



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



电子·教育

应用电子技术专业

电子测量技术 (第3版)

张永生 陆绮荣 主 编
吴有恩 副主编
柳桂国 主 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



教育部
國民中學課程標準



電子測量技術 (第三版)

主編 謝國興
編者 謝國興 謝國興 謝國興
謝國興 謝國興 謝國興

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 3 版)

陆绮荣 主 编

张永生
副主编

吴有恩

柳桂国 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书包含五大部分内容。第一部分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；第二部分阐述电子测量基本原理和电子测量技术的应用；第三部分介绍光纤通信系统的参数和光通信测试仪表的应用；第四部分介绍计算机测试技术及其在新领域中的应用；第五部分通过项目实施过程的要求和内容，实现测试理论综合应用，实现理论与实际的结合。

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，以便读者跟踪电子测量技术的新发展。

本教材适合高等职业教育电子、自动化、通信等专业教学使用，也可作为成人高等教育相关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. —3 版. —北京：电子工业出版社，2010.8

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 978-7-121-11261-4

I. ①电… II. ①陆… III. ①电子测量—高等学校：技术学校—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 127253 号

策 划：陈晓明

责任编辑：赵云峰 特约编辑：张晓雪

印 刷：北京京师印务有限公司

装 订：北京京师印务有限公司

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：18.75 字数：480 千字

印 次：2010 年 11 月第 2 次印刷

印 数：3 000 册 定价：31.00 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，联系及邮购电话：（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。

第3版前言

《电子测量技术》2003年8月第1次印刷,随后3年重印了8次;2007年1月出版的《电子测量技术》(第2版)在第1版的基础上修订,考虑到我国光通信事业的蓬勃发展要求,特别增加了光纤通信系统的参数和光通信测试仪表的应用章节。第2版教材截至目前也已印刷11次。在教材使用过程中,读者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;《电子测量技术》(第2版)获教育部“2007年度普通高等教育精品教材”称号。荣誉的获得是专家和读者对我们编写者的最好肯定,同时也是对我们的鼓励和鞭策。在众多的读者群中,教师和学生占了绝大多数,他们通过邮件和来信,询问和探讨教材中涉及知识点的描述和习题的解答,尤其是学生,他们渴望知识,渴望教材的理论能直接运用到实际中,甚至有的学生把化学分析等其他课程涉及的测试问题也发邮件与我们探讨。读者的需求让我们编写者不断思考,重新审视电子测量技术的服务领域。通常,我们对电子测量技术的理解只是狭义上的理解,即电子测量是指在电子学中对有关电的量值的测量,电子测量技术服务于通信、自动化、电子信息等与电相关领域;事实上正如我们在教材的第1章所描述,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,电子测量技术可以广泛运用于自然科学的一切领域。

恰逢在此期间,教材的主编者之一在日本名古屋工业大学做半导体性能及太阳能电池的评价合作研究,看起来这跟电子测量技术关联不大,但事实上评价体系指标的很多项是由电子测量技术来完成的,如欧姆接触、肖特基势垒性能评价、少数载流子寿命等。这给我们教材改进提供了一个新的思路,虽然测试对象千变万化,测量的基本方法和基本原理是不变的。考虑教材的可持续发展和高等职业教育技能型、实用型的要求,第3版教材借鉴日本大学教育理念、结合合作研究的内容,选择了具有代表性的测试评价内容,以实际项目形式展示给读者,希望起到抛砖引玉的作用,给读者以新的启发。

本书由桂林理工大学陆绮荣担任主编,并负责全书的统稿工作;安徽电子信息职业技术学院张永生、江西渝州科技职业学院吴有恩担任副主编。宁波职业技术学院柳桂国主审了全书。本书在编写过程中,得到了桂林理工大学、江西渝州科技职业学院、安徽电子信息职业技术学院的大力支持和协助;同时也得到日本名古屋工业大学电气电子工学部市村·加藤研究室的大力支持和协助。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,向所有参考文献的作者表示崇高的敬意,谢谢广大读者的支持和鼓励。

由于电子测量技术的发展迅速,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
2010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）

