



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

辽宁省精品资源共享课教材

信息与通信工程

Electronic Measurement Technology

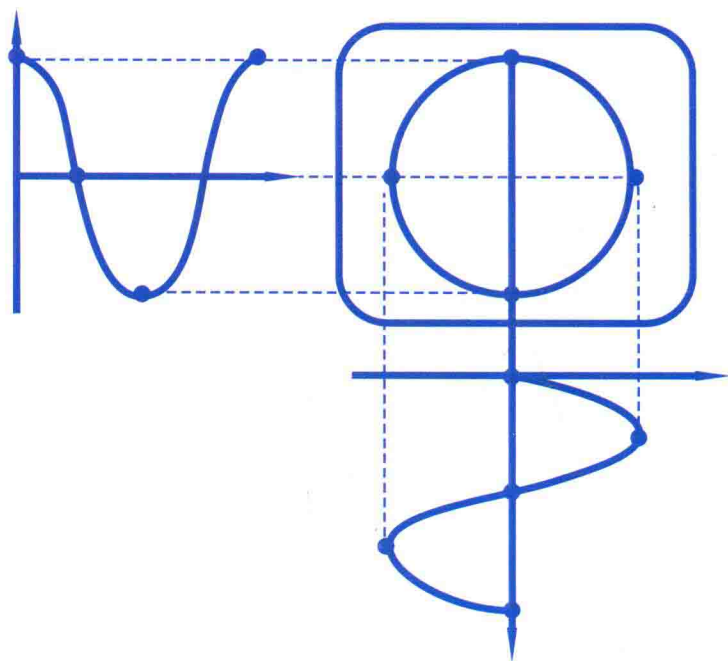
电子测量技术

贾丹平 姚丽 桂珺 等编著

Jia Danping

Yao Li

Gui Jun



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Electronic Measurement Technology

电子测量技术

贾丹平 姚丽 桂珺 赵亚威 姚世选 编著

Jia Danping

Yao Li

Gui Jun

Zhao Yawei

Yao Shixuan



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材,也是辽宁省精品资源共享课的配套教材,是按照高等院校相关专业的教学要求编写的。

本书从实际应用出发,系统地阐述了电子测量的方法,以及现代电子测量仪器的原理。全书分为10章,内容包括电子测量的基本概念、测量误差和测量结果处理、频率和时间的测量、电压的测量、信号发生器、波形测试、阻抗测量、相位测量、频域测量和数据域的测量。重点讲述了电压、频率、时间、阻抗等主要物理量的基本测量原理和方法,以及示波器、信号源、频率计等常规仪器的工作原理和使用方法。

本书体系完备、结构清晰、阐述透彻、内容翔实、深入浅出、图文并茂、通俗易懂。既可作为高等院校电子信息类和仪器仪表类等相关专业的教材或参考书,也可供广大从事电子技术和测试测量工作的工程技术人员参考。为方便学习,各章末配有小结和难度适中的思考题,还配有二维码方便读者获得电子教案及扩展阅读资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术/贾丹平等编著. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-48870-5

I. ①电… II. ①贾… 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(2017)第 278265 号

责任编辑:曾 珊

封面设计:李召霞

责任校对:梁 毅

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.25

字 数:467千字

版 次:2018年4月第1版

印 次:2018年4月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:49.00元

产品编号:076396-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	火箭军工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋 峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳 伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

本书为教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材,也是辽宁省精品资源共享课的配套教材,是按照高等院校相关专业的教学要求,由沈阳工业大学、沈阳理工大学和大连交通大学多年从事电子测量课程教学的教师团队共同编写的,是集体智慧的结晶。

