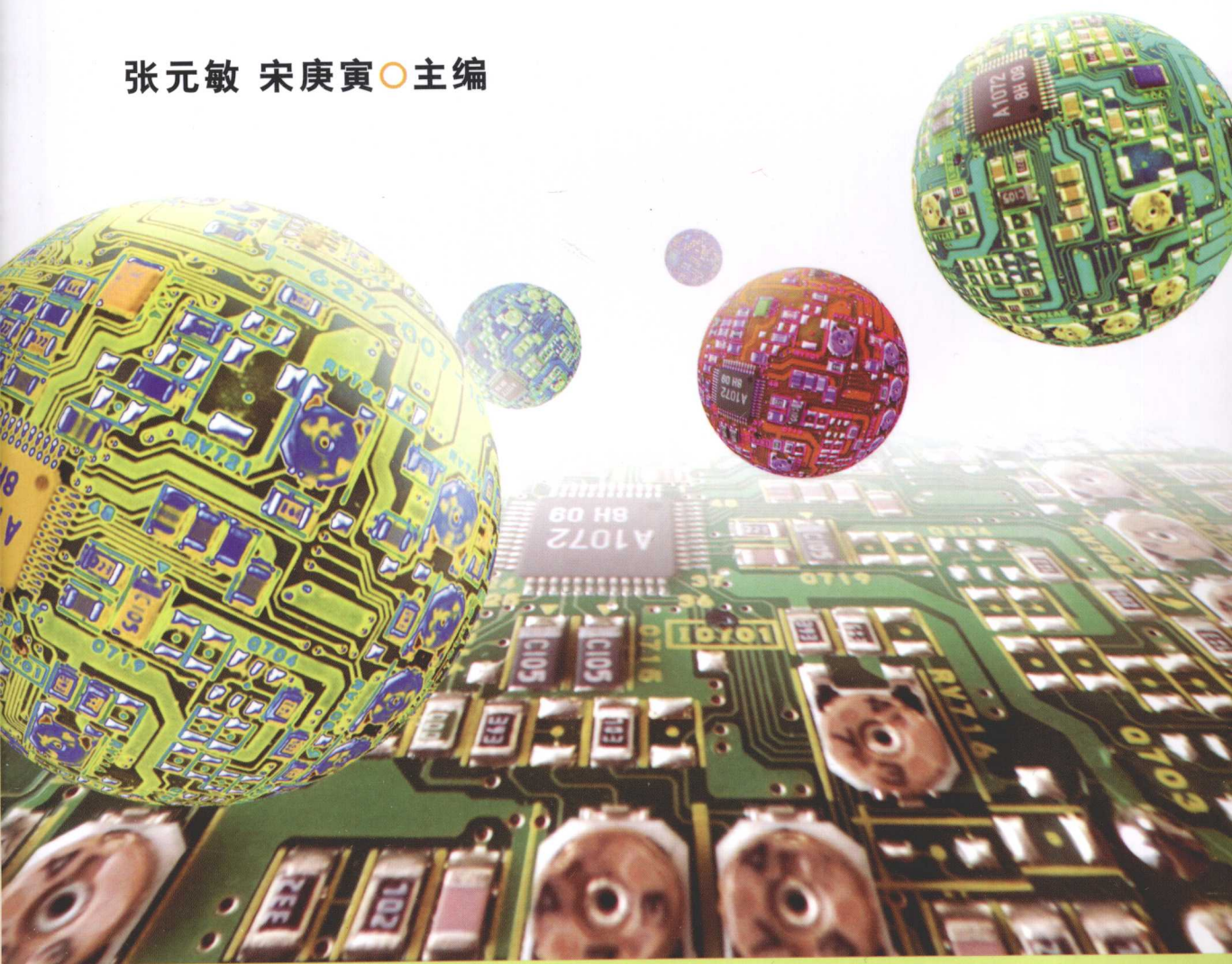




21世纪高等教育规划教材

电子技术实验与设计制作

张元敏 宋庚寅 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等教育规划教材

电子技术实验与 设计制作

张元敏 宋庚寅 主 编

西南交通大学出版社

• 成 都 •

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验与设计制作 / 张元敏, 宋庚寅主编. 成都: 西南交通大学出版社, 2009. 5

21 世纪高等教育规划教材

ISBN 978-7-5643-0206-1

I. 电… II. ①张…②宋… III. ①电子技术—实验—高等学校—教材②电子电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN-33 TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 058057 号

21 Shiji Gaodeng Jiaoyu Guihua Jiaocai

21 世纪高等教育规划教材

Dianzi Jishu Shiyanyu Sheji Zhizuo

电子技术实验与设计制作

主 编 张元敏 宋庚寅

*

责任编辑 张华敏

特邀编辑 李科亮 翟 瑾 陈长江

封面设计 水木时代(北京)图书中心

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

北京广达印刷有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 21.25

字数: 555 千字

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0206-1

定价: 40.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是一本设计性和实践性很强的实验课教材,目的在于将模拟电路、数字电路、EDA 等课程的理论与实践有机地联系起来,旨在加强学生实验基本技能的综合训练,培养和提高学生实际动手能力与工程设计能力。

