



电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

电子测量与仪器

(第2版)

陈尚松 郭庆 雷加 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

电子测量与仪器 (第2版)

陈尚松 郭庆雷 加编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书按高等学校电子信息科学与工程类专业类的教学要求编写。内容包括:绪论、误差与不确定度、信号发生器、时频测量、电压测量、时域测量、阻抗测量、频域测量、数据域测试及现代电子测量技术,共10章。每章均附有内容提要、小结和思考题与习题。

本书在选材上具有系统性、先进性和实用性特点。全书深入浅出,图文并茂,内容丰富,适用面广。本书可作为高等学校理工类本科、专科电子信息类专业类的教材或参考书,也可供从事电子技术工作的科技人员参考,还可作为各类成人职业教育的培训教材。

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

电子测量与仪器/陈尚松,郭庆,雷加编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2009.1

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

ISBN 978-7-121-07667-1

I. 电… II. ①陈…②郭…③雷… 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 168519 号

责任编辑:冉 哲

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

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:27.75 字数:710 千字

印 次:2009 年 3 月第 2 次印刷

印 数:3 000 册 定价:39.00 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 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

《电子测量与仪器》教材第1版于2005年1月出版发行,被数十所院校选用,也大受业界科技人员和工厂企业技术人员欢迎。2007年被评为广西优秀教材一等奖。至2008年6月,已重复印刷7次。但是电子测量与仪器技术发展很快,教材中一些内容应与时俱进,在技术上要跟进更新。同时,在教学中发现第1版教材中尚有错漏及不妥之处需要更改。为此,要对第1版教材进行修订。

第2版教材是在第1版教材的基础上进行修订而成的,基本上保留了第1版的主要内容和特色,但也更新了不少重要的内容。以下章节内容变动较大。

第2章修改较多。其中:根据国家计量技术规范《通用计量术语及定义》(JJF1001—1998)对有关误差的名词、定义、性质做了修正;增加了用极差法求标准差的方法;粗大误差检验法中删去了肖维纳检验法,而加入了中位数检验法;对国家计量技术规范《测量不确定度评定与表示》(JJF1059—1999)做了较深入的探讨,加深了对不确定度的理解,完善了对不确定度的评定方法,尤其在测量不确定度的合成中,增加了对间接测量量不确定度的合成,规范了测量不确定度的计算步骤和表示方法。本章修订后会更有利于对误差和不确定度的理解与应用。

第3章中,对信号发生器的分类以表格形式做了补充说明;高频信号发生器使用中的内容做了些调整;增补了脉冲信号发生器的波形图;在直接数字频率合成信号源中,增加了任意波发生器;最后专门增加了一节,较详细地介绍了射频信号源。

第4章在短期频率稳定度的测量中,用图形直观地说明了相位噪声的概念并简化了测量方法;增加了频率标准源。

第5章增补了峰值检波器工作原理的波形图;对数字电压表的分辨率、最大允许误差和不确定度做了修正和补充;更换了双斜积分式A/D转换器工作原理中的波形图;增加了低电平测量中电压测量极限的概念。

