差值法、代替法、重合法等。

在实际测量工作中,直读法应用较多,因为直读法具有简单、迅速、方便等优点。比较

法由于测量精度高,所以常用于精密测量。

从得到测量结果的方法进行分类,可以把测量分为以下三种:

一是直接测量,在这种测量过程中,测量结果就是仪表上的读数。例如电位差计测电压,从表上读出的结果就是电压值。

二是间接测量,在这种测量中,有两个以上测量仪表的读数,代入一定的计算公式求出测量结果。例如测量电阻器的电阻,先测出其电压和电流值,再用欧姆定律求出电阻值。

三是组合测量,组合测量结果在两个以上,测量次数应相当于测量结果的个数。每一次测量有两个以上的读数,然后用理论公式列出联立方程解出这些结果。

三、测量误差的基本概念

测量是人类对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。我们将被测量的真实大小称之为真值。在一定的时空条件下,被测量的真值是一个客观存在的确定值。但是人们通过实验的方法来求被测量的真值时,由于测量工具不准确、测量手段不完善以及测量工作中的疏忽或错误等原因,都会使测量结果与真值不同而造成失真,这种失真就叫测量误差。

测量误差在任何测量中总是存在的。对不同的测量,对其误差大小要求往往是不同的。随着科学技术的发展,在很多测量中对减小误差提出了越来越高的要求。对很多测量来说,测量工作的价值完全取决于测量的准确度。

对误差理论的研究,就是要根据误差的规律,在一定测量条件下尽力设法减小误差,并根据误差理论合理地设计和组织实验,正确地选用仪器、仪表和测量方法。

(一)测量误差的表示方式

误差就是测量结果与被测量真值的差别,通常用绝对误差和相对误差来表示。

1. 绝对误差 绝对误差是被测量的测量结果与被测量的真值之间的差值。它可以表示为

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1.1)$$

式中, Δ 为绝对误差; A_x 为被测量的测得值; A_0 为被测量的真值。

真值虽然在某一时空条件下是客观存在的,但要确切知道它的大小是很困难的。因此,在一般测量工作中,通常用更高一级或高一级以上的仪表测量的值或与计量基准对比所测得的值代替真值。这种用更高标准的仪表或与基准对比所测得的值叫实际值。在有些情况下,真值可由理论给出或由计量学作出决定。

在较准确的仪器中,常常以表格、曲线或公式的形式给出修正值 C ,即

$$C = A_0 - A_x \quad (1.2)$$

修正值与绝对误差大小相等,符号相反。当得到被测量的测得值时,由式(1.2),就可得到实际值。例如用电流表测电流,电流表的示值为40 mA,该表在检定时40 mA 刻度处的修正值为+0.4 mA,则被测电流的实际值为

$$A_0 = 40 + 0.4 = 40.4 (\text{mA})$$

绝对误差及修正值是与被测量具有相同量纲的量,其大小和符号分别表示测量值偏

离真值的大小和方向。

2. 相对误差 绝对误差的不足之处在于它不能确切地反映测量的精确程度。例如对两个电压进行测量,其中一个电压为 $U_1 = 100\text{ V}$,其绝对误差 $\Delta_1 = 1\text{ V}$;另一个电压 $U_2 = 200\text{ V}$, $\Delta_2 = 1.5\text{ V}$ 。虽然 $\Delta_2 > \Delta_1$,但我们不能说 U_1 比 U_2 测量得更精确。为了弥补绝对误差的不足,较好地反映测量结果的准确度,又提出了相对误差的概念。

相对误差是绝对误差与真值的比值。通常用百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1.3)$$

式中, γ 为相对误差; Δ 为绝对误差; A_0 为被测量的真值(或实际值)。

相对误差是只有大小和符号、没有量纲的量。

例如,上述 U_1 测量的相对误差 $\gamma_1 = 1\%$, U_2 测量的相对误差 $\gamma_2 = 0.75\%$,可见 U_2 的测量准确度高于 U_1 的测量准确度。

在电子学和声学中,常用分贝来表示相对误差,叫分贝误差。它实质上是相对误差的另一种表示形式。

3. 引用误差 相对误差可以较好地反映某次测量的准确度。对于连续刻度的仪表,用相对误差来表示在整个量程内仪表的准确度,就不方便了。因为在仪表的量程内,被测量有不同值,若用式(1.3)来表示仪表的相对误差,随着被测量的不同,式中的分母也在变化;而在一个表的量程内绝对误差变化较小,则求得的相对误差将改变。因此,为计算和划分仪表准确度的方便,提出了引用误差的概念,即