本书着重介绍了电子电路实验的基本知识及常用电子测量仪器,模拟电子技术及数字电子技术实验,模拟电路、数字电路、印制板的设计与制作及电子电路的安装与调试。书中每个实验,主要介绍基本电子元器件、基本电路实验操作过程;书中每个设计课程,均以电路的基本理论为基础,介绍设计原理、设计步骤、安装与调试及性能参数的测试方法,每个课题中都有设计举例及设计任务。学生通过自学或适当的指导,均可独立完成。这种集实验性、实践性为一体的设计性实验教材,具有体系结构新颖、知识综合运用强、理论紧密联系实际、易于自学等特点。

全书共 8 章内容,其中:第 1 章主要介绍了电子电路实验的基本知识,包括电子技术实验的目的、任务、要求、过程及安全规则;第 2 章介绍了电子测量的基本方法及常用电子测量仪器;第 3 章是模拟电子技术实验,主要包括晶体三极管特性曲线测量、多级放大电路、负反馈放大电路等 14 个实验;第 4 章是数字电子技术实验,主要包括 TTL 集成逻辑门参数测试、组合逻辑电路数码比较器等 17 个实验;第 5~8 章为模拟电路设计、数字电路设计、印制板设计及电子电路的安装与调试,这几章是本书的重点,共有数十个设计性课题,每个设计课题均从最基本的单元电路设计开始,逐步加深与扩展,直到较为复杂的小型电子电路系统的设计与装调。

本书由张元敏、宋庚寅主编,其中第 1、2、3 章由张元敏编写,第 4 章由方如举编写,第 5 章由胡万强编写,第 6 章由宋庚寅编写,第 7 章由周雅、汤三编写,第 8 章由李文鑫编写。

因编写时间仓促,书中错误之处在所难免,恳请广大读者不吝批评指正。

编 者

2009 年 5 月

目 录

第 1 章 电子电路实验基本知识	(1)
1.1 电子技术实验的目的、任务和要求.....	(1)
1.2 电子技术实验的过程和安全规则.....	(2)
1.3 电子测量中的误差分析.....	(3)
1.4 实验数据的处理.....	(5)
第 2 章 电子测量及常用的电子测量仪器	(8)
2.1 电子电路基本测量方法.....	(8)
2.2 万用表.....	(12)
2.3 常用电子电压表.....	(26)
2.4 通用电子示波器.....	(29)
2.5 信号发生器.....	(38)
2.6 数字式频率计.....	(46)
2.7 实验装置.....	(52)
第 3 章 模拟电子技术实验	(58)
实验 1 常用仪器使用.....	(58)
实验 2 用万用表测量晶体管.....	(60)
实验 3 晶体三极管特性曲线的测量.....	(63)
实验 4 单管放大电路的测试.....	(65)
实验 5 多级放大器.....	(68)
实验 6 场效应管放大电路.....	(70)
实验 7 负反馈放大电路.....	(72)
实验 8 差动放大电路.....	(76)
实验 9 互补对称功率放大电路.....	(78)
实验 10 RC 正弦振荡电路.....	(81)
实验 11 串联稳压电源.....	(83)
实验 12 集成运放的参数测试.....	(86)
实验 13 集成运算放大器的线性应用.....	(89)
实验 14 集成运算放大器的非线性应用.....	(93)
第 4 章 数字电子技术实验	(95)
实验 15 晶体管开关特性、限幅器与钳位器.....	(95)
实验 16 TTL 集成逻辑门参数测试.....	(98)
实验 17 门电路.....	(102)
实验 18 组合逻辑电路.....	(104)
实验 19 组合逻辑电路中的冒险现象.....	(106)
实验 20 加法器.....	(108)

实验 21	数码比较器	(111)
实验 22	触发器	(113)
实验 23	计数器	(115)
实验 24	集成单元计数器	(118)
实验 25	译码显示器	(120)
实验 26	移位寄存器及其应用	(122)
实验 27	多谐振荡器	(125)
实验 28	单稳态触发器	(126)
实验 29	555 计时器	(129)
实验 30	A/D 转换器的功能测试	(131)
实验 31	D/A 转换器的功能测试	(133)
第 5 章	模拟电路的设计	(136)
5.1	电子系统设计的基础知识	(136)
5.2	单级放大器的设计	(141)
5.3	射极输出器的设计	(146)
5.4	多级电压放大电路的设计	(148)
5.5	用集成运算放大器设计多级交流放大器	(157)
5.6	场效应管放大器设计	(158)
5.7	差分放大器设计	(164)
5.8	低频功率放大器的设计	(170)
5.9	集成直流稳压电源设计	(173)
第 6 章	数字电路的设计	(179)
6.1	数字系统的设计方法	(179)
6.2	组合逻辑电路的设计	(181)
6.3	时序逻辑电路的设计	(188)
6.4	数字系统划分	(201)
6.5	硬件编程语言	(205)
6.6	数字系统设计	(217)
6.7	算法状态机	(223)
6.8	备有记忆文件的状态图	(231)
6.9	设计数字系统的试凑法	(245)
第 7 章	印制板设计	(251)
7.1	消除地线共阻抗干扰的方法	(251)
7.2	电磁干扰的抑制方法	(257)
7.3	印制电路板排版设计基础知识	(262)
7.4	印制板排版过程与方法	(275)
第 8 章	电子电路的安装与调试	(286)
8.1	元器件的选择原则	(286)
8.2	电子装置的布局	(293)
8.3	面包板上的初调试	(295)