本书是从实际应用出发,力求体现系统性、基础性和前沿性的特点,按照测量原理、测量方法、仪表使用及误差分析的主线进行编写的。全书共分10章,第1章是绪论,介绍电子测量的内容、特点、方法,电子测量仪器的分类、性能指标及发展概况;第2章是测量误差与数据处理,重点介绍误差的基本概念、来源、性质、估算方法、减小措施,要求学生掌握误差的表示及在电子测量范围内测量误差的估计、误差的合成与分配、测量数据的处理等;第3章是频率与时间测量技术,介绍频率和时间测量的基本原理、电子计数器的组成与工作原理,要求学生掌握电子计数法测量频率、周期、时间间隔的方法及提高测量精度的措施;第4章是电压测量技术,介绍直流电压、交流电压、脉冲电压的测量技术,要求学生重点掌握交流电压表的定度及波形误差,掌握常用A/D转换器工作原理;第5章是信号发生器,介绍信号发生器的功能、分类、基本组成及性能指标,重点对函数发生器与合成信号发生器的组成和工作原理进行分析与讨论;第6章是波形测试技术,介绍示波器的功能、基本组成、波形显示原理和数字存储示波器的组成、工作原理及特点,要求学生掌握通用电子示波器垂直系统、水平系统组成原理,会熟练使用示波器;第7章是阻抗测量技术,介绍阻抗元件的特性、阻抗的数字化测量方法,重点对电桥法、谐振法测量阻抗进行分析;第8章是相位差测量技术,介绍相位差的基本概念、相位差计的性能及分类,重点介绍示波法测量相位差及相位差的数字化测量技术;第9章是频域测量技术,介绍频谱分析的概念、重点介绍频谱分析仪的原理及应用;第10章是数据域测量技术,介绍数据域测量方法、逻辑分析仪的分类及特点,重点介绍数据域测量故障类型、逻辑分析仪的工作原理及应用,最后还简要介绍新型电子测量仪表——智能仪器、虚拟仪器和自动测试系统的组成及工作原理。

本书体系完备、结构清晰、阐述透彻、内容翔实、深入浅出、图文并茂、通俗易懂。既可作为高等院校电子信息类和仪器仪表类等相关专业的教材或参考书,也可供广大从事电子技术和测试测量工作的工程技术人员参考。由于本课程综合性强、实践性突出,因此通过本课程的学习,不仅使学生掌握电子测量技术及仪器的基础知识,而且培养了学生的综合应用能力,为进一步的专业学习及从事相关研发工作奠定基础。

本课程是辽宁省精品资源共享课^①,配有丰富的网上资源,包括课程视频、学习指南、知识结构、知识内容、练习、案例、试题等。同时本书在相应章节处配有二维码,可以方便读者

^① 网址为 <https://mooc1-1.chaoxing.com/course/200053508.html>。

获取讲解视频、电子教案、习题解答及测量仪器的最新产品介绍等扩展阅读资料。网上资源与本教材的结合,形成了一套完整的立体化教学资源。

本书第1、2章由沈阳工业大学的桂珺编写,第3、4章由沈阳工业大学的贾丹平编写,第5章由大连交通大学的姚世选编写,第6章由沈阳理工大学的赵亚威和沈阳工业大学的贾丹平共同编写,第7、8章由沈阳工业大学的姚丽编写,第9、10章由沈阳理工大学的赵亚威编写。全书由贾丹平负责规划、内容安排及审阅校订。研究生王琳慧、翟盼盼、马赫驰、姜小舟、曹璨和王岩等协助完成了部分文字及图表的编辑工作,在此深表感谢!

在本书的编著过程中,广泛参考了国内外相关文献资料,借鉴了诸位作者的编写理念及优秀成果,在此对本参考文献所列专家表示衷心的感谢!同时感谢沈阳实拓科技有限公司,为本书提供了最新的测量仪表的产品资料!感谢清华大学出版社的各位编辑的精心组织、细心审阅和修改,保证了本书高质量如期出版!

