



普通高等教育“十三五”创新型规划教材  
理论+实践+数字资源一体化规划教材

紧扣教学大纲，突出重点  
强化应用能力，迁移拓展  
支持教学做考，立体资源

主编 赵明冬

# 电子测量技术

◀ DIANZI

◀ CELIANG JISHU



电子科技大学出版社



普通高等教育“十三五”创新型规划教材  
理论+实践+数字资源一体化规划教材

- 主 编 赵明冬
- 副主编 刘筠筠 郭 彬
- 编 者 李让军 侯利龙

# 电子测量技术



◀ DIANZI

◀ CELIANG JISHU



电子科技大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术 / 赵明冬主编. — 成都 : 电子科技大学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-5647-3646-0

I. ①电… II. ①赵… III. ①电子测量技术—高等学校—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 100595 号

## 电子测量技术

主 编 赵明冬

---

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编:610051)

策划编辑: 杜 倩

责任编辑: 陈松明

特邀编辑: 张 俊

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 天津市蓟县宏图印务有限公司

成品尺寸: 203mm×260mm 印张 16 字数 410 千字

版 次: 2016 年 8 月第一版

印 次: 2016 年 8 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-3646-0

定 价: 35.00 元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话:028-83202463;本社邮购电话:028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

# 前言 PREFACE

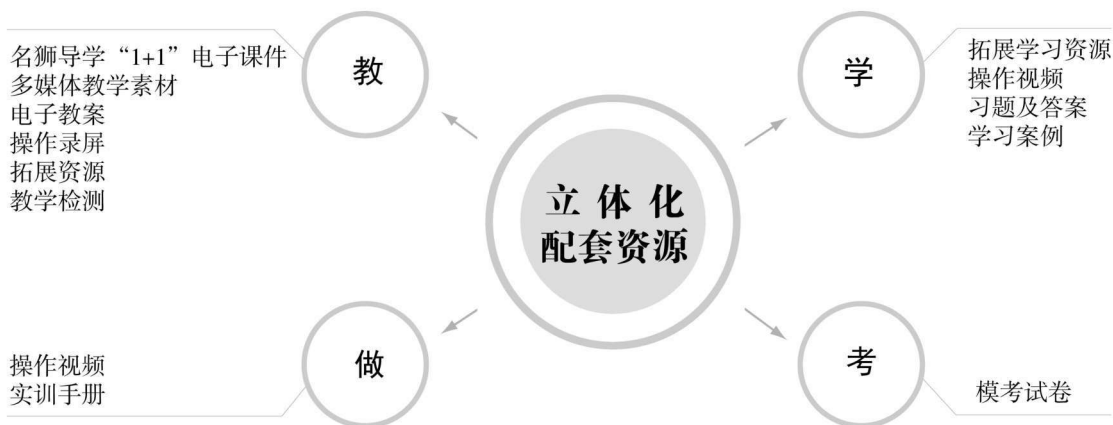
本教材是在电子科技大学出版社组织的普通高等教育“十三五”创新型规划教材编写会议精神的指导下,为适应普通高等教育的“产学研、校企合作”的要求,着力贯彻以“强应用”为目的、以“必需、够用”为度的编写特色的基础上编写而成的。本教材在编写过程中既注意学习、吸收有关院校近期的教学成果,又尽量反映编者长期从事教学所积累的经验 and 体会,更加注重与实践相结合。

电子测量技术是一门理论性、综合性和实践性极强的课程。它的任务是使读者建立测量技术的理论基础,获得基本的测量实践知识与技能,培养读者严谨的科学态度以及分析问题和解决问题的能力。

本书按照高等院校电子信息科学与工程类专业的教学要求编写,力求内容丰富、叙述精炼,尽量反映当代测量技术的新成就,有利于教学使用,因此对测量原理的讲解力求深入浅出、通俗易懂、便于自学,突出基本概念;对测量方法的介绍侧重于归纳、比较,突出简明、实用。本书可以作为电子信息工程、自动化、通信工程、测量仪器与控制、智能科学与技术、计算机技术与应用等工程类专业学生的教学用书,也可作为从事电类专业的工程技术人员的参考书。本课程的目的是使学生掌握近代电子测量的基本原理和方法,熟悉新型电子测量仪器的使用方法,在科学实验中能够制定先进、合理的测量和测试方案,合理选用测量仪器,正确处理测量数据,从而获得最佳的测试结果。