第6章从显示屏出发分别介绍示波管和TFT液晶屏;数字示波器波形显示技术中增加了样点的抽取和内插技术;增补了多种触发类型的原理与用途。

第8章增加了扫频信号源;补充了数字式扫频仪实例;在频谱仪实例2中补充了对预调器的说明;增加一节,介绍实时频谱仪的工作原理。

第10章增加了一节,较详细地介绍了LXI总线。

第1、7、9章没有大的修改。在部分章节中也删去了一些应用价值不大的内容。

修订后的第2版教材具有以下特点。

1. 相比同类教材内容较新、实用性强。在《国外电子测量技术》杂志社和相关国内外厂商帮助下更新了教材中各种仪器参数,增加了一些新型仪器。

2. 按国家技术规范对误差与不确定度做了精炼的阐述,删繁就简,概念明确,计算方法步骤清晰,更便于学习理解与实际应用。

3. 按发展历程讲解仪器原理,容易入门,叙述深入浅出,图文并茂,适合自学,同时也包含扩展或深入的内容,可供教学和科研的不同需求选用。

4. 理论联系实际,既讲电子测量原理,又讲具体仪器应用,通过实例与仪器型号参数介绍,加深对仪器的认识和对国内外技术水平的了解。

5. “弘扬民族品牌,宣讲国产仪器”。教材中列举了国产仪器型号、参数及实例,以树立民族自信心,激励我国电子仪器事业的发展。

第2版修订工作主要由陈尚松、郭庆及雷加3位教授完成。李长俊、胡鸿志、胡锦涛老师为教材修订提了不少很好的意见。冯雪、王鹏举两位研究生为教材的绘图、排版做了大量艰苦而细致的工作。北京《仪器仪表学报》译审汪铁华老师帮助审定了译文资料。在修订中参考、引用了相关教材、论文中的有关内容,除列入参考文献外,在此顺致诚挚的感谢。

第2版修订工作得到了桂林电子科技大学有关领导的支持与帮助;得到了《国外电子测量技术》、《电子测量与仪器》杂志社的支持和帮助;得到了中国电子科技集团公司第41研究所、石家庄无线电四厂、北京普源精电科技有限公司和成都前锋电子仪器厂等单位的支持和帮助;得到了采用本书作为教材的兄弟院校任课老师的支持和帮助,得到了电子工业出版社的支持和帮助,在此,一并致以衷心的感谢!

由于作者水平所限,错漏和不当之处,恳请同行和读者批评指正。尤其是对选用本书作为教材的老师,欢迎加强联系,共同切磋书中的内容及习题的解答,探讨教学心得,共同教好这门课程。书中标有※号的章节,是供不同教学计划要求选用的内容。本书配有电子课件及习题解答,可向任课老师免费提供。

联系地址:桂林电子科技大学电子工程学院 陈尚松

邮编:541004

电话:0773-5601254/5601047/5601522

E-mail:tcr@guet.edu.cn

陈尚松

2008年11月于桂林电子科技大学

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 电子测量概述	(1)
1.1.1 测量及其重要意义	(1)
1.1.2 电子测量的任务与内容	(1)
1.1.3 电子测量的特点	(2)
1.1.4 电子测量的方法	(3)
1.2 电子测量仪器概述	(5)
1.2.1 电子测量仪器的功能	(5)
1.2.2 电子测量仪器的分类	(6)
1.2.3 电子测量仪器的主要性能指标	(7)
1.3 计量的基本概念	(8)
1.3.1 计量	(8)
1.3.2 单位制	(9)
1.3.3 计量基准	(9)
1.3.4 量值的传递与跟踪、检定与比对	(10)
1.4 电子测量仪器的发展概况	(11)
1.5 本课程任务	(12)
本章小结	(13)
思考题与习题	(14)
第 2 章 误差与不确定度	(15)
2.1 误差的概念与表示方法	(15)
2.1.1 测量误差	(15)
2.1.2 误差的表示方法	(17)
2.1.3 误差的性质与分类	(19)
2.2 随机误差	(21)
2.2.1 定义与性质	(21)
2.2.2 随机误差的统计处理	(23)
2.2.3 有限次测值的算术平均值和标准差	(25)
2.2.4 测量结果的置信度	(28)
2.2.5 非等精度测量	(31)
2.3 粗大误差	(33)
2.3.1 莱特检验法	(33)
2.3.2 格拉布斯检验法	(33)