本书的编著工作得到了沈阳工业大学出版基金和辽宁省教育改革项目(2016058)的资助。

由于作者水平有限,本书难免存在不妥与错漏之处,恳请广大读者批评指正,并将阅读中发现的问题发送到: dianziceliang@163.com。同时欢迎选用本书作为教材的教师,加强联系,共同探讨,教师用的详细习题解答请与清华大学出版社联系索取。

贾丹平

2018年1月

学习建议

本书对应课程的授课对象是电子信息类和仪器仪表类等相关专业的本科生,建议授课学时为 64 学时,包括理论教学 56 学时和实验教学 8 学时,不同专业根据不同的教学要求和计划教学时数可酌情对教学内容进行适当取舍。

序号	知识单元(章节)	教学内容	教学难点、重点	推荐学时
1	绪论	• 电子测量的内容及特点; • 电子测量方法及仪器分类; • 电子测量仪器的主要性能指标; • 电子测量仪器的发展概况	重点: • 测量仪器的基本功能; • 常用电子测量方法分类; • 电子测量仪器的主要性能指标。 难点: • 电子测量仪器的主要性能指标	4
2	测量误差与数据处理	• 测量误差的基础知识; • 随机误差的分析; • 粗大误差的分析; • 系统误差的分析; • 误差的合成与分配; • 测量数据的处理	重点: • 测量误差的分类、特点; • 削弱系统误差的典型技术; • 误差的合成与分配; • 测量数据的处理过程与方法。 难点: • 等准确度与等作用分配的方法; • 削弱系统误差的典型措施; • 随机误差的分布与测量结果的置信问题	8
3	频率与时间测量技术	• 时频基准及频率时间测量特点; • 电子计数法测量频率; • 电子计数法测量周期; • 电子计数法测量时间间隔; • 通用计数器; • 频率测量的其他方法	重点: • 电子计数法测频原理及误差分析; • 电子计数法测周原理及误差分析; • 中界频率; • 时间间隔测量。 难点: • 触发误差的分析; • 多周期测量法	6
4	电压测量技术	• 电压测量的基本要求及仪器分类; • 直流电压的模拟式测量; • 交流电压的模拟式测量; • 电压的数字式测量; • 数字万用表	重点: • 数字电压表的组成原理; • 双积分 A/D 转换器工作原理及特点; • 逐次逼近比较式 A/D 转换器的工作原理及特点; • 数字多用表原理及电路。 难点: • 交流电压表的定度及波形误差分析; • 脉宽调制法 A/D 转换器的原理; • 数字电压表的误差与干扰	12

续表

序号	知识单元(章节)	教学内容	教学难点、重点	推荐学时
5	信号发生器	- 信号发生器的分类及性能指标; - 低频信号发生器; - 高频信号发生器; - 脉冲信号发生器; - 合成信号发生器; - 任意函数/波形发生器	重点: - 低频信号发生器的组成及技术指标; - 高频信号发生器的组成及技术指标; - 锁相频率合成的原理; - 函数发生器的工作原理。 难点: - 锁相环的应用; - 基于 DDS 技术的函数发生器原理	6
6	波形测试技术	- 示波器的分类及主要性能指标; - 示波管及波形显示原理; - 通用示波器; - 取样示波器; - 数字存储示波器	重点: - 示波器的波形显示原理; - 模拟示波器垂直通道的组成与工作原理; - 模拟示波器水平通道的组成与工作原理。 难点: - 示波器扫描发生器环的工作原理; - 取样示波器的基本原理; - 数字存储示波器的组成与工作原理	12
7	阻抗测量技术	- 阻抗元件的特性分析; - 电桥法测量阻抗; - 谐振法测量阻抗; - 阻抗的数字化测量方法	重点: - 电桥法测量阻抗的原理; - 谐振法测量阻抗的原理。 难点: - 阻抗的数字化测量方法原理	4
8	相位差测量技术	- 相位差的基本概念; - 用示波器测量相位差; - 相位差的数字化测量; - 相位差测量系统的性能指标; - 相位计的分类	重点: - 直接比较法的测量原理; - 椭圆法的测量原理; - 相位-时间变换法的工作原理。 难点: - 相位-电压转换式原理	4
9	频域测量技术	- 线性系统幅频特性的测量; - 频谱分析仪概述; - 扫频式频谱分析仪; - 频谱仪的主要性能指标; - 频谱仪的应用	重点: - 静态频率特性和动态频率特性测量原理和特点; - 扫频式频谱分析仪工作原理及性能指标; - 频谱仪应用。 难点: - 扫频法测量原理	4
10	数据域测量技术	- 数据域测量的特点及故障类型; - 数据域测量方法; - 逻辑分析仪的分类及特点; - 逻辑分析仪的工作原理及应用; - 测量新技术简介	重点: - 数据域测试的目的及故障模型; - 逻辑分析仪组成、触发方式、数据捕获和存储及显示。 难点: - 逻辑分析仪的数据捕获和存储; - 逻辑分析仪的触发方式	4