本课程作为一门重要的面向工程应用的专业课,学时不多,但承接先前课程的概念多,面对的新技术、新方法、新仪器及新工艺也多,如何精选内容、组织教材,是摆在我们面前的难题。本书重点讲述了电子测量的基本概念,误差分析与数据处理的基本方法,基本电参数(电压、电流、阻抗)、周期、频率、时域波形、时域、数字域以及非电量信号的基本测量原理、测量方法及常规仪器(示波器、信号源、计数器等)的工作原理和操作使用,并将总线技术、自动测试系统、智能仪器、虚拟仪器、网络仪器等相关技术作为本书的最后一章,介绍了现代高科技的测量技术与仪器的发展状况。

## 丛书立体化配套资源



本书由郑州科技学院赵明冬任主编,郑州科技学院刘筠筠和河南交通职业技术学院郭彬任副主编,郑州科技学院李让军、侯利龙参编。赵明冬编写了第1、8章,刘筠筠编写了第2、3章,李让军编写了第4、5章,侯利龙编写了第6、7章,郭彬编写了第9章。赵明冬负责全书的总体规划,并对全书进行最后的审核和修改,刘筠筠负责1、2、3、8、9章的审核,郭彬负责4、5、6、7章的审核。

尽管我们在教材建设的特色方面做出了许多努力,但由于编者的水平有限,教材中难免存在一些疏漏和不妥之处,为在教学实践中,不断对教材进行修正和补充,精益求精,与时俱进,恳请各教学单位和读者在使用本教材时,多提宝贵意见和建议,以便修订时改进。

编者

# 目录 CONTENTS

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 电子测量概述 .....	2
1.1.1 测量及其重要意义 .....	2
1.1.2 电子测量的任务与内容 .....	3
1.1.3 电子测量的特点 .....	3
1.1.4 电子测量的方法 .....	4
1.2 电子测量仪器概述 .....	7
1.2.1 电子测量仪器的主要性能指标 .....	7
1.2.2 电子测量仪器的分类 .....	8
1.3 计量的基本概念 .....	8
1.3.1 计量 .....	8
1.3.2 单位制 .....	9
1.3.3 计量基准 .....	11
1.4 电子测量技术与仪器发展 .....	12
1.5 本课程任务 .....	13
<b>第 2 章 误差分析与数据处理</b> .....	21
2.1 概述 .....	22
2.1.1 测量误差 .....	22
2.1.2 误差的表示方法 .....	24
2.1.3 误差的性质与分类 .....	25
2.2 误差的合成与分配 .....	26
2.2.1 测量误差的合成 .....	26
2.2.2 测量误差的分配 .....	28

2.2.3	最佳测量方案的选择 .....	31
2.3	测量不确定度 .....	34
2.3.1	测量不确定度概述 .....	34
2.3.2	标准不确定度的评定 .....	36
2.3.3	测量不确定度的合成 .....	38
2.3.4	测量不确定度评定举例 .....	40
2.4	测量数据处理 .....	43
2.4.1	有效数字的处理 .....	43
2.4.2	测量数据的处理 .....	44
<b>第3章</b>	<b>基本电参数的测量 .....</b>	<b>49</b>
3.1	直流电流的测量 .....	50
3.1.1	直流电流的测量原理 .....	50
3.1.2	模拟直流电流表的工作原理 .....	50
3.1.3	直流电流表的量程扩展 .....	52
3.2	直流电压的测量 .....	53
3.2.1	电压测量的基本要求 .....	53
3.2.2	直流电压的测量原理 .....	54
3.2.3	电压表的灵敏度 .....	55
3.3	交流电压的测量 .....	56
3.3.1	交流电压的表征 .....	56
3.3.2	交流电压的测量原理 .....	58
3.3.3	数字电压表 .....	61
3.4	阻抗的测量 .....	64
3.4.1	电阻的测量 .....	64
3.4.2	电容的测量 .....	66
3.4.3	电感的测量 .....	68
3.4.4	半导体二极管的测量 .....	71
3.4.5	半导体三极管的测量 .....	73
3.5	集成运算放大器的测量 .....	76
<b>第4章</b>	<b>频率、时间测量 .....</b>	<b>85</b>
4.1	概述 .....	86
4.1.1	时频关系 .....	86
4.1.2	时频基准 .....	87
4.1.3	频率测量方法 .....	89
4.1.4	时间的测量方法 .....	91

