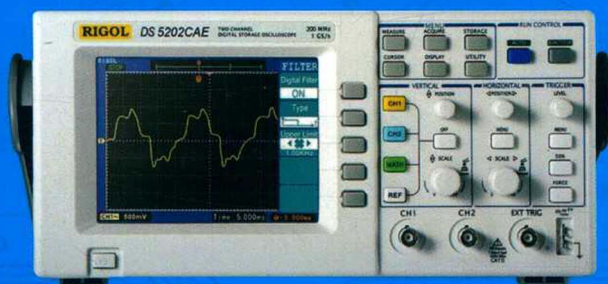


电子测量仪器及应用

蒋国银 主编



高等教育出版社

“十二五”职业教育国家规划教材配套教学用书

电子测量仪器及应用

DIANZI CELIANG YIQI JI YINGYONG

蒋国银 主 编

吴军献 邵德明 徐 森 副主编



高等教育出版社·北京

内容简介

本书是“十二五”职业教育国家规划教材配套教学用书,依据教育部相关专业教学标准,参照应用电子技术专业相关中高职衔接教学标准,结合近几年职业教育的实际情况编写而成。

本书以常用电子测量仪器及其应用为主线,讲述电子测量仪器的基本工作原理、操作使用方法和测量应用实训。本书以模块和任务为载体,内容包括电子测量与仪器的基础知识、电压测量仪器、信号发生器、电子计数器、示波器、电子元器件测量仪器、电子测量仪器的发展与新技术,共7个模块。每个模块中都有结合实际应用的实训,使读者在学完本书后,即可使用电子测量仪器进行相关测量与测试工作。

本书可作为中等职业学校电子技术应用及相关专业的教学用书,也可作为从事电子测量与测试工作的工程技术人员和广大电子爱好者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器及应用/蒋国银主编.--北京:高等教育出版社,2016.9

ISBN 978-7-04-045969-2

I. ①电… II. ①蒋… III. ①电子测量设备-中等专业学校-教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 170722 号

策划编辑 李 刚
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 陆 明
责任校对 张小镝

封面设计 李树龙
责任印制 赵义民

版式设计 于 婕

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市鑫霸印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 12.75
字 数 310 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>

版 次 2016 年 9 月第 1 版
印 次 2016 年 9 月第 1 次印刷
定 价 22.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 45969-00

前言

本书是“十二五”职业教育国家规划教材配套教学用书,依据教育部相关专业教学标准,参照应用电子技术专业相关中高职衔接教学标准,结合近几年职业教育的实际教学情况编写而成。

随着电子信息产业迅猛发展,我国正在由世界加工大国转变为自主创新大国。在电子产品的研制、生产、调试和维修过程中,需要大量的电子测量仪器,更需要大量能操作电子测量仪器的电子产品测量(调试)中高级技术人才。为了深入贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》和《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,进一步推动中高职衔接职业教育课程建设与改革,培养面向生产、建设、服务和管理第一线需求的技能型人才,本书以就业为导向,以职业能力培养为重点,以实践教学为主线,坚持理论与实践的有机结合,坚持“做中学、做中教”,加强理论课程与实践课程的整合融合,强化学生实践能力、职业技能和创新意识培养。

本书的编排采用以“模块”为主线,以“任务”为单元,学做结合的方式,避免学生枯燥地学习理论知识或实训。

“图解”和“表格化”是本书的两大特色。编写采用简洁明了的表格形式,将电子测量仪器实物整体与局部关键部位相结合展现,以图例为牵引,选取典型实例,按步骤讲解测量方法。

本书以常用电子测量仪器及其应用为主线,讲述了电子测量仪器的工作原理、操作方法和测量应用实训。全书共7个模块,内容包括电子测量与仪器的基础知识、电压测量仪器、信号发生器、电子计数器、示波器、电子元器件测量仪器、电子测量仪器的发展与新技术。结合模块内容安排了相应的实训课题,使用各种仪器对被测对象进行测量训练。各学校可根据实际情况,选择合适的任务对学生进行实训。为了方便学生学习,每个模块都安排了“模块小结”,并配以深浅适中的练习题。学习效果评价采取过程评价与结果评价相结合的方式,理论与实践相结合,重点评价学生的职业能力。

课程内容由基础部分和选学部分两大块组成。模块1、模块2、模块3、模块4、模块5为基础部分,模块6、模块7为选学部分。

本课程的建议学时数为72学时,各模块的参考学时如下:

模块	内容	学时
模块1	电子测量与仪表的基础知识	8
模块2	电压测量仪器	10
模块3	信号发生器	12
模块4	电子计数器	8
模块5	示波器	16
模块6	电子元器件测量仪器	12
模块7	电子测量仪器的发展与新技术	2
机动		4
合计		72