2.3.3	中位数检验法	(34)
2.3.4	应用举例	(35)
2.4	系统误差	(36)
2.4.1	系统误差的产生原因	(36)
2.4.2	系统误差的检查和判别	(36)
2.4.3	削弱系统误差的典型技术	(39)
2.4.4	重复性测量结果的数据处理	(42)
2.5	误差的合成与分配	(43)
2.5.1	测量误差的合成	(43)
2.5.2	测量误差的分配	(47)
2.5.3	最佳测量方案的选择	(49)
2.6	测量不确定度	(50)
2.6.1	测量不确定度概述	(50)
2.6.2	标准不确定度的评定	(53)
2.6.3	测量不确定度的合成	(56)
2.6.4	扩展(展伸)不确定度	(59)
2.6.5	不确定度的报告	(60)
2.6.6	测量不确定度的应用与实例	(61)
2.7	测量数据处理	(63)
2.7.1	有效数字的处理	(63)
2.7.2	测量数据的表示方法	(66)
	本章小结	(68)
	思考题与习题	(71)
第3章	信号发生器	(75)
3.1	信号发生器概述	(75)
3.1.1	信号发生器的功用	(75)
3.1.2	信号发生器的分类	(75)
3.1.3	正弦信号发生器的性能指标	(77)
3.2	模拟信号发生器	(80)
3.2.1	低频信号发生器	(80)
3.2.2	高频信号发生器	(83)
3.2.3	脉冲信号发生器	(87)
3.2.4	函数信号发生器	(89)
3.2.5	噪声发生器	(90)
3.3	合成信号发生器	(90)
3.3.1	直接模拟频率合成法	(91)
3.3.2	直接数字频率合成法	(92)
3.3.3	间接合成法	(98)

3.3.4	频率合成技术的进展	(103)
3.4	射频合成信号发生器(数字调制信号源、矢量信号源)	(106)
3.4.1	射频合成信号发生器基本原理	(106)
3.4.2	实例1——AV1485 数字调制信号发生器	(107)
3.4.3	实例2——QF1484 矢量信号发生器	(109)
	本章小结	(110)
	思考题与习题	(112)
第4章	时频测量	(114)
4.1	概述	(114)
4.1.1	时频关系	(114)
4.1.2	时频基准	(115)
4.1.3	频率测量方法	(116)
4.2	电子计数法测量频率	(116)
4.2.1	电子计数法测频原理	(116)
4.2.2	误差分析计算	(119)
4.2.3	结论	(120)
4.3	电子计数法测量时间	(121)
4.3.1	电子计数法测量周期的原理	(121)
4.3.2	电子计数器测量周期的误差分析	(122)
4.3.3	中界频率	(125)
4.3.4	时间间隔的测量	(126)
4.4	通用计数器	(128)
4.4.1	概述	(128)
4.4.2	通用计数器的功能	(129)
4.4.3	单片通用计数器	(130)
※4.5	电子计数器性能的改进	(132)
4.5.1	多周期同步测频	(132)
4.5.2	提高测时分辨率的办法	(133)
4.5.3	微波计数器	(136)
※4.6	标准频率源的测量	(139)
4.6.1	频率稳定度的定义	(139)
4.6.2	长期频率稳定度的表征	(139)
4.6.3	短期频率稳定度的表征	(141)
4.6.4	标准频率源	(146)
4.7	调制域测量	(147)
4.7.1	调制域分析概述	(147)
4.7.2	调制域分析的关键技术	(147)
4.7.3	调制域分析仪的应用	(149)