4.2	频率测量 .....	92
4.2.1	使用示波器测量频率 .....	92
4.2.2	使用电子计数器测量频率 .....	94
4.2.3	使用数字频率计测量频率 .....	100
4.3	时间间隔测量 .....	102
4.4	相位差测量 .....	106
4.4.1	用示波器测量相位差 .....	106
4.4.2	用电子计数器测量相位差 .....	107
<b>第 5 章</b>	<b>时域波形测量</b> .....	<b>110</b>
5.1	概述 .....	111
5.1.1	示波器的功用 .....	111
5.1.2	示波器的分类 .....	111
5.1.3	示波器的组成 .....	112
5.1.4	波形显示原理 .....	115
5.2	通用示波器 .....	119
5.2.1	通用示波器的基本组成 .....	119
5.2.2	示波器的 Y(垂直)通道 .....	120
5.2.3	示波器的 X(水平)通道 .....	124
5.2.4	示波器的主机系统(Z通道) .....	128
5.3	取样示波器 .....	129
5.3.1	取样原理 .....	129
5.3.2	取样示波器的工作原理 .....	131
5.4	数字存储示波器 .....	133
5.4.1	数字存储示波器的组成原理 .....	133
5.4.2	数字存储示波器的特点 .....	135
5.4.3	数字存储示波器的主要性能指标 .....	136
5.4.4	数字存储示波器的显示方式 .....	137
5.5	示波器的选择和使用 .....	139
5.5.1	示波器选用原则 .....	139
5.5.2	示波器的基本使用方法 .....	140
5.6	示波器的基本测量方法 .....	141
5.6.1	电压测量 .....	141
5.6.2	时间测量 .....	143
5.6.3	测量相位差 .....	144
5.6.4	测量频率 .....	146
5.6.5	测量调幅系数 .....	146



<b>第 6 章 频域测量</b> .....	149
6.1 概述 .....	150
6.1.1 时域测量与频域测量的比较 .....	150
6.1.2 频域测量的分类 .....	153
6.2 线性系统频率特性的测量 .....	155
6.2.1 幅频特性的测量 .....	155
6.2.2 相频特性的测量 .....	157
6.3 频谱分析仪 .....	158
6.3.1 滤波式频谱仪 .....	158
6.3.2 外差式频谱仪 .....	161
6.3.3 FFT 分析仪 .....	166
6.3.4 实时频谱分析仪 .....	167
6.4 谐波失真度的测量 .....	168
6.4.1 谐波失真度的定义 .....	168
6.4.2 谐波失真度的测量方法 .....	169
6.4.3 失真度测试仪 .....	171
<b>第 7 章 数据域测量</b> .....	174
7.1 概述 .....	175
7.1.1 数据域的基本概念 .....	175
7.1.2 数据域测量的方法 .....	177
7.1.3 数据域测量系统与仪器 .....	177
7.2 简单逻辑电路的测试 .....	179
7.3 组合电路的测试 .....	181
7.4 时序电路的测试 .....	186
7.5 逻辑分析仪 .....	187
<b>第 8 章 非电量的测量技术</b> .....	197
8.1 概述 .....	198
8.1.1 非电量测量技术的概念 .....	198
8.1.2 非电量的分类 .....	198
8.1.3 非电量检测的分类 .....	198
8.1.4 非电量检测的主要优点 .....	199
8.2 非电量测量的组成与基本工作原理 .....	199
8.3 传感器的分类 .....	201
8.4 传感器的特性 .....	202
8.4.1 传感器的输入输出特性 .....	203

