



新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材

· 应用电子技术专业

电子测量技术

· 陆绮荣 主 编

· 吴有恩 谭诚臣 副主编 · 郭广灵 主 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

电子测量技术

陆绮荣 主 编

吴有恩 副主编

谭诚臣

郭广灵 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

11/11/2016

内 容 简 介

本书共分 11 章, 包含三大部分内容。第一部分为第 1、2 章, 主要介绍电子测量技术的特点、测量误差理论与测量结果的处理; 第二部分为第 3~10 章, 阐述电子测量的基本原理和电子测量技术的应用; 第三部分为第 11 章, 介绍现代电子测量技术及其在新领域的应用, 以便读者跟踪电子测量技术的新发展。教材着重讲述了电子测量的基本测试技术。介绍了电压、频率、时间、相位、元器件参数、噪声等基本电量的测试原理、方法以及常用电子测量仪器, 包括示波器、信号源、计数器、扫频仪、频谱分析仪等仪器的工作原理和应用。

本书既可作为高等职业院校电子仪器与测量、检测技术与仪器仪表、应用电子技术、通信工程、电子工程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用书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子测量技术/陆绮荣主编. —北京: 电子工业出版社, 2003. 8

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

ISBN 7-5053-9061-9

I. 电… II. 陆… III. 电子测量-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 073539 号

责任编辑: 张云怡

印 刷: 北京彩艺印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.75 字数: 378 千字

版 次: 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 19.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077

出版说明

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分。其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型人才。近年来,高等职业教育发展迅猛,其宏观规模发生了历史性变化。为适应我国社会进步和经济发展的需要,高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革,高职教材也必须与之相适应,进行重新调整与定位,突出自身的特色。为此,在国家教育部、信息产业部有关司局的支持、指导和帮助下,电子工业出版社在全国范围内筹建成立“全国高职高专教育教材建设领导小组”,下设“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等专业的多个编委会。各专业编委会成员由电子信息战线辛勤耕耘、功绩卓著的专家、教授、高工和富有高职教学经验的一线优秀教师组成。

2002年10月,“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等四个专业的编委会精心组织全国范围内的优秀一线教师编写了《新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材》60余种。这批教材的主要特点是:

1. 在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导,采用阶跃式、有选择的编写模式,强调实践和实践属性,精炼理论,突出实用技能,内容体系更加合理;

2. 注重现实社会发展和就业需求,以培养职业岗位群的综合能力为目标,充实训练模块的内容,强化应用,有针对性地培养学生较强的职业技能;

3. 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间和学生的自主学习;着力于培养和提高学生的综合素质,使学生具有较强的创新能力,促进学生的个性发展;

4. 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有超前性、先进性。

首批教材共有60余种,将于2003年8月陆续出版。所有参加教材编写的高职院校都有一个共同的愿望:希望通过教材建设领导小组、编委会和全体作者的共同努力,使这批教材在编写指导思想、编写内容和编写方法上具有新意,突出高等职业教育的特点,满足高职学生学习和就业的需要。

高等职业教育改革与教材建设是一项长期的任务,不会一蹴而就,而是要经历一个发展过程。这批高职教材的问世,还有许多不尽人意之处。随着教育的不断深化,我国经济和科学技术的不断发展,高职教材的改革与开发将长期与之相伴而行。在教育部和信息产业部的指导和帮助下,我们将一如既往地依靠本行业的专家,与科研、教学第一线的教研人员紧密联系,加强合作,与时俱进,不断开拓,逐步完善各类专业课教材、专业基础课教材、实训指导书、电子教案、电子课件及配套教材,为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

电子工业出版社高职高专教育教材事业部的全体成员殷切地希望全国高职高专院校的教师们能够踊跃投稿,提出选题建议,并对已出版的教材从多方面提出修改建议。除以上四个专业外,我们还设立了“计算机技术”、“电子商务”、“物流管理”、“会计类”、“金融类”、“环保类”等专业的编委会。我们衷心欢迎更多的志士仁人加入到各个编委会中来。

电子工业出版社的全体员工将竭诚为教育服务,为高等职业教育战线的广大师生服务。

全国高职高专教育教材建设领导小组
电子工业出版社

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”

