



普通高等教育“十一五”规划教材

高职高专电子信息系列教材



电子测量与仪器



范泽良 主编

严峥晖 何军 曾繁玲 副主编

王永奇 编著

研究出版社

普通高等教育“十一五”规划教材
高职高专电子信息技术系列教材

中国版本图书馆CIP数据

内容简介

本书是根据普通高等教育“十一五”规划教材

电子测量与仪器

范泽良 主编

严峥晖 何军 曾繁玲 副主编

王永奇 编著

中国版本图书馆CIP数据(2008)第049273号

出版发行 研究出版社

地址:北京1746信箱(100017)

电话:010-63027215(总编室) 010-64042344(发行部)

E-mail: yjcb@126.com

经 销 新华书店

印 刷 广州瑞昌印务有限公司

版 次 2008年4月第1版 2008年4月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 13.2印张

字 数 323千字

定 价 28.00元 ISBN 978-7-80168-328-8

研究出版社

本书责任编辑:010-64042344 64041660

普通高等教育“十一五”规划教材
普通高等教育“十一五”规划教材

图书在版编目 (CIP) 数据

电子测量与仪器 / 范泽良主编.
—北京: 研究出版社, 2008.4
普通高等教育“十一五”规划教材
高职高专电子信息技术系列教材
ISBN 978-7-80168-358-8

- I. 电…
- II. 范…
- III. ①电子测量—高等学校—教材
②电子测量设备—高等学校—教材
- IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 049973 号

出版发行 研究出版社

地 址: 北京 1746 信箱 (100017)

电 话: 010-63097512 (总编室) 010-64045344 (发行部)

E-mail: yjcbfsxb@126.com

经 销 新华书店

印 刷 广州锦昌印务有限公司

版 次 2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

规 格 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 13.5 印张

字 数 323 千字

定 价 28.00 元 ISBN 978-7-80168-358-8

本书销售专线: 010-64045344 64041660

前 言

一、关于本书

本书是根据普通高等教育“十一五”国家级规划教材的指导精神而编写的。

电子测量与仪器是电子、信息类专业的一门主要专业技术课程，其理论性、应用性和综合性都很强。在本书的编写过程中，力求落实“突出应用性、强调工具性、体现先进性”的原则，尽量使书中内容能够融传授知识、发展能力、提高素质为一体。针对高职教育的特点，理论以讲明、够用为度，突出专业知识的实用性、实际性和实效性。

全书以电子测量技术的应用为核心，将电子测量原理、电子测量仪器、测量系统的组建与测量数据的分析处理有机结合，分类分层次介绍。同时，根据电子测量与仪器技术的发展简略地介绍了智能仪器与自动测试技术。

二、本书结构

全书共分 10 章，内容结构如下：

第 1 章：介绍了测量与电子测量的基本知识、概念。

第 2 章：介绍了电流、电压和功率等基本电量的测量原理与测量方法，同时介绍了最基本的测量仪器——数字万用表。

第 3 章：介绍了常用元器件的测量原理与方法，Q 表及集成电路测试的常规方法。

第 4 章：结合常用的信号发生器，分类介绍了其组成原理、使用方法。

第 5 章：对通用示波器、取样示波器、存储示波器的工作原理进行详细讲解。结合 YB4320 型双踪示波器，介绍了示波器的使用方法及常规参数的测量。

第 6 章：介绍了电子计数器的测量方法，并对测量误差进行了分析。

第 7 章：介绍了线性系统频率特性测量、频谱分析测量两项内容；并对频率测量的常用仪器进行了介绍。

第 8 章：介绍了数据域测量的方法和测量仪器的使用。

第 9 章：对智能仪器和自动测试技术的相关知识进行了简述。

第 10 章：提供了九个基本实训，供读者选用。

三、本书特点

(1) 结构合理、内容丰富。本书从基础理论入手，将电子测量原理、电子测量仪器、测量系统的组成与测量数据的分析处理有机结合，分类分层次介绍，使读者可以全面、清楚地了解电子测量与仪器技术。

(2) 循序渐进、实用性强。本书内容共分为 10 章，分别介绍了电子测量及测量技术基础、电流电压与功率测量、电子元器件的测量、测量用信号源、电子示波器、电子计数器、频域测量技术、数据域分析测试技术、智能仪器与自动测试技术，最后还提供了九个基本实训，使读者获得进一步的感性认识，完成从技术理论到实践应用的转变。