本书由湖北十堰职业技术(集团)学校蒋国银担任主编,吴军献、邵德明、徐森担任副主编。本书编写分工如下:湖北宜都市职教中心徐坤云编写模块1、湖北城市职业学校邵德明编写模块2、武汉技师学院黄丽君编写模块3、湖北城市职业学校许红红编写模块4、湖北机械工业学校徐森编写模块5、湖北十堰职业技术(集团)学校吴军献、毛新成、付轶琼编写模块6、模块7。

由于编者学识和水平有限,错漏之处在所难免,敬请批评指正。

编者

2016年6月

序号	姓名	单位	备注
1	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
2	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
3	黄丽君	武汉技师学院	模块3
4	许红红	湖北城市职业学校	模块4
5	徐森	湖北机械工业学校	模块5
6	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
7	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
8	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
9	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
10	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
11	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
12	黄丽君	武汉技师学院	模块3
13	许红红	湖北城市职业学校	模块4
14	徐森	湖北机械工业学校	模块5
15	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
16	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
17	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
18	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
19	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
20	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
21	黄丽君	武汉技师学院	模块3
22	许红红	湖北城市职业学校	模块4
23	徐森	湖北机械工业学校	模块5
24	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
25	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
26	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
27	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
28	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
29	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
30	黄丽君	武汉技师学院	模块3
31	许红红	湖北城市职业学校	模块4
32	徐森	湖北机械工业学校	模块5
33	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
34	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
35	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
36	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
37	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
38	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
39	黄丽君	武汉技师学院	模块3
40	许红红	湖北城市职业学校	模块4
41	徐森	湖北机械工业学校	模块5
42	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
43	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
44	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
45	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
46	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
47	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
48	黄丽君	武汉技师学院	模块3
49	许红红	湖北城市职业学校	模块4
50	徐森	湖北机械工业学校	模块5
51	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
52	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
53	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
54	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
55	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
56	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
57	黄丽君	武汉技师学院	模块3
58	许红红	湖北城市职业学校	模块4
59	徐森	湖北机械工业学校	模块5
60	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
61	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
62	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
63	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
64	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
65	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
66	黄丽君	武汉技师学院	模块3
67	许红红	湖北城市职业学校	模块4
68	徐森	湖北机械工业学校	模块5
69	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
70	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
71	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
72	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
73	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
74	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
75	黄丽君	武汉技师学院	模块3
76	许红红	湖北城市职业学校	模块4
77	徐森	湖北机械工业学校	模块5
78	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
79	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
80	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
81	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
82	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
83	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
84	黄丽君	武汉技师学院	模块3
85	许红红	湖北城市职业学校	模块4
86	徐森	湖北机械工业学校	模块5
87	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
88	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
89	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
90	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
91	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1
92	邵德明	湖北城市职业学校	模块2
93	黄丽君	武汉技师学院	模块3
94	许红红	湖北城市职业学校	模块4
95	徐森	湖北机械工业学校	模块5
96	吴军献	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
97	毛新成	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
98	付轶琼	湖北十堰职业技术(集团)学校	模块6
99	蒋国银	湖北十堰职业技术(集团)学校	主编
100	徐坤云	湖北宜都市职教中心	模块1

目 录

模块 1 电子测量与仪器的基础知识	1
任务 1 电子测量的基础知识	1
任务 2 电子测量仪器的基础知识	4
任务 3 误差计算与数据处理	7
模块小结	13
思考与练习	14
模块 2 电压测量仪器	15
任务 1 交流毫伏表	16
任务 2 模拟式万用表及其使用	26
任务 3 数字式万用表及其使用	38
模块小结	50
思考与练习	50
模块 3 信号发生器	52
任务 1 低频信号发生器及其使用	53
任务 2 高频信号发生器及其使用	59
任务 3 函数信号发生器及其使用	66
模块小结	73
思考与练习	74
模块 4 电子计数器	76
任务 1 NFC-1000C-1 型多功能计数器及其使用	77
模块小结	93
思考与练习	93
模块 5 示波器	95
任务 1 双踪示波器及其使用	96
任务 2 数字存储示波器	120
模块小结	140
思考与练习	140
模块 6 电子元器件测量仪器	143
任务 1 QS18A 型万用电桥及其应用	144
任务 2 高频 Q 表及其应用	157
任务 3 YB4811 型半导体管特性图示仪及其应用	169
模块小结	187