编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院

三峡大学职业技术学院

桂林电子工业学院高职学院

桂林工学院

南京化工职业技术学院

湛江海洋大学海滨学院

江西工业职业技术学院

江西渝州科技职业学院

柳州职业技术学院

邢台职业技术学院

漯河职业技术学院

太原电力高等专科学校

苏州工商职业技术学院

金华职业技术学院

河南职业技术师范学院

新乡师范高等专科学校

绵阳职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

河北师范大学职业技术学院

常州轻工职业技术学院

常州机电职业技术学院

无锡商业职业技术学院

河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院

浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校

深圳信息职业技术学院

河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院

江西交通职业技术学院

沈阳电力高等专科学校

温州职业技术学院

温州大学

广东肇庆学院

湖南铁道职业技术学院

宁波高等专科学校

南京工业职业技术学院

浙江水利水电专科学校

成都航空职业技术学院

吉林工业职业技术学院

上海新侨职业技术学院

天津渤海职业技术学院

驻马店师范专科学校

郑州华信职业技术学院

浙江交通职业技术学院

前 言

本书依据 2002 年 11 月杭州会议上确定的“淡化理论，够用为度，培养技能，重在应用”的原则编写。全书共分 11 章，着重介绍电子测量的基本方法和应用，也介绍了基于计算机的电子测量技术，使学生既掌握了传统电子测量的方法，又能跟踪测试技术的新发展。

本书在编写时，对测量原理的讲解力求突出基本概念，通俗易懂，便于自学；对测量方法突出操作应用；对测量仪器仪表则重点讲清工作原理和组成框图，不过多涉及内部单元具体电路。同时，教材编写时，尽量避免与其他课程的实验内容、实训内容重复，以满足学时数的要求。在教材的各章后均安排了一定数量的习题，以帮助读者分析、思考和复习。

本书由桂林工学院、江西渝州科技职业学院、无锡商业职业技术学院、郑州工业高等专科学校等多个学校的多位编者共同编写，是编者从事教学、科研和实践经验的总结，是在多届学生电子测量教学实践讲义的基础上修改、补充而成的，是一本真正适合职业教育的教材。

本书由陆绮荣老师编写第 1、2、3、4、5、11 章，并负责统稿；吴有恩老师编写第 6、7、8 章；谭诚臣老师编写第 9 章；欧阳乔老师编写第 10 章；郭广灵老师担任主审。

在本书的编写过程中，得到了上述院校的大力支持和协助，在此，向所有关心和支持本书的各方面人士表示由衷的感谢。

由于电子测量技术的发展很快，其应用领域也不断扩大，加之作者水平有限、时间仓促，因此，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者
2003 年 7 月



Contents

| | |
|----------------------------------|------|
| 第 1 章 绪论 | (1) |
| 1.1 测量与计量的基本概念..... | (1) |
| 1.1.1 测量的定义..... | (1) |
| 1.1.2 测量的分类..... | (1) |
| 1.1.3 测量与计量的关系..... | (2) |
| 1.2 电子测量技术的特点和意义..... | (2) |
| 1.2.1 电子测量的定义..... | (2) |
| 1.2.2 电子测量技术的特点..... | (3) |
| 1.3 电子测量的内容..... | (3) |
| 1.4 电子测量技术发展概述..... | (4) |
| 本章小结..... | (5) |
| 思考与练习 1..... | (5) |
| 第 2 章 测量误差理论与测量结果处理 | (6) |
| 2.1 常用测量术语简介..... | (6) |
| 2.2 测量误差及其表示法..... | (7) |
| 2.2.1 测量误差的来源..... | (7) |
| 2.2.2 绝对误差与修正值..... | (7) |
| 2.2.3 相对误差及其表示法..... | (8) |
| 2.2.4 仪表选择的一般原则..... | (9) |
| 2.3 测量误差的估计和处理..... | (10) |
| 2.3.1 系统误差的判断和处理..... | (10) |
| 2.3.2 随机误差的估计和处理..... | (12) |
| 2.3.3 粗大误差的判断和处理..... | (13) |
| 2.3.4 测量误差一般处理原则..... | (14) |
| 2.4 测量误差的合成和分配..... | (14) |
| 2.4.1 测量误差的合成..... | (14) |
| 2.4.2 测量误差的分配..... | (17) |
| 2.5 测量结果的描述与处理..... | (20) |
| 2.5.1 测量结果的评价..... | (20) |
| 2.5.2 测量数据的整理..... | (21) |
| 2.5.3 测量结果的表示方法..... | (21) |



