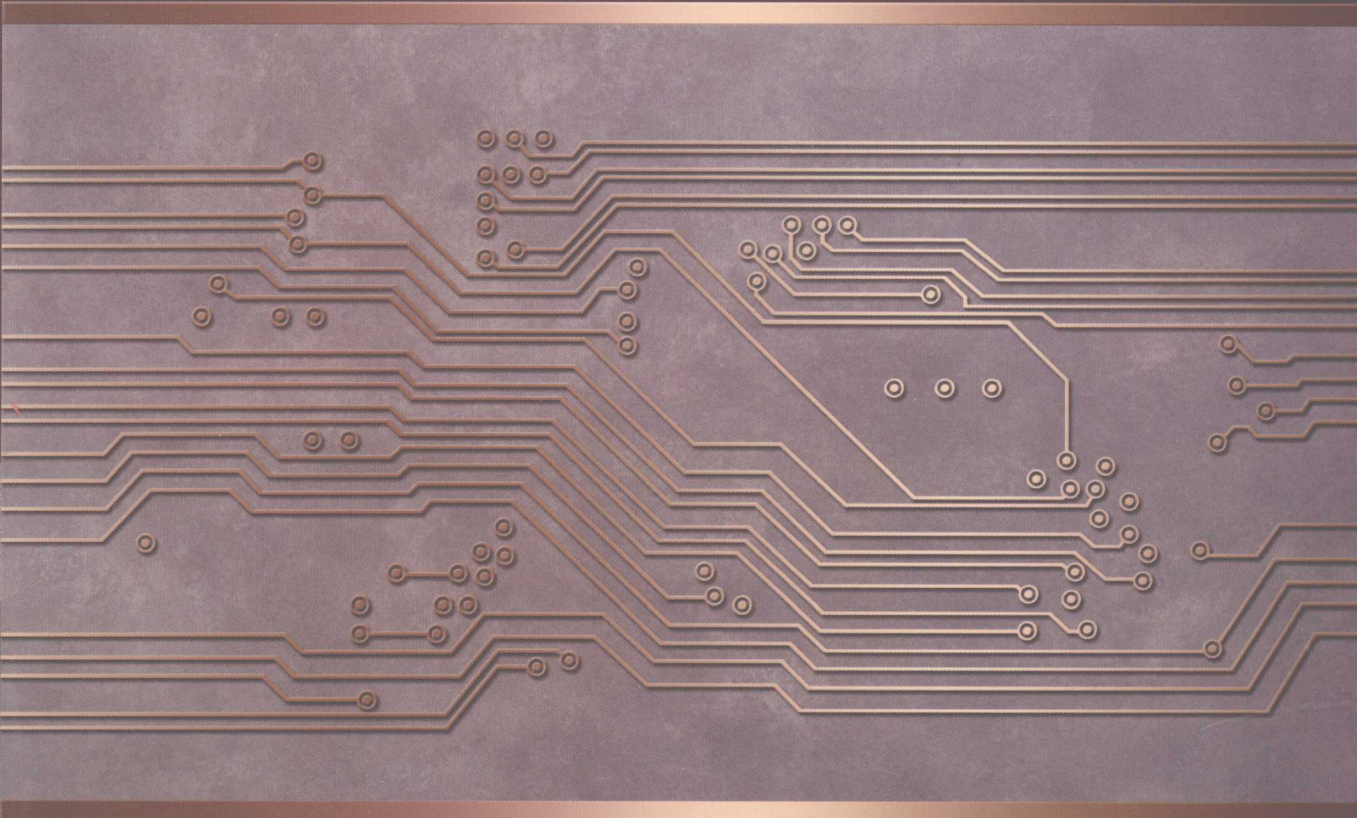


新编电气与电子信息类本科规划教材·电子电气基础课程

电路、电子技术实验 与电子实训

党宏社 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子电气基础课程

电路、电子技术实验 与电子实训

党宏社 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据国家教育部关于“电路”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”、“电工电子技术”和“电工电路”等课程的基本要求编写的实验和实习教材。全书共有 10 章,涵盖了电类专业基础实验与实践教学环节的主要方面,包括电工与电路实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、电子实训,以及电子仪器仪表使用等内容,同时在附录中还给出了相关参考资料,为进行实验和设计提供了方便。另外,本书力求各章节的内容和课堂教学的内容相对应,在验证性实验的基础上,还适当增加了综合性实验和设计性实验的内容。

本书既可以作为高等学校工科各专业相关课程的实验教材和电工电子实习与实训教材,也可以作为相关人员理解和掌握电类知识和实验技能的指导书及教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路、电子技术实验与电子实训 / 党宏社主编. —北京: 电子工业出版社, 2008.7

