



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
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

(第2版)

陆绮荣 主编 吴有恩 张永生 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

内 容 简 介

本书是在2003年8月出版的《电子测量技术》一书的基础上改编而成的。第2版教材继续贯彻了高等职业教育“淡化理论、够用为度、培养技能、重在应用”的原则,继承了《电子测量技术》第1版的特色和编写模式,修正了第1版中的错误,扩充了部分章节的测试方法和应用实例,并补充了光通信领域中的测试技术。

全书共分12章,包含四大部分内容。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,阐述电子测量基本原理和电子测量技术的应用;第三部分为第11章,主要是考虑到我国光通信事业的蓬勃发展要求,特别增加了一章,介绍光纤通信系统的参数和光通信测试仪表的应用;第四部分为第12章,介绍计算机测试技术及其在新领域中的应用,以便读者跟踪电子测量技术的新发展。

教材着重讲述电子测量领域的基础性测量技术,包括电压、频率、时间、相位、元件参数、频率特性、噪声及数字逻辑等基本参量的测试原理、方法以及常用测试仪器,同时也介绍该领域的最新发展技术,包括虚拟仪器、网络仪器和远程测控技术。

本教材适合高等职业教育电子、通信、电气类专业教学使用,也可作为成人高等教育电子仪器与测量、检测技术与仪器仪表、应用电子技术、通信工程、电子工程等专业学生的教学用书,还可作为从事电类专业的工程测试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. —2版. —北京: 电子工业出版社, 2007.1
(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 7-121-02155-2

I. 电… II. ①陆… 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(2006)第142620号

责任编辑: 张云怡

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 430千字

印 次: 2007年1月第1次印刷

印 数: 5000册 定价: 23.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,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; 邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材（第 2 版）

出版说明

2002 年 10 月，电子工业出版社组织 90 余所高职院校的优秀教师编写了“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”4 个专业的高职教材，从 2003 年 7 月第一本教材问世截至 2004 年 10 月，已经出版了 70 余种。时至今日已有 2 年多的教材使用时间，这批教材的大部分得到使用者的好评。随着教育的不断深入及社会用人单位对高职毕业生的更高要求，为使教材更好地适应高职毕业生的就业、使教材有益于培养高职毕业生的生产实践技能，2005 年 7 月，我们在杭州组织召开了教材研讨会，针对上述 4 个专业的大部分教材的内容的修订听取了到会老师的意见，明确了修订教材的编写思路和编写原则，确定了修订版教材的编写人员，计划在 2006 年年底~2007 年上半年基本出版齐全修订版教材。为便于读者区分，这批修订版教材均标明“(第 2 版)”。教材的丛书名仍沿用“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”。

第 2 版教材的主要特点如下：

1. 内容更加突出“实用性、技能性、应用性”。
2. 实训内容的选择以技能为要素。
3. 适当拓展了教材的广度，其目的是为方便不同学校、不同专业的学生选用。
4. 专业课以目前企业主要设备为主线进行讲解。
5. 习题尽量避免问答式、叙述式，而多为技能型、解决问题型。
6. 配备电子教案，以便于老师教学和学术交流。

我们的初衷是希望第 2 版教材的问世能够弥补第 1 版教材的不足，使其内容更加贴近企业用人的需求，更加有利于学生就业，让学生能够真正掌握一些实际的生产技能。同时，我们亦深知：高等职业教育的改革不能一蹴而就，编写出适合高职教育的教材也是一个渐进的过程。我们期待和全国高职院校的老师们一同努力，不断改进创新，为出版真正适合高职教育的好教材尽力。

在组织高职电子信息类教材的编写全过程近 4 年的时间内，我们结交了全国的许多优秀教师，他们的人品德行、人格魅力、学识水平均达到很高的水准。与他们的交往让我们受益匪浅，并且给我们以启迪：学校确是藏龙卧虎之地。我们愿意继续结交新的朋友，目的只有一个，那就是共同为高等职业教育的发展贡献我们大家的力量，在这个目标下达到学校、老师、出版社多赢。

我们亦衷心欢迎各高职院校有意愿、有能力的老师参加我们的教材编写。具体专业范围如下：

机电一体化技术，电气自动化技术，数控技术，模具技术，应用电子技术，通信技术。

电子工业出版社高职高专教育教材事业部
2006 年 3 月

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
苏州经贸职业技术学院
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

第 2 版前言

《电子测量技术》一书自 2003 年 8 月第 1 次印刷至今已重印 8 次，这是我们编写者开始没有想到的。

编写的初衷仅仅是为满足电子测量技术课程教学的需要，因此在编写时，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、实训内容的重复，以满足学时数的要求。