桂林理工大学南宁分院

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

重庆科技学院

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

重庆电子工程职业学院

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

广东师范职业技术学院

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

三峡电力职业学院

桂林电子工业学院高职学院

桂林理工大学

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
合肥通用职业技术学院
安徽职业技术学院
上海电子信息职业技术学院
上海天华学院
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
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
江门职业技术学院
广西工业职业技术学院
广州今明科技公司
无锡工艺职业技术学院
江阴职业技术学院
南通航运职业技术学院
山东电子职业技术学院
潍坊学院
广州轻工高级技工学校
江苏工业学院
长春职业技术学院

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)
习题 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	(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	(19)
2.5.1 测量结果的评价	(19)
2.5.2 测量数据的整理	(20)
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)
2.7	项目 1 常用电子测量仪器的校准	(24)
2.7.1	项目内容	(24)
2.7.2	项目相关知识点提示	(25)
2.7.3	项目实施和结论	(25)
	本章小结	(29)
	习题 2	(29)
第 3 章	电路元件参数的测量	(30)
3.1	概述	(30)
3.2	电路元件参数的测量	(30)
3.2.1	电阻和电位器的测量	(30)
3.2.2	电容的测量	(33)
3.2.3	电感的测量	(37)
3.2.4	半导体二极管参数的测量	(40)
3.2.5	半导体三极管参数的测量	(42)
3.3	晶体管特性图示仪的工作原理与应用	(44)
3.3.1	晶体管图示仪的特点	(44)
3.3.2	晶体管图示仪的工作原理	(44)
3.3.3	晶体管图示仪的测试应用	(45)
3.4	集成电路参数的测试	(48)
3.4.1	TTL 与非门外部特性测试	(48)
3.4.2	CMOS 或非门参数测试	(50)
3.5	项目 2 根据元器件报表配备电路元件	(51)
3.5.1	项目内容	(51)
3.5.2	项目相关知识点提示	(51)
3.5.3	项目实施和结论	(52)
	本章小结	(55)
	习题 3	(56)
第 4 章	电流的测量	(57)
4.1	概述	(57)
4.2	直流电流的测量	(57)
4.2.1	直流电流测量的一般方法	(57)
4.2.2	模拟直流电流表的工作原理	(57)
4.2.3	数字式万用表测量直流的原理	(59)
4.2.4	直流电流的测量方案	(59)
4.3	交流电流的测量	(60)
4.3.1	交流电流测量的一般方法	(60)
4.3.2	模拟交流电流表的工作原理	(61)
4.3.3	热电式电流表	(62)

4.3.4	数字式万用表测量交流的原理	(63)
4.4	项目3 半导体二极管伏安特性测量与曲线绘制	(63)
4.4.1	项目内容	(63)
4.4.2	项目相关知识点提示	(63)
4.4.3	项目实施和结论	(64)
	本章小结	(66)
	习题4	(66)
第5章	电压的测量	(67)
5.1	概述	(67)
5.2	模拟式电压表	(69)
5.2.1	简单模拟式直流电压表	(69)
5.2.2	简单模拟式交流电压表	(70)
5.3	电子电压表	(71)
5.3.1	概述	(71)
5.3.2	电子电压表的分压器	(72)
5.3.3	电子电压表的检波器	(73)
5.3.4	电子电压表的放大器	(77)
5.3.5	三种检波方式电压表的比较	(77)
5.4	数字式多用表	(78)
5.4.1	数字电压表的分类	(78)
5.4.2	数字电压表的主要技术指标	(79)
5.4.3	数字电压表的工作原理	(80)
5.5	电压测量的应用	(84)
5.5.1	直流电压的测量	(84)
5.5.2	交流电压的测量	(86)
5.5.3	分贝的测量	(87)
5.5.4	失真度的测量	(89)
5.5.5	噪声电压的测量	(91)
5.6	项目4 电压表波形响应的研究	(92)
5.6.1	项目内容	(92)
5.6.2	项目相关知识点提示	(92)
5.6.3	项目实施和结论	(93)
	本章小结	(98)
	习题5	(98)
第6章	时间与频率的测量	(100)
6.1	概述	(100)
6.2	电子计数器及其应用	(101)
6.2.1	电子计数器面板及控键示意图	(101)
6.2.2	电子计数器的主要电路技术	(102)