8.4.2 传感器的静态特性 .....	203
8.4.3 传感器的动态特性 .....	205
8.5 非电量测量的应用 .....	210
8.5.1 距离与位移测量 .....	210
8.5.2 速度与加速度测量 .....	216
8.5.3 温、湿度测量 .....	219
8.5.4 压力测量 .....	222
8.5.5 流量测量 .....	224
<b>第9章 现代电子测量技术简介 .....</b>	<b>234</b>
9.1 测试仪器及总线技术 .....	235
9.2 自动测试系统 .....	236
9.2.1 自动测试系统的发展概况 .....	236
9.2.2 自动测试系统的基本组成 .....	236
9.3 智能仪器 .....	237
9.3.1 智能仪器的发展概况 .....	237
9.3.2 智能仪器的工作原理 .....	238
9.3.3 智能仪器的特点 .....	238
9.3.4 智能仪器发展趋势 .....	239
9.4 虚拟仪器 .....	240
9.4.1 虚拟仪器的概述 .....	240
9.4.2 虚拟仪器的特点 .....	240
9.4.3 虚拟仪器的关键技术 .....	241
9.5 网络仪器 .....	242
9.5.1 网络仪器的概述 .....	242
9.5.2 网络仪器的关键技术 .....	242
<b>参考文献 .....</b>	<b>246</b>

# 第 1 章 绪 论

## 【学习目标】

1. 了解电子测量技术发展历程和应用前景；
2. 了解电子测量的意义、内容和特点；
3. 了解计量的基本概念。
4. 能够理解应用电子测量的方法及原理；
5. 掌握电子测量仪器的主要性能指标和发展趋势。



## 1.1 电子测量概述

现实生活中离不开测量,比如测量人的身高和体重,用电子秤称量商品的重量,人们做衣服时需要量体裁衣,判断病人是否发烧需要测量体温等。

在科学实验和生产实践中,更是离不开测量技术。电子测量是使用电子仪器对电的各种参数进行的测量。最简单的例子就是日常生活中用到的 220 V 交流电,它是如何得到的?需要什么仪器进行测量?测量的结果都是准确的吗?对误差应该如何处理?本章就电子测量的这些基本问题展开讨论。这些知识为学习各种测量仪器的使用奠定了基础。

### 1.1.1 测量及其重要意义

测量是人类对客观事物取得数值的认识过程。在这个过程中,人们需要借助于专门的仪器设备(如万用表、示波器等),依据一定的测试理论,通过实验的方法将被测量与标准的同类单位量进行比较,从而取得测量值。在此基础上可以从客观事物中总结出一般规律,形成定理和定律,指导人们对其他客观事物的认识和理解。

英国科学家 A·H·库克(Cook)说:“测量是技术生命的神经系统。我们通过测量认识周围的物质世界,通过测量把这些知识变成数字语言,然后用数学方法把它整理成合乎逻辑的系统;通过测量,可使这种系统性知识借助于工程技术用来改造物质;世界精密的测量是精确的知识和经济的设计所必需,方便的测量是敏捷的通信和有效的组织所必需。”这一段话深刻地揭示出了测量对于我们人类社会的重要性。人类社会从远古时代发展到物质文明和精神文明都高度发达的今天,没有测量技术的作用是不可想象的。

生产、生活离不开测量,科学实验离不开测量,离开测量就不会有真正的科学。在没有显微镜时,人眼只能看清大小为 0.1~0.2 mm 的东西,这大大限制了人类对自然界中微观世界的认识,在这种情况下,绝对不会有微生物学等技术的产生。16 世纪出现了光学显微镜,它的分辨率可达 200 nm,相应的放大率约为 1 500 倍,大大扩展了人的眼力。在显微镜的帮助下,人类发现了构成生物基础的细胞(大小约为 10~100  $\mu\text{m}$ ),使人类对生物界的认识有了一次极大的飞跃,这一发现对推动生物学各方面的研究做出了重要贡献,被恩格斯誉为 19 世纪 3 大发现之一。20 世纪 30 年代出现了电子显微镜,它的分辨率高达 0.2~0.3 nm,比光学显微镜提高了约 3 个数量级。由此可见电子技术引入测量领域起到的巨大的推动作用。在电子显微镜下,可以洞察小小细胞内的超微机构,连细胞膜也可清晰地辨出是由 3 个薄层组成的,并发现了致病的病毒,形成了生物科学的又一次飞跃。现代科学技术、生产和国防的重要特点之一,就是要进行大量的观测和统计。现代工业大生产,用到测量上的工时和费用约占整个生产所用的 20%~30%。提高测量水平,降低测量成本,减少测量误差,提高测量效率,对国民经济各个领域都是至关重要的。