目录

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 电子测量概述	1
1.1.1 测量与电子测量	1
1.1.2 电子测量的内容	2
1.1.3 电子测量的特点	3
1.2 电子测量的方法	4
1.3 电子测量仪器概述	5
1.3.1 电子测量仪器的功能	6
1.3.2 电子测量仪器分类	6
1.3.3 电子测量仪器的主要技术指标	7
1.3.4 电子测量仪器的发展概况	8
本章小结	9
思考题	9
随身课堂	9
第2章 测量误差与数据处理	10
2.1 测量误差的基础知识	10
2.1.1 研究测量误差的目的	10
2.1.2 测量的基本概念	11
2.1.3 误差的表示方法	12
2.1.4 测量误差的来源	17
2.1.5 测量误差的分类	18
2.2 随机误差的分析	20
2.2.1 随机误差的统计处理	21
2.2.2 随机误差的分布	23
2.2.3 有限次测量的计算方法	26
2.2.4 测量结果的置信度	27
2.3 粗大误差的分析	30
2.3.1 粗大误差的判断	30
2.3.2 粗大误差的剔除	31
2.4 系统误差的分析	32
2.4.1 系统误差的特征	32
2.4.2 系统误差的判断	32
2.4.3 削弱系统误差的方法	34

2.5 误差的合成与分配	39
2.5.1 误差的合成	39
2.5.2 误差的分配	43
2.5.3 最佳测量方案的选择	45
2.6 测量数据的处理	45
2.6.1 测量结果的评价	46
2.6.2 有效数字的处理	47
2.6.3 等精度测量结果的处理	48
2.6.4 非等精度测量结果的处理	50
本章小结	52
思考题	56
随身课堂	58
第3章 频率与时间测量技术	59
3.1 概述	59
3.1.1 时频基准	59
3.1.2 频率与时间测量的特点	61
3.1.3 频率与时间测量的方法	61
3.2 电子计数法测量频率	63
3.2.1 测频基本原理	63
3.2.2 测频结构组成	63
3.2.3 测频误差分析	66
3.3 电子计数法测量周期	70
3.3.1 测周基本原理	70
3.3.2 测周误差分析	71
3.3.3 中界频率	75
3.4 电子计数法测量时间间隔	76
3.4.1 时间间隔测量原理	76
3.4.2 测量时间间隔的误差分析	78
3.4.3 测量时间间隔的应用	78
3.5 通用计数器	80
3.5.1 电子计数器的分类	80
3.5.2 电子计数器的主要技术指标	80
3.5.3 通用计数器的功能	81
3.6 频率测量的其他方法	83
3.6.1 谐振法测量频率	83
3.6.2 电桥法测量频率	85
3.6.3 频率-电压($F-U$)变换法	85
3.6.4 拍频法测量频率	86
3.6.5 差频法测量频率	87
3.6.6 示波法测量频率	87
本章小结	88
思考题	89
扩展阅读	90