在教材使用过程中，我们不断收到读者的邮件和来信，他们对教材做了充分的肯定，《电子测量技术》一书在 2006 年广西优秀教材评比中荣获一等奖就是专家和读者对我们的最好肯定。同时不少读者也指出了教材中的错误，提出了建设性的意见，这给了我们编写者鼓励和鞭策，也激发了我们再次编写的愿望，我们希望通过自己努力将更好的教材奉献给读者。

本书在第 1 版的基础上改编而成。第 2 版教材继续贯彻高等职业教育“淡化理论、够用为度、培养技能、重在应用”的原则，继承了《电子测量技术》第 1 版的特色和编写模式，修正了第 1 版中的错误，扩充了电路元件参数测量、频域测试技术等章节的测试方法和应用实例。考虑到我国光通信事业的蓬勃发展要求，特别增加了光通信测试技术一章，主要介绍光纤通信系统的参数和光通信测试仪表的应用。

本书由桂林工学院陆绮荣同志担任主编，并负责全书的统稿工作；江西渝州科技职业学院吴有恩同志、安徽电子信息职业技术学院张永生同志担任副主编；内蒙古科技大学信息工程学院孙采鹰同志参与了本书部分章节的修订和编写工作。教材是编者从事教学、科研和实践经验的总结，也是在多届教师和学生使用第 1 版教材基础上的修改、补充与完善的成果。

在本书的编写过程中，得到了桂林工学院、江西渝州科技职业学院、安徽电子信息职业技术学院、内蒙古科技大学等院校和电子工业出版社的大力支持和协助；同时也得到了广大读者的支持和鼓励。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，向所有参考文献的作者表示崇高的敬意。

由于电子测量技术的发展是很快的，其应用领域也不断扩大，加之作者水平有限、编写时间仓促，因此，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大师生及读者批评、指正，请将问题发至 lqr0773@163.com。

编者

2006 年 11 月

目 录

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	(2)
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	(6)
2.2.1 测量误差的来源	(6)
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	(11)
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	(22)
2.5.5 实验曲线的绘制	(24)
2.6 最佳测量方案选择	(25)
本章小结	(26)
思考与练习 2.....	(26)

第 3 章 电路元件参数的测量	(27)
3.1 概述	(27)
3.2 电路元件参数的测量	(27)
3.2.1 电阻和电位器的测量	(27)
3.2.2 电容的测量	(30)
3.2.3 电感的测量	(34)
3.2.4 半导体二极管参数的测量	(38)
3.2.5 半导体三极管参数的测量	(40)
3.3 晶体管特性图示仪的工作原理与应用	(42)
3.3.1 晶体管图示仪的特点	(42)
3.3.2 晶体管图示仪的工作原理	(43)
3.3.3 晶体管图示仪的测试应用	(43)
3.4 集成电路参数的测试	(46)
3.4.1 TTL 与非门外部特性测试	(46)
3.4.2 CMOS 或非门参数测试	(48)
本章小结	(49)
思考与练习 3.....	(50)
第 4 章 电流的测量	(51)
4.1 概述	(51)
4.2 直流电流的测量	(51)
4.2.1 直流电流测量的一般方法	(51)
4.2.2 模拟直流电流表的工作原理	(51)
4.2.3 数字式万用表测量直流的原理	(53)
4.2.4 直流电流的测量方案	(54)
4.3 交流电流的测量	(54)
4.3.1 交流电流测量的一般方法	(54)
4.3.2 模拟交流电流表的工作原理	(55)
4.3.3 热电式电流表	(56)
4.3.4 数字式万用表测量交流的原理	(57)
本章小结	(58)
思考与练习 4.....	(58)
第 5 章 电压的测量	(59)
5.1 概述	(59)
5.2 模拟式电压表	(62)
5.2.1 简单模拟直流电压表	(62)
5.2.2 简单模拟交流电压表	(63)
5.3 电子电压表	(63)
5.3.1 概述	(63)
5.3.2 电子电压表的分压器	(64)
5.3.3 电子电压表的检波器	(66)