6.2.3	电子计数器测量频率	(103)
6.2.4	电子计数器测量周期	(107)
6.2.5	电子计数器的累加计数和计时	(109)
6.2.6	电子计数器测量频率比	(110)
6.2.7	电子计数器测量时间间隔	(110)
6.2.8	电子计数器的自校	(111)
6.2.9	提高测量准确度的方法	(112)
6.3	其他测量时间和频率的方法	(114)
6.3.1	谐振法测频	(115)
6.3.2	电桥法测频	(116)
6.3.3	频率-电压转换法测频	(117)
6.3.4	比较法测频	(117)
6.3.5	示波器测频	(118)
6.4	项目5 测频法和测周法测频误差分析	(118)
6.4.1	项目内容	(118)
6.4.2	项目相关知识点提示	(118)
6.4.3	项目实施和结论	(118)
	本章小结	(121)
	习题6	(121)
第7章	测量用信号源	(123)
7.1	概述	(123)
7.1.1	测量用信号源的作用与分类	(123)
7.1.2	正弦信号发生器的组成	(124)
7.1.3	正弦信号发生器的主要性能指标	(125)
7.2	低频信号发生器	(126)
7.2.1	低频信号发生器的主要性能指标	(127)
7.2.2	低频信号发生器的基本组成与原理	(127)
7.2.3	低频信号发生器的应用	(130)
7.3	函数信号发生器	(131)
7.3.1	函数信号发生器的基本组成与原理	(131)
7.3.2	函数信号发生器的典型电路	(132)
7.3.3	函数信号发生器的性能指标	(135)
7.3.4	函数信号发生器的应用	(135)
7.4	高频信号发生器	(136)
7.5	合成信号发生器	(138)
7.5.1	频率合成的定义	(138)
7.5.2	直接合成法	(139)
7.5.3	间接合成法	(140)
7.5.4	频率合成器应用举例	(143)

7.6	扫频信号发生器	(144)
7.6.1	概述	(144)
7.6.2	扫频振荡器的工作原理	(145)
7.6.3	扫频法测试的基本原理	(147)
7.7	脉冲信号发生器	(148)
7.8	测量信号源的选择和使用	(149)
	本章小结	(150)
	习题 7	(150)
第 8 章	示波测试技术	(152)
8.1	概述	(152)
8.1.1	示波器的分类	(152)
8.1.2	示波器的主要技术指标	(153)
8.2	示波测试的基本原理	(153)
8.2.1	示波器的测试过程	(153)
8.2.2	阴极射线示波管	(154)
8.2.3	图像显示的基本原理	(156)
8.3	通用示波器	(161)
8.3.1	通用示波器的组成	(161)
8.3.2	通用示波器的垂直通道	(161)
8.3.3	通用示波器的水平通道	(163)
8.3.4	通用示波器的其他电路	(169)
8.3.5	示波器的多波形显示	(170)
8.4	取样示波器	(172)
8.4.1	概述	(172)
8.4.2	取样示波器的工作原理	(173)
8.5	记忆示波器和存储示波器	(177)
8.6	数字存储示波器	(178)
8.6.1	数字存储示波器的性能特点	(178)
8.6.2	数字存储示波器的工作原理	(179)
8.6.3	数字存储示波器的技术指标	(180)
8.7	示波器的基本测试技术	(181)
8.7.1	示波器的选择	(181)
8.7.2	示波器的正确使用	(182)
8.7.3	用示波器测量电压	(184)
8.7.4	用示波器测量时间和频率	(186)
8.7.5	用示波器测量相位	(189)
8.7.6	数字存储示波器的测试及应用	(191)
8.7.7	示波器功能的扩展	(192)
8.8	项目 6 函数信号发生器性能指标的测量	(193)