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子电气基础课程

ISBN 978-7-121-06957-4

I. 电… II. 党… III. ①电路—实验—高等学校—教材
②电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TM13-33 TN01-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 090863 号

策划编辑: 余 义

责任编辑: 余 义

印 刷: 北京京科印刷有限公司
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.25 字数: 467 千字

印 次: 2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前言

随着现代科学技术的飞速发展, 电工电子领域的新技术层出不穷。为了适应科技的进步, 培养满足社会需求的有用人才, 我们在多年教学改革的基础上, 初步形成了“电路”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”、“电工电子技术”和“电工电路”等课程在理论、实验和实训几方面各自独立又相互融合的课程教学新体系。实验与实训是其中重要的组成部分。为了满足实验教学与电子实训的需要, 我们编写了这本名为《电路、电子技术实验与电子实训》的教材。

本教材是根据国家教育部关于“电路”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”、“电工电子技术”和“电工电路”等课程的基本要求, 结合现有的实验设备条件和实验教学改革成果编写而成的。根据现代高校的办学特点, 在内容的安排上, 考虑到不同专业、不同层次的学生学习上的不同需求, 它既可作为高等工科院校电类专业“电路”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”课程, 以及非电类专业“电工电子技术”和“电工电路”课程的配套实验教材, 也可作为独立设课的实验与电子实训教材。

为了帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识, 培养学生的实验技能和综合应用能力, 树立工程实际观点和严谨的科学作风, 在本教材的编写过程中, 我们把实验教学的重心从单纯的理论层面转移到实验操作、综合应用和拓展知识的层面上, 使实验教学与理论教学不再是简单的重复, 而是彼此各有侧重又相互呼应的两方面, 从而形成有机的结合。

本书应用现代教育技术、现代实验技术来解决实践教学中的问题, 增加了反映电类实验教改成果的实验内容和新技术应用的实验项目。本书的最大特点是在验证性实验的基础上, 增加了综合性与设计性实验; 验证性实验主要是为了配合理论教学而设置的实验, 使学生熟悉常用仪器、仪表的正确使用, 掌握正确的实验方法, 如叠加原理、戴维南定理等; 综合性实验的目的是培养学生的科技创新能力, 实验内容体现综合性、趣味性、实用性, 要求学生综合应用所学理论知识, 查阅相关资料完成实验内容; 设计性实验是检验学生实验技能的有效方法, 根据指定的题目, 学生自行确定实验方案, 设计电路, 选择元件参数和所用的仪器。

在实验内容的安排上, 包括了电子元器件的认知、常用电子仪器仪表的使用、基本电路的组成与分析、电路的设计、电路的制作与调试等, 使学生能够了解和掌握电子仪器制作的全过程。从实践结果来看, 效果很好。

全书分为 10 章, 由两部分组成。第一部分为实验篇, 共 4 章, 主要介绍了误差分析方法、电路实验、模拟电子技术实验与数字电子技术实验。为了启发学生深入理解相关的实验原理, 每章均配有一定数量的思考题。第二部分是实训篇, 共 6 章, 主要介绍了安全用电常识、焊接工艺与焊接技术、元器件认知与测量、电路板制版方法、电路调试方法及电路仿真软件的使用等。

本书第 1 章、第 5 章由吴彦锐编写，第 2 章由韩东法编写，第 3 章由田毅韬编写，第 4 章由张震强编写，第 6 章至第 9 章由任喜伟编写，第 10 章由张俊涛编写，全书由党宏社统稿。

电子工业出版社的余义编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，编者在此表示诚挚的谢意。本书在编写过程中参考了有关文献的相关内容，在此对相关文献的作者表示衷心的感谢！由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和疏漏，恳请读者批评指正。

编者

2008 年 5 月 8 日于西安

本书第 1 章、第 5 章由吴彦锐编写，第 2 章由韩东法编写，第 3 章由田毅韬编写，第 4 章由张震强编写，第 6 章至第 9 章由任喜伟编写，第 10 章由张俊涛编写，全书由党宏社统稿。

电子工业出版社的余义编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，编者在此表示诚挚的谢意。本书在编写过程中参考了有关文献的相关内容，在此对相关文献的作者表示衷心的感谢！由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和疏漏，恳请读者批评指正。

本书第 1 章、第 5 章由吴彦锐编写，第 2 章由韩东法编写，第 3 章由田毅韬编写，第 4 章由张震强编写，第 6 章至第 9 章由任喜伟编写，第 10 章由张俊涛编写，全书由党宏社统稿。

电子工业出版社的余义编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，编者在此表示诚挚的谢意。本书在编写过程中参考了有关文献的相关内容，在此对相关文献的作者表示衷心的感谢！由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和疏漏，恳请读者批评指正。