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中, γ_n 为引用误差; Δ 为绝对误差; A_m 为仪表的上限值。

4. 仪表的准确度(最大引用误差) 仪表在全量程范围内可能产生的最大绝对误差 Δ_m 与仪表的上量限 A_m 的比值,就是仪表的准确度,实质上就是仪表的最大引用误差。即

$$s\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1.5)$$

式中, s 为仪表的准确度等级; Δ_m 为仪表的量程内最大绝对误差; A_m 为仪表的上限值。

常用的电工指示仪表的准确度可分为7级,如表1.1所示。

表 1.1 常用电工指示仪表的准确度等级分类表

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
误差范围(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

仪表的准确度反映仪表的基本误差范围。如果我们知道某仪表的准确度等级为 s 级,它的上限值为 A_m ,被测量的真值为 A_0 时,则测量的绝对误差

$$\Delta \leq A_m \cdot s\% \quad (1.6)$$

测量的相对误差

$$\gamma \leq \frac{A_m \cdot s\%}{A_0} \quad (1.7)$$

由式(1.6)可见,当仪表的等级 s 选定后,测量中绝对误差的最大值与仪表的上限 A_m 成正比。同样由式(1.7)可知,因为 $A_0 \leq A_m$,当仪表的 s 选定后, A_0 越接近 A_m ,测量的相对误差的最大值就越小,测量越准确。因此,在选用电工仪表测量时,一般要使测量的数值尽可能在仪表上限的 $2/3$ 以上,不能小于仪表上限的 $1/3$ 。

[例] 若要测量一个 10 mA 的电流,现有两块毫安表。其中一块量限为 150 mA ,准确度为 1.5 级;另一块量限为 15 mA ,准确度为 2.5 级。问应选用哪一块表测量该电流?

解 如果使用 150 mA 、 1.5 级的毫安表,则产生的误差为

$$\Delta_1 \leq A_m \cdot s\% = 150 \times (\pm 1.5\%) = \pm 2.25 (\text{mA})$$

$$\gamma_1 \leq \frac{A_m \cdot s\%}{A_0} = \frac{150 \times (\pm 1.5\%)}{10} = \pm 22.5\%$$

如果使用 15 mA 、 2.5 级的毫安表,由同样的方法求得

$$\Delta_2 \leq \pm 0.375 \text{ mA}$$

$$\gamma_2 \leq \pm 3.75\%$$

由此可见,应选用 15 mA 、 2.5 级的毫安表。

上例说明,在测量过程中,不能片面选择仪表的级别。应根据被测量的大小,兼顾仪表的上限值和准确度,合理选择仪表。

(二) 测量误差的分类

根据测量中误差的性质和特点,可将其分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差 在相同的条件下,多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持恒定;或在条件改变时,按某种确定的规律而变化的误差称为系统误差。

造成系统误差的原因很多,常见有:测量设备的缺陷、测量仪器不准、仪表安装和使用不当等引起的误差,如电表未调零,仪表使用的环境(如温度、湿度、电源电压、周围磁场等)发生变化;测量时,使用方法的不完善、依据理论不严密或采用了近似公式等均可造成误差。

由于系统误差有一定的规律性,可以根据系统误差产生的原因,采取一定的技术措施消除或减小它的影响。首先,检查测量仪器本身的性能是否符合要求;其次,检查仪表是否处于正常的工作条件下,是否经过正确的调零,检查测量系统和测量方法本身是否正确。此外,为了减小系统误差,经常采用一些测量方法,如校准法、零值法、微差法、对称观测法等。

2. 随机误差 在相同条件下,多次测量同一量时,误差的绝对值和符号均发生变化,其值时大时小,符号时正时负,没有确定的变化规律,且不可以预测的误差称为随机误差。

随机误差主要是由那些对测量值影响微小又互不相关的因素共同造成的,例如热骚动,噪声干扰,大地微振,测量者感觉器官的各种无规律的微小变化等。

随机误差的变化特点是具有对称性、有界性、抵偿性。因此,可以通过多次测量、计算平均值的办法来削弱随机误差对测量结果的影响。抵偿性是随机误差的重要特点;具有抵偿性的误差,一般可以按随机误差来处理。