| | | |
|--------------|------------------|-------------|
| 2.5.4 | 等精度测量结果的数据处理 | (21) |
| 2.5.5 | 实验曲线的绘制 | (23) |
| 2.6 | 最佳测量方案选择 | (24) |
| | 本章小结 | (25) |
| | 思考与练习 2 | (25) |
| 第 3 章 | 电路元件参数的测量 | (27) |
| 3.1 | 概述 | (27) |
| 3.2 | 电阻的测量 | (27) |
| 3.2.1 | 电阻的参数 | (27) |
| 3.2.2 | 电阻测量的原理和方法 | (28) |
| 3.3 | 电容的测量 | (30) |
| 3.3.1 | 电容的参数和标注方法 | (31) |
| 3.3.2 | 电容测量的原理和方法 | (32) |
| 3.4 | 电感的测量 | (35) |
| 3.4.1 | 电感的主要参数 | (35) |
| 3.4.2 | 电感的测量原理和方法 | (35) |
| 3.5 | 半导体二极管参数的测量 | (38) |
| 3.5.1 | 半导体二极管的特性和主要参数 | (38) |
| 3.5.2 | 半导体二极管的测量 | (39) |
| 3.6 | 半导体三极管参数的测量 | (40) |
| 3.6.1 | 三极管的主要参数 | (40) |
| 3.6.2 | 三极管的测量 | (41) |
| 3.7 | 晶体管特性图示仪的工作原理与应用 | (42) |
| | 本章小结 | (44) |
| | 思考与练习 3 | (44) |
| 第 4 章 | 电流的测量 | (45) |
| 4.1 | 概述 | (45) |
| 4.2 | 直流电流的测量 | (45) |
| 4.2.1 | 直流电流测量的一般方法 | (45) |
| 4.2.2 | 模拟直流电流表的工作原理 | (46) |
| 4.2.3 | 数字式万用表测量直流电流的原理 | (47) |
| 4.2.4 | 直流电流的测量方案 | (48) |
| 4.3 | 交流电流的测量 | (48) |
| 4.3.1 | 交流电流测量的一般方法 | (48) |
| 4.3.2 | 模拟交流电流表的工作原理 | (49) |
| 4.3.3 | 热电式电流表 | (50) |
| 4.3.4 | 数字式万用表测量交流的原理 | (51) |
| | 本章小结 | (52) |



| | |
|-----------------------------|-------------|
| 思考与练习 4 | (52) |
| 第 5 章 电压的测量 | (53) |
| 5.1 概述 | (53) |
| 5.2 模拟式电压表 | (56) |
| 5.2.1 简单模拟直流电压表 | (56) |
| 5.2.2 简单模拟交流电压表 | (56) |
| 5.3 电子电压表 | (57) |
| 5.3.1 概述 | (57) |
| 5.3.2 电子电压表的分压器 | (58) |
| 5.3.3 电子电压表的检波器 | (59) |
| 5.3.4 电子电压表的放大器 | (62) |
| 5.3.5 三种检波方式电压表的比较 | (63) |
| 5.4 数字式多用表 | (63) |
| 5.4.1 数字电压表的分类 | (64) |
| 5.4.2 数字电压表的主要技术指标 | (64) |
| 5.4.3 数字电压表的工作原理 | (66) |
| 5.5 电压测量的应用 | (70) |
| 5.5.1 直流电压的测量 | (70) |
| 5.5.2 交流电压的测量 | (72) |
| 5.5.3 电平的测量 | (72) |
| 5.5.4 失真度的测量 | (75) |
| 5.5.5 噪声电压的测量 | (77) |
| 本章小结 | (77) |
| 思考与练习 5 | (78) |
| 第 6 章 时间与频率的测量 | (79) |
| 6.1 概述 | (79) |
| 6.2 电子计数器及其应用 | (81) |
| 6.2.1 电子计数器面板及按键示意图 | (81) |
| 6.2.2 电子计数器的主要电路技术 | (81) |
| 6.2.3 电子计数器测量频率 | (82) |
| 6.2.4 电子计数器测量周期 | (87) |
| 6.2.5 电子计数器累加计数和计时 | (89) |
| 6.2.6 电子计数器测量频率比 | (89) |
| 6.2.7 电子计数器测量时间间隔 | (90) |
| 6.2.8 电子计数器的自校 | (91) |
| 6.2.9 提高测量准确度的方法 | (91) |
| 6.3 其他测量时间和频率的方法 | (94) |
| 6.3.1 谐振法测频 | (94) |