目 录

第一部分 实 验 篇

第 1 章	测量误差分析与实验数据处理	(2)
1.1	测量误差分析	(2)
1.2	实验数据处理	(5)
第 2 章	电路实验	(10)
2.1	元件的伏安特性	(10)
2.2	基尔霍夫定律和叠加原理的验证	(13)
2.3	戴维南定理和诺顿定理的验证	(17)
2.4	受控源的实验研究	(22)
2.5	RC 一阶电路的过渡过程	(26)
2.6	RLC 元件的阻抗特性	(30)
2.7	交流电路参数的测定——三表法	(33)
2.8	功率因数的提高	(37)
2.9	RC 选频网络特性测试	(43)
2.10	RLC 串联电路的谐振	(45)
2.11	互感电路观测	(49)
2.12	三相交流电路电压、电流的测量	(53)
2.13	三相电路功率的测量	(56)
第 3 章	模拟电子技术实验	(61)
3.1	常用电子仪器的使用	(61)
3.2	集成运算放大器的基本运算电路	(63)
3.3	晶体管单级低频放大器	(67)
3.4	场效应管放大器	(72)
3.5	两级负反馈放大器	(75)
3.6	差分放大器	(78)
3.7	集成运放指标测试	(82)
3.8	文氏电桥振荡器	(87)
3.9	集成稳压电源	(90)
3.10	RC 有源滤波器的设计	(93)
3.11	OTL 功率放大器的设计	(93)
3.12	串联型晶体管稳压电源的设计	(94)

第4章 数字电子技术实验	(96)
4.1 基本逻辑门电路	(96)
4.2 集电极开路门与三态输出门的应用	(101)
4.3 TTL 集成与非门电路的参数测试	(106)
4.4 数据选择器	(113)
4.5 译码器	(119)
4.6 加法器	(124)
4.7 触发器	(126)
4.8 集成计数器	(130)
4.9 555 电路及其应用	(133)
4.10 D/A 转换	(138)
4.11 A/D 转换	(143)
4.12 抢答器设计	(147)
4.13 数字钟电路设计	(149)
4.14 程序控制器设计	(151)
4.15 数字电路设计仿真实验——数字频率计	(153)
4.16 组合电路设计	(155)
第二部分 实 训 篇	
第5章 安全用电知识	(158)
5.1 触电事故	(158)
5.2 电流对人体的危害	(159)
5.3 防止触电的保护措施	(160)
5.4 安全用电与触电急救	(162)
第6章 锡焊工艺	(164)
6.1 锡焊机理	(164)
6.2 锡焊工具	(164)
6.3 锡焊材料	(166)
6.4 手工锡焊技术	(167)
6.5 工业生产锡焊技术	(174)
6.6 表面组装技术(SMT)简介	(175)
第7章 常用电子元器件的认知与简易测试	(176)
7.1 线性元件	(176)
7.2 半导体分立元件	(185)
7.3 集成电路	(190)
第8章 印制电路板制作方法	(192)
8.1 印制电路板基础	(192)

8.2	印制电路板的设计	(194)
8.3	印制电路板手工制作	(198)
第 9 章	电子电路调试与实例	(202)
9.1	电子电路调试方法	(202)
9.2	HX108—2 AM 收音机安装调试实例	(205)
9.3	S—2000 直流电源/充电器安装调试实例	(220)
第 10 章	电路仿真软件简介	(225)
10.1	电路设计软件 Protel	(225)
10.2	电路仿真软件 PSpice	(238)
附录 A	常用仪器使用简介	(250)
A.1	数字万用表的使用	(250)
A.2	直流稳压电源的使用	(252)
A.3	功率函数信号发生器的使用	(253)
A.4	TFG1005 DDS 函数信号发生器使用简介	(255)
A.5	MVT—172D 双输入数字交流毫伏表使用简介	(256)
A.6	DF4211 型超低频双线示波器的使用	(258)
附录 B	常用逻辑门电路逻辑符号对照表	(263)
附录 C	部分集成电路引脚图	(264)
附录 D	部分元件索引	(267)
D.1	TTL 集成电路索引表	(267)
D.2	部分 CMOS 集成电路索引	(272)
D.3	集成运算放大器	(274)
附录 E	RTDZ—4 型电子技术综合实验台简介	(275)
E.1	RTDZ—4 型电子技术综合实验台概述	(275)
E.2	整机面板示意图	(275)
E.3	使用说明	(275)
参考文献		(281)