四、适用对象

本书主要作为高职高专电子、信息类专业的教材，同时适用于计算机硬件、机电一体化等相关专业，也可供电子工程技术人员参考。

本书由贵州电子信息职业技术学院的范泽良主编，负责拟定编写大纲，并编写第3、5、6章；王永奇负责全书的统稿和主审，编写了教材部分章节内容；严峥晖编写第1、2、4章，对部分章节进行了核对；何军编写第7、8、9章；曾繁玲参与了第10章的编写并再次对全书进行了审核和修改，并从职业教育的角度出发，提出了很多宝贵的意见和建议。在本书编写过程中，广泛征求了高职院校相关教师的意见，同时，也参阅了许多同行的论著，在此一并致谢。

由于电子测量技术发展迅速，加之编者水平有限，疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。联系方法如下：

电子邮箱：service@cnbook.net

网址：www.cnbook.net

本书的电子教案和参考答案可从该网站下载，此外，该网站还有一些其他相关书籍的介绍，供读者参考。

编者

2008年3月

点并件本 三

内 容 简 介

本书是根据普通高等教育“十一五”国家级规划教材的指导精神而编写的。

电子测量与仪器在电子技术高速发展的今天起着越来越重要的作用。本书由基本的测量原理入手，结合常用的测量仪器仪表，循序渐进地介绍了电子测量技术，以提高读者对测量技术的应用能力。全书共分 10 章，内容包括电子测量及测量技术基础，电流、电压与功率测量，电子元器件的测量，测量用信号源，电子示波器，电子计数器，频域测量技术，数据域分析测试技术，智能仪器与自动测试技术，最后还提供了九个基本实训。每章后给出了一定数量的习题，帮助读者抓住重点，巩固所学知识。

本书不需要读者具有高深的数学知识，只要具有基本的电路理论与电子技术知识，就可以轻松学习。本书适合于高职院校电子、信息与自动化专业的学生使用，也可供与电子相关专业的、需要使用测量技术与仪器的学生和从业人员参考。

目 录

第1章 电子测量及测量技术基础	1
1.1 电子测量的意义和特点.....	1
1.1.1 电子测量的意义.....	1
1.1.2 电子测量的内容.....	1
1.1.3 电子测量的特点.....	2
1.2 电子测量分类.....	3
1.2.1 按测量方法分类.....	3
1.2.2 按被测信号的性质分类.....	3
1.2.3 按对测量精度的要求不同分类.....	4
1.3 计量的基本概念.....	4
1.3.1 计量.....	4
1.3.2 单位制.....	5
1.3.3 基准和标准.....	6
1.3.4 量值的传递与跟踪.....	6
1.4 测量误差.....	7
1.4.1 测量误差及其产生的原因.....	7
1.4.2 测量误差的分类.....	7
1.4.3 测量误差的表示方法.....	8
1.4.4 测量结果的数据处理.....	10
1.5 电子测量仪器概述.....	11
1.5.1 电子测量仪器的功能.....	11
1.5.2 电子测量仪器的发展概况.....	12
1.5.3 电子测量仪器的分类.....	12
1.6 电子测量仪器的正确使用.....	13
1.6.1 测量方法的选择.....	13
1.6.2 电子测量仪器的放置.....	13
1.6.3 电子测量仪器的接地.....	13
小结.....	14
习题一.....	14
一、填空题.....	14
二、选择题.....	15
三、简答题.....	15
四、综合题.....	15
第2章 电流、电压与功率测量	16

2.1 直流电流的测量.....	16
2.1.1 直流电流的测量原理与方法.....	16
2.1.2 模拟直流电流表的工作原理.....	17
2.1.3 数字万用表测量直流电流的原理.....	18
2.2 交流电流的测量.....	18
2.2.1 低频交流电流的测量原理与方法.....	18
2.2.2 高频交流电流的测量原理与方法.....	19
2.3 直流电压的测量.....	19
2.3.1 直流电压的测量原理与方法.....	19
2.3.2 直流电压测量仪表.....	20
2.4 交流电压的测量.....	21
2.4.1 交流电压的特征与基本参数.....	21
2.4.2 交流电压的测量原理.....	22
2.4.3 交流电压表.....	25
2.4.4 交流电压测量的其他应用.....	26
2.5 功率测量.....	27
2.5.1 直流功率测量.....	27
2.5.2 交流功率测量.....	27
2.5.3 电能量测量.....	28
2.6 数字万用表.....	29
2.6.1 数字万用表的特点.....	29
2.6.2 数字万用表的主要技术指标.....	29
2.6.3 数字万用表的组成.....	30
2.6.4 数字万用表的技术原理.....	30
2.6.5 数字万用表的使用.....	33
小结.....	34
习题二.....	35
一、填空题.....	35
二、选择题.....	35
三、简答题.....	36
四、综合题.....	36