| | | |
|--------------|-----------------|-------------|
| 6.3.2 | 电桥法测频 | (95) |
| 6.3.3 | 频率-电压转换法测频 | (96) |
| 6.3.4 | 比较法测频 | (97) |
| 6.3.5 | 示波器测频 | (97) |
| | 本章小结 | (97) |
| | 思考与练习 6 | (98) |
| 第 7 章 | 测量用信号源 | (99) |
| 7.1 | 概述 | (99) |
| 7.1.1 | 测量用信号源的作用与分类 | (99) |
| 7.1.2 | 正弦信号发生器的组成 | (100) |
| 7.1.3 | 正弦信号发生器的主要性能指标 | (101) |
| 7.2 | 低频信号发生器 | (103) |
| 7.2.1 | 低频信号发生器的主要性能指标 | (103) |
| 7.2.2 | 低频信号发生器的基本组成与原理 | (103) |
| 7.2.3 | 低频信号发生器的应用 | (107) |
| 7.3 | 函数信号发生器 | (108) |
| 7.3.1 | 函数信号发生器的基本组成与原理 | (108) |
| 7.3.2 | 函数信号发生器的典型电路 | (109) |
| 7.3.3 | 函数信号发生器的性能指标 | (111) |
| 7.3.4 | 函数信号发生器的应用 | (112) |
| 7.4 | 高频信号发生器 | (112) |
| 7.4.1 | 高频信号发生器的基本组成与原理 | (112) |
| 7.4.2 | 高频信号发生器的分类 | (112) |
| 7.4.3 | 调谐信号发生器 | (113) |
| 7.4.4 | 锁相信号发生器 | (114) |
| 7.4.5 | 高频信号发生器的其他单元电路 | (114) |
| 7.5 | 合成信号发生器 | (115) |
| 7.5.1 | 频率合成的定义 | (115) |
| 7.5.2 | 直接合成法 | (115) |
| 7.5.3 | 间接合成法 | (117) |
| 7.5.4 | 频率合成器应用举例 | (119) |
| 7.6 | 扫频信号发生器 | (120) |
| 7.6.1 | 概述 | (120) |
| 7.6.2 | 扫频振荡器的工作原理 | (121) |
| 7.6.3 | 扫频法测试的基本原理 | (124) |
| 7.7 | 脉冲信号发生器 | (124) |
| 7.8 | 测量信号源的选择和使用 | (125) |
| | 本章小结 | (126) |
| | 思考与练习 7 | (127) |



| | |
|---------------------------|-------|
| 第 8 章 示波测试技术 | (128) |
| 8.1 概述..... | (128) |
| 8.1.1 示波器的分类..... | (128) |
| 8.1.2 示波器的主要技术指标..... | (129) |
| 8.2 示波测试的基本原理..... | (130) |
| 8.2.1 示波器的测试过程..... | (130) |
| 8.2.2 阴极射线示波管..... | (130) |
| 8.2.3 图像显示的基本原理..... | (132) |
| 8.3 通用示波器..... | (138) |
| 8.3.1 通用示波器的组成..... | (138) |
| 8.3.2 通用示波器的垂直通道..... | (138) |
| 8.3.3 通用示波器的水平通道..... | (140) |
| 8.3.4 通用示波器的其他电路..... | (146) |
| 8.3.5 示波器的多波形显示..... | (147) |
| 8.4 取样示波器..... | (148) |
| 8.4.1 概述..... | (149) |
| 8.4.2 取样示波器的工作原理..... | (150) |
| 8.5 记忆示波器和存储示波器..... | (154) |
| 8.6 数字存储示波器..... | (154) |
| 8.6.1 数字存储示波器的性能特点..... | (155) |
| 8.6.2 数字存储示波器的工作原理..... | (156) |
| 8.6.3 数字存储示波器的显示方式..... | (156) |
| 8.6.4 数字存储示波器的技术指标..... | (157) |
| 8.7 示波器的基本测试技术..... | (158) |
| 8.7.1 示波器的选择..... | (159) |
| 8.7.2 示波器的正确使用..... | (159) |
| 8.7.3 用示波器测量电压..... | (161) |
| 8.7.4 用示波器测量时间和频率..... | (164) |
| 8.7.5 用示波器测量相位..... | (166) |
| 8.7.6 数字存储示波器的应用..... | (168) |
| 8.7.7 示波器功能的扩展..... | (169) |
| 本章小结..... | (170) |
| 思考与习题 8..... | (171) |
| 第 9 章 频域测试技术 | (172) |
| 9.1 概述..... | (172) |
| 9.2 频率特性测试仪..... | (173) |
| 9.2.1 频率特性的基本测量方法..... | (173) |
| 9.2.2 频率特性测试仪的工作原理..... | (174) |