本章小结.....	(151)
思考题与习题.....	(152)
第5章 电压测量	(154)
5.1 概述	(154)
5.1.1 电压测量的重要性	(154)
5.1.2 对电压测量的基本要求	(154)
5.1.3 电压测量仪器的分类	(155)
※5.2 模拟式直流电压的测量	(155)
5.2.1 三用表中的直流电流、电压测量	(155)
5.2.2 直流电子电压表	(158)
5.3 交流电压的测量	(158)
5.3.1 交流电压的表征	(158)
5.3.2 交流电压的测量	(161)
※5.3.3 高频电压的测量	(167)
5.3.4 电平(分贝)的测量	(169)
※5.3.5 噪声的测量	(170)
※5.3.6 脉冲电压的测量	(171)
5.4 数字电压表概述	(171)
5.4.1 数字电压表的组成原理	(171)
5.4.2 数字电压表的主要工作特性	(172)
5.4.3 数字电压表的分类	(176)
5.5 积分式 A/D 转换器.....	(176)
5.5.1 双斜积分式 A/D 转换器.....	(176)
※5.5.2 脉冲调宽式 A/D 转换器原理	(182)
※5.5.3 压频(V/F)式 A/D 转换器原理	(184)
※5.5.4 $\Sigma-\Delta$ 型 A/D 转换器	(187)
5.5.5 积分式 A/D 转换器的发展	(188)
5.6 比较式 A/D 转换器.....	(191)
5.6.1 逐次逼近比较式 A/D 转换器	(192)
5.6.2 余数循环比较式 A/D 转换器	(194)
5.6.3 并联比较式 A/D 转换器(Flash A/D)	(196)
※5.6.4 分级型(流水线式)A/D 转换器	(197)
5.7 数字多用表	(199)
5.7.1 交流—直流(AC—DC)转换器	(199)
5.7.2 电流—电压(I—V)转换器	(200)
5.7.3 电阻—电压(R—V)转换器	(201)
5.7.4 数字多用表的发展近况	(202)
5.8 数字电压表的误差与干扰	(204)

5.8.1	数字电压测量误差公式	(204)
5.8.2	数字电压表主要部件误差分析	(205)
5.8.3	数字电压测量的误差合成	(207)
5.8.4	电压测量的干扰及其抑制技术	(208)
本章小结		(214)
思考题与习题		(216)
第 6 章 时域测量		(219)
6.1	时域测量引论	(219)
6.1.1	示波器的功用	(219)
6.1.2	示波器的分类	(219)
6.1.3	示波器的组成	(220)
6.2	显示屏	(220)
6.2.1	示波管	(221)
※6.2.2	平板显示技术	(224)
6.3	波形显示原理	(226)
6.3.1	显示随时间变化的图形	(226)
6.3.2	显示两个变量之间的关系	(229)
※6.3.3	光栅显示原理	(230)
6.4	通用示波器	(232)
6.4.1	通用示波器的组成	(232)
6.4.2	示波器的 Y(垂直)通道	(232)
6.4.3	示波器的 X(水平)通道	(236)
6.4.4	示波器的多波形显示	(242)
6.4.5	通用示波器的应用	(244)
6.5	取样技术在示波器中的应用	(251)
6.5.1	取样示波器的基本原理	(251)
6.5.2	取样示波器的基本组成	(253)
6.6	数字示波器	(254)
6.6.1	数字示波器的组成原理	(254)
6.6.2	信号的采集处理技术	(258)
6.6.3	波形显示技术	(267)
6.6.4	技术性能指标	(269)
6.6.5	基本功能	(271)
6.6.6	数字示波器的应用	(276)
本章小结		(277)
思考题与习题		(279)
第 7 章 阻抗测量		(281)
7.1	概述	(281)