第3章 电子元器件的测量	37	4.4 函数信号发生器.....	73
3.1 电阻、电感和电容的测量.....	37	4.4.1 函数信号发生器的基本原理.....	74
3.1.1 阻抗的概念.....	37	4.4.2 YB1602 函数信号发生器.....	76
3.1.2 电阻的特性与测量.....	38	4.5 合成信号发生器.....	79
3.1.3 电感的特性与测量.....	40	4.5.1 直接合成法.....	79
3.1.4 电容的特性与测量.....	43	4.5.2 间接合成法.....	79
3.2 半导体二极管、三极管与场效应管的 测量.....	44	4.6 脉冲信号发生器.....	80
3.2.1 半导体二极管的测量.....	45	4.7 图形发生器.....	82
3.2.2 晶体三极管的测量.....	46	4.7.1 彩色条纹信号.....	82
3.2.3 场效应管的测量.....	49	4.7.2 基本图形信号.....	84
3.3 Q 表.....	50	小结.....	84
3.3.1 Q 表的组成和测量原理.....	50	习题四.....	85
3.3.2 Q 表的应用.....	51	一、填空题.....	85
3.3.3 GQ-70 型高频 Q 表简介.....	54	二、选择题.....	85
3.4 集成电路的测试.....	55	三、简答题.....	86
3.4.1 集成电路的分类与万用表检测.....	56	四、综合题.....	86
3.4.2 中小规模集成电路的一般测试.....	56	第5章 电子示波器	87
3.4.3 集成电路测试仪简介.....	60	5.1 概述.....	87
3.4.4 大规模数字集成电路的 JTAG 测试.....	61	5.1.1 电子示波器的特点.....	87
小结.....	62	5.1.2 电子示波器的类型.....	87
习题三.....	63	5.2 示波管波形显示原理.....	88
一、填空题.....	63	5.2.1 示波管的分类与应用结构.....	88
二、选择题.....	63	5.2.2 波形显示原理.....	90
三、简答题.....	64	5.3 通用示波器.....	91
四、综合题.....	64	5.3.1 通用示波器的组成.....	91
第4章 测量用信号源	65	5.3.2 示波器的垂直通道.....	91
4.1 概述.....	65	5.3.3 示波器的水平通道.....	93
4.1.1 信号发生器的分类.....	65	5.3.4 示波器的 Z 通道.....	94
4.1.2 信号发生器的发展趋势.....	65	5.4 YB4320 双踪示波器.....	95
4.2 低频信号发生器.....	66	5.4.1 主要技术指标.....	95
4.2.1 基本组成和工作原理.....	66	5.4.2 YB4320 双踪示波器的工作原理.....	96
4.2.2 XD-22A 型低频信号发生器.....	68	5.4.3 YB4320 双踪示波器的使用方法.....	97
4.3 高频信号发生器.....	70	5.5 取样示波器.....	98
4.3.1 基本组成和工作原理.....	70	5.5.1 取样的概念.....	98
4.3.2 YB1051 高频信号发生器.....	72	5.5.2 取样示波器的工作原理.....	99
		5.5.3 取样示波器的技术指标.....	100
		5.6 存储示波器.....	102