第一部分 实 验 篇

■ 第1章 测量误差分析与实验数据处理

■ 第2章 电路实验

■ 第3章 模拟电子技术实验

■ 第4章 数字电子技术实验

第1章 测量误差分析与实验数据处理

测量的目的是为了获得被测量的真实值,即真值。但是,由于测量手段的不完善、客观条件不理想或者人们对客观规律认识的局限性,以及测量过程中的疏忽或错误等多种原因,使测量结果与被测量真值之间总是存在着差异,这种差异称为测量误差。作为一个工程技术人员应能正确地分析误差产生的原因,采取措施以减小误差,从而使测量结果更加准确。同时,也应学会正确地处理实验数据,以得到正确的实验结果。

1.1 测量误差分析

1.1.1 误差定义

在测量工作中,对某量的观测值与该量的真值间存在着必然的差异,这个差异称为误差。误差是不可能绝对避免的。

1.1.2 误差分类和来源

1. 误差分类及处理

根据误差的性质,测量误差分为系统误差、随机误差和疏失误差:

(1) 系统误差

在相同条件下,多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。例如,仪表刻度的偏差,使用时零点的不准,温度、湿度、电源电压等变化造成的误差都属于系统误差。

系统误差的特点是,测量条件一经确定,误差即为一个确切的数值。用多次测量取平均值的方法,并不能改变误差的大小。系统误差产生的原因是多方面的,但总是有规律的。针对其产生的根源采取一定的技术措施,可设法减小它的影响。例如,对零点不准的仪器重新调整零点,即可减小系统误差。

系统误差直接影响测量结果的准确度。为了减小系统误差,通常采用如下方法:

① 引入更正值。测量准确度要求较高时,可以事先在仪表标尺的主要分度线上引入更正值,实际使用时只要将仪表在该分度线上的读数及其相应的更正值取代数和,就可获得被测量的实际值。

② 正负误差相消法。这种方法可以消除外磁场对仪表的影响。先进行正反两次位置变换的测量,然后将测量结果取平均值。

③ 注意仪表量程的选择。在仪表准确度确定的情况下,量程过大就意味着仪表偏转很小,从而增大了相对误差。因此,应当合理地选择量程,尽可能地使仪表读数接近满偏位置。

④ 采用不同的测试者对同一被测量进行测量的方法。减少由于测试者个人习惯和生理因素造成的人身误差。

⑤ 多次测量取其算术平均值，可以防止由测量仪器和个人人为因素的偶发性所造成的明显差错。

(2) 随机误差

随机误差又称偶然误差，它是指在相同条件下，多次测量同一量值时，绝对值和符号均以不可预定方式变化的误差。例如，由温度及电源电压的频繁波动、电磁场的干扰和测量者感觉器官无规律的微小变化等引起的误差都属于随机误差。

随机误差在足够多次测量时，其总体服从统计规律，可以通过对多次测量值取算术平均值的方法来削弱随机误差对测量结果的影响。实践证明，如果测量次数足够多，偶然误差的平均值的极限值就会趋近于零。

(3) 疏失误差

疏失误差又称粗大误差（简称粗差），是指在一定的测量条件下，测量值明显偏离实际值所形成的误差。它是由于测量者对仪器不了解、实验过程中因粗心导致读数不正确而引起的误差，测量条件的突然变化也会引起疏失误差。

为了发现和排除疏失误差，除了要求测量者认真仔细以外，还应注意以下三点：

① 在正式测量之前，可进行试探性的粗测，以便正式测量时进行参考。

② 反复对被测量进行测量，以避免单次失误。

③ 改变测量方法或仪器仪表后测量同一量值。

凡确认是疏失误差的测量数据应该剔除不用。

2. 误差的来源

(1) 仪器误差

由仪器、仪表本身及其附件所引入，出于仪器的电气或机械性能不完善所产生的误差。例如，电桥中的标准电阻、示波器的探极线等都含有误差。仪器、仪表的零位偏移，刻度不准确，以及非线性等引起的误差均属于仪器误差。

(2) 使用误差

又称为操作误差，是指在使用仪器过程中，因安装、调节、布置、使用不当而引起的误差。例如，按规定应垂直放置的仪表却水平放置，仪器接地不良，因测试引线太长而造成损耗或未考虑阻抗匹配，未按操作规程在没有预热、调节、校正后就进行测量等，都会产生使用误差。

(3) 人身误差

由于人的感觉器官和运动器官的限制所造成的误差。例如，读错刻度、念错读数等。对于某些需借助于人眼、人耳来判断结果的测量，以及需进行人工调节等的测量工作，均会引入人身误差。