1

模块 1 电子测量与仪器的基础知识

本模块主要介绍电子测量的基础知识、电子测量仪器的基础知识和误差计算与数据处理。



知识点

1. 了解电子测量的意义、内容、特点和分类。
2. 了解电子测量仪器的分类、误差的表示方法。
3. 了解电子测量误差的分类和表示方法。
4. 了解有效数字的概念。



技能点

能对电子测量结果进行简单的数据处理。

任务 1 电子测量的基础知识

一、电子测量的定义和主要内容

1. 电子测量的定义

在现代化的工业生产中处处离不开测量。测量是精细加工和生产过程自动化的基础,没有测量也就没有现代化的制造业。在产品设计和生产过程中为了检查、监督、控制生产过程和产品质量,必须对生产过程中的各道工序和产品的各种参数进行测量,以便进行在线实时监控。工业生产水平越是发达,测量的规模就越大,需要的测量技术与测量仪器也越先进。在高新技术和国防现代化建设中更是离不开测量。

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程,在这个过程中人们借助专门的设备把被测对象直接或间接地与已知同类标准量进行比较而获得测量结果。电子测量是测量学的一个重要分支,从广义上来说,凡是利用电子技术进行的测量都可以说是电子测量;从狭义上来说,是指对电

子技术中各种电参量所进行的测量。

2. 电子测量的内容

狭义电子测量的内容主要包括:

(1) 能量的测量

能量的测量是指对电流、电压、功率、电场强度等参量的测量。

(2) 电路参数的测量

电路参数的测量是指对电阻、电感、电容、阻抗、品质因数、损耗率等参量的测量。

(3) 信号特性的测量

信号特性的测量是指对频率、周期、时间、相位、调制系数、失真度等参量的测量。

(4) 电子设备性能的测量

电子设备性能的测量是指对通频带、选择性、放大倍数、衰减量、灵敏度、信噪比等参量的测量。

(5) 特性曲线的测量

特性曲线的测量是指对幅频特性、相频特性、器件特性等特性曲线的测量。

在上述各种参量中,频率、时间、电压、相位、阻抗等是基本参量,其他的为派生参量,基本参量的测量是派生参量测量的基础。电压测量是最基本、最重要的测量内容。

非电量的测量属于广义电子测量的内容,可以通过传感器将非电量变换为电量后再进行测量。本书主要讨论狭义电子测量内容。

二、电子测量的特点

1. 测量频率范围宽

电子测量中所遇到的测量对象,涉及的频率范围极宽,可低于 10^{-4} Hz、高于 10^{12} Hz。

2. 量程广

量程是指测量范围的上、下限值差。由于被测量的数值相差很大,因而电子测量仪器应有足够宽的量程。例如,一台高灵敏度的数字电压表,可以测出纳伏级至千伏级的电压,量程可宽达12个数量级。而数字式频率计其量程可达17个数量级。

3. 精确度高

电子测量的精确度比其他测量方法要精确得多,特别是对频率和时间的测量,精确度可达到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 量级,是目前物理量测量中最精确的测量方法。

4. 测量速度快

由于电子测量是通过电子运动和电磁波传播进行工作的,因而具有其他测量方法无法比拟的高速度,这也是它广泛地用于各个领域的重要原因。

5. 易于实现遥测

电子测量可以通过电磁波进行信息传递,很容易实现遥测、遥控。可以对那些远距离的、变速运动的或人们难以接近的信号进行测量。

6. 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的微机化

大规模集成电路和微型计算机的应用使电子测量出现了崭新的局面。例如在测量过程中能够实现程控、遥控、自动转换量程、自动调节、自动校准、自动诊断故障和自动恢复,对于测量结果可进行自动记录、自动进行数据运算、分析和处理。

由于电子测量具有上述一系列的优点,因而被广泛地应用于科学技术的各个领域。

三、电子测量的基本方法

为实现测量目的,正确选择测量方法是极其重要的,它直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。测量的分类方法大致有以下几种。

1. 按测量的性质分类

(1) 时域测量:是测量被测对象在不同时间的特性。这时把被测信号看成是一个时间函数,使用示波器能显示瞬时波形,测量它的幅度、宽度、上升和下降沿等参数。时域测量还包括一些周期性信号的稳态参数的测量,如交流电压,虽然它的瞬时值会随时间变化,但是交流电压的振幅值和有效值是稳态值,可用指针式仪器测量。

(2) 频域测量:是测量被测对象在不同频率时的特性。这时把被测对象看成是一个频率的函数。信号通过非线性电路会产生新的频率分量,能用频谱仪进行分析。放大器的幅频特性在高频端和低频端会下降,可用频率特性图示仪予以显示。放大器对不同频率的信号会产生不同的相移,可使用相位计测量放大器的相频特性。