5.6.1 数字存储示波器.....	102	习题六.....	133
5.6.2 存储式 CRT.....	105	一、填空题.....	133
5.7 示波器的应用.....	106	二、选择题.....	134
5.7.1 示波器的选用.....	106	三、简答题.....	134
5.7.2 示波器的应用.....	108	四、综合题.....	134
小结.....	114	第 7 章 频域测量技术.....	135
习题五.....	115	7.1 频域测量的原理与分类.....	135
一、填空题.....	115	7.1.1 频域测量的原理.....	135
二、选择题.....	115	7.1.2 频域测量的分类.....	136
三、简答题.....	116	7.2 线性系统频率特性测量.....	136
四、综合题.....	116	7.2.1 基本测量方法.....	137
第 6 章 电子计数器.....	117	7.2.2 相频特性测量.....	138
6.1 概述.....	117	7.2.3 BT-3 型频率特性测试仪.....	138
6.1.1 电子计数器的分类.....	117	7.2.4 频率特性测试仪的应用.....	140
6.1.2 电子计数器的主要性能指标.....	118	7.3 频谱分析测量.....	142
6.2 通用电子计数器的基本组成.....	119	7.3.1 频谱分析仪的分类.....	142
6.2.1 A、B 输入通道.....	119	7.3.2 频谱分析仪的基本工作原理.....	143
6.2.2 主控门.....	120	7.3.3 频谱分析仪的主要技术指标.....	145
6.2.3 时基信号产生与变换电路.....	120	7.3.4 频谱分析仪使用案例.....	146
6.2.4 控制逻辑电路.....	121	7.3.5 QF-4031 型频谱分析仪简介.....	147
6.2.5 计数及显示电路.....	122	小结.....	148
6.3 通用电子计数器的测量原理.....	123	习题七.....	148
6.3.1 测量频率.....	123	一、填空题.....	148
6.3.2 测量周期.....	123	二、选择题.....	148
6.3.3 测量频率比.....	124	三、简答题.....	149
6.3.4 测量时间间隔.....	125	四、综合题.....	149
6.3.5 累加计数.....	126	第 8 章 数据域分析测试技术.....	150
6.3.6 自校.....	126	8.1 数据域分析测试的特点、方法与 仪器.....	150
6.4 电子计数器的测量误差.....	126	8.1.1 数据域分析测试的特点.....	150
6.4.1 误差的来源.....	126	8.1.2 数据域分析测试的方法.....	151
6.4.2 频率测量误差分析.....	128	8.1.3 数据域测量的仪器.....	152
6.4.3 周期测量误差分析.....	128	8.2 数字电路的简易测试.....	152
6.4.4 时间测量误差分析.....	129	8.2.1 逻辑笔.....	152
6.5 E312A 型通用电子计数器.....	130	8.2.2 逻辑夹.....	153
6.5.1 主要技术性能.....	130	8.3 逻辑分析仪.....	154
6.5.2 基本工作原理.....	131	8.3.1 逻辑分析仪的特点.....	154
小结.....	133		

8.3.2	逻辑分析仪的分类与组成	155	小结	178
8.3.3	逻辑分析仪的工作原理	156	习题九	178
8.3.4	逻辑分析仪的主要技术指标及功能	160	一、填空题	178
8.3.5	逻辑分析仪的应用	161	二、选择题	179
	小结	163	三、简答题	179
	习题八	163	四、综合题	179
	一、填空题	163	第 10 章 实训篇	180
	二、选择题	164	实训一 MF-47A 型万用表的使用	180
	三、简答题	164	实训二 电子元器件的检测	183
	四、综合题	164	实训三 直流电压、电流表的安装与实验	185
第 9 章 智能仪器与自动测试技术	165		实训四 XD-22A 型低频信号发生器的使用	188
9.1	智能仪器与自动测量技术的发展	165	实训五 示波器的使用	190
9.2	智能仪器与个人仪器	166	实训六 电子计数器的使用	191
9.2.1	智能仪器	166	实训七 频率特性测试仪的使用	193
9.2.2	个人仪器	167	实训八 单管放大电路部分参数的测量	197
9.3	自动测试系统	167	实训九 收音机部分指标的测试和调整	198
9.3.1	自动测试系统的组成	168	附录	202
9.3.2	自动测试系统的总线	168	A.1 物理量与 SI 单位	202
9.4	虚拟仪器	172	A.2 国际标准基本单位与导出单位	203
9.4.1	虚拟仪器的概念与特点	172	A.3 电工仪表代表符号的含义	203
9.4.2	虚拟仪器的基本组成	172	A.4 半导体器件型号的命名方法	204
9.4.3	虚拟仪器的设计开发	174	参考文献	206
9.5	EWB 与 Multisim 7 简介	175	内容简介	207
9.5.1	EWB 简介	175		
9.5.2	Multisim 7 简介	176		

第1章 电子测量及测量技术基础

教学目标及要求:

了解:

- (1) 测量的概念、计量与测量的关系;
- (2) 基准和标准的概念、量值传递与跟踪;
- (3) 电子测量仪器的基本功能、发展和分类。

掌握:

- (1) 电子测量的意义、内容、特点及分类;
- (2) 测量误差的产生原因、分类及表示方法, 测量结果的数据处理;
- (3) 电子测量仪器的正确使用。

测量是人们运用特定的方法取得定量数据的过程。人们借助专门的设备, 把被测数据与同类已知数据进行比较分析, 从而满足自己生活和工作的需要。

电子测量是一种以电子技术为基本手段的测量, 通过相关的电子设备对电量、电信号及一些非电量进行测量。

1.1 电子测量的意义和特点

1.1.1 电子测量的意义

测量是通过实验方法对客观事物取得定量数据的过程。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同类已知单位进行比较, 取得用数值和单位共同表示的测量结果。测量结果可表示为: 测量结果 $X = \text{测量数值} + \text{测量单位}$ 。例如: 7.12V、30.2 Ω 、810kHz 等。

电子测量是泛指一切以电子技术为基本手段的测量。在电子测量过程中, 是以电子技术理论为依据、电子测量仪器和设备为手段, 对各种电量、电信号以及电子元器件的特性和参数进行的测量, 甚至可以通过各种传感元件对非电量进行测量。

科学的进步, 生产的发展, 与测量理论、技术、手段的发展和进步是相互依赖、相互促进的。电子测量是测量领域的主要组成部分, 是测量学和电子学相结合的产物。电子测量不仅应用于电子科学领域, 也广泛应用于物理学、化学、光学、机械学、材料学、生物学、医学等科学领域, 以及生产、国防、交通、信息技术、贸易、环保乃至日常生活领域等各个方面。

现在, 电子测量已成为电子科学领域重要而发展迅速的分支, 对整个电子技术和其他科学技术产生了巨大推动作用。电子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。

1.1.2 电子测量的内容

电子测量是测量学的一个重要分支, 从广义上说, 凡是利用电子技术进行的测量皆为电子测量。从狭义上讲, 电子测量是指在电子学中测量有关电的量值。它所涉及的内容通常包

括以下几方面:

- (1) 电能量的测量(电压、电流、电功率);
- (2) 元件和电路参数的测量(电阻、电容、品质因素等);
- (3) 电信号特性的测量(波形、失真度、频率、相位、调制度等);
- (4) 电子电路性能的测量(放大倍数、灵敏度、噪声等);
- (5) 特性曲线的显示(幅频特性、相频特性)。

上述各种待测电参量中,具有重要意义的是频率、电压、时间、阻抗等基本电参量,它们是其他许多派生电参量测量的基础。

1.1.3 电子测量的特点

与其他的测量相比,电子测量具有以下几个显著的特点:

- (1) 测量频率范围宽。

被测信号的频率范围除测量直流外,测量交流信号的频率范围可低至 10^{-6}Hz , 高至 10^{12}Hz 。当然,对于不同频段的测量需采用不同的测量原理和使用不同的测量仪器。随着技术的发展,能在相当宽的频率范围内正常工作的仪器不断涌现出来。

- (2) 测量量程宽。

量程是仪器所能测量各种参数的范围,通常指测量范围的上下限之差或上下限之比。电子测量仪器具有相当宽的量程,例如高档数字万用表对电阻测量小到 $10^{-5}\Omega$, 大到 $10^8\Omega$, 量程达到 13 个数量级;而数字式频率计,其量程可高达 17 个数量级。一些更为先进的仪器,其量程更宽。

- (3) 测量准确度高。

电子测量的准确度可以达到相当高的水平,特别是对频率和时间的测量,可以达到 10^{-13} ~ 10^{-14} 量级,是目前在测量准确度方面所能达到的最高指标。正是因为频率测量的准确度最高,所以在测量中人们尽可能的将其他参数转换成频率信号进行测量。电子测量的准确度高,是它在现代科学技术领域得到广泛应用的重要原因之一。

- (4) 测量速度快。

电子测量是基于电磁波的传播和电子运动来进行工作的,加之现代电子测量中电子计算机的广泛使用,使得测量过程的高速度得以实现。这也是电子测量在现代科学技术领域得到广泛应用的另一重要原因。例如,导弹的发射速度、人造卫星的发射和运行参数等的测量,没有高速度的电子测量,简直是无法想象的。

- (5) 易于实现遥测。

电子测量可以通过各种类型的传感器实现遥测、遥控。例如,对于遥远距离或环境恶劣的、人体难以接近或无法达到的区域(如海洋深处、核反应堆内、宇宙中的星体等),可通过传感器或通过电磁波、光、辐射等方式进行测量。