8.4 电子电路的安装	(300)
8.5 焊接技术	(304)
8.6 模拟电路故障检测与诊断技术	(314)
8.7 数字电路系统的故障检测和诊断	(318)
8.8 自激、噪声干扰及其抑制技术	(325)
8.9 电子电路的制作	(330)
参考文献	(331)

第1章 电子电路实验基本知识

1.1 电子技术实验的目的、任务和要求

1.1.1 电子技术实验的目的和任务

实验是研究一切科学的基本方法,是促进科学技术发展的重要手段。在实际工作中,工程技术人员通过实验,分析器件、电路的工作原理,完成器件、电路性能指标的检测,验证和扩展器件、电路的功能及其使用范围,设计并组装各种实用电路和整机。

从教学目的出发,电子技术实验课是通过实验手段,使学生获得电子技术实验的基本知识和基本技能,并能够运用所学理论来分析和解决实际问题,提高实际工作的能力。由此可见,熟练掌握电子实验技术,无论是对从事电子技术领域工作的工程技术人员,还是对正在进行本课程学习的学生来说,都是至关重要的。

电子线路(模拟电子线路和数字电子电路)实验研究的对象是由各种电子元器件连接组成的各种功能电路和系统。

电子线路实验研究的基本任务包括以下两点:

①电子线路分析,即用实验方法分析各种功能电路的特性。

②电子线路设计,即在特定的技术指标要求下,设计构成各种功能电路,用实验方法进行分析、修正,使之达到所规定的技术指标。

根据任务的不同,电子技术实验可以分为以下三个层次:第一个层次是验证性实验,它主要是以电子元器件特性参数和基本单元电路为主,根据实验目的、实验电路、仪器设备和较详细的实验步骤,通过实验来验证电子技术的有关理论,从而进一步巩固所学的基本知识和基本理论。第二个层次是提高性实验,它主要是根据给定的实验电路,由学生自行选择测试仪器,拟定实验步骤,完成规定的电路性能指标测试任务,从而进一步掌握电路的工作原理。第三个层次是综合性和设计性实验,学生根据给定的实验题目、内容和要求,自行设计实验电路,选择合适的元器件并组装实验电路,拟订出调整、测试方案,最后使电路达到设计要求。这个层次的实验,可以培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力。

电子技术实验内容很丰富,它包括了圆满完成预期实验任务,或者说电子产品由设计到成品所包含的各种实用技术。如元器件测试和鉴别技术,仪器正确使用,工程设计,电路组装,工艺要求,电路测量、调试、维修、屏蔽、接地,实验数据采集、处理等。同时,每一项技术又包含极其丰富的内容。

1.1.2 电子技术实验的要求

①熟悉常用电子元器件的分类、性能、主要参数及其正确使用方法,具有查阅电子元器件手册和正确选用电子元器件的能力。

②掌握阅读基本电子电路原理图的一般规律,具有分析电路元器件作用和电路功能的能力。

- ③了解常用电子测试仪器的基本工作原理,具有正确使用常用电子测试仪器的能力。
- ④初步掌握基本电子实验电路的设计、组装和调试方法,具有分析和排除电子电路一般故障的能力。
- ⑤学会正确分析和综合处理实验结果,具有独立撰写实验报告的能力。

1.2 电子技术实验的过程和安全规则

1.2.1 电子技术实验的一般过程

电子技术实验的内容广泛,每个实验的具体目的、步骤也各有不同,但各实验的基本过程却是类似的。为了达到每个实验的预期效果,要求参加实验者做到:实验前认真预习,实验中遵守实验操作规则,实验结束后认真总结。

1. 实验前要认真预习,写出预习报告

为了避免盲目性,使实验过程有条不紊地进行,实验者在每个实验前都要仔细阅读实验指导书,复习理论教材中有关章节的内容,理解实验原理,明确实验目的和要求,对实验步骤做到心中有数。在充分预习的基础上,写出实验预习报告。预习报告的内容包括:

- ①实验题目、实验目的、实验要求和实验原理图。
- ②实验的基本原理、实验步骤和有关注意事项。
- ③实验元器件、仪器设备的型号名称和规格。
- ④与实验有关的计算公式及预期结果,有关的数据记录表格。
- ⑤回答有关的思考题。

2. 认真上好实验课,遵守实验操作规则

上好实验课并严格遵守实验操作规则,是提高实验效果、保证实验质量的重要前提。因此,实验者必须做到以下几点:

- ①上实验课时首先要认真听老师的讲解,明确实验中的有关问题。
- ②在进入指定实验位置后,首先要检查 220 V 交流电源插座和有关开关的位置,检查实验所需的元器件、仪器仪表和测试线等是否齐全和符合要求。
- ③实验电路的组装和实验仪器的连线必须按实验指导书和实验原理的要求连接,一般不要随意改动。
- ④在进行实验电路的调整测试前,必须首先调整好直流电源,使其极性和电压大小符合实验要求,然后才能接入实验电路。
- ⑤实验过程要按拟订的步骤进行,实验的同组人员应有分工,互相配合,而不能一人包办。实验过程中遇到问题要共同研究,找出解决问题的正确方法。
- ⑥实验过程中,应及时分析所测数据和观察到的各种波形是否合理,如有问题应及时找出原因。一般可以从电路接线、实验方法、测量仪器的使用和连线(特别是接地线)、数据读测的方法和准确性,以及各种外界干扰等方面寻找原因。
- ⑦实验结束后应首先切断电源,在实验结果经指导教师审阅、同意后方可拆除实验电路。整理好仪器设备,清理好实验现场,方可离开实验室。

3. 认真撰写实验报告

实验报告是科学的总结,也是实验课的继续和提高。通过撰写实验报告,可以培养学生综合

问题的能力,使知识条理化。实验报告的内容和要求如下:

①实验报告的主要内容有:实验名称、实验目的、实验要求、实验电路及工作原理、主要实验步骤所用仪器设备的型号和名称、测试数据及有关波形图表、实验收获体会及回答有关问题。

②实验报告应采取科学的态度,对实验数据和实验结果进行必要的理论分析,未经重复实验不得随意修改原始数据,更不能伪造实验数据。

③要详细记录实验电路组装和调试过程中发生的故障、原因及排除故障的方法。

④实验报告应在实验结束后及时完成,并做到文理通顺、语言精练、字迹工整。除实验测试数据和有关图表等同组者可相互采用外,其他内容每个实验者都应独立完成。

1.2.2 电子技术实验安全

电子技术实验安全包括人身安全和仪器设备安全。实验者必须具备一定的安全常识,遵守实验安全规则,才能避免发生人身伤害事故,防止损坏实验仪器设备。

1. 人身安全

在电子技术实验中,为保障实验者的人身安全,实验者必须遵守以下安全规则:

①实验前应弄清楚电源开关、熔断器、插座的位置,了解其正确操作方法,并检查其是否安全可靠。

②检查仪器设备的电源线、实验电路中有强电通过的连接线等有无良好的绝缘外套,其芯线不得裸露。

③在实验过程中,一定要养成实验前先接实验电路后接通电源,实验完毕后先切断电源后拆除实验电路的操作习惯。

④实验时,一旦发生触电事故或其他异常现象,不要惊慌失措,应立即切断电源。如距电源开关较远时,可使用绝缘器具将电源切断,使触电者立即脱离电源,并保护现场,报告指导教师检查事故原因。

2. 仪器设备安全

为防止在实验时损坏仪器设备与实验装置,实验者应遵守以下安全规则:

①在使用仪器设备前,应先了解其性能 and 操作方法,按操作程序正确使用。切不可不懂装懂,盲目操作。

②要树立爱护公物的良好习惯,实验中不得随意扳动、旋转仪器面板上的旋钮和开关,需要使用时也不要用力过猛地扳动或旋转。不得乱动与本次实验无关的仪器和设备。

③实验时注意力要集中,随时观察仪器及实验电路的工作情况。如发现异常现象,应立即切断电源,待查明原因并排除故障后,方可重新通电。

④仪器设备使用完毕后,应关掉电源开关,同时将面板上各旋钮、开关置于合适的位置。

1.3 电子测量中的误差分析

在电子技术实验过程中,不论采用何种仪器或何种方法,进行电量或非电量的测量时,由于人们对客观规律认识的局限性、测量仪器精度的限制、测量方法的不完善、测量环境的不同等各种因素的影响,使得测量的结果不可能绝对准确,而只能是近似的。我们把在使用电子仪器进行各种测量中所取得的测量数据,称为测定值。测定值与被测量值的真值之差,称为测量误差。

严格来说,真值实际上是无法测出的,但是只要实验人员掌握科学的测量方法,正确分析产生误差的原因,并采取相应的措施,就可以使测量的数据更准确,误差更小。

1.3.1 测量误差的来源

1. 仪器误差

仪器误差是由于测量仪器本身电气或机械性能不完善而引起的误差。例如,仪器未经校准或校准不佳、定度不准等。

2. 使用误差

使用误差又称操作误差,这是由于仪器在使用过程中安置不当、使用方法不正确而引起的误差。

3. 人为误差

人为误差又称人身误差,这是由于测量者个人的感觉器官和运动器官的限制所造成的误差。例如,有的测量者在读取指示刻度时,习惯于超过或欠少,有的在读数时视角不合适等,都可能引起人为的测量误差。

4. 影响误差

影响误差也称环境误差,这是由于在使用测量仪器时,受到外界温度、湿度、气压、电磁场、机械振动等因素影响而造成的误差。

5. 方法误差

方法误差又称理论误差,这是由于测量方法所依据的理论不够严格,或者采用了不恰当的简化和近似公式所引起的误差。

例如,在测量放大电路的静态工作电流 I_{CQ} 时,可以用万用表的直流电压挡测量集电极电阻 R_c 两端的压降,然后根据 R_c 的阻值,利用欧姆定律可以算出 I_{CQ} 的值。然而这种测量方法并未考虑万用表本身的内阻,当万用表内阻达不到一定要求时,便会产生较大误差。