(3) 数字域测量:对数字逻辑量进行测量。

(4) 随机测量:主要是指对各种噪声、干扰信号等随机量的测量。

2. 按测量的手段分类

(1) 直接测量:用预先按已知标准量调试好的测量仪器,对某一未知量直接进行测量,从而得到被测量值的测量方法。例如,电压表测量电压,通用电子计数器测频率等都是直接测量。直接测量方式广泛应用于工程测量中。

(2) 间接测量:对一个与被测量有确切函数关系的物理量进行直接测量,然后通过代表该函数关系的公式、曲线或表格,求出被测量值的方法。例如,伏安法测电阻,就是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律计算出被测电阻的大小。间接测量方式广泛用于科研、实验室及工程测量中。

(3) 组合测量:在某些测量中,被测量与多个未知量有关,测量一次无法得出完整的结果,则可改变测量条件进行多次测量,然后按照被测量与未知量之间的函数关系,组成联立方程,最后求解,得出各未知量。

3. 按度量器参与测量过程的方式分类

(1) 直读法:用直接指示被测量大小的电工电子仪表进行测量,能够直接从仪表刻度盘上读取被测量数值的测量方法。用直读法测量时,度量器不直接参与测量过程,而是间接地参与测量过程。例如,用电阻表测量电阻时,从指针在标度尺上指示的刻度可以直接读出被测电阻的数值。这一读数被认为是可信的,因为电阻表标度尺的刻度事先用标准电阻进行了校验,标准电阻已将它的量值和单位传递给电阻表,间接地参与了测量过程。直读法测量的过程简单,操作方便,读数迅速,但其测量的准确度不高。

(2) 比较法:将被测量与度量器在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法。例如,用天平测量物体质量时,作为质量度量器的砝码始终都直接参与了测量过程。在电工测量中,采用比较法具有很高的测量准确度,但测量时操作比较繁琐,相应的测量设备也比较昂贵。

4. 按与被测量的距离分类

有原位测量和远距离测量。

测量方法是多种多样的,测量者应根据测量任务的要求,进行认真分析,确定切实可行的测量方法,然后选择合适的测量仪器组成测量系统,进行实际测量。

任务2 电子测量仪器的基础知识

一、电子测量仪器的分类

利用电子技术测量各种电量或非电量的测量仪器称为电子测量仪器。电子测量仪器的种类繁多,主要包括通用仪器和专用仪器两大类。通用仪器是指应用面广、灵活性好的测量仪器。专用仪器是为特定目的专门设计制作的,适于特定对象的测量。

按照仪器的功能,通用电子测量仪器分为以下几类:

1. 信号发生器

信号发生器的功能是作为测试用信号源,能根据需要提供各种频率、各种功率和各种波形的信号。主要用于提供各种测量信号,例如音频、高频、脉冲、函数、扫频、噪声等。

2. 电压测量仪器

电压测量仪器是用于测量信号电压的仪器,例如低频毫伏表、高频毫伏表、数字电压表等。

3. 示波器

示波器是用于显示信号波形的仪器,例如通用示波器、采样示波器、记忆存储示波器等。

4. 网络特性测量仪器

这类仪器主要包括扫频仪、阻抗测量仪及网络分析仪,主要用于测量电气网络的频率特性、阻抗特性、噪声特性等。

5. 时间、频率和相位测量仪器

这类仪器用于测量周期性信号的频率、周期和相位,有各种频率计、相位计和各种时间、频率标准等。

6. 信号分析仪器

信号分析仪器是用于测量信号非线性失真度、信号频谱特性等的仪器,例如失真度测试仪、频谱仪等。

7. 电子元件参数测试仪

这类仪器主要有 Q 表、万能电桥、 RLC 测试仪、晶体管特性图示仪、模拟或数字电路测试仪等。主要用于测量电子元件的电参数、显示特性曲线等。

8. 数据域测试仪器

数据域测试仪器用于分析数字系统中以离散时间或事件为自变量的数据流的仪器,它能完成对数字逻辑电路和系统中的实时数据流或事件的记录和显示,并通过各种控制功能实现对数字系统的软、硬件故障分析和诊断,例如逻辑分析仪等。

9. 虚拟仪器

虚拟仪器主要是指将测量仪器装入计算机内部,以通用的计算机硬件及操作系统为依托,实现各种仪器测量功能。虚拟仪器的功能主要由软件来定义,对于同一个硬件设备,编制不同的软件使其形成不同的功能。