- (6) 易于实现测量自动化和测量智能化。

随着电子计算机的出现和发展,尤其是低功耗、体积小、高速度、可靠性高的微型计算机的出现与发展,使电子测量逐步实现了自动化与智能化。例如,在测量中能实现自动量程转换、自动校准、自动调节、自动诊断故障和自动修复,对于测量结果可以自动记录、自动进行数据处理等。

1.2 电子测量分类

测量方法的分类形式有多种,下面介绍几种常用的分类。

1.2.1 按测量方法分类

1. 直接测量

指用已标定的仪器对某一待测未知量直接进行测量,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。例如用电压表测量电压、用电子计数器测量频率和用电桥测量电阻阻值等。

直接测量的测量过程简单迅速,是一般测量中普遍采用的一种方式。

2. 间接测量

对与未知待测量有确切函数关系的其他变量进行直接测量,然后再通过该函数关系(可以是公式、曲线或表格等)计算出待测量的方法,称为间接测量。例如,在直流电路中,电功率 P 的测量,可直接测出负载的电流 I 和电压 U ,再根据功率 $P=UI$ 的函数关系,便可间接地求得负载消耗的电功率 P 。

间接测量比直接测量费时费事,常常在直接测量不方便、误差较大或缺乏直接测量的仪器等情况才采用。

3. 组合测量

如果有若干个未知待测量,把这些未知待测量用不同方式组合(或改变测量条件来获得不同的组合)进行直接或间接测量,并把测量值与未知待测量之间的函数关系列成方程组,可以求出各待测量的数值,这种方法叫组合测量。它是一种兼用直接测量与间接测量的方法。

例如,电阻值和温度间的公式为: $R_t = R_{20} + \alpha(t-20) + \beta(t-20)^2$ 。

为了获得 R_{20} 、 α 、 β 的值,可以改变测量温度,在三种温度 t_1 、 t_2 、 t_3 下,分别测得对应的电阻值 R_{t1} 、 R_{t2} 、 R_{t3} ,然后代入上述公式,得到一组联立方程,解此方程组后,便可求得 R_{20} 、 α 、 β 。

组合测量的测量过程比较复杂,花时较多,是一种特殊的精密测量方法,适用于科学实验及一些特殊的场合。

1.2.2 按被测信号的性质分类

1. 时域测量

时域测量是测量被测对象随时间的变化规律。这时把被测信号看成是一个时间的函数,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。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。例如,用示波器观察脉冲信号的上升沿、下降沿、幅度和宽度等参数。

时域测量的优点在于,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

频域测量是测量被测对象与频率之间的关系。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), 以得到信号的频谱和系统的传递函数。频域测量的主要对象是频谱和网络的测量, 用于测量信号电平、频率和频率响应、谐波失真、互调失真、频率稳定度、频谱纯度、调制指数和衰减量等。还可以测量一个系统的灵敏度、增益、衰减、阻抗、无失真输出功率、谐波分析、延迟失真、噪声系数、幅频特性和相频特性等多种参数。例如, 用频谱分析仪测量放大器输入、输出信号的频谱、幅频特性和相频特性等。

频域测量和时域测量是测量线性系统性能的两种方法, 是从两个不同的角度去观测同一个被测对象, 其结果应该是一致的。从理论上讲, 时域函数的傅里叶变换就是频域函数, 而频域函数的傅里叶逆变换也就是时域函数。

3. 数据域测量

数据域测量也称逻辑量测量, 是指对数字系统逻辑状态进行的测量。在数据域测量中, 被测量的对象是数字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。例如: 逻辑分析仪是数据域测量的典型仪器, 它具有多个输入通道, 可以用于观察微处理器地址线、数据线上多个通道的并行数据, 也可以观察单个通道的串行数据。

4. 随机测量

随机测量是指对各类噪声信号进行动态测量和统计分析。利用噪声作为随机信号源进行测量和测量埋藏在背景噪声中的微弱信号等, 已成为一种非常重要的测量方法, 尤其在通信领域有着广泛的应用。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。

1.2.3 按对测量精度的要求不同分类

1. 精密测量

精密测量是指基础性、探索性、先行性的测量科学研究, 通常用最新的科技成果来精确地实施测量, 并为最新的科技发展提供可靠的测量基础。精密测量多在计量室或实验室中进行, 对测量准确度要求很高。