(4) 影响误差

又称为环境误差，是指由于受到温度、湿度、气压、电磁场、机械振动、声音、光、放射性等影响所造成的附加误差。

(5) 方法误差

又称为理论误差，是指由于使用的测量方法不完善、理论依据不严密、对某些经典

测量方法做了不适当的修改简化所产生的误差,即凡是在测量结果的表达式中没有得到反映的因素,而实际上这些因素又起作用时所引起的误差。例如,用普通万用表测量电路中高阻值电阻两端的电压时,由于万用表电压挡内阻不高而形成分流,就会引起测量误差。

1.1.3 误差的表示

1. 绝对误差

一个近似数与它准确数的差的绝对值称为这个近似数的绝对误差,即测量结果与被测量(约定)真值之差。如果用 a 表示近似数, A 表示它的精确数,那么近似数 a 的绝对误差就是 $|a-A|$ 。绝对误差反映了测量值偏离真值的大小。

2. 相对误差

误差还有一种表示方法,称为相对误差,它是测量的绝对误差与被测量(约定)真值之比再乘以 100 所得的数值,通常以百分数表示,所以也称为百分误差。

绝对误差表示一个测量结果的可靠程度,相对误差则可以比较不同测量结果的可靠性。

1.1.4 误差分析的意义

实践证明,进行误差分析计算,不仅可以判断测量时的可靠程度,而且对于实验的进行有着重要的指导作用。

1. 便于改进实验方向

对于直接测量,通常可以根据测量仪器和设备的精确度等级或误差范围及被测量的数值,直接对误差进行分析估算,看测量结果是否能满足要求。对于间接测量,一般可根据直接测量或估算的结果,首先计算出各直接测量量的相对误差,明确哪项测量误差的影响最大,然后再根据间接测量所用的函数公式,分析误差产生的原因,采取相对应的措施,来减小测量误差。若是测量方法不妥,就要改进测量方法;若是被测量的取值不当,在可能的条件下应加大或减小被测量的取值比例;若是仪器精度不够,就应更换仪器,或者通过增加测量次数以减小随机误差的影响等来提高测量精度。

2. 便于合理选用测量仪器

为了得到准确的测量结果,实验者可能会认为使用仪表的级别越高,测量的结果就越准确。实际上,测量的结果是否准确,不仅仅取决于仪表的等级,还与量程有关。不同等级的仪表由于量程不同,可能得到同样甚至相反的效果。

因此,实际测量中选用仪表的原则是,在满足测量结果准确度的情况下,从经济效益出发,能用低等级仪表做的实验,就不要用高等级仪表来做,在同样等级的仪表中,量程小的仪表测量结果准确。所以,在选用指针式仪表的量程时,应使测量值处于仪表量程的 $1/3$ 以上。

3. 便于确定最佳测量方案

在进行实际测量的过程中,总是希望测量的精度越高越好,也就是测量结果的误差越小越好。最佳测量方案,就是使总的测量误差达到最小的一个方案。例如,使欧姆表的指针偏转在表的中心位置时,测量误差最小。因此,用万用表测量电阻时,应合理选择表的量程,尽可能地使其指针接近于半偏转。

1.2 实验数据处理

1.2.1 实验数据的读取

实验中,任何直接测量所得到的数值都是近似值。由这些近似值再根据一定的理论计算公式,通过运算而得到的间接测量值当然也是近似值。为了减小不应有的误差,获得较精确的测量结果,测量值的读取和运算必须遵守一定的规则。

1. 直接测量数据的读取

一般情况下,直接测量所得到的数据的误差只用一位数字表示。这时,仪器读数的最后一位是读数误差的所在位。为了减小读数误差,从仪器上读取数据时,应尽可能地估读到仪器最小刻度的 $1/10$ 。有些分度较窄而指针较宽的指针式仪表,可以估读到其指示度盘的最小刻度的 $1/5$ 或 $1/2$ 。

测量数据的读数位数应与对测量精度要求的位数相适应。恰当的读数位数与正确地选择仪器、仪表有关,还与正确选择仪器、仪表的量程有关。测量时,指针式仪表的指针偏转应在量程 $1/3$ 以上的位置。对数字式仪表、电桥和电位差计等,应选择使它们的最高位或第一个测量盘有读数。

为了提高测量结果的可靠性和精确度,在相同情况下,应对同一被测量采用较多次数的重复测量。特别是在有干扰影响或在动态测量的时候,仪器读数的指示装置往往不稳定,在这种情况下,更应读取多次的测量数据,通过求算术平均值的方法,来确定被测量的实验结果,或者在不严格的情况下,读取其指示数值中出现次数最多的数据作为测量的结果。