1.3.2 测量误差的分类及消除误差的方法

根据测量误差的性质和来源,测量误差又可以分为系统误差、随机误差和过失误差三大类。实验中,测量结果产生误差是难免的,但是我们应该在可能的条件下,使各类误差减小到最小程度,这样才能取得较为可靠的测量数据。下面介绍各类误差的特点以及减小这些误差的主要方法。

1. 系统误差

在电子测量过程中,如果在相同条件下多次测量同一量,而测量数据的误差具有恒定的或遵循某一特定规律而变化的性质,则该类误差称为系统误差。如前面提到的仪器误差、使用误差、人为误差和方法误差等都属于系统误差。其中仪器误差是产生系统误差的主要原因。

例如,用图 1-1 所示的电桥法测量某一电阻 R_x ,当电桥平衡时,电压指示器 V 的电压为零,则被测电阻 $R_x = R_1 R / R_2$ 。其中, R_1 、 R_2 在电桥内部,而 R 是采用外接电阻箱的标准电阻。若标准电阻由于长期使用而接触电阻增加,当用它来测量一批同类型同规格的电阻 R_x 时,测出的阻值总会有误差,这种误差就是具有恒定性的系统误差。

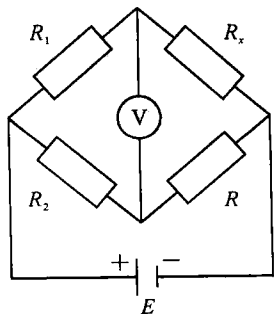


图 1-1 电桥法测量电阻

减小系统误差的方法有多种,下面介绍常用的三种方法。

①替代法。替代法是利用置换原理进行的。首先对被测量对象进行正常的测量,并记取测量数据。然后选择一个适当大小的标准已知量来替代原来的被测量,替代后应保持原来的仪器指示值不变,则可认为被测量对象就等于该标准已知量。

例如,测量上述电阻时,先对被测电阻 R_x 进行一次测量,使电压指示器 V 的指示值为零,然后用一个已知标准电阻 R_s 来替代 R_x ,调节 R_s 使 V 同样指零。那么 R_s 的值就等于被测电阻 R_x 的值。

替代法由于二次测量的条件相同,因而可以减小由于测量仪器内部结构、各种外界因素、仪表不准确和装置不妥等引起的系统误差。

②正、负误差抵消法。正、负误差抵消法是利用改变测量条件,进行二次测量,使二次测量所产生的误差等值而异号,然后取二次测量数据的平均值,便可将误差抵消。

③半周期读数法。当系统误差呈周期性变化时,采用半周期读数法可以消除。由于误差呈周期性变化,经过半个周期后,误差的值不变,但误差符号相反。因此,测量时只要相隔半个周期,同时读取两个数值,再取两者的平均值,即可使呈周期性变化的系统误差抵消。

2. 随机误差

随机误差也称偶然误差,这是一种大小和正负极性不带任何规律的误差。产生随机误差的原因十分复杂,即使在相同的条件下,对同一量进行多次测量,所测得的结果也往往不同。但是只要测量次数足够多,就不难发现:随机误差完全服从于统计学规律,即误差的大小和正负极性完全由概率所决定。因此,随着测量次数的增加,随机误差的算术平均值将趋于零。所以,减小随机误差的方法是对被测量对象用同一种测量方法进行多次重复测量,然后取其平均值。

3. 过失误差

过失误差也称粗心误差,它主要是由测量者的粗心大意或操作不当而引起的。例如,测量者读错仪表指示的刻度、记录者记错数据、计算错误,或者测量仪器未经校准即进行测量等。这种误差的特点是其测量值明显偏离真值。消除过失误差的方法是经过反复实验,细心读取数据,并进行仔细的分析,对于显然包含有过失误差的测量数据应该舍去。

1.4 实验数据的处理

在电子技术实验中,直接从仪器、仪表中读取并记录下来的各种电参数(或波形),称为实验的原始数据。原始数据对实验者来说是很重要的,在读取原始数据时,应做到方法正确、读数准确,而且在实验结束后,所保留的原始数据不得随意更改。但是,原始数据一般要经过分析、计算、综合处理后,才能真实反映测量结果。

下面讨论有效数字的处理和测量数据的图解处理。

1.4.1 有效数字的处理

1. 有效数字的概念

如前所述,由于测量时总存在误差,因此测量数据都是近似的。如何用近似值恰当地表示出测量结果是讨论有效数字的主要目的。

所谓有效数字是指一个数据从左边第一个非零的数字开始,至右边最后一个数字为止的所

有数字。例如,测量记录的某一电压值为 0.026 3 V,有效数字由 2、6、3 组成。这 3 位有效数字都是表达上述被测电压必不可少的,其中前两位 2、6 是准确地读出的,称为准确数字,而最后一位 3 通常是在测量时估计出来的,称为欠准数字。