7.1.1	阻抗的定义与表示式	(281)
7.1.2	阻抗元件 R、L、C 的基本特性	(281)
7.1.3	阻抗的测量特点和方法	(283)
7.2	电阻的测量	(284)
7.2.1	伏安法	(284)
7.2.2	三用表中的电阻挡	(285)
7.2.3	电桥法	(288)
7.3	电感、电容的测量	(288)
7.3.1	电桥法	(288)
7.3.2	谐振法(Q 表)	(291)
7.3.3	数字化方法	(294)
	本章小结	(300)
	思考题与习题	(300)
第 8 章	频域测量	(302)
8.1	线性系统幅频特性的测量	(302)
8.1.1	静态频率特性测量——点频法	(303)
8.1.2	动态频率特性测量——扫频法	(303)
8.1.3	扫频仪举例 1——BT-3 型频率特性测试仪	(306)
8.1.4	扫频仪举例 2——SA1030 数字式频率特性测试仪	(309)
※8.2	微波网络分析仪	(311)
8.2.1	微波网络特性参数	(311)
8.2.2	网络分析仪的组成	(314)
8.2.3	标量网络分析仪	(316)
8.2.4	矢量网络分析仪	(319)
8.2.5	微波自动网络分析仪	(322)
8.3	频谱分析仪概述	(323)
8.3.1	信号的时域与频域分析	(323)
8.3.2	频谱仪的主要用途	(324)
8.3.3	频谱仪的分类	(324)
8.3.4	频谱仪的工作原理	(324)
8.4	扫频式频谱分析仪	(326)
8.4.1	工作原理	(326)
8.4.2	实例 1——BP-1 型频谱仪	(326)
8.4.3	实例 2——AV4032 系列频谱仪	(328)
※8.5	实时频谱分析仪(RTSA)	(331)
8.5.1	概述	(331)
8.5.2	工作原理	(331)
8.5.3	典型产品特性与应用	(334)

8.6	频谱仪的主要技术特性	(334)
8.6.1	选择性	(334)
8.6.2	灵敏度	(337)
8.6.3	动态范围	(338)
8.6.4	典型产品简介	(340)
8.7	频谱仪的应用	(340)
8.7.1	正弦信号的测量	(340)
8.7.2	调幅信号的测量	(343)
8.7.3	调频信号的测量	(345)
8.7.4	脉冲调制信号的测量	(347)
8.7.5	复合信号频谱的测量	(349)
8.7.6	相位噪声的测量	(350)
	本章小结	(350)
	思考题与习题	(351)
第9章	数据域测试	(352)
9.1	数据域测试概述	(352)
9.1.1	数据域的基本概念	(352)
9.1.2	数据域测试的任务与故障模型	(353)
9.1.3	数据域测试系统与仪器	(355)
9.2	逻辑分析仪的组成原理	(359)
9.2.1	逻辑分析仪的特点和分类	(359)
9.2.2	逻辑分析仪的基本组成原理	(360)
9.2.3	逻辑分析仪的触发方式	(360)
9.2.4	逻辑分析仪的数据捕获和存储	(363)
9.2.5	逻辑分析仪的显示	(366)
9.2.6	逻辑分析仪的主要性能指标及发展趋势	(367)
9.2.7	逻辑分析仪的应用	(369)
9.3	可测性设计	(372)
9.3.1	概述	(372)
9.3.2	扫描设计技术	(372)
9.3.3	内建自测试技术	(374)
9.3.4	边界扫描测试技术	(376)
9.4	数据域测试的应用	(378)
9.4.1	误码率测试	(378)
9.4.2	嵌入式系统测试	(380)
	本章小结	(384)
	思考题与习题	(385)

第 10 章 现代电子测量技术	(386)
10.1 自动测试系统	(386)
10.1.1 自动测试系统(CAT 平台)的基本组成	(386)
10.1.2 自动测试系统的发展概况	(388)
10.2 智能仪器	(391)
10.2.1 智能仪器的特点	(391)
10.2.2 智能仪器的组成	(391)
10.3 虚拟仪器	(393)
10.3.1 虚拟仪器的基本概念和特点	(393)
10.3.2 虚拟仪器的组成及关键技术	(394)
10.3.3 基于不同仪器总线的虚拟仪器的比较	(395)
10.3.4 虚拟仪器软件结构	(396)
10.4 接口总线及信道	(397)
10.4.1 测试系统中常用的接口总线及信道	(397)
10.4.2 GPIB 接口总线	(404)
10.4.3 VXI 总线	(407)
10.4.4 LXI 总线	(411)
10.5 测试软件	(416)
10.6 自动测试系统的集成	(418)
10.6.1 自动测试系统集成的步骤	(418)
10.6.2 自动测试系统集成实例 1——导弹综合测试系统	(419)
10.6.3 自动测试系统集成实例 2——无人值守机房自动监测系统	(421)
10.6.4 自动测试系统集成实例 3——网络自动气象站	(424)
本章小结	(425)
思考题与习题	(426)
附录 A 正态分布在对称区间的积分表	(427)
附录 B t 分布在对称区间的积分表	(428)
附录 C 电子测量仪器相关网址	(429)
参考文献	(431)