通用仪器按显示方式,又可分为模拟式和数字式两大类。前者主要是用指针方式直接将测

量结果在标度尺上指示出来,例如各种模拟式万用表和电子电压表等。后者是将被测的连续变化的模拟量转换成数字量之后,以数字方式显示测量结果,以达到直观、准确、快速的效果,例如各种数字电压表、数字频率计等。

电子测量仪器的种类繁多,用途也各不相同,在测量中应合理选择使用。

二、电子测量仪器的误差

电子测量仪器的误差是电子测量仪器一项重要的质量指标,是指由于受测量仪器等因素的影响而产生的测量误差,是误差的主要来源。主要包括以下几种:

1. 固有误差

固有误差是指测量仪器在参考条件下所确定的测量仪器本身所具有的误差,主要来源于测量仪器自身的缺陷,例如仪器的结构、原理、使用、安装、测量方法及其测量标准传递等造成的误差。固有误差的大小直接反映了该测量仪器的准确度。

2. 工作误差

工作误差是指在额定工作条件下,在任意一点上测得的某性能特性的误差。在影响量的工作范围内,各种影响量的最不利的组合条件下,产生误差的最大值。工作误差包括仪器固有误差及各种因素共同作用的总效应,在说明书中必须给出,固有误差则可视情况给出。

3. 影响误差

影响误差是用来表明某一项影响量对仪器测量误差的影响,例如温度误差、频率误差等。只有当某一影响量在工作误差中起重要作用时才给出,它是一种误差的极限。

4. 稳定误差

稳定误差是仪器的标称值在其他影响参数和影响特性保持恒定的情况下,在规定时间内产生的误差极限,习惯上以相对误差形式给出或注明最长连续工作时间。

三、电子测量仪器的使用常识

1. 电子测量仪器的选用原则

由于电子测量仪器工作在不同的频段,即使功能相似的仪器,其工作原理与结构也不相同。对于不同的使用目的,常使用不同精确度的仪器。例如,作为计量工作标准的计量仪器常具有最高的精度,实验室中一般使用较精密测量仪器进行定量测量,而生产和维修场合,则常使用简易测试仪器进行测量。通常选择仪器要考虑的问题如下:

(1) 应根据需要测量的参数选择合适的电子测量仪器,例如电压、电流、电阻、电感、频率、时间、波形、增益、衰减、 Q 值等,以及晶体管、场效晶体管、集成电路特性等。

(2) 测试仪器选定后,为快捷、准确、系统地测试电路参数,应配备齐全相应的附件、技术资料与使用说明书。

(3) 选择具体仪器时,一定要遵循先功能后量程的原则,综合考虑以下内容。

① 功能 所选择仪器的功能必须满足待测量的要求。

② 量程 即被测量的最大值和最小值各为多少,选择的仪器要留有一定的余量。

③ 精确度 即被测量允许的最大误差是多少,仪器的误差及分辨率是否满足要求。

④ 频率特性 即被测量的频率范围是多少,在此频率范围内仪器频率特性是否平直。

⑤ 输入特性 根据待测量的要求正确选择输入端。仪器的输入阻抗在所有量程内是否满足要求,如果输入阻抗不是常数,其数值变化应在允许的范围内。

⑥ 稳定性 两次校准之间容许的最大时间范围是多少,能否长期在无人管理下工作。

⑦ 可靠性 仪器的规定使用寿命有多长,维护方便否。

⑧ 隔离和屏蔽 仪器的接地方式是否合适,工作环境的电磁场是否影响仪器的正常工作。

当然,实际选择仪器时,不一定要考虑上述全部项目。例如,测量音频放大器的幅频特性,主要考虑测量仪器的频率范围和量程是否合适,测量误差是否在允许的范围内。可以根据实验室现有仪器仪表,挑选电子电压表(毫伏表)或示波器作为测量仪器。使用时,注意给仪器预热、调零和校准。为保证等精度测量,实验时应尽可能用同一组仪器,同样的工作环境,同一种测量方法和同一个测量人员。

2. 电子测量方法的选择

在众多的测量方法中,到底哪一种是我们选择的最佳方案呢?对于测量方法的选择要综合考虑以下几方面内容:

(1) 被测量本身的属性。

(2) 所要求的测量精确度。

(3) 测量环境。

(4) 现有的测量设备。

例如,要测量正在工作的白炽灯的电阻,万用表再方便,电桥再精确,在直接测量时二者也无能为力,而间接测量法中“伏安法”是最佳选择方案。如果要获得某一电信号随时间变化规律的波形,用示波器测量是最佳的选择方案。如果要测量一小段导线的电阻,由于电阻值非常小,精确度再高的万用表也派不上用场,而双臂电桥法就是最佳测量方案。