有效数字不能因采用的单位变化而增减,如前面所说的 0.026 3 V,若用毫伏为单位,就可以写成 26.3 mV,有效数字仍为 3 位。又如,测得某一信号的频率为 0.024 6 MHz,若用 kHz 表示,可以写成 24.6 kHz,它们都是 3 位有效数字,其中 2、4 是准确数字,6 是欠准数字未变。但不能将 0.024 6 MHz 写成 24 600 Hz。因为后者的有效数字变成了 5 位,而最右边的 0 为欠准数字,可见两者的含义完全不同。

当测量误差已知时,测量结果的有效数字位数应与误差的位数相一致。例如,测量某电压的结果为 5.481 V,若已知测量误差为 ± 0.05 V,则该电压值应改写为 5.48 V。

2. 有效数字的舍入规则

在做测量记录时,每个数据都应该只保留一位欠准数字,即最后一位数字前的各位数字都必须是准确的,而对于多余的数字,一般应采取“四舍五入”的原则进行删除,具体的舍入规则如下:

- ①舍入时应从最后一个数字位开始,逐个向前进行。
- ②若数字大于 5 时,舍去后向高位进 1;小于 5 时,舍去后不进位。
- ③若数字恰好等于 5 时,如 5 后有数,则舍 5 进 1;如 5 后无数字或为 0 时,则要看 5 之前的数字是奇数还是偶数来决定是否进位,奇数则舍 5 进 1,偶数则舍 5 不进位。

例如,将下列数值保留 4 位有效数字:

$$6.248\ 502 \longrightarrow 6.249$$

$$6.248\ 49 \longrightarrow 6.248$$

$$6.247\ 50 \longrightarrow 6.248$$

$$6.248\ 50 \longrightarrow 6.248$$

3. 有效数字的运算规则

当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的舍入取决于运算各项中精确度最差的那一项。

①当几个近似值进行加、减运算时,各个数值必须是相同单位的同一物理量。小数点后面位数最少的数据精度最差,因此应将各数据小数点后所保留的位数处理成与精度最差的数据相同,再进行运算。

例如, $1.369 + 17.2 + 8.64$, 由于 17.2 的精度最差,小数点后只有一位数字,因此要将另外两个数据进行处理后再进行运算,即

$$1.4 + 17.2 + 8.6 = 27.2$$

②在进行乘、除运算时,以有效数字位数最少的那个数为基准,其余各数及积(或商)的有效数字也保留相同的位数。例如, $0.374 \times 8.513 \times 35.164$, 其中有效数字位数最少的一项是 0.374, 其有效数字为 3 位。因此其他两项的有效数字位数均应舍入到 3 位,即

$$0.374 \times 8.51 \times 35.2 = 112.032 \rightarrow 112$$

③在乘方、开方运算中,运算结果应比原数据多保留一位有效数字。例如

$$43.7^2 = 1\ 909.69 \approx 1\ 910, \quad \sqrt{85.7} \approx 9.257$$

④在对数运算中,应取对数运算前后的有效数字位数相同。例如

$$\ln 516 \approx 6.25, \quad \lg 2.46 \approx 0.391$$

1.4.2 实验数据的图解处理

在电子实验测量中,有时并不只是单纯地为了获得某一个或几个量的值,而是为了得出某两个量之间的函数关系。例如,在测量放大电路的幅频特性时,就是为了求得放大电路的放大倍数与信号频率之间的关系。对于这样一种关系,如果用一条连续而光滑的曲线图形来表达测量结果,显然比用一组数字来表示要好得多。因为它不但直观和形象,而且通过对曲线形状、趋势和特征的分析,可以加深对测量结果的理解,并能够从中找出规律。

绘制曲线(或直线)时一般采取下述步骤:

①首先以表格形式列出测量的原始数据。

②选择合适的坐标系。图形一般要绘在坐标系中,因此,在绘图前先要选择好合适的坐标系。一般情况下采用直角坐标系。在测量数据中,选用误差较小的被测量对象作为横坐标,而误差较大的量作为纵坐标。

③确定坐标的分度。坐标的比例应根据具体情况合理分度,其原则是应使曲线能清晰、准确地描述被测量的变化规律。常见的分度有线性分度(等距离),有时也采用对数分度。纵横坐标的分度可以是相同的,也可以是不同的。

④选择适当的数据点作图,把测量数据用一个特定的点表示在相应的坐标系内,这些点称为数据点。数据点可用直径小于2 mm的空心圆、实心圆、十字形或三角形等标记,标记的中心应与测量值的坐标位置重合。将所有数据点连接起来,以构成曲线。

数据点的多少,应视曲线的具体形状而定。对于变化缓慢的部分,可以少取一些数据点,但数据点之间应基本上保持等距离;对于急剧变化的部分和某些重要的细节部分,数据点应相对多取一些,以避免漏掉变化的过程。

⑤曲线的修整。由于测量过程中会产生各种误差,测得的数据点有一定的离散性。如果把所有数据点一个不少地直接连起来,常常不会是一条光滑的曲线(或直线),而是一条不规则的波动曲线。这种波动的曲线,并非与欲得曲线的客观规律有关,而是反映了误差的某些规律。为了得到光滑的曲线,需要进行修整,对于个别远离变化规律的数据点,应进行重点分析,慎重处理。如图1-2中 $\wedge-\wedge-\wedge$ 曲线中的P点,一般应在P点附近再做几次细密的测量;若测量结果与图1-2中的 $\wedge-\wedge-\wedge$ 曲线相似,则表示原先的测量过于粗略,数据点P应予保留;若重测的结果如图1-2中的 $o-o-o$ 曲线,则可以断定原先所得的P点是个差错,应予剔除。