5.3.4	电子电压表的放大器	(69)
5.3.5	三种检波方式电压表的比较	(70)
5.4	数字式多用表	(70)
5.4.1	数字电压表的分类	(71)
5.4.2	数字电压表的主要技术指标	(72)
5.4.3	数字电压表的工作原理	(73)
5.5	电压测量的应用	(77)
5.5.1	直流电压的测量	(77)
5.5.2	交流电压的测量	(79)
5.5.3	分贝的测量	(80)
5.5.4	失真度的测量	(82)
5.5.5	噪声电压的测量	(84)
	本章小结	(85)
	思考与练习 5	(85)
第 6 章	时间与频率的测量	(87)
6.1	概述	(87)
6.2	电子计数器及其应用	(88)
6.2.1	电子计数器面板及控键示意图	(88)
6.2.2	电子计数器的主要电路技术	(89)
6.2.3	电子计数器测量频率	(90)
6.2.4	电子计数器测量周期	(95)
6.2.5	电子计数器的累加计数和计时	(97)
6.2.6	电子计数器测量频率比	(97)
6.2.7	电子计数器测量时间间隔	(98)
6.2.8	电子计数器的自校	(99)
6.2.9	提高测量准确度的方法	(100)
6.3	其他测量时间和频率的方法	(102)
6.3.1	谐振法测频	(103)
6.3.2	电桥法测频	(104)
6.3.3	频率-电压转换法测频	(105)
6.3.4	比较法测频	(105)
6.3.5	示波器测频	(106)
	本章小结	(106)
	思考与练习 6	(106)
第 7 章	测量用信号源	(108)
7.1	概述	(108)
7.1.1	测量用信号源的作用与分类	(108)
7.1.2	正弦信号发生器的组成	(109)
7.1.3	正弦信号发生器的主要性能指标	(110)
7.2	低频信号发生器	(112)

7.2.1	低频信号发生器的主要性能指标	(112)
7.2.2	低频信号发生器的基本组成与原理	(112)
7.2.3	低频信号发生器的应用	(116)
7.3	函数信号发生器	(117)
7.3.1	函数信号发生器的基本组成与原理	(117)
7.3.2	函数信号发生器的典型电路	(118)
7.3.3	函数信号发生器的性能指标	(121)
7.3.4	函数信号发生器的应用	(121)
7.4	高频信号发生器	(122)
7.4.1	高频信号发生器的基本组成与原理	(122)
7.4.2	高频信号发生器的分类	(122)
7.4.3	调谐信号发生器	(122)
7.4.4	锁相信号发生器	(123)
7.4.5	高频信号发生器的其他单元电路	(123)
7.5	合成信号发生器	(124)
7.5.1	频率合成的定义	(124)
7.5.2	直接合成法	(125)
7.5.3	间接合成法	(126)
7.5.4	频率合成器应用举例	(129)
7.6	扫频信号发生器	(130)
7.6.1	概述	(130)
7.6.2	扫频振荡器的工作原理	(131)
7.6.3	扫频法测试的基本原理	(134)
7.7	脉冲信号发生器	(134)
7.8	测量信号源的选择和使用	(135)
	本章小结	(136)
	思考与练习 7	(137)
第 8 章	示波测试技术	(138)
8.1	概述	(138)
8.1.1	示波器的分类	(138)
8.1.2	示波器的主要技术指标	(139)
8.2	示波测试的基本原理	(139)
8.2.1	示波器的测试过程	(139)
8.2.2	阴极射线示波管	(140)
8.2.3	图像显示的基本原理	(142)
8.3	通用示波器	(148)
8.3.1	通用示波器的组成	(148)
8.3.2	通用示波器的垂直通道	(148)
8.3.3	通用示波器的水平通道	(150)
8.3.4	通用示波器的其他电路	(156)

8.3.5	示波器的多波形显示	(156)
8.4	取样示波器	(158)
8.4.1	概述	(158)
8.4.2	取样示波器的工作原理	(160)
8.5	记忆示波器和存储示波器	(164)
8.6	数字存储示波器	(164)
8.6.1	数字存储示波器的性能特点	(164)
8.6.2	数字存储示波器的工作原理	(165)
8.6.3	数字存储示波器的显示方式	(166)
8.6.4	数字存储示波器的技术指标	(167)
8.7	示波器的基本测试技术	(168)
8.7.1	示波器的选择	(168)
8.7.2	示波器的正确使用	(169)
8.7.3	用示波器测量电压	(171)
8.7.4	用示波器测量时间和频率	(174)
8.7.5	用示波器测量相位	(176)
8.7.6	数字存储示波器的测试及应用	(178)
8.7.7	示波器功能的扩展	(179)
	本章小结	(180)
	思考与练习 8	(181)
第 9 章	频域测试技术	(182)
9.1	概述	(182)
9.2	频率特性测试仪	(183)
9.2.1	频率特性的基本测量方法	(183)
9.2.2	频率特性测试仪的工作原理	(184)
9.2.3	频率特性测试仪的主要技术指标	(185)
9.2.4	频率特性测试仪的主要应用	(187)
9.3	频谱分析仪	(190)
9.3.1	频谱分析的基本概念	(190)
9.3.2	频谱分析仪的工作原理	(193)
9.3.3	常用频谱分析仪介绍	(194)
9.3.4	频谱分析仪的主要技术指标	(197)
9.3.5	频谱分析仪的测试实例	(199)
	本章小结	(203)
	思考与练习 9	(203)
第 10 章	数据域测试技术	(205)
10.1	概述	(205)
10.1.1	数据域测试的基本概念	(205)
10.1.2	数字系统的故障和故障模型	(207)
10.2	逻辑电路的简易测试	(208)