第1章 绪 论

本章要点

- 测量的重要意义,电子测量的内容、特点与方法
- 电子测量仪器的功能、分类和主要技术指标
- 计量的概念、基准和量值传递
- 电子测量仪器的发展概况

1.1 电子测量概述

1.1.1 测量及其重要意义

测量是人类认识和改造世界的一种重要手段。在人们对客观事物的认识过程中,需要进行定性、定量的分析,定量分析就需要进行测量。测量是通过实验方法对客观事物取得定量数据的过程。通过大量的观察和测量,人们逐步准确地认识各种客观事物,建立起各种定理和定律。例如,牛顿的三大定律,如果没有大量测量验证,就不可能得出这样的科学结论。所以,门捷列夫在论述测量的意义时说过一句名言:“**没有测量,就没有科学。**”

科学的进步,生产的发展,都需要用测量技术进行定量分析,以取得科学的数据。离开测量,人类就不能真正准确地认识世界,也不能生产出合格的产品。尤其是现代化工业大生产,用在测量上的工时和费用占生产总成本的比例越来越大。例如,在大规模集成电路的生产成本中,测量成本已超过50%。因此,提高测量水平,降低测量成本,对国民经济各个领域的发展都是至关重要的。

在各个历史时期,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。因此,努力提高测量水平,实现测量手段和方法的现代化,是实现科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。

在当今信息时代,测量技术(获取信息)、通信技术(传递信息)和计算机技术(处理信息)被称为信息社会三大支柱。

可见,测量技术是一门很重要的科学技术。

1.1.2 电子测量的任务与内容

电子测量是测量领域的主要组成部分,它泛指以电子技术为基本手段的测量技术。电子测量主要是运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量,同时还可以通过各种传感器把非电量转换成电量来进行测量。因此,电子测量不仅用于电子领域,而且广泛用于物理学、化学、光学、机械学、材料学、生物学和医学等科学领域,以及生产、国防、交通、商贸、农业、环保乃至日常生活的各个方面。

近几十年来,由于计算机技术和微电子技术的迅猛发展,使电子测量技术发生了质的飞跃。计算机技术与电子测量仪器相结合,构成了新一代的智能仪器和自动测试系统。这不

仅改变了一些传统的测量观念,对整个电子技术和其他科学技术也都产生了巨大的推动作用。

通常,人们把电参数测量分为电磁测量和电子测量两类。电磁测量主要是指交直流电量的指示测量法、比较测量法及磁量的测量等。电子测量是指以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,对电量或非电量进行的测量。其中,电量测量可分为以下几个方面。

1) 电能量测量

电能量测量包括各种频率、波形下的电压、电流和功率等的测量。

2) 电信号特性测量

电信号特性测量包括波形、频率、周期、相位、失真度、调幅度、调频指数及数字信号的逻辑状态等的测量。

3) 电路元器件参数测量

电路元件参数测量包括电阻、电感、电容、阻抗、品质因数及电子器件的参数等的测量。

4) 电子设备的性能测量

电子设备的性能测量包括增益、衰减、灵敏度、频率特性和噪声指数等的测量。

在上述各项测量内容中,尤以频率、时间、电压、相位、阻抗等基本电参数的测量更为重要,它们往往是其他参数测量的基础。例如,放大器的增益测量实际上就是其输入/输出端电压的测量,脉冲信号波形参数的测量可归结为电压和时间的测量。在许多情况下,不方便进行电流测量,就以电压测量来代替。同时,由于时间和频率测量具有其他测量所不可比拟的精确性,因此人们越来越关注把其他待测量转换成时间或频率进行测量的方法和技术。