电子测量是测量学的一个重要分支,是测量技术中先进的技术之一,是测量学和电子学相结合的产物。电子测量是泛指以电子技术为基本手段的一种测量技术,从狭义上讲,电子测量是指对各种电参量和电性能的测量;从广义来说,凡是通过变换技术将各种量变换成电信号的测量都可以说是电子测量。具体来说,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,对各种电量和电信号进行测量;并可以通过各种敏感器件和传感装置对非电量进行测量,这种测量方法往往更加方便、

快捷、准确,有时是其他测量方法不可替代的。通过各种传感器对非电量进行测量,如用红外测温仪测量人体的温度,用电子秤称量物体的重量等都属于电子测量的范畴。

测量不仅对被测的物理量进行定量的测量,而且还包括对更广泛的被测对象进行定性、定量的测量。如故障诊断、无损探伤、遥感遥测、矿藏勘探、地震源测定、卫星定位等。而测量结果也不仅仅是由量值和单位来表征的一维信息,还可以用二维或多维的图形、图像来显示被测对象的属性特征、空间分布等。因此,电子测量不仅用于电学这类专业,也广泛用于物理学、化学、机械学、材料学、生物学和医学等科学领域,以及生产、国防、交通、通信、商业贸易、生态环境保护乃至日常生活的各个方面。

现代信息科学技术的3大支柱是指信息的获取技术(测量技术)、信息的传输技术(通信技术)和信息的处理技术(计算机技术)。在这3大信息技术中,测量技术是首要的,是信息的源头。科学家一致认为,电子测量技术的水平是衡量一个国家科技水平的重要标志之一。可见,测量是科学研究的重要基础。

### 1.1.2 电子测量的任务与内容

电子测量是指以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,对电量和非电量进行的测量。电量测量可分为以下4个方面。

#### 1. 电能量测量

包括各种频率、波形下的电压、电流和功率等的测量。

#### 2. 电信号特性测量

包括波形、频率、周期、相位、失真度、调幅度、调频指数及数字信号的逻辑状态等的测量。

#### 3. 电路元件参数测量

包括电阻、电感、电容、阻抗、品质因数及电子器件的参数等的测量。

#### 4. 电子设备的性能测量

包括增益、衰减、灵敏度、频率特性和噪声指数等的测量,尤以频率、时间、电压、相位和阻抗等基本电参数的测量更为重要,它们在其他参数测量的基础。

### 1.1.3 电子测量的特点

随着科学技术的快速发展,电子测量技术被广泛应用于农业、工业、医疗、天文、地质和军事等领域,如核反应堆内的温度测量、电子血压计、心电图机、飞船发射过程中的运行参数测量仪和精确制导导弹等。电子测量技术的不断发展,不仅标志着测量技术的进步,而且对整个科学技术的发展和人类社会的进步有积极的推动作用。因此从某种意义上来说,测量水平的高低可以反映出一个国家科学技术发展的状况,是实现科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。与其他测量相比,电子测量具有以下7个明显的特点。

#### 1. 测量频率范围宽

随着电子技术的发展,测量的频率范围将继续向低频和高频两个方向发展。目前低频率可至 $1 \times 10^{-6}$  Hz以下,高频率可至 $1 \times 10^{12}$  Hz以上。在不同的频率范围内,即使要测量同一种物理量,也需要不同的测量方法和测量仪器。在直流、低频、高频范围内,电流、电压频率的测量需要不同类型的设备才能完成,如信号发生器就分为超低频信号发生器、音频信号发生器和高频信号发生器等。随着技