2. 工程测量

工程测量是指各种工程、工业、企业中的实用测量, 例如有关能源或材料的消耗、工艺流程的监控以及产品质量与性能的测试等。工程测量涉及面甚广, 已成为生产过程控制不可缺少的环节。工程测量对测量准确度要求不很严格, 但所选用的仪器的准确度等级必须满足实际使用的需要。

除上述几种常见的分类外, 电子测量还有一些其他分类。如根据测量过程控制方式的不同, 分为自动测量和非自动测量; 根据被测量与测量结果获取地点的关系, 分为原地测量和远距离测量、接触测量和非接触测量; 根据测量系统本身是否带有激励源, 分为有源测量和无源测量; 根据被测量的状态是否随时间变化, 分为动态测量和静态测量。

1.3 计量的基本概念

1.3.1 计量

一个被测量是否可以测量, 必须满足两个基本的前提条件:

- (1) 被测量必须有明确的定义；
- (2) 测量标准必须建立，并被公认。

计量是为了保证量值的统一和准确一致的一种测量，它是利用技术手段实施的一种特殊形式的测量，即把被测量与国家计量部门作为基准或标准的同类单位量进行比较，以确定合格与否，并给出具有法律效力的《检定证书》。

计量有三个主要特征：统一性、准确性和法制性。它包含了为达到统一和准确一致所进行的全部活动，如单位的统一、基准和标准的建立、进行量值传递、计量监督管理、测量方法及其手段的研究等。

计量按具体内容可分为科学计量、法制计量、工程计量三个部分。

计量与测量两者之间既有联系，又有区别。测量是用被测量未知量和同类已知的标准单位量比较，这时认为被测量的真实数值是存在的，测量误差是由测量仪器和测量方法等引起的。计量是用法定标准的已知量与同类的未知量（如受检仪器）比较，这时标准量是准确的、法定的，而认为测量误差是由受检仪器引起的。

由于测量发展的客观需要才出现了计量，测量数据的准确可靠，需要计量予以保证，计量是测量的基础和依据，没有计量，也谈不上测量。测量又是计量联系实际应用的重要途径，可以说没有测量，计量也将失去价值。计量和测量相互配合，才能在国民经济中发挥重要作用。

1.3.2 单位制

单位是有明确定义和名称并令其数值为1的固定量，例如长度单位1米（m），时间单位1秒（s）等。单位是表征测量结果的重要组成部分，又是对两个同类量值进行比较的基础。

我国法定计量单位以国际单位制（SI）为基础，并包括10个我国选定的非国际单位制单位，如时间（分、时、天），长度（海里），质量（吨）等。

在国际单位制中，分为基本单位、导出单位和辅助单位。基本单位是指彼此无关、分别加以确定的物理量单位，共7个，如表1-1所示。

表1-1 国际单位制基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克（公斤）	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

导出单位是指由基本单位通过定义、定律或其他函数关系推导、派生出来的各种导出量值，例如力的单位牛顿（N）定义为“使质量为1千克的物体产生加速度为1米每2次方秒的力”，即 $N=kg \times m/s^2$ 。

国际上把既可作为基本单位又可作为导出单位的单位，单独列为一类称为辅助单位，共2个，分别是平面角的单位弧度（rad）和立体角的单位球面角（sr）。由基本单位、导出单位

和辅助单位构成的完整体系称为单位制。

1.3.3 基准和标准

计量基准器具简称计量基准,是指用以复现和保存计量单位的量值,只用于鉴定各种量具的精度,不直接参加测量。计量基准器具的地位,国家以法律形式予以确定。通常计量基准分为国家计量基准(主基准)、国家副计量基准(副基准)和工作计量基准(工作基准)三类,也分别称作一级、二级、三级基准。主基准是具有最高水平的基准,是一个国家内量值溯源的终点,也是量值传递的起点。副基准的量值精度由主基准确定,用以代替主基准日常使用和验证主基准的变化。工作基准主要是用以代替副基准日常使用,以避免由于主基准、副基准频繁使用而丧失其原有的准确度。

根据工作基准复现出不同等级的便于经常使用的计量标准量具或仪器,称为计量标准器具,简称标准。计量标准的准确度等级在工作基准之下,工作计量器具之上。按精度高低又分为一级标准、二级标准和三级标准。通过这些标准经常性地对日常工作仪器进行检定,确定其量值的精确度大小。