随身课堂	90
第4章 电压测量技术	91
4.1 概述	91
4.1.1 电压测量的基本要求	91
4.1.2 电压测量仪表的分类	93
4.2 直流电压的模拟式测量	93
4.2.1 磁电式表头	94
4.2.2 动圈式电压表	94
4.2.3 电子电压表	96
4.3 交流电压的模拟式测量	96
4.3.1 交流电压的表征	96
4.3.2 交流电压的测量方法	99
4.4 电压的数字式测量	108
4.4.1 数字电压表概述	108
4.4.2 比较式 A/D 转换器	114
4.4.3 双积分 A/D 转换器	119
4.4.4 脉宽调制法 A/D 转换器	124
4.4.5 电荷平衡法 A/D 转换器	126
4.5 数字多用表	128
4.5.1 I/V 变换器	128
4.5.2 Ω/V 变换器	129
4.5.3 AC/DC 变换器	131
本章小结	133
思考题	134
扩展阅读	136
随身课堂	136
第5章 信号发生器	137
5.1 概述	137
5.1.1 信号发生器的用途	137
5.1.2 信号发生器的分类	138
5.1.3 信号发生器的参数指标	140
5.2 低频及高频信号发生器	141
5.2.1 低频信号发生器	141
5.2.2 高频信号发生器	145
5.2.3 脉冲信号发生器	148
5.3 合成信号发生器	149
5.3.1 合成信号发生器的原理及技术指标	150
5.3.2 频率直接合成法	150
5.3.3 频率间接合成法	152
5.4 任意函数/波形发生器	154
5.4.1 任意函数/波形发生器的工作原理	154
5.4.2 任意函数/波形发生器的主要技术指标	156
5.4.3 任意波形发生器的波形编辑功能	157

本章小结	158
思考题	159
扩展阅读	159
随身课堂	159
第6章 波形测试技术	160
6.1 概述	160
6.1.1 示波器的特点	160
6.1.2 示波器的分类	161
6.1.3 示波器的主要技术指标	162
6.2 示波管及波形显示原理	163
6.2.1 示波管	163
6.2.2 波形显示原理	166
6.3 通用示波器	173
6.3.1 通用示波器的组成	173
6.3.2 通用示波器的垂直偏转通道	174
6.3.3 通用示波器的水平偏转通道	178
6.4 示波器的多波形显示	186
6.4.1 多线显示和多踪显示	186
6.4.2 双扫描示波显示	188
6.5 取样示波器	189
6.5.1 取样原理	190
6.5.2 取样示波器的基本组成	192
6.5.3 主要性能指标	192
6.6 数字存储示波器	193
6.6.1 基本结构和工作原理	193
6.6.2 主要性能指标	195
6.6.3 基本功能	198
6.7 示波器的应用	203
6.7.1 示波器的使用	203
6.7.2 用示波器测量电压	205
6.7.3 用示波器测量周期和时间间隔	207
6.7.4 用示波器测量频率	208
本章小结	209
思考题	210
扩展阅读	211
随身课堂	212
第7章 阻抗测量技术	213
7.1 阻抗元件的特性	213
7.1.1 阻抗定义及其表示方法	213
7.1.2 阻抗元件的电路模型	214
7.1.3 阻抗的测量方法	217
7.2 电桥法测量阻抗	218
7.2.1 电桥法测量阻抗的原理	218

