



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息类精品教材 · 优秀畅销书

电子测量技术 (第3版)

Electronic Measurement Technique

• 林占江 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TM93/67=3

2012

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息类精品教材·优秀畅销书

电子测量技术

(第3版)

林占江 林 放 编著

北方工业大学图书馆



C00273527

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书系统地阐述电子测量的原理与方法,以及现代电子测量仪器的原理与应用。内容包括:结论、误差理论与测量不确定度评定、测量用信号发生器、模拟测量方法、数字测量方法、时域测量、频域测量、数据域测量、调制域测量、非电量测量、电磁兼容测量、智能仪器、虚拟仪器及自动测试系统。每章末均附有习题。

本书在选材上具有一定的先进性、系统性和实用性,内容丰富,使用面广,可作为高等学校电子信息类(非仪器制造)专业的教材或参考书,对于从事电子技术工作的科技人员也有较大的参考价值。

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/林占江,林放编著. —3版. —北京:电子工业出版社,2012.5

电子信息类精品教材·优秀畅销书

ISBN 978-7-121-16625-9

I. ①电… II. ①林… ②林… 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(2012)第051973号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司
装 订:

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 印张:23.25 字数:595.2千字

印 次:2012年5月第1次印刷

印 数:4000册 定价:49.00元

凡所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,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@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

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书第1版、第2版分别于2003年、2007年出版,深得广大读者的厚爱,并被国内近百所大学选做教材,期间收到了大量读者的反馈信息。这次的第3版是在广大读者的关怀和鼓励下完成的。

本书自始至终是按电子信息类专业教学要求编写的,宗旨是使书中的内容紧跟现代电子信息技术的飞速发展,使学生更好地了解和掌握现代电子测量的基本原理和方法,熟悉最新型电子测量仪器的应用技术,在科学实验和生产过程中具备制定先进、合理的测量与测试方案,正确选用电子测量仪器,严格处理测量数据,以获得最佳测试结果的能力。通过分析关键器件和典型电路,能极大地提高学生理论联系实际、分析问题、解决问题及独立工作的能力,适应教育部卓越工程师人才培养的要求。

电子测量是一门多学科的综合课程,它所涉及的范畴非常广泛,这次的第3版又增加了测量用信号发生器,并对第2版中的误差理论和测量不确定度评定、数字测量方法、时域测量、频域测量、数据域测量、非电量测量、自动测试系统等内容进行了较大的更新和充实,并尽量反映现代电子测量的新技术、新水平及新成果。

第3版仍然按采集和处理传输信号的性质与特性划分章节,在内容选材上更具先进性、理论性、系统性。书中内容丰富、由浅入深、重点突出、叙述精练、图文并茂、结构层次分明,有利于教学使用和提高教学质量。

本书内容仍然由两大部分组成。

第一部分 通用基础测量

(1) 测量误差与测量不确定度评定。保留并重点介绍测量误差的基本概念、来源、性质、分类、估算方法、减小措施、合成与分配、测量数据的处理及测量方案的设计等。增加了测量不确定度的基本知识、分类、评定方法、评定步骤、产生原因,以及测量误差与测量不确定度的主要差别。

(2) 测量用信号发生器。重点介绍测量用信号发生器的功能、分类、工作特性,以及函数信号发生器和DDS数字式频率合成信号发生器的工作原理。

(3) 模拟量与数字量的测量。包括各种电压、频率、时间、相位、失真度、功率及Q值等参数。将模拟量与数字量分别加以阐述,有利于学生全面系统地理解、掌握和应用。

(4) 利用屏幕显示技术实现的测量。详细论述波形测试技术(时域),扫频技术与频谱分析(频域),调制信号的测量(调制域),数字系统逻辑量的测量(数据域)等。其中,在时域测量中压缩了模拟示波器的部分内容,充实和增加了数字存储示波器的内容;在频域测量中增加了选用扫频仪的依据、使用扫频仪的要领等内容;在数据域测量中重点介绍逻辑分析仪的主要电路。

(5) 非电量测量和电磁兼容测量。重点介绍非电量及其检测的分类,传感器的分类、特性等内容。通过传感器实现将所有非电量转换成电量,并完成测量的工作原理。详细分析典型

智能温度和湿度测量电路的工作原理及应用。由于各种类型电子仪器设备越来越多,使用功率越来越大,电磁污染和危害日趋严重,为消除电磁噪声的有害影响必须对其进行测量。因此本书重点介绍了电磁干扰的分类、特点,电磁兼容测量的基本概念、工作原理等。

第二部分 现代电子测量

(1) 智能仪器和虚拟仪器。包括智能仪器和虚拟仪器的特点、结构、功能、分类、工作原理、设计、应用及虚拟仪器总线等。

(2) 自动测试系统。充实和增加了自动测试系统的基本理论、结构、硬件组成、数据库,常用总线和软件开发环境简介、GPIB 系统结构、VXIbus 仪器模块、USB 仪器及 LXI 总线技术简介等内容。

另外,与本书相配套的《电子测量实验教程》已于 2010 年 5 月由电子工业出版社出版。由本书作者设计,并且同徐州隆宇电子仪器有限责任公司共同研制出的“电子测量实验平台”实验装置,是电子测量实验教学的行之有效的手段和工具,通过电子测量实验能够充分发挥学生的主动性和创造性,加速培养创新型人才。