3. 电子测量仪器的接地

电子测量仪器的接地有两层意义:一是以保障操作者人身安全为目的的安全接地;二是以保证电子测量仪器正常作为目的的技术接地。

(1) 安全接地。安全接地的“地”是指真正的大地,即实验室大地。大多数电子测量仪器都使用 220 V 交流电源,而仪器内部的电源变压器的铁心及一次侧、二次侧之间的屏蔽层都直接与机壳连接。正常时绝缘电阻一般很大,达 $100\text{ M}\Omega$,人体接触机壳是安全的。当仪器受潮或电源变压器质量不佳时绝缘电阻会明显下降,人体接触机壳就可能触电。为了消除隐患,要求接地端良好接地。

(2) 技术接地。技术接地是一种防止外界信号串扰的方法。这里所说的“地”并非大地,而是指等电位点,即测量仪器及被测电路的基准电位点。技术接地一般有一点接地和多点接地两种方式,前者适用于直流或低频电路的测量,即把测量仪器的技术接地点与被测电路的技术接地点连在一起,再与实验室的总地线大地相连;多点接地则应用于高频电路的测量。

4. 电子测量仪器的日常保养与维护

电子测量仪器是放在实验室中的,测量的过程也是在实验室中进行的。电子测量实验室作为电子测量的基本场所对测量起着重要的作用,因此我们应熟悉实验室的一些常识。

(1) 电子测量实验室的环境条件

对于一般的电子仪表,通常规定应在 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下、相对湿度为 40%~70% 的环境中使用。最好选择朝南通风的房间,有条件的还应监测室温和相对湿度,以便采取适当措施来调节温度和湿度。

电源电压的波动不应超过允许的范围(小于 10%)。有条件时,应安装稳压装置。应安装正规地线,并避免含强电磁场的设备靠近电子仪器。

精密电子仪器应在恒温(20 ± 1)℃和恒湿(相对湿度为 50%)的环境中使用,而电源电压的波动也应小于 5%,室内应配有空调机、湿度控制仪和电子交流稳压电源。对于高频的精密仪器还应有金属网屏蔽室供使用,并将仪器的机壳接地。

(2) 电子测量仪器的放置与连接

在实验室完成一次测量,常常需要数台测量仪器及辅助设备。在测量前应安排好各仪器的位置,注意以下两点:

① 进行测量前应安排好电子测量仪器的位置。放置仪器时,应尽量使仪器的指示电表或显示器与操作者的视线平行,以减小视差;对那些在测量中需频繁操作的仪器,其位置的安排应方便操作者的使用。

② 在测量中当需要两台或多台仪器重叠放置时,应把质量轻、体积小的仪器放在上层;对散热量大的仪器还要注意它的散热条件及对邻近仪器的影响。

电子测量仪器之间的连线除了稳压电源输出线外,其他的信号线要求使用屏蔽导线而且要尽量短,尽量做到不交叉以免引起信号的串扰和寄生振荡。例如图 1-1 所示的仪器布置中(a)、(c)的布置和连线是正确的;而(b)的连线过长,(d)连线有交叉,这两种情况都是不妥当的。

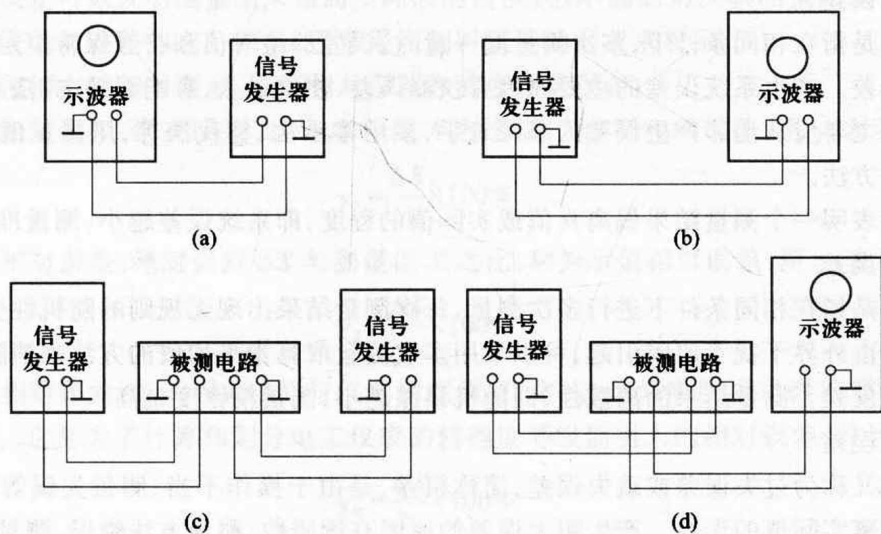


图 1-1 仪器的连线

任务3 误差计算与数据处理

一、误差的来源和分类

1. 测量误差的来源

测量的目的是得到被测量的真实结果,即真值。在不同的时间、空间,真值往往是不同的。但由于人们对客观规律认识的局限性,难以准确得到被测量的真值。测量值与被测量真值之间