7.2.2 电桥法测量电阻	220
7.2.3 电桥法测量电容	221
7.2.4 电桥法测量电感	221
7.2.5 自动平衡电桥(手持数字电桥)	222
7.3 谐振法测量阻抗	224
7.3.1 谐振法测量阻抗的原理	224
7.3.2 谐振法测量电感	225
7.3.3 谐振法测量电容	226
7.3.4 Q表的工作原理	227
7.4 阻抗的数字化测量方法	228
7.4.1 阻抗-时间变换法测量阻抗	228
7.4.2 阻抗-电压变换法测量阻抗	230
本章小结	235
思考题	235
扩展阅读	236
随身课堂	236
第8章 相位差测量技术	237
8.1 概述	237
8.2 用示波器测量相位差	238
8.2.1 直接比较法	238
8.2.2 椭圆法	238
8.3 相位差的数字化测量	240
8.3.1 相位-时间变换式数字相位差计	240
8.3.2 相位-电压变换式数字相位计	241
8.4 相位差测量系统的性能指标	242
8.5 相位计的分类	243
本章小结	243
思考题	244
扩展阅读	244
随身课堂	244
第9章 频域测量技术	245
9.1 线性系统幅频特性的测量	245
9.2 频谱分析仪概述	250
9.3 扫频式频谱分析仪	253
9.4 频谱仪的主要性能指标	256
9.5 频谱仪的应用	260
本章小结	262
思考题	262
扩展阅读	262
随身课堂	263
第10章 数据域测量技术	264
10.1 概述	264

10.2 逻辑分析仪	270
10.2.1 逻辑分析仪的分类与特点	270
10.2.2 逻辑分析仪的工作原理	272
10.2.3 逻辑分析仪的应用	278
10.3 测量新技术简介	281
10.3.1 智能仪器	281
10.3.2 虚拟仪器	283
10.3.3 自动测试系统	285
本章小结	286
思考题	286
扩展阅读	287
随身课堂	287
附录 A 正态分布在对称区间的积分表	288
附录 B t 分布在对称区间的积分表	289
参考文献	290

学习要点

- 了解电子测量的内容及特点;
- 掌握电子测量的一般方法;
- 熟悉电子测量仪器的功能及主要性能指标;
- 了解电子测量仪器的发展概况。



电子测量概述. mp4

1.1 电子测量概述

1.1.1 测量与电子测量

杰出的科学家门捷列夫说过:“没有测量就没有科学。”那什么是测量呢?测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程,在这种认识过程中,人们借助于专门的设备,依据一定的理论,通过实验的方法,求出以所用的测量单位来表示的被测量的量值。测量结果的量值由两部分组成:数值和单位。没有单位的量值是没有任何意义的。

在日常生活中,人们经常和各种简单的测量打交道,例如测量体重、体温,用万用表测量电阻、电压,这些都是简单的测量。再如奥运短跑计时,现在奥运会短跑计时的程序非常先进,也十分复杂,如图 1-1 所示。一旦选手双脚蹬在起跑器上,做好启动准备,计时官员扣动发令枪扳机,通过铜线发出电流到起跑器和单独的计时台。电流会启动计时台上的石英晶体振荡器,与此同时,发令枪的声音经由每个选手起跑器的扬声器放大,这样一来,所有参赛选手即可同时听到发令枪响,实现了真正意义上的公平比赛。而在赛道的另外一端,激光信号则从终点线一端传向另一端,而另一端的光传感器(亦称“光电管”或“电子眼”)会收到激光发出的光束信号。当选手穿过终点线,光束受到阻塞,电子眼立即向计时台发送信号,记录下选手的比赛用时。同时,与终点线平行安装的一台高速数码摄像机会以每秒 2000 次的惊人速度,将图像扫描到一个狭窄剖面上。当每名选手跑过终点线时,摄像机会将最先触及终点线的身体部位的电子信号发送给计时台,从而记下他们的比赛时间。计时台则将比赛时间发送给裁判席和电子记分板。图像则会被发送给计算机,电脑使图像与时钟实现同步,令其处于水平时标的并行位置,构成一幅完整的图像。电脑还会用一个垂直指针记录下每名选手身体最先触及终点线的具体部位。随后,技术人员可以在比赛结束后,在 30 秒内将这张合成图像播放在视频显示器上,帮助裁判进行确定。这个计时过程就包含着电子测量的内容。