3. 粗大误差 在一定条件下,测量值显著地偏离其真值(或实际值)时,所对应的误差称为粗大误差,又叫粗差或差错。

粗大误差,一般是由于读数错误、记录错误、仪器故障、测量方法不合理、操作方法不正确、计算错误或不能允许的干扰等因素造成的。粗大误差一般明显地超过正常条件下的系统误差和随机误差。

凡是确认含有粗大误差的测量数据称为坏值;数据中的坏值应该剔除。科学地判断粗大误差的方法是根据统计法加以判断。

第二节 测量数据的处理

数据处理是电工测量中必不可少的工作,测量时如何从标度尺上正确读取数据、整理数据,进行近似计算,按照技术标准作出正确判断,是测量人员必须掌握的基础知识。

一、有效数字和有效位数的概念

初学者会认为,测量读取数据时,数据位数取得越多,测量越准确;近似计算时,位数取得越多,计算结果越准确。其实不然,有时读取数据的位数过多,不但不能提高测量结果的准确度,反而使计算工作量大大增加;而读取位数过少,显然也会增大误差。因此,需要掌握有效数字的运用。

(一) 欠准数字及测量数据的定位

图 1.1 是一块电压表的标度尺。如果用量程为 3 V 的电压表测量某电压,当指针指在 2.4 ~ 2.5 V 中间时,如图 1.1 所示,所测量的数据就是 2.45 V。由图示标度尺可知,2.4 V 为准确值,而百分位上的数字 5 是估计数字,估计数字就称为欠准数字。测量读取数据时,只能读取一位欠准数字,而且必须读取一位欠准数字。

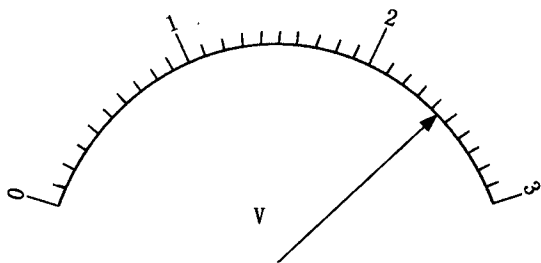


图 1.1 电压标度尺

是 2.45 V。由图示标度尺可知,2.4 V 为准确值,而百分位上的数字 5 是估计数字,估计数字就称为欠准数字。测量读取数据时,只能读取一位欠准数字,而且必须读取一位欠准数字。

图 1.1 所示标度尺的最小分度值为 0.1 V,欠准数字在最小分度值的后一位,所以欠准数字在百分位上。若指针指在 2 V 上,则测量数据为 2.00 V;若指针指在 0.1 V 上,则测量数据为 0.10 V;若指针指在 0.1 ~ 0.2 V 之间的 $\frac{2}{3}$ 处,则测量数据为 0.17 V。

一般来说,测量数据的数位要根据仪表精度而定,即测量数据应读取到仪表标度尺最小分度值的后一位。显然小数点右边的 0 不能随意删去,它具有定位和表示仪表精度的作用。

(二) 有效数字及有效位数的确定

由以上分析可见,测量数据最后一位数字必须是欠准数字;欠准数字为 0 时,也必须写出来。从测量数据的第一个非 0 数字到欠准数字的所有数字都是有效数字,有效数字

的个数就是有效位数。通常说的某数有 n 位有效数字,指的就是有效位数为 n 。

1. 有效数字及有效位数的确定原则

(1) 纯小数的有效数字及有效位数的确定 从纯小数左边第一个非 0 数字起到最右边那个数字都是有效数字,其个数就是纯小数的有效位数。如 0.2、0.02、0.002 均有一位有效数字,即有效位数均为 1;而小数 0.420、0.420 0 则分别有三、四位有效数字。

(2) 非纯小数的有效数字及有效位数的确定 从整数的最高位起到小数的最低位止,各位上的数字都是有效数字,整数位数与小数位数之和就是有效位数。如 42.43、6.506、8.050 均有四位有效数字。

(3) 右边含若干个 0 的整数的有效数字及有效位数的表示方法 若无特别说明,则各个数字均为有效数字,该整数的位数就等于有效位数。如果题设条件中指明了有效位数,而有效位数又不等于原数的整数位数,那么有效位数用科学记数法就能表示出来。所谓科学记数法,就是把数写成含一位整数的非纯小数乘以 10^n 的形式。此非纯小数的各个数字均为有效数字,有效数字的个数为有效位数。如:将数 8 300 分别表示成有效位数为 2、3、4、5 的数。由上述方法,可分别得: 8.3×10^3 、 8.30×10^3 、 8.300×10^3 、 $8.300 0 \times 10^3$ 。