在科学研究和生产实践中,常常需要对许多非电量进行测量。非电量是指各种非电物理量,如压力、位移、温度、湿度、亮度、颜色、物质成分等。非电量测量可以通过各种对应的敏感元件(通常称为传感器),将被测物理量转换成与之相关的电压、电流等,而后再通过对电压、电流的测量,得到被测物理量的大小。传感技术的发展为这类测量提供了新的方法和途径。

1.1.3 电子测量的特点

与其他测量方法和测量仪器相比,电子测量和电子测量仪器具有以下特点。

1. 测量频率范围宽

电子测量中所遇到的测量对象,其频率覆盖范围很宽,低至 10^{-6} Hz 以下,高至 10^{12} Hz 以上。当然,不能要求同一台仪器在这样宽的频率范围内工作。通常,要根据不同的工作频段,采用不同的测量原理并使用不同的测量仪器,例如,超低频信号发生器、音频信号发生器、高频信号发生器等。当然,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地被研制出来,例如,现在一台较为先进的频率计,频率测量范围为 $10^{-6} \sim 10^{11}$ Hz。

2. 测量量程宽

量程是指测量范围的上、下限值之差或上、下限值之比。电子测量的另一个特点是被测对象量值大小相差悬殊。例如,地面上接收到的宇宙飞船自外空发来的信号功率,低到 10^{-14} W 数量级;而远程雷达发射的脉冲功率,可高达 10^8 W 以上,两者之比为 $1:10^{22}$ 。在一般情况下,使用同一台仪器,同一种测量方法,是难以覆盖如此宽广的量程的。如前所述,随着电子测量技术的不断发展,单台测量仪器的量程也可以达到很宽。例如,高档次的数字万用表可直接测量的电阻值的范围为 $3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^8 \Omega$,量程为 $1:10^{13}$ 。

3. 测量方便灵活

在电子测量中,各种电量之间的转换很容易实现,如电压、电流、功率、频率等。对于非电量,如温度、湿度、压力、位移等物理量,可通过各种类型的传感器将其转换为电量来测量。可以根据不同的对象、不同的要求,以不同的方式方法很好地完成测量任务。

在电子测量中,可以方便地利用各种转换技术,如分频、倍频、调制、检波、斩波、 V/T 、 V/F 、 A/D 、 D/A 等,还可以采用先进的信号处理技术,使测量数据更为准确可靠。电子测量的显示方式也比较清晰、直观,例如,可以采用发光二极管(LED)、液晶显示(LCD)屏和荧光屏显示。测量结果便于打印、绘图、传输、指示或报警。

4. 测量速度快

由于电子测量是基于电子运动和电磁波传播的,加之现代测试系统中高速电子计算机的应用,使得电子测量无论在测量速度方面,还是在测量结果的处理和传输方面,都能以极高的速度进行。这也是电子测量技术广泛用于现代科技各个领域的重要原因。例如,卫星、飞船等各种航天器的发射与运行,如果没有快速、自动的测量与控制,将是无法想象的。

5. 可以进行遥测

如前所述,电子测量依据的是电子的运动和电磁波的传播,因此可以将现场各待测量转换成易于传输的电信号,用有线或无线的方式传送到测试控制台(中心),从而实现遥测和遥控,这使得对那些远距离、高速运动的,或者人类难以接近的地方的信号测量成为可能。

6. 易于实现测试智能化和测试自动化

电子测量本身是电子科学一个活跃的分支。电子科学的每一项进步,都非常迅速地在电子测量领域得到体现。随着电子计算机,尤其是功耗低、体积小、处理速度快、可靠性高的微型计算机的出现,给电子测量理论、技术和设备带来了新的革命,使测试易于实现智能化和自动化。