当数据点离散不太大时,可用曲线板作出一条光滑的、基本上对称、通过所有数据点的曲线,如图1-3所示,这个过程称为曲线的修匀。当数据点离散程度较大时,可沿横坐标将数据点划分成若干个组,每组2~3个数据点,并用各组的纵、横坐标的平均值作为新的数据点,然后沿这些新的数据点画一条光滑的曲线,具体作法如图1-4所示。

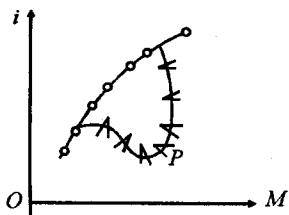


图 1-2 数据点的处理

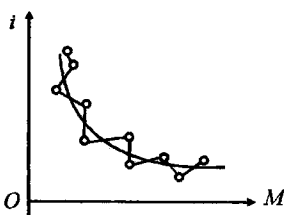


图 1-3 曲线的修匀

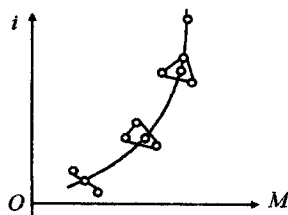


图 1-4 用分组平均法作曲线

第2章 电子测量及常用的电子测量仪器

2.1 电子电路基本测量方法

2.1.1 电子测量的基本概念

1. 测量和电子测量

测量是人们通过实验方法对客观事物进行测定,并取得数量概念的认识过程。电子测量是以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,对各种电量和非电量进行测量的过程。广义地讲,凡是利用电子技术进行的测量都是电子测量。

2. 电子测量的基本内容

随着电子技术的不断发展,电子测量的内容和项目越来越广泛,就集中参数电路而言,电子测量的基本内容包括以下几个方面:

- ① 电能量的测量,包括各种频率、波形的电压、电流和功率等参数的测量。
- ② 电路参数的测量,包括电阻、电感、电容、阻抗、品质因数和损耗等参数的测量。
- ③ 电信号特性的测量,包括信号的波形、频率、时间、相位、调制度、失真度、信号频谱以及逻辑关系等测量。
- ④ 半导体器件方面的测量,包括二极管、三极管、稳压管、场效应管以及各种集成器件的参数、性能的测量。

应当指出,采用电子仪器对某些非电量(如温度、压力、速度、光、磁等)进行测量时,一般都是先经各种传感器,把非电量转换为电信号,然后再进行必要的放大、传输、取样和测量。

3. 电子测量的特点

和电工仪表测量相比,电子仪器测量具有下列特点:

- ① 频率范围宽。电子测量中,可能接触到的信号频率范围是很宽的,一般为 $0 \sim 10^{12}$ Hz。
- ② 量程广。量程是指被测量的量值范围。电子测量中,可以确定的各种电量值的范围很宽。例如,电子毫伏表的测量范围可从几 μV 至几十 kV 。
- ③ 测量精度高。测量结果的精确度与测量仪器的精确度密切相关。由于目前电子仪器的精确度已达到相当高的水平,特别是对频率和时间的测量,误差可以小到 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 量级,甚至更小。

④ 测量速度快。电子测量是通过电子运动和电磁波的传播实现的,因此它的测量速度快。

⑤ 容易实现遥测和测试自动化、智能化。电子测量中,可以把仪器或与其连接的各种传感器,放入人们不便进入或无法到达的区域。因此,电子测量设备容易实现遥测和测试的自动化。此外,它还可以运用电子计算技术实现测量设备的智能化。

由于电子测量具有上述特点,因此它被广泛应用于自然科学的各个领域。

2.1.2 电子测量的一般方法

1. 测量的基本方法

电子测量与其他测量一样,从获得测量结果所采用的方法来分,有直接测量、间接测量和组合测量三种。

①直接测量。这是一种通过测量仪器直接测得被测量值的方法。例如,用电压表测量晶体管各电极的电位、用频率计测量信号的频率等。直接测量操作简便、测量时间短,广泛应用于电子实验和工程测量中。

②间接测量。间接测量是利用直接测量的量与被测量之间的函数关系,间接获得被测量值的方法。当被测量不便从直接测量中获得,或间接测量比直接测量更为准确时,大多采用间接测量。例如,测量放大电路的电压放大倍数 A 时,一般是先采用直接测量法,测出放大电路的输出电压 U_o 和输入电压 U_i ,然后再根据 $A=U_o/U_i$ 计算出电压放大倍数。

③组合测量。直接测量和间接测量兼用的测量方法,称为组合测量。把被测量和另外几个量组成联立方程,在直接测量和间接测量的基础上,通过解联立方程,得出被测量的大小。这种方法用计算机求解比较方便。