10.3	逻辑分析仪	(209)
10.3.1	概述	(209)
10.3.2	逻辑分析仪的基本组成	(211)
10.3.3	逻辑分析仪的触发方式	(211)
10.3.4	逻辑分析仪的显示方式	(213)
10.3.5	逻辑分析仪的基本应用	(215)
10.3.6	模块化的逻辑分析仪	(217)
	本章小结	(218)
	思考与练习 10	(218)
第 11 章	光纤通信测试技术	(219)
11.1	光纤通信测试的基本概念	(219)
11.2	光纤与无源光器件的测试	(220)
11.2.1	光纤衰减系数 α 测试	(220)
11.2.2	光纤带宽的测试	(221)
11.2.3	光纤无源器件的特性测试	(222)
11.3	光源与光发送机的测试	(225)
11.3.1	数字光发送机的性能描述	(225)
11.3.2	数字光发送机的主要性能指标	(225)
11.3.3	数字光发送机的特性测试	(226)
11.3.4	模拟光发送机的特性测试	(227)
11.3.5	中继距离的测试	(227)
11.4	光检测器与光接收机	(228)
11.4.1	模拟光接收机性能指标测试	(228)
11.4.2	数字光接收机性能指标	(228)
11.4.3	数字光接收机性能指标的测试	(230)
11.5	常用光纤通信仪表与应用	(233)
11.5.1	稳定光源	(233)
11.5.2	光功率计	(234)
11.5.3	光时域反射计 (OTDR)	(234)
11.5.4	误码仪	(236)
11.5.5	抖动测试仪	(238)
	本章小结	(239)
	思考与练习 11	(239)
第 12 章	计算机测试技术	(240)
12.1	概述	(240)
12.2	智能仪器	(240)
12.3	自动测试系统	(242)
12.4	虚拟仪器	(245)
12.4.1	虚拟仪器概述	(245)
12.4.2	虚拟仪器的构建技术	(246)

12.4.3 虚拟仪器的设计方法	(247)
12.4.4 虚拟仪器的设计实例	(251)
12.4.5 可互换虚拟仪器 (IVI)	(253)
12.4.6 网络化仪器与远程测控技术	(254)
本章小结	(255)
思考与练习 12	(255)

第1章 绪 论

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0.1V/格，则被测电压峰-峰值 $V_{P-P}=3 \text{ 格} \times 0.1\text{V/格}=0.3\text{V}$ 。

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，可以先直接测量电阻

R 两端电压 U 以及流过电阻 R 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。

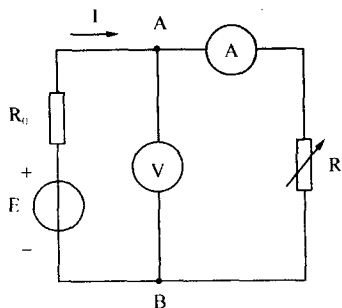


图 1.1 用组合测量法测量有源二端网络的内阻

(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的内阻 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

$$E=I_1R_0+U_{AB1}$$

$$E=I_2R_0+U_{AB2}$$

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，有的被测量可能采用直接测量手段测量，有的被测量需要采用间接测量手段测量，有的则需要采用组合测量法测量。

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际的重要途径，没有测量就没有计量，没有计量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，测量与计量必须相辅相成。

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类比的速度。

2. 测量频率范围宽和测试动态范围广

采用电子测量技术测量，除可测量直流外，还可测量交流。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很多，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 $10^{-11} \sim 10^{-14}$ 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接，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，降低了构建仪器的成本。

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、噪声系数等。
- (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。后续章节中将详细分析表 1.1 中所列的测量方法、测量对象的特点，并详细分析相对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、并行数据及任意数据流信号
	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
光通信域测量	光功率计	对光功率大小进行测量
	光时域反射计	测量光纤故障点的位置、测量光纤损耗、光纤接头损耗及光纤长度
	稳定光源	提供测试用标准光源
	误码、抖动仪	用于测定和分析误码率、抖动

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，是电子测量仪器数字化与数字信息系统相结合的产物，它是电子测量技术又一次飞跃，真正实现了高速度、高精度、多参数和多功能测试。

虚拟仪器的出现则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、高速综合化发展。