术的发展和应⽤,能在相当宽的频率范围内正常工作的仪器会不断被制作出来。

## 2. 测量的量程宽

量程是测量范围的上限值与下限值之差。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,地面上接收到的宇宙飞船来自外空发来的信号功率,低到  $1 \times 10^{-14}$  W 数量级,而远程雷达发射的脉冲功率,可高达  $1 \times 10^8$  W 以上,两者之⽐为  $1 : 10^{22}$ 。一般情况下,使用同一台设备,同一种测量方法是很难覆盖如此宽广的量程的。如前所述,随着电子测量技术的不断发展,在单台测量仪器中采用多种测量方法对测量数据进行分段处理,使设备的量程也可以达到比较宽的程度。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,量程宽达 12 个数量级;而用于测量频率的电子计数器的量程更宽,可达 17 个数量级。

## 3. 测量准确度高

电子测量的准确度⽐其他方法要高得多,采用传统的测量方法有些参数的测量准确度可以很高,而有些参数的测量准确度却又相当低。例如,对频率和时间的测量,由于采用原子频标和原子秒作为基准,测量精度高达  $10^{-13} \sim 10^{-14}$  的量级;而品质因数  $Q$  值和电场强度的测量准确度,只有  $10^{-1}$  量级。

## 4. 测量速度快

由于电子测量是基于电子运动和电磁波的传播,加之现代测试系统中高速电子计算机的应⽤,使得电子测量无论在测量速度,还是在测量结果的处理和传输上,都可以以极⾼速度进行,具有其他测量无法⽐拟的⾼速度,这也是电子测量技术⼴泛应⽤于现代科技各个领域的重要原因。如人造卫星、载人飞船等各种航天器发射时,需要电子测量系统快速测出它的运行参数,通过参数的处理确定下一步控制信号,使其正常运行。

## 5. 可以进行遥测

电子测量可以有有线或无线的方式,将测量数据传送到测试控制台(中心),从而实现遥测和遥控。如对于距离遥远或环境恶劣,⼈体不便接触或无法到达的区域(如人造卫星、深海、地下和核反应堆内等),可通过传感器或通过电磁波、光和辐射等方式进行测量。

## 6. 易于实现测试智能化和测试自动化

由于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。带有微处理器和 GPIB 标准仪器接口(程控测量仪器通用 24 针总线接口),可以方便地构成完善的自动测试系统,电子测量易于实现测试智能化和测试自动化。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、自诊断故障和自恢复,对于测量的结果进行自动记录、运算、分析和处理。当前,电子测量仪器的智能化,测量过程的自动化是电子测量研究的主题。

## 7. 影响因素众多,误差处理复杂

影响测量结果及测量误差的因素大体上可分为外部的和内部的。误差通常来自测量系统的外部,如环境温度、湿度、电源电压及外界电磁干扰等。

### 1.1.4 电子测量的方法

一个物理量的测量,可以通过不同的方法实现。测量方法选择得正确与否,直接关系到测量结果的可信度,也关系到测量工作的经济性和可行性。为了获得测量结果而采用的各种手段和方式称为测量方法。根据测量中采用的测量方法不同,电子测量有不同的分类方法。下面介绍几种常见的分类方法。

## 1. 按测量手段分类

### (1) 直接测量

直接测量是指用已标定的仪器,直接测量出某一待测未知量的量值的方法,其特点是测出的数据就是被测量的值。如用电压表测量电压,用电桥测量电阻,用频率计测量频率等,都可直观且迅速地读出被测量的数值。或者是将未知量与同类标准的量在仪器中进行比较,从而直接获得未知量的数值的方法。

直接测量的优点是测量过程简单快速,是一般测量中普遍采用的一种方式。

### (2) 间接测量

间接测量是利用被测量与某中间量之间的函数关系(公式、曲线或表格等),先测出中间量,然后通过计算公式,算出被测量的数值的测量方法。如用伏安法测量电流时即属于间接测量法,它是先测量出电阻两端的电压和电阻值的大小,然后由公式  $I=U/R$ ,间接求出电流。间接测量比直接测量复杂费时,一般在直接测量很不方便,误差较大或缺乏直接测量的仪器等情况下才采用。尽管如此,间接测量在工程测量中也是很有用的。