2. 选择测量方法的原则

上述三种测量方法中,间接测量和组合测量都与直接测量有关。因此,直接测量是电子测量的基础,它的测量精度将直接影响其他两种测量的精度。

在电子实验和工程测量中,首先应研究被测量本身的性质和特点,对所需要的精确度、环境条件及所具有的测量设备等因素进行综合考虑,再确定采用哪种测量方法和选用哪些测量设备。

一个正确的测量方法,可以得到精确的测量结果,否则不仅测量结果不可信赖,而且有可能损害测量仪器仪表,甚至损坏被测设备或元器件。

2.1.3 电流的测量

测量电流有两种方法:一种是将电流表串入被测电路直接读出被测电流值的直接测量法;另一种是通过测量已知电阻两端的电压降,然后计算出被测电流的间接测量法。

2.1.4 电压的测量

在电子测量中,电压、电流和功率是表征电能量的三个基本参数。由于测量电流和功率可以从电压的测量中派生出来,而且诸如增益、幅频特性、失真度,乃至各种电路的工作状态(如晶体管的饱和、截止及放大等状态)均可用电压值表示出来。因此,电压测量显得尤为重要。

1. 电子电路中电压测量的特点

①频率范围宽。在电子电路中,被测量电压的频率可以从零到数百 MHz,在一些特殊场合,甚至可达数千 MHz。对于频率范围如此宽的电压测量,一般电工仪表是不能胜任的,而必须采用电子电压表。

②电压范围大。在电子电路中,被测电压范围很大,小的仅为微伏数量级,大的可达数 kV 以上的高压。不同的电压挡级,必须用不同的电压表进行测量。

③等效输入阻抗高。电子电路一般为高阻抗电路,其等效阻抗往往在几 k Ω 至几 M Ω 的数

量级。由于电压测量仪表在测量电压时,通常并联在被测电路的两端,为使仪器的接入对被测电路的影响减至足够小,要求测量仪器具有足够的等效输入阻抗。对于高频电压的测量,还要求测量仪表具有较小的输入电容。

④波形种类多。在电子电路中,电压波形各异,除了常见的正弦波以外,还有矩形波、三角波、梯形波等非正弦波形。由于普通的电压表往往以正弦波电压来刻度,因此,用普通测量仪表测量非正弦电压时,将造成测量误差。同时,在被测电压中,往往交、直流电压并存,甚至还夹杂一些噪声干扰等成分,这就要求在测量中加以区分。

2. 电压测量仪器的分类

由于电子电路中的电压具有上述特点,因此,一个性能良好的电压测量仪器,应能满足这些要求,才能保证测量的精确度。根据构成方式和工作原理的不同,电压测量仪器可分为模拟式电压表和数字式电压表两大类。

①模拟式电压表。模拟式电压表是把被测电压变换成电表指针的偏转角位移,从而实现被测电压的显示。常用的电压表以磁电式电流表作为指示器,电流表的表盘上以电压(或分贝)刻度,从而显示出被测电压的量值。

②数字式电压表。数字式电压表是把被测模拟电压经过模-数转换器(ADC)变换成数字量,然后通过计数、译码等,最后用十进制数来显示被测电压值。

数字式电压表具有读数方便精确、灵敏度高、输入阻抗高、测量速度快、抗干扰及过载能力强、体积小等优点,而且便于实现电压测量智能化和电压测量自动化。

3. 交流电压的测量

由于直流电压的测量在电工仪表中介绍得比较多,这里仅介绍电子测量中用得较多的交流电压的测量。

在模拟式交流电压表中,一般是先将交流电压经过检波器,变换成直流电流,然后驱动直流表的指针偏转,并根据被测电压的大小与直流电流的关系,在表盘上直接标以电压刻度。

(1) 电子式交流电压表的分类

检波器是交流电压表的关键部分,根据其在电压表中的位置不同,模拟式电压表可以分为以下三种类型。

①检波-放大式电压表,其原理框图如图 2-1 所示。由图可见,被测电压 u_x 经检波器转换成直流电压,再由直流放大器放大后去驱动电流表指针偏转。由于被测电压是先经过检波器,所以这种类型电压表的频率范围取决于检波器的频率响应,灵敏度受检波器件非线性的限制。

②放大-检波式电压表,其原理框图如图 2-2 所示。被测电压 u_x 先经宽频带放大器放大,然后进行检波。这种电压表的频率范围主要受放大器的频带限制,灵敏度受放大器内部噪声的限制。

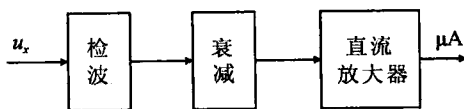


图 2-1 检波-放大式电压表原理框图

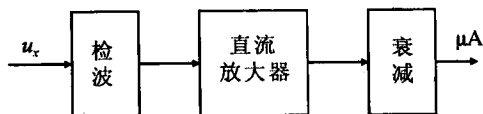


图 2-2 放大-检波式电压表原理框图

③外差式电压表,其原理框图如图 2-3 所示。频率为 f_s 的被测信号电压 u_x ,经输入电路在混频器中与频率为 f_L 的本机振荡信号进行混频,获得中频信号 $(f_L - f_s)$,再经中频放大器选频