2. 实验曲线测量数据的读取

在测量两个或多个量之间关系变化的实验曲线时,为了使测量数据能充分、正确地体现被测量间关系变化的客观规律,在读取实验数据时,在曲线变化剧烈的部分要多取数据点,在曲线变化比较缓慢或线性变化区,可少取数据点,曲线上极值点和拐点处的数据要完整。为了便于测量,在读取数据前,首先应仔细观察随自变量变化的曲线形状,对变化关系复杂的曲线,可先根据观察的数据画出曲线的大致形状,标出其特殊点的数据,以备精确测量数据时作参考。然后,根据被测曲线的变化特征列表,读取测量数据,这样可以提高测量的速度和精度。

3. 测量数据的有效数字

实验中所得测量数据或由计算所得测量结果,从第一个非零数字算起,到误差最低位所对应的那位数字为止的全部数字,在测量上称为有效数字。如果一个测量数的有效数字为 n 位,就说此数字为 n 位有效数字。例如,测得 $I = 15.80 \pm 0.01$ mA,表示被测量 I 的测量值为 15.80 mA,测量误差为 0.01 mA,其有效数字为 15.80,为四位有效数字。

一般说来,测量结果的有效数字位数越多,测量的相对误差就越小,表示测量的精确度就越高。测量结果之间有效数字的末位是由绝对误差决定的,它表示测量结果精确到的具体位数。因此,用有效数字读取测量数据时,其位数不能少记,也不能多记,无论测量值末位数值是否为“0”,它都应绝对误差的末位相对应。

1.2.2 数据的舍入规则

实验中所得到测量数据都是近似数,在进行数据处理时会遇到近似数的计算问题。对于位数不等的数,为了使计算简化,又不影响测量结果的精确程度,进行数据处理时所用的舍入处理规则为尾数小于5者舍,大于5者入,等于5者按偶数法则处理。所谓偶数法则,就是当尾数为5,尾数的前一位为奇数时,该尾数进位,尾数的前一位为偶数时(含“0”),该尾数舍弃。也就是说,偶数法则是在尾数为5时,把尾数前面的那位数变为偶数,这样能使等于5的尾数舍入机会均等,从而减小舍入误差。

需要指出的是,尾数大于5包括尾数的第一位为5,而其后的数位中还有大于零的数,尾数等于5的尾数的第一位为5,而其后的各位数值均为零。

例如,将下列数据舍入到小数的第三位,各数分别为

4.580 499→4.580

5.173 53→5.174

1.732 501→1.732

3.592 52→3.592

8.365 501→8.366

6.870 54→6.870

以上几个数据均按舍入处理,舍入后所得数据的末位数为欠准数字,其舍入误差大于舍入后所得数据末位单位的0.5。

1.2.3 有效数字的运算规则

我们知道,间接测量量是由直接测量量通过一定的函数关系计算得到的。直接测量量的值是用有效数字表示的,它的末位由测量的绝对误差决定,其位数不能少记,也不能多记。在求间接测量量的数值时,由于参加运算的分量可能很多,各分量的性质、数值大小和有效数字的位数也不尽相同。在这种情况下,为使运算简洁、准确,应当根据一定的规则,正确选取运算中各被测量有效数字的位数。下面我们来说明对有效数字进行运算时应遵循的规则。

1. 加减运算

在多个测量值相加减时,要把小数多的测量数按舍入的规则处理,使其比小数值最少的测量数只多一位小数,计算结果应保留的小数位数要与原测量数中小数值数最少的那个数相同。在测量数据已给出误差的情况下,计算结果应保留的小数位数与测量误差计算结果的小数位数相同。

在计算误差时,求最大误差的运算就是求各项分误差的绝对值之和,这时对各分误差中小于最大分误差1/10的其他分误差,视情况可认为是微小误差而忽略不计。求标准误差的运算,是方均根的运算,这时对小于最大分误差1/3的其他分误差,也可以看成是微小误差,视情况而忽略不计。误差有效数字的位数,在运算过程中可取二位,最后结果一般取一位。但若首位数为1或2时,可多保留一位。

2. 乘除运算规则

进行有效数字的乘除运算时,要把位数多的数据按舍入规则处理,使其比有效数字位数最少的数只多一位有效数字,计算结果的有效数字要与参加运算的数据中有效数字位数最少的那个数相同。但对中间运算过程中的结果应多保留一位。

同样,在测量数据已给出误差的情况下,计算结果的有效数字的末位应与测量误差运算结果的所在位相对应。

此外,为了减小运算造成的误差,当首位为8或9的 m 位数与首位为1的 $m+1$ 位数相乘除时,所得结果的有效数字可按 $m+1$ 来取。当乘除运算结果的首位为1或2时,其有效数字的位数也可多取一位。

3. 函数运算规则

在进行有效数字的乘方、开方和其他函数运算时,运算结果的有效数字位数通常由测量误差确定。在未给出测量误差的情况下,计算结果的有效数字应与原测量数据相同。为了简便运算,有时也根据函数值随被测量末位数改变一个单位时的变化量来确定。