### (3) 组合测量

组合测量是建立在直接测量和间接测量基础上的测量方法,无法通过直接测量或间接测量得出被测量的结果,需要先改变测量条件进行多次测量;然后按被测量与有关未知量间的函数关系组成联立方程组,求解方程组得出有关未知量;最后将未知量代入函数式而得出测量结果。只要方程式的数量大于待求量的个数,可以求出各待求量的数值,这种方法叫组合测量或联立测量,如电阻器电阻温度系数的测量。已知电阻器阻值  $R_t$  与温度  $t$  间满足关系:

$$R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2 \quad (1-1)$$

式中: $R_t$ 、 $R_{20}$  分别为环境温度为  $t$  和  $20^\circ\text{C}$  时的电阻值; $\alpha$ 、 $\beta$  为电阻温度系数, $\alpha$ 、 $\beta$  与  $R_{20}$  均为不受温度影响的未知量。

为了获得  $\alpha$ 、 $\beta$  值,可以在两个不同的温度  $t_1$ 、 $t_2$  下测得相应的两个电阻值  $R_{t_1}$ 、 $R_{t_2}$ ,代入式(1-1)得到联立方程:

$$\begin{cases} R_{t_1} = R_{20} + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2 \\ R_{t_2} = R_{20} + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2 \end{cases} \quad (1-2)$$

求解联立方程就可以得到  $\alpha$ 、 $\beta$  值。如果将  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $R_{20}$  带入式(1-2)即可得出电阻在任意温度下电阻阻值变化的关系式,通过这个关系式可以求出任意温度下电阻阻值。

## 2. 按测量性质分类

在电子测量中,相应地可将参量的测量技术划分为时域测量技术和频域测量技术两大类。另外,还有一类参量是服从统计规律的随机信号,如各类噪声,对这类信号的测量就产生了随机测量技术。随着数字技术的发展,需要对数字信号和数字系统进行测量,这类对象的测量与传统的模拟测量技术有很大的区别,因此,产生了数字测量技术。

在频域测量中,最典型的测试信号是正弦波信号;在时域测量中,因研究瞬态现象,经常遇到脉冲波的测试信号。在随机测量技术中,常用噪声作为随机信号源进行测量;在数字测量技术中,常对二进制的数字信号进行测量。

### (1) 时域测量

时域测量也叫瞬态测量,主要测量被测量随时间变化(以时间为函数)的量的规律。在时域测量

中,信号波形的采集和分析、系统瞬态特性的测量和分析是最根本的任务,常用的测试信号和待测信号是脉冲、方波及阶跃信号,因而也把时域测量称为脉冲测量。如电压、电流等的瞬时值则可通过示波器等仪器显示出其幅值-时间特性。典型的例子,如用示波器观察脉冲信号的上升沿、下降沿、平顶降落等脉冲参数以及动态电路的暂态过程等。

时域测量技术是研究信号随时间变化和分析一个系统的瞬态过程的重要手段,其优点在于,通过观察时域特性来调整被测系统时,能比频域测量更直接、更快速地获得瞬态响应。

#### (2) 频域测量

频域测量也称为稳态测量,是以获取被测信号和被测系统在频率领域的特性为目的,采用测量被测对象的复数频率特性(包括幅度-频率特性和相位-频率特性)的方法,以得到信号的频谱和系统的传递函数。如用频谱分析仪分析信号的频谱,测量放大器的幅频特性、相频特性等。

频域测量有两种基本方法是正弦波点频法和正弦波扫频法。

#### (3) 数据域测量

数据域测量也称为逻辑量测量,主要是用逻辑分析仪等设备对数字量或电路的逻辑状态进行测量,研究对数字系统进行高效故障寻迹的科学。被测量的对象是数字脉冲电路或工作于数字状态下的数字系统,其激励信号不是正弦信号、脉冲信号或噪声信号之类的模拟信号,而是二进制码的数字信号。数据域测量可以同时观察多条数据通道上的逻辑状态,或者显示某条数据线上的时序波形,还可以借助计算机分析大规模集成电路芯片的逻辑功能等。