| | |
|-----------------------|--------------|
| 9.2.3 频率特性测试仪的主要技术指标 | (175) |
| 9.2.4 频率特性测试仪的主要应用 | (177) |
| 9.3 频谱分析仪 | (180) |
| 9.3.1 频谱分析的基本概念 | (180) |
| 9.3.2 频谱分析仪的工作原理 | (183) |
| 9.3.3 常用频谱分析仪介绍 | (184) |
| 9.3.4 频谱分析仪的主要技术指标 | (187) |
| 9.3.5 频谱分析仪的应用 | (188) |
| 本章小结 | (191) |
| 思考与练习 9 | (191) |
| 第 10 章 数据域测试技术 | (192) |
| 10.1 概述 | (192) |
| 10.1.1 数据域测试的基本概念 | (192) |
| 10.1.2 数字系统的故障和故障模型 | (194) |
| 10.2 逻辑电路的简易测试 | (195) |
| 10.3 逻辑分析仪 | (196) |
| 10.3.1 概述 | (196) |
| 10.3.2 逻辑分析仪的基本组成 | (198) |
| 10.3.3 逻辑分析仪的触发方式 | (198) |
| 10.3.4 逻辑分析仪的显示方式 | (200) |
| 10.3.5 逻辑分析仪的基本应用 | (202) |
| 10.3.6 模块化的逻辑分析仪 | (203) |
| 本章小结 | (204) |
| 思考与练习 10 | (204) |
| 第 11 章 计算机测试技术 | (205) |
| 11.1 概述 | (205) |
| 11.2 智能仪器 | (205) |
| 11.3 自动测试系统 | (208) |
| 11.4 虚拟仪器 | (210) |
| 11.4.1 虚拟仪器概述 | (210) |
| 11.4.2 虚拟仪器的构建技术 | (211) |
| 11.4.3 虚拟仪器的设计方法 | (213) |
| 11.4.4 虚拟仪器的设计实例 | (216) |
| 11.4.5 可互换虚拟仪器 (IVI) | (218) |
| 11.4.6 网络化仪器与远程测控技术 | (219) |
| 本章小结 | (220) |
| 思考与练习 11 | (220) |
| 参考文献 | (221) |

第 1 章 绪 论



内容提要

本章简述测量的一般分类方法、常用的测量手段及测量与计量的关系；明确了电子测量的内容、电子测量技术的特点和意义；对电子测量技术的发展进行了回顾和展望。

1.1 测量与计量的基本概念

1.1.1 测量的定义

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（如电子电压表、信号发生器、电子示波器等），把被测量与标准的同类单位量进行比较，从而确定被测量与单位量之间的数值关系，最后用数值和单位共同表示测量结果。

例如用示波器测量正弦信号的峰-峰值，波形在荧光屏的垂直方向上占据 3 格，垂直偏转灵敏度设置为 $0.1\text{V}/\text{格}$ ，则被测电压峰-峰值 $V_{p-p} = 3 \text{格} \times 0.1\text{V}/\text{格} = 0.3\text{V}$ 。

从上述测量过程可知，有三个成分参与了测量：第一是作为被测对象的正弦信号；第二是作为标准的示波器垂直偏转灵敏度；第三是将被测量与标准进行比较的设备示波器。因此，测量的实质就是将被测量与标准量在测量设备上进行比较，得出被测量量值的过程。

1.1.2 测量的分类

1. 按测量性质分类

被测对象种类繁多，性质千差万别，为方便起见，可根据被测量的性质将它们大致分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量四大类。

(1) 时域测量：测量与时间有函数关系的量（如正弦信号、脉冲信号）。这些量的稳态值、有效值等参数可用电压表等仪器测量；这些量的瞬态值可用示波器等仪器直接观测并测量。