1.1.4 电子测量的方法

一个物理量的测量,可以通过不同的方法实现。测量方法选择得正确与否,直接关系到测量结果的可信度,也关系到测量工作的经济性和可行性。

测量方法的分类形式有很多种,下面介绍几种常见的方法。

1. 按测量手段分类

1) 直接测量

在测量过程中,能够直接将被测量与同类标准量进行比较,或者能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,直接获得数值,这种测量方式称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用直流电桥测量电阻等都是直接测量。直接测量方式简单、迅速,广泛应用于工程测量中。

2) 间接测量

当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻,就是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律计算出被测电阻的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

3) 组合测量

当某项测量结果需要用多个未知参数表达时,可通过改变测量条件进行多次测量,根据函数关系列出方程组求解,从而得到未知量的值,这种测量方式称为组合测量。这种测量方式比较复杂,测量时间长,但精度较高,一般适用于科学实验。

2. 按测量方式分类

1) 直读法

用直接指示被测量大小的指示仪表进行测量,能够直接从仪表刻度盘上或者从显示器上读取被测量数值的测量方法,称为直读法。例如,用欧姆表测量电阻时,从指示的数值可以直接读出被测电阻的数值。这一读数被认为是可信的,因为欧姆表的数值事先用标准电阻进行过校验,标准电阻已将它的量值和单位传递给欧姆表,间接地参与了测量。直读法测量的过程简单,操作容易,读数迅速,但其测量的准确度不高。

2) 比较法

将被测量与标准量在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法,称为比较法。例如,用电桥测量电阻时,标准电阻直接参与了测量过程。在电子测量中,比较法具有很高的测量准确度,有的可以达到 0.001% ,但测量时操作比较麻烦,相应的测量设备价格也比较昂贵。

比较法又分为零值法、微差法和替代法三种。

① 零值法又称平衡法,它是利用被测量和标准量对仪器的相互抵消作用,由指零仪表做出判断的方法,即当指零仪表指示为零时,表示两者的作用相等,仪器达到平衡状态,此时按一定的关系可计算出被测量的数值。

② 微差法是通过测量被测量与标准量的差值或正比于该差值的量,根据标准量来确定被测量数值的方法。

③ 替代法是分别把被测量和标准量接入同一测量系统中,在用标准量替代被测量时,调节标准量,使系统的工作状态在替代前后保持一致,然后根据标准量来确定被测量数值的方法。用替代法测量时,由于替代前后测量系统的工作状态是一样的,因此仪器本身的性能和外界因素对替代前后的影响几乎是相同的,有效地消除了外界因素对测量结果的影响。

3. 按被测物理量时间特性分类

在自然界中,微观地看,各物理量都是处于运动之中的,但宏观地看,各种物理量随时间变化的情况是不同的,可将它们分成静态、稳态及动态三种状况。

1) 静态(直流)测试技术

被测对象属于直流(或缓变)性质的静态或准静态信号,测量过程不受时间限制,测量原理、方法较简单。传统的测试大多是在这种最简单的静态或准静态下进行的,典型方法是量值比较法。

2) 稳态(交流)测试技术

对于一个波形(幅度、频率和相位)恒定不变的周期性(正弦或非正弦)交流信号,可以看作一个处于稳定状态的信号,这种周期性的交流信号是电子测量的一个基本对象,通常称为交流测量。大多数仪器,如交流电压表、通用示波器、频率计等电子测量仪器,均只适用于测量这类处于平稳状态的周期性交流信号,而不适用于测量非周期性或单次瞬变信号。因此,稳态测量是电子测量中最常见、使用最多的一种测量。

3) 动态(脉冲)测试技术

自然界还存在大量瞬变冲激的物理现象,如力学中的爆炸、冲击、碰撞等,电学中的充放