#### (4) 随机域测量

随机域测量是指对随机信号的测量,如噪声、干扰信号的测量。它是目前较新的测量技术,尤其在通信领域有着广泛的应用。

随机测试技术是认识含有不确定性的事物的重要手段,用统计的观点去研究客观事物带有越来越普遍的意义。普遍存在、有用的随机信号是各类噪声,所以随机测量技术又称为噪声测试技术。在电子测量中,利用噪声作为随机信号源进行测量和检测隐藏在背景噪声中的微弱被测信号等测试技术,已发展成为一大类测量方法。由于噪声是一种与时间因素有关的随机变量,对噪声的研究使用概率统计方法,故又把这类测量称为统计测量技术。

除上述的分类方法外,电子测量的方法还有很多,如人工测量和自动测量;动态测量和静态测量;精密测量和工程测量;低频测量、高频测量和超高频测量。还有有源测量和无源测量;集中式与分布式多路测量;本地(原位)测量和远地测量(遥测);接触测量和非接触测量等。

在选择测量方法时,要综合考虑下列主要因素:

- ① 被测量本身的物理特性;
- ② 所要求的测量准确度;
- ③ 测量允许时间;
- ④ 测量环境;
- ⑤ 现有测量设备等。

在此基础上,选择合适的测量仪器和正确的测量方法。前面曾提到,正确可靠的测量结果的获得,要依据测量方法和测量仪器的正确选择、正确操作和测量数据的正确处理。否则,即便使用价值昂贵的精密仪器设备,也不一定能够得到准确的结果,甚至可能损坏测量仪器和被测设备。如直接用万用表  $R \times 1$  电阻档测量晶体管发射结电阻,由于限流电阻过小而使基极注入电流很大,很容易将晶体管损坏。



## 1.2 电子测量仪器概述

### 1.2.1 电子测量仪器的主要性能指标

电子测量仪器的技术指标主要包括频率范围、准确度、量程与分辨力、稳定性和可靠性、环境条件、响应特性,以及输入输出特性等。

#### 1. 频率范围

频率范围是指能保证仪器其他指标正常工作的有效频率范围。

#### 2. 准确度

测量准确度又称为测量精度,它描述的是由于测量结果在测量过程中受各种因素的影响而产生的与被测量真实值间的差异程度,即测量误差。

测量准确度通常以容许误差或不确定度的形式给出。不确定度是指在对测量数据进行处理的过程中,为了避免丢失真实数据而人为扩大的测量误差,由于它在一定程度上能反映出测量数据的可信程度而得名,不确定度的数值越大,丢失真实数据的可能性越小,即可信度越高。容许误差是为了描述测量仪器的测量准确度而规定的,利用仪器进行测量时,允许仪器产生的最大误差。

#### 3. 量程与分辨力

量程是指测量仪器的测量范围。分辨力是指通过仪器所能直接反映出的被测量变化的最小值,即指针式仪表刻度盘标尺上最小刻度代表的被测量大小或数字仪表最低位的“1”所表示的被测量大小。同一仪器不同量程的分辨力不同,通常以仪器最小量程的分辨力(最高分辨力)作为仪器的分辨力。

#### 4. 稳定性与可靠性

稳定性是指在一定的工作条件下,在规定时间内,仪器保持指示值或供给值不变的能力。可靠性是指仪器在规定的条件下,完成规定功能的可能性,是反映仪器是否耐用的一种综合性和统计性质量指标。

#### 5. 环境条件

环境条件即保证测量仪器正常工作的工作环境,如基准工作条件、正常工作条件、额定工作条件等。

#### 6. 响应特性

一般说来,仪器的响应特性是指输出的某个特征量与其输入的某个特征量之间的响应关系,或驱动量与被驱动量之间的关系。如峰值检波器的响应特性为检波器输出的平均值约等于交流输入信号的峰值。

#### 7. 输入特性与输出特性

输入特性主要包括测量仪器的输入阻抗、输入形式等。输出特性主要包括测量结果的指示方式、输出电平、输出阻抗和输出形式等。