例如,测得 $x=520.4$,求 $\lg x$ 。

由计算得出 $\lg 20.3=2.716\ 25$

$\lg 20.4=2.716\ 34$

$\lg 20.5=2.716\ 42$

根据 $\lg x$ 随 x 末位改变0.1的变化情况,可取 $\lg 20.4=2.7163$ 。

此外,在运算公式中多用常量和无理量的有效数字的位数,通常取比有效数字最少的测量数多一位。在等精度测量中,通常其平均值的误差比测量序列中任一测量值的误差要小,由此,当对测量序列的数据取平均值时,其平均值的有效数字可以取比测量序列中的数值多一位。

1.2.4 测量数据的处理

1. 等精度测量数据的处理

当对某一量的测量精度要求较高时,往往需要进行多次等精度测量,然后用求取平均值和标准偏差的方法来表示测量结果。这种方法对消除随机误差有效,但不能去除系统误差和粗差。因此,为了得到被测量的精确值,在测量前就应尽可能地消除引入系统误差的各种因素。在测量过程中,还应通过数据分析,进一步检查有无系统误差和粗差,并要设法查明原因,对系统误差的影响加以消除和修正,使其减弱到可以忽略的程度,而对粗差则应全部剔除。然后,再对消除了系统误差和粗差之后的测量数值进行数据处理,来消除随机误差的影响,这样才能得到精确的测量结果。

2. 实验数据的图示处理

测量结果除用数据表格表示外,经常还用各种图线来表示。利用图线表达测量结果的方法称为图示处理法。它是将实验数据以直观、形象的图线形式画在坐标纸上,来表达被测量间相互关系的一种方法。这种方法易于清晰地显示出各被测量间数据变化的极大值、极小值、转折点及其他特性。通过图线可以求得未经观测的实验数据,图线还有助于发现实验中的测量错误,平滑图线有多个测量数据取平均并消除部分误差的效果,借助图线还可以寻找被测量间的函数关系或经验公式。用图示法来研究电信、电气网络各参数对其特性(如传输特性、幅频特性等)的影响是十分有用的,因此,图示处理法是一种常用的数据处理方法。

图示法对测量数据处理的效果取决于所作图是否符合要求,一条好的图线应当满足两点基本要求:第一,所画图线要符合被测量之间关系变化的客观规律;第二,所作图线要符合作图要求。要画出一条能满足这种要求的图线,应当做到:

(1) 正确选取实验数据

所取实验数据要能完整、精确地反映出被测量之间关系变化的客观规律。这是决定能否画好一条图线的基础。为此,读取实验数据时除保证一定的精度外,在图线变化剧烈的部分要多取一些数据点,在图线变化比较缓慢的区域或线性变化区,可少取些数据点,图线上极值点和拐点处的数据必须要完整。

(2) 正确选取坐标系

坐标系应根据函数关系或图形需要选取。坐标系的类型有直角坐标系、半对数坐标系、双对数坐标系、极坐标系等。坐标系的尺寸应根据测量值有效数字的位数来确定,一般不要太小。

为了在有限的图纸篇幅内能够有效而完整地表达出图线的全部特征,应当正确地选择坐标系。例如,对于有源低通滤波器电路的频率响应,若选用均匀坐标,要么低频部分的响应特性会被压缩在一起而不能充分地表示出来,要么就得使图纸篇幅取得很大,不便于使用。如果采用半对数坐标,这个问题就能得到很好的解决。

(3) 选取坐标轴

一般情况下,自变量用横轴来表示,因变量用纵轴来表示,在坐标轴的始端应表明本坐标所代表的物理量的符号和单位。

(4) 正确分度坐标轴

坐标轴的分度,一要方便读数,二要与测量值的有效数字位数相适应,三要使被测图线大体上能匀称地充满全幅图纸。一般说来,应尽可能地使测得的可靠数字在图上能够准确直读,对最常用的直角坐标纸来说,一般应使其一小格对应于可靠数字末位的一个单位,或者两个单位,或者五个单位。

为便于充分表达被测图线的变化特征,两坐标轴可以取不同的分度值,坐标轴的分度范围也不一定以零为起点。可以选取小于最小测量值的某一个整数为起点,以大于最大测量位的某一个整数为终点。坐标轴的分度值,应用数字等间距地进行标注,间距要适当,以方便读数。

在某些情况下,有的自变量取值范围很广,而在自变量变化的某一宽阔的范围内,因变量的变化又非常微小,这时可以把代表自变量的坐标在某一范围内用断裂线断开,以减小图幅,同时也能充分地表达出因变量随自变量变化的主要特征。