(2) 频域测量：测量与频率有函数关系的量（如电路增益、相移等）。可通过频谱分析仪等仪器分析电路的幅频、相频或频谱特性。

(3) 数据域测量：对数字逻辑量进行测量。例如，用具有多个输入通道的逻辑分析仪，可以同时观测并行数据的时序波形，也可用“1”、“0”显示其逻辑状态。

(4) 随机测量：主要是指对各类随机的噪声信号、干扰信号的测量。

2. 按测量手段分类

对同一类性质的被测量进行测量时，由于测量原理不一样，选择的测试设备、采用的测量手段也可能不一样。常用的有直接测量、间接测量和组合测量三种。

(1) 直接测量：指可以直接得到被测量的量值的测量。例如用均值电压表测量电压，可直接读出被测电压的平均值；用电子计数器测量频率可直接读出频率数等。

(2) 间接测量：指必须采用其他直接测量的量的结果，然后按一定的函数关系进行计算，最后才求得被测量的量值的测量。例如测量电阻 R 上消耗的直流功率，可以先测量电阻 R 两端的电压 U 以及流过电阻支路的电流 I ，再根据函数关系 $P=UI$ ，计算出电阻 R 上消耗的功率。

(3) 组合测量：在某些测量中，被测量与多个未知量有关，测量一次无法得出确切的结果，需改变测量条件进行多次测量，然后根据被测量与未知量的函数关系列方程组求解才能得出被测量的测量方法。如图 1.1 所示为测量有源二端网络内阻 R_0 的电路图，其中 U_{AB} 为网络端口电压， E 为等效电动势，式中 R_0 和 E 均为未知量，采用直接或间接测量都不能直接得出结果，可采用组合测量法。改变二端网络的负载 R_L ，可得到不同的电压表读数 U_{AB1} 、 U_{AB2} 和不同的电流表读数 I_1 、 I_2 ，代入回路电压定律 $E = IR_0 + U_{AB}$ 得

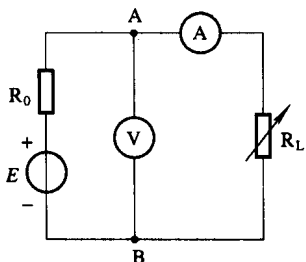


图 1.1 用组合测量法测量有源二端网络的内阻

$$E = I_1 R_0 + U_{AB1}$$

$$E = I_2 R_0 + U_{AB2}$$

两式联立求解得

$$R_0 = (U_{AB2} - U_{AB1}) / (I_1 - I_2)$$

通常情况下，测量过程是复杂的，在某类测量过程中，如频域测量中，有的被测量可以采用直接测量手段测量，有的被测量需采用间接测量手段测量，有的则要用组合测量法测量。

1.1.3 测量与计量的关系

为了保证测量结果的准确性和一致性，即保证同一量在不同的地方，采用不同的测量手段所得结果应该是一致的，国家以《计量法》的形式规范测量过程，而计量就是具有法制效力的基准量的测量。因此，计量是测量的一种特殊形式，是测量工作发展的客观需要；而测量是计量联系生产实践的重要途径，没有测量就没有计量，没有计量就会使测量数据的准确性、可靠性得不到保证，测量就会失去价值。因此，测量与计量是相辅相成的。

1.2 电子测量技术的特点和意义

1.2.1 电子测量的定义

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都可以说是电子测量；从狭义上说，电子测量是指在电子学中对有关电的量值的测量。



1.2.2 电子测量技术的特点

电子测量技术的最新水平往往是科学技术最新成果的反映。因此，与其他测量技术相比，电子测量技术具有以下几个明显的特点。

1. 测量速度快

由于电子测量是通过电子运动和电磁波的传播来进行的，因此它具有其他测量方法无法比拟的速度。

2. 测量频率范围宽、测试动态范围广

采用电子测量技术测量，除可测量直流量外，还可测量交流量。依靠计算机的运算、处理能力，适时地切换量程及更换仪器设备，就不难获得较宽的频率和较广的动态测试范围（例如达到 100dB 以上）。

3. 测量准确度高

电子测量仪器的准确度比其他测量仪器高得多，尤其是对频率、时间的测量。由于采用原子频标和原子秒作为基准，可以使测量准确度达到 $10^{-14} \sim 10^{-11}$ 的数量级。