2. 由以上分析得出的结论

(1) 有效数字中,第一个不能是 0。

(2) 有效位数确定后,小数右边有 0 时,不能随意删去 0;也不能在小数右边随便增添 0。

(3) 右边含若干个 0 的整数可以用科学记数法表示为含不同有效位数的数。

二、有效数字的近似计算

(一) 有效数字的运算规则

1. 修约规则 当有效位数确定后,可对有效位数右边的数字进行处理,即把多余位数上的数字全舍去,或舍去后再向有效位数的末位进一。这种处理方法叫做数的修约,它与传统的“四舍五入”方法略有不同。修约方法应按国家标准 GB 8170《数值修约规则》进行。

2. 进舍规则 进舍规则可概括为以下几句口诀:四舍六入五不定,五后非零则进一,五后皆零视五前,五前奇数则进一,五前偶数则舍去。

3. 删除规则 对测量数据进行运算之前,检查其中有无异常数据,有则删除。

4. 平均数有效位数的确定 平均数的有效位数分下述两种情况确定:

(1) 求 4 个以下的有效数的平均数时,平均数的有效位数与和值的有效位数相同;

(2) 求 4 个或 4 个以上的有效数的平均数时,平均数的有效位数应比和值的有效位数多一位。

(二) 有效数字的运算

1. 加法运算 若干个小数位数不同的有效位数相加时,以小数位数最少的数为标准数,其余各加数的小数位数应修约成比标准数的小数位数多一位,然后相加,其和的小数位数与标准数的小数位数相同。

[例] 计算 $3.513 + 4.5314 + 0.04$ 。

解 各加数中,0.04 的小数位数最少,为 2 位小数;所以其余各加数取 3 位小数,然后相加;其和取 2 位小数。其运算过程为

$$\text{原式} \approx 3.513 + 4.531 + 0.04 = 8.084 \approx 8.08$$

2. 减法运算 减法运算应分下述两种情况进行:

(1) 当两个数值相差较大的有效数相减时,运算法则与加法相同。

(2) 当两个数值相差较小的有效数相减时,运算法则与加法略有不同。先确定小数位数少的数为标准数,另一数的小数位数应尽可能比标准数的小数位数多取几位,以免舍去过多小数位后相减而失去意义(即差值为 0)。差值也应多取几位小数。

[例] 计算 $7.86 - 7.8598$ 。

解 这两数相差很小,若仍按加法法则计算,原式 $\approx 7.86 - 7.86 = 0$,差值为 0,失去意义。所以在计算中,小数位数应尽可能多取几位;或者不进行修约,直接计算。即

$$7.86 - 7.8598 = 0.0002$$

3. 乘除运算 有效数相乘(或相除)时,以有效位数最少的数为标准数,其余各数修约成比标准数多一位有效数字的数,然后进行计算。其结果的有效位数与标准数的有效位数相同。

[例] 计算 $5.8763 \times 4.2347 \times 0.023$ 。

解 式中,0.023 的有效位数为 2,所以其余两数应修约成有效位数为 3 的数,然后进行计算,其积取两位有效数字。其计算过程为

$$\text{原式} \approx 5.88 \times 4.23 \times 0.023 = 0.5720652 \approx 0.57$$

4. 平方、开平方 有效数的平方值,其有效位数应比底数的有效位数多取一位;有效数的平方根,其有效位数也应比被开方数的有效位数多取一位。

[例] 计算 2.15^2 、 $\sqrt{4.87}$,并确定有效位数。

解 根据计算法则,所得结果的有效位数为 4。即

$$2.15^2 = 4.6225 \approx 4.622$$

$$\sqrt{4.87} \approx 2.2068076 \approx 2.207$$

第三节 电工测量指示仪表的一般知识

电工测量仪表有两大类:指示式仪表和数字式仪表。随着电子技术的快速发展,数字仪表的使用日益广泛。但是,由于指示仪表的一些优点,在实验室和生产现场,它还在大量地使用。本节介绍一些电工测量指示仪表的一般知识。

一、电工测量指示仪表的分类

电工测量指示仪表的种类很多,分类方法也很多,主要有以下几种分类方法:

1. 按指示仪表测量机构产生转矩的方式分类,主要有磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系等。

2. 根据被测量的名称分类,主要有电压表、电流表、功率表、欧姆表、电度表、相位表、频率表以及多种用途的仪表如万用表等。