(5) 标记数据点

把测量的各组数据用细铅笔以 $\times$ 、 $+$ 或 $\cdot$ 等符号标记在已分度好的坐标纸上。如果在同一坐标纸上要作几条曲线,应以不同的符号进行标记,以示区别。标记数据点时,应尽量做到标记位置准确,以减小标记误差。

(6) 正确连线

除了测量数据准确与否之外,连线方式的精确程度是决定图示处理精度的另一关键。通常应根据被测量间的函数关系和标记在坐标纸上的数据点,用直尺或曲线板进行连接。一般情况下,被测量间关系变化的图线是一条平滑曲线,所连图线不一定要通过坐标纸上所有的数据点。因为测量数据中总会有误差,要使所连图线通过所有的数据点,无疑会保留一切测量误差,显然这是不可取的。而应使曲线依被测量关系变化的规律平滑地通过大部分数据点,以表示出所测数据的一般变化趋势。连线不宜过分迁就个别点,对那些偏离过大的

数据点，应分析其出现的原因或重新对其测量进行核对，确属测量失误者应予剔除。依照上述原则来绘制曲线称为“拟合曲线”。拟合曲线可以消除因失误所造成的测量误差，也可以减少偶然误差对测量结果的影响，是一种常用的数据处理方法。

在要求不严的情况下，拟合曲线最简单的办法是直接观察法。就是通过观察，人为地画出一条平滑的曲线，使被测数据点均衡地分布在曲线的两侧。这种方法的缺点是不精确，不同人画出的曲线可能会有较大的差别。

工程上常用的拟合曲线的方法是“分组平均法”，特别是在被测数据分散程度比较大的情况下，以横坐标为参考，把相邻的 2~4 个数据点划分为一组，将所有数据点分成若干组，然后分别求出各组数据点的几何重心，再依据这些“重心”点来绘制平滑的曲线，采用这种分组平均法来拟合曲线，可以消除部分测量误差，具有较高的精度。

在精度要求不高的情况下，应采用最小二乘法来求数据的拟合曲线，具体方法可查阅有关资料。

并不是所有被测图线的变化特性都是一条平滑曲线。在测量结果还不清楚是不是一条平滑曲线的时候，先不要对被测数据进行平滑，而应通过实验，在保证测试条件的情况下，先缓慢地改变自变量的数值，反复观察几次函数数值变化的规律和趋势，看是否平滑，再作判定。

在绘制具有极值点和拐点的实验曲线时，应当使曲线在遵守其变化规律的情况下，逼真地通过这些点，不要随意进行拟合、平滑。在绘制形状复杂而变化斜率又不大的曲线时，如果所测数据不能充分表达出被测曲线的变化特性，应当重新测量或补测数据。

（7）标注图名

作图后，应在图的正下方标注图号和图名。图名可以用文字标注，也可以用被测量的标识符来标注。用标识符标注图名时，函数在前，自变量在后，中间用“-”号来连接。有时，图中还需要标注测试条件或扼要说明，图中标注和说明所用的字母、符号和单位一律要规范。

图名标注时，应遵循以下原则：1. 图名应简明扼要，能概括图的主要内容；2. 图名应使用规范化的术语和符号；3. 图名应注明测试条件或扼要说明；4. 图名应使用大写字母和数字；5. 图名应使用阿拉伯数字表示序号；6. 图名应使用规范的单位；7. 图名应使用规范的标点符号；8. 图名应使用规范的排版格式；9. 图名应使用规范的字体；10. 图名应使用规范的字号；11. 图名应使用规范的行距；12. 图名应使用规范的页码；13. 图名应使用规范的页眉；14. 图名应使用规范的页脚；15. 图名应使用规范的附录；16. 图名应使用规范的参考文献；17. 图名应使用规范的致谢；18. 图名应使用规范的摘要；19. 图名应使用规范的关键词；20. 图名应使用规范的结论。

图名标注时，应遵循以下原则：1. 图名应简明扼要，能概括图的主要内容；2. 图名应使用规范化的术语和符号；3. 图名应注明测试条件或扼要说明；4. 图名应使用大写字母和数字；5. 图名应使用阿拉伯数字表示序号；6. 图名应使用规范的单位；7. 图名应使用规范的标点符号；8. 图名应使用规范的排版格式；9. 图名应使用规范的字体；10. 图名应使用规范的字号；11. 图名应使用规范的行距；12. 图名应使用规范的页码；13. 图名应使用规范的页眉；14. 图名应使用规范的页脚；15. 图名应使用规范的附录；16. 图名应使用规范的参考文献；17. 图名应使用规范的致谢；18. 图名应使用规范的摘要；19. 图名应使用规范的关键词；20. 图名应使用规范的结论。