4. 易于实现遥控

电子测量可以通过各种类型的传感器实现遥控、遥测。例如对于远距离、环境恶劣以及人体不便接触或无法达到的区域（如人造卫星、深海、核反应堆内），可通过传感器或通过电磁波、光辐射方式进行测量。

5. 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化

电子测量的测量结果和它所需要的控制信号都是电信号，非常有利于直接或通过模/数转换与计算机相连，实现自动记录、数据运算和分析处理。计算机测试技术则更是充分利用计算机的优势，在计算机上创建智能仪器和智能专家系统，大大增强了仪器的功能，降低了仪器的构建成本。

1.3 电子测量的内容

电子测量的范围很广，本课程中电子测量的内容主要包括以下几个方面：

- (1) 电能量的测量，如电压、电流、电功率等。
 - (2) 元件和电路参数的测量，如电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、电子器件的参数等。
 - (3) 电信号特性的测量，如信号的波形和失真度、频率、相位、调制度等。
 - (4) 电子电路性能的测量，如放大电路的衰减、增益、通频带、灵敏度、噪声指数等。
 - (5) 特性曲线的显示与测量，如放大电路的幅频特性、相频特性曲线等。
- 在上述各种参数中，电压、频率、时间、阻抗等是基本电参数，对它们的测量是其他许

多派生参数测量的基础。

表 1.1 为常用电子测量仪器与测量内容。在后续章节中将详细分析表 1.1 中所列的测量方法和测量对象的特点，并详细分析相应的测量仪器的结构、原理、特性及应用。

表 1.1 常用电子测量仪器与应用

| 测量方法 | 测量仪器 | 主要应用范围 |
|-------|---------|--|
| 时域测量 | 电子电压表 | 对正弦电压或周期性非正弦电压的峰值、有效值、平均值进行测量 |
| | 电子计数器 | 测量信号的频率、频率比、周期、时间间隔和累加计数等 |
| | 电子示波器 | 实时测量不同波形信号的电压值、周期、相位、频率、脉冲信号的前沿、脉冲、时间延迟等 |
| | 测量用信号源 | 提供测试用信号，如正弦、脉冲、函数、噪声信号等 |
| 频域测量 | 频率特性测试仪 | 测量电子线路的幅频特性、带宽、回路的 Q 值等 |
| | 频谱分析仪 | 测量电路的频谱、功率谱等振幅传输特性和相移特性 |
| | 网络分析仪 | 对网络特性进行测量 |
| 调制域测量 | 调制域分析仪 | 测量调频和调相的线性及失真、脉宽调制信号、锁相环路的捕捉及跟踪等 |
| 数据域测量 | 数字信号发生器 | 提供串行、并行数据及任意波形信号 |
| | 逻辑分析仪 | 监测数字系统的软、硬件工作程序 |
| | 数据通信分析仪 | 数据通信网和传输设备的误码、延时、告警和频率的测量 |
| 随机测量 | 噪声系数分析仪 | 对噪声信号进行测量 |
| | 电磁干扰测试仪 | 对电磁干扰信号进行测量 |

1.4 电子测量技术发展概述

电子测量技术发展总是与自然科学特别是电子技术的最新发展紧密相连的。

传统的电测量指示仪表利用电磁技术将被测电磁量转换为指针的偏转角，然后通过角位移在标尺位置上读出被测量的值。如 MF500 型万用表就是典型的模拟磁电式仪表。

数字技术、锁相技术、频率合成技术、取样技术等出现，提高了电子测量仪器的水平，产生了如频谱分析仪、频谱合成器等最有代表性的仪器。

采用新技术、新工艺，由大规模集成电路和超大规模集成电路构成的新型数字仪表及高档智能仪器的问世，标志着电子仪器领域的重大发展，也开创了现代电子测量技术的先河。

自动测试系统的出现是电子测量技术、自动控制及计算机技术密切结合的成果，是电子测量仪器与数字信息系统相结合的产物，它是电子测量技术的又一次飞跃，真正实现了高速度、高精度、多参数和多功能的测试。

虚拟仪器的出现是电子测量仪器领域的一场革命，它提出了一种与传统电子测量仪器完全不同的概念，即“软件即是仪器”，改变了传统仪器的概念、模式和结构，用户完全可自定义仪器。虚拟仪器以其特有的优势显示了强大的生命力。可以预见，现代电子测量技术一定会向数字化、智能化、宽带化、网络化、高速综合化方向发展。