的差异称为测量误差。测量误差的来源主要有以下几方面:

(1) 仪器误差

由于测量仪器及其附件的设计、制造、检定等不完善以及仪器使用过程中老化、磨损、疲劳等因素而使仪器带有的误差。

(2) 影响误差

由于各种环境因素如温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等与测量要求的条件不一致而引起的误差。

(3) 理论误差和方法误差

由于测量原理、近似公式、测量方法不合理而造成的误差。

(4) 人身误差

由于测量人员感官的分辨能力、反应速度、视觉疲劳、固有习惯、缺乏责任心等原因,在测量中仪器使用操作不当、现象判断出错或数据读取疏失等引起的误差。

(5) 测量对象变化误差

测量过程中由于测量对象变化而使得测量值不准确,如引起动态误差等。

2. 测量误差的分类

根据测量误差的性质和特点,测量误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

(1) 系统误差

系统误差是指在相同条件下,多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持恒定或遵循一定规律变化的误差。产生系统误差的主要原因有仪器误差、使用误差、影响误差、方法和理论误差。消除系统误差主要应从消除产生误差的来源着手,多用零示法、替代法等,用修正值是减小系统误差的一种好方法。

系统误差表明一个测量结果偏离真值或实际值的程度,即系统误差越小,测量准确度越高。

(2) 随机误差

随机误差是指在相同条件下进行多次测量,每次测量结果出现无规则的随机性变化的误差。随机误差主要由外界干扰等原因引起,可以采用多次测量取算术平均值的方法来消除随机误差。

随机误差反映了测量结果的离散性,即随机误差越小,测量精密度越高。

(3) 粗大误差

粗大误差又称为过失误差或疏失误差,简称粗差,是由于操作不当、测量失误等原因造成测量结果明显偏离实际值的误差。产生粗大误差的原因有读错数、测量方法错误、测量仪器有缺陷等,其中人身误差是主要的,这可通过提高测量者的责任心和加强测量者的培训等方法来解决。

测量时应耐心细致以免出现粗大误差,如果发现数据中有粗大误差,应予以剔除。

二、误差的表示方法

测量误差的表示方法有两种:绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

(1) 定义:测量所得的测量值 X 与真值 A_0 之差称为绝对误差,用 ΔX 表示,即

$$\Delta X = X - A_0 \quad (1-1)$$

式中, ΔX ——绝对误差;

X ——被测量的给出值、示值或测量值,习惯上统称为示值;

A_0 ——被测量的真值。

注意:示值和仪器的读数是有区别的,读数是从仪器刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数字,而示值则是由仪器刻度盘、显示器上的读数经换算而成的。

真值 A_0 是一个理想的概念,实际上是不可能得到的,通常用高一级标准仪器或计量器具所测得的测量值 A 来代替, A 称为被测量的实际值。绝对误差的计算式为

$$\Delta X = X - A \quad (1-2)$$

绝对误差的正负号表示测量值偏离实际值的方向,即偏大或偏小。绝对误差的大小反映出测量值偏离实际值的程度。

(2) 修正值:与绝对误差大小相等、符号相反的量值,称为修正值,用 C 表示,即

$$C = -\Delta X = A - X \quad (1-3)$$

修正值通常是在用高一级标准仪器对测量仪器校准时给出的。当得到测量值 X 后,要对测量值 X 进行修正得出被测量的实际值,即

$$A = C + \Delta X \quad (1-4)$$

修正值有时给出的方式不一定是具体数值,也可能是一条曲线或一张表格,和绝对误差一样都有大小、符号及量纲。

2. 相对误差

虽然绝对误差可以说明测量结果偏离实际值的情况,但不能确切反映测量结果偏离真实值的程度。为克服绝对误差的这一不足,通常采用相对误差的形式来表示。

相对误差包括实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差:绝对误差 ΔX 与实际值 A 之比,称为实际相对误差,用 γ_A 表示:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\% \quad (1-5)$$

(2) 示值相对误差:绝对误差 ΔX 与测量值 X 之比,称为示值相对误差,用 γ_X 表示:

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (1-6)$$

(3) 满度相对误差:绝对误差 ΔX 与仪器满度值 X_M 之比,称为满度相对误差或引用相对误差,用 γ_M 表示。它是为了计算和划分电工仪表的精确度等级而引入的相对误差,其计算式为:

$$\gamma_M = \frac{\Delta X}{X_M} \times 100\% \quad (1-7)$$

指针式电工仪表的精确度等级通常分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共七级,分别表示仪表满度相对误差所不超过的百分比。例如某型万用表面板上的“~5.0”,表示该型万用表测量交流量时的满度相对误差为 $\pm 5.0\%$ 。在无标准仪表比对的情况下,是不可能确定测量值偏离方向的,所以应带有“ $\pm$ ”号。

由式(1-1)计算出的绝对误差是用该仪表测量时可能产生的最大误差,实际测量绝对误差 ΔX 应满足:

$$\Delta X \leq X_M \gamma_M \quad (1-8)$$

$$\gamma_X \leq \frac{X_M \gamma_M}{X} \quad (1-9)$$

可见,对于同一仪表,所选量程不同,可能产生的最大绝对误差也不同。而当仪表精确度等级选定后,测量值越接近满度值,测量相对误差越小,测量越准确。因此,一般情况下应尽量使指针处在仪表满度值的三分之二以上区域。但该结论只适用于正向线性刻度的一般电工仪表。对于万用表电阻挡等非线性刻度电工仪表,应尽量使指针处于满度值的 $1/2$ 左右的区域。

相对误差只有大小和符号,没有单位。

例 1-1 已知用电压表校准万用表时测得的两个电压值分别是 100 V 、 50 V , 而用万用表测得的值分别是 90 V 、 40 V , 求两次测量的绝对误差、修正值、实际相对误差分别是多少?

解:根据题意知, $U_{A1} = 100\text{ V}$, $U_{A2} = 50\text{ V}$, $U_{X1} = 90\text{ V}$, $U_{X2} = 40\text{ V}$ 。

第一次测量: $\Delta U_1 = 90\text{ V} - 100\text{ V} = -10\text{ V}$

$$C_1 = -\Delta U_1 = 10\text{ V}$$

$$\gamma_{A1} = \Delta U_1 / U_{A1} \times 100\% = -10\text{ V} / 100\text{ V} \times 100\% = -10\%$$

第二次测量: $\Delta U_2 = 40\text{ V} - 50\text{ V} = -10\text{ V}$

$$C_2 = -\Delta U_2 = 10\text{ V}$$

$$\gamma_{A2} = \Delta U_2 / U_{A2} \times 100\% = -10\text{ V} / 50\text{ V} \times 100\% = -20\%$$

由此可见,第一次测量要比第二次测量准确。由于被测量的实际值是确定的,所以绝对误差的计算式中只有“-”,而无“±”。

例 1-2 如果要测量一个 40 V 左右的电压,现有两块电压表,其中一块量程为 50 V 、 1.5 级,另一块量程为 100 V 、 1.0 级,问选用哪一块表测量比较合适?

解:根据题意,因为要测量的是同一个被测量,故只要比较两块表测量时产生的绝对误差即可。

第一块电压表测量的绝对误差为

$$\Delta U_1 \leq 50\text{ V} \times (\pm 1.5\%) = \pm 0.75\text{ V}$$

第二块电压表测量的绝对误差为:

$$\Delta U_2 \leq 100\text{ V} \times (\pm 1.0\%) = \pm 1.0\text{ V} > \Delta U_1$$

答:应选用第一块电压表测量。

三、误差的估计和处理

1. 测量结果的表示

测量结果一般以图形方式或数字方式表示。图形方式可以在测量仪器的显示屏上直接显示出来,也可以通过对数据进行描点作图得到。测量结果的数字表示方法有以下几种:

(1) 测量值+不确定度

这是最常用的表示方法,特别适合表示最后测量结果。例如 $R = (40.67 \pm 0.5)\Omega$, 40.67Ω 称为测量值, $\pm 0.5\Omega$ 称为不确定度,表示被测量实际值是处于 $40.17 \sim 41.17\Omega$ 区间的任意值,但不能确定具体数据。不确定度和测量值都是在对一系列测量数据的处理过程中得到的。

(2) 有效数字

有效数字是由第一种数字表示方法改写而成的,比较适合表示中间结果。当未标明测量误差或分辨力时,有效数字的末位一般与不确定度第一个非零数字的前一位对齐,这是由不确定度的含义及“0.5 误差原则”所决定的。例如 $R = (40.67 \pm 0.5)\Omega$ 改写成有效数字为 41Ω 。