在工作岗位上使用,不用于量值传递而是直接用来测量被测对象量值的计量器具,称为工作计量器具。

1.3.4 量值的传递与跟踪

首先介绍几个有关的术语:

(1) 比对。

在规定条件下,对相同准确度等级的同类基准、标准或工作计量器具之间的量值进行比较,其目的是考核量值的一致性。

(2) 检定。

检定是用高一等级准确度的计量器具对低一等级的计量器具进行比较,以达到全面评定被检计量器具的计量性能是否合格的目的。一般要求计量标准的准确度为被检者的 $1/3$ 到 $1/10$ 。

(3) 校准。

校准是指被校的计量器具与高一等级的计量标准相比较,以确定被校计量器具的示值误差(有时也包括确定被校器具的其他计量性能)的全部工作。一般而言,检定要比校准包括更广泛的内容。

(4) 量值的传递。

量值的传递是指一个物理量单位通过各级基准、标准及相应的辅助手段准确地传递到日常工作中所使用的测量仪器、量具,以保证量值统一的全过程。

量值的传递是按照主基准、副基准、工作基准、各级标准逐级向下传递,一直传递到不同精度的量具和仪器。检定就是量值的传递的具体形式,量值的传递的准则是:高一等级计量器具检定低一级计量器具的精确度,同级计量器具的精确度只能通过比对来鉴别。如此一级一级地对计量器具进行检定,就能保证全国范围内计量器具都统一在国家基准的监理之下。

量值的传递是根据法定的传递和检定规程进行,国家设有计量部门专门从事基准和标准的研究、建立、保存和传递工作,所以计量具有法制的性质。

1.4 测量误差

1.4.1 测量误差及其产生的原因

1. 测量误差

测量的目的就是希望获得被测量的真值。所谓真值,就是在一定的时间和空间环境条件下,被测量本身所具有的真实数值。显然,被测量的真值是客观存在的确定数值。在测量过程中,由于人们对客观规律认识的局限性,受测量工具、测量手段、测量环境及测量人员等因素的影响,测量结果与被测量的真值之间存在差异,这个差异就称为测量误差。当测量误差超过一定限度,测量工作及由测量结果所得出的结论就失去了意义,甚至会给工作带来危害。由于测量误差是客观存在的,是无法完全消除的,只能设法将其限制在一定范围内。因此,研究误差的目的,就是要正确认识误差的性质,分析误差产生的原因及其发生规律,寻求减小测量误差的方法,识别出测量结果中存在的各种性质的误差,学会数据处理的方法,使测量结果更接近于真值。

2. 产生测量误差的原因

测量误差是由于电子测量仪器及测量辅助设备、测量方法、外界环境、操作技术水平等多种因素共同作用的结果。因此总体上讲,产生测量误差的原因有以下五个方面:

(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。如仪器读数分辨率有限造成的误差、仪器内部噪声引起的工作点不稳、零点漂移、读数变化等误差。

(2) 影响误差:由于各种环境因素(温度、湿度、气压、声音、光照、机械振动、电磁场、放射性等)与测量要求的条件不一致而引起的误差。电子测量仪器必须在额定使用环境下工作,才能保证各项技术指标的准确。

(3) 理论误差和方法误差:由于测量原理、近似公式、测量方法不完善等而造成的误差。如利用谐振法测量频率时,常用公式为 $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$,它是忽略了回路中损耗电阻的近似公式,由此产生的误差称为理论误差。又如,用电压表、电流表测量电阻时,测量过程中忽略了电压表和电流表内阻的分流和分压作用的影响,由此产生的误差称为方法误差。

(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,而在测量中使用操作不当、现象判断出错或数据读取疏失等而引起的误差。如指针式万用表测量电阻前未校零引起的误差,谐振法测量L、C、Q时谐振点判断不准造成的误差等。

(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。如由于振荡器的振荡频率不稳定,则测量其频率必然要引起误差。

1.4.2 测量误差的分类

按照误差的性质和特点,可将测量误差分为随机误差、系统误差、粗大误差三大类。

1. 随机误差

在同一测量条件下(指在测量环境、测量人员、测量技术和测量仪器都相同的条件下),多次重复测量同一量值时(等精度测量),每次测量误差的绝对值和符号都以不可预知的方式变化的误差,称为随机误差或偶然误差,简称随差。随机误差主要由对测量值影响微小但却