8.8.1	项目内容	(193)
8.8.2	项目所需设备	(193)
8.8.3	项目实施	(193)
	本章小结	(201)
	习题 8	(202)
第 9 章	频域测试技术	(203)
9.1	概述	(203)
9.2	频率特性测试仪	(204)
9.2.1	频率特性的基本测量方法	(204)
9.2.2	频率特性测试仪的工作原理	(205)
9.2.3	频率特性测试仪的主要技术指标	(206)
9.2.4	频率特性测试仪的主要应用	(208)
9.3	频谱分析仪	(211)
9.3.1	频谱分析的基本概念	(211)
9.3.2	常用频谱分析仪介绍	(214)
9.3.3	频谱分析仪的主要技术指标	(217)
9.3.4	频谱分析仪的应用	(218)
9.4	项目 7 二极管开关变频器组合频率的特性分析	(220)
9.4.1	项目内容	(220)
9.4.2	项目相关知识点提示	(220)
9.4.3	项目实施和结论	(221)
	本章小结	(224)
	习题 9	(224)
第 10 章	数据域测试技术	(225)
10.1	概述	(225)
10.1.1	数据域测试的基本概念	(225)
10.1.2	数字系统的故障和故障模型	(227)
10.2	逻辑电路的简易测试	(228)
10.3	逻辑分析仪	(229)
10.3.1	概述	(229)
10.3.2	逻辑分析仪的基本组成	(231)
10.3.3	逻辑分析仪的触发方式	(231)
10.3.4	逻辑分析仪的显示方式	(232)
10.3.5	逻辑分析仪的基本应用	(235)
10.3.6	模块化的逻辑分析仪	(237)
10.4	项目 8 单片机最小系统的性能测试	(237)
10.4.1	项目内容	(237)
10.4.2	项目相关知识点提示	(237)
10.4.3	项目实施和结论	(240)

本章小结	(242)
习题 10	(242)
第 11 章 光纤通信测试技术	(243)
11.1 光纤通信测试的基本概念	(243)
11.2 光纤与无源光器件的测试	(244)
11.2.1 光纤衰减系数 α 测试	(244)
11.2.2 光纤带宽的测试	(245)
11.2.3 光纤无源器件的特性测试	(246)
11.3 光源与光发送机的测试	(249)
11.3.1 数字光发送机的性能描述	(249)
11.3.2 数字光发送机的主要性能指标	(249)
11.3.3 数字光发送机的特性测试	(250)
11.3.4 模拟光发送机的特性测试	(251)
11.3.5 中继距离的测试	(251)
11.4 光接收机	(252)
11.4.1 模拟光接收机性能指标测试	(252)
11.4.2 数字光接收机性能指标	(252)
11.4.3 数字光接收机性能指标的测试	(254)
11.5 常用光纤通信仪表与应用	(256)
11.5.1 稳定光源	(257)
11.5.2 光功率计	(257)
11.5.3 光时域反射计 (OTDR)	(258)
11.5.4 误码仪	(260)
11.5.5 抖动测试仪	(262)
11.6 项目 9 光探测器响应的测量	(262)
11.6.1 项目内容	(262)
11.6.2 项目相关知识点提示	(263)
11.6.3 项目实施和结论	(264)
本章小结	(265)
习题 11	(265)
第 12 章 计算机测试技术	(266)
12.1 概述	(266)
12.2 智能仪器	(266)
12.3 自动测试系统	(268)
12.4 虚拟仪器	(271)
12.4.1 虚拟仪器概述	(271)
12.4.2 虚拟仪器的构建技术	(272)
12.4.3 虚拟仪器的设计方法	(273)
12.4.4 虚拟仪器的设计实例	(277)

12.4.5	可互换虚拟仪器 (IVI)	(278)
12.4.6	网络化仪器与远程测控技术	(279)
12.5	项目 10 个人仪器系统的构建	(280)
12.5.1	项目相关知识点提示	(280)
12.5.2	项目实施和结论	(281)
	本章小结	(285)
	习题 12	(285)

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 $U_{p-p}=3 \text{ 格} \times 0.1\text{V/格} = 0.3\text{V}$ 。

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、干扰信号大小或特征的测量。

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

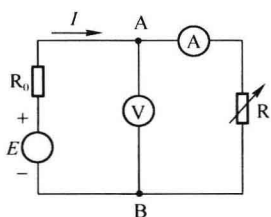


图 1.1 用组合测量法测量有源二端网络的内阻

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。

(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

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

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

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