本书可作为电子信息类专业和其他专业的教材或参考书,内容按 50 ~ 65 学时进行设计,书中带有“*”字号标记的章节应根据具体专业、不同的教学任务和学时数作为必学或选学内容。每章后面均附有习题,这种安排有利于学生巩固所学的理论知识,拓宽学习思路。

本书第 1 ~ 10 章由吉林大学林占江编写,第 11 ~ 13 章由广东工业大学林放编写,全书由林占江统编。

徐州隆宇电子仪器有限责任公司总经理程方仔细审阅了全部书稿。唐斌、刘淑英为本书的编写做出了贡献。

在此,对在本书编写过程中提供帮助的各位同仁及提供资料的作者,本人表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,编写时间比较仓促,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

本书配有电子课件,可登录电子工业出版社华信教育资源网 www.hxedu.com.cn 免费下载。

编著者

目 录

第一部分 通用基础测量

第 1 章 绪论	1
1.1 测量与计量的基本概念	1
1.2 电子测量的内容与特点	2
1.3 电子测量仪器的分类	4
1.4 电子测量方法	6
1.5 计量的基本内容	9
习题	12
第 2 章 误差理论与测量不确定度评定	13
2.1 测量误差的基本原理	13
2.1.1 研究测量误差的目的	13
2.1.2 测量误差的表示方法	14
2.1.3 电子测量仪器误差的表示方法	16
2.1.4 一次直接测量时最大误差的估计	18
2.2 测量误差的分类	20
2.2.1 误差的来源	20
2.2.2 测量误差的分类	20
2.2.3 测量结果的评定	22
2.3 随机误差的统计特性及其估算方法	23
2.3.1 测量值的数学期望与标准差	23
2.3.2 贝塞尔公式及其应用	25
2.3.3 均匀分布情况下的标准差	28
2.3.4 非等精密度测量	29
2.4 系统误差的特征及其减小的方法	31
2.4.1 系统误差的特征	31
2.4.2 判断系统误差的方法	31
2.4.3 减小系统误差的方法	33
2.5 疏失误差及其判断准则	36
2.5.1 测量结果的置信概率	36
2.5.2 坏值的剔除准则	38
2.6 测量数据的处理	40
2.6.1 数据舍入规则	40
2.6.2 等精密度测量结果的处理步骤	41
2.6.3 最小二乘法原理	42

2.7	测量不确定度	43
2.7.1	测量不确定度基本知识	43
2.7.2	测量不确定度的分类及评定方法	44
2.7.3	测量误差与测量不确定度的主要差别	48
2.7.4	测量不确定度的评定步骤及产生原因	49
2.8	误差的合成与分配	49
2.8.1	误差传递公式	50
2.8.2	常用函数的合成误差	51
2.8.3	系统误差的合成	55
2.8.4	按系统误差相同的原則分配误差	56
2.8.5	按对总误差影响相同的原則分配误差	57
2.8.6	微小误差准则	58
2.9	最佳测量条件的确定与测量方案的设计	58
2.9.1	最佳测量条件的确定	58
2.9.2	测量方案设计	60
	习题	61
第3章	测量用信号发生器	63
3.1	信号发生器的功能	63
3.2	信号发生器的分类及工作特性	64
3.2.1	信号发生器的分类	64
3.2.2	信号发生器的工作特性	65
3.3	函数信号发生器工作原理	66
3.3.1	电路工作原理	67
3.3.2	典型电路分析	67
3.4	DDS 数字式频率合成信号发生器	72
3.4.1	DDS 基本工作原理	72
3.4.2	DDS 的特点	74
3.4.3	DDS 的主要技术参数	75
*3.5	DDS 芯片的应用	75
3.5.1	AD9852 的特性介绍	75
3.5.2	DDS 波形产生电路	78
	习题	81
第4章	模拟测量方法	82
4.1	电压测量概述	82
4.2	交流电压的测量	83
4.2.1	交流电压的表征	83
4.2.2	交流电压的测量方法	84
4.2.3	平均值电压的测量	85
4.2.4	有效值电压的测量	90
4.2.5	峰值电压的测量	96
4.2.6	脉冲电压的测量	100

*4.3	噪声电压的测量	106
4.3.1	噪声的基本特性	106
4.3.2	用平均值表测量噪声电压	106
4.3.3	器件和放大器噪声的测量	107
4.4	分贝的测量	114
4.4.1	数学定义	114
4.4.2	分贝值的测量	116
4.5	失真度的测量	117
4.5.1	非线性失真的定义	117
4.5.2	失真度测量仪基本工作原理	118
4.5.3	有源陷波电路	119
4.5.4	失真度测量仪举例	122
4.6	功率的测量	124
4.6.1	音频与较高频信号功率的测量	124
4.6.2	误差分析	127
*4.6.3	功率表实例——射频功率表	127
4.7	Q 值的测量	128
4.7.1	Q 表的工作原理	128
4.7.2	用虚、实部分分离法测量阻抗	128
	习题	132
第5章	数字测量方法	134
5.1	电压测量的数字化方法	134
5.1.1	DVM 的特点	135
5.1.2	DVM 的主要类型	138
5.1.3	DVM 的测量误差	145
5.2	直流数字电压表	146
5.3	多用型数字电压表	150
5.4	频率的测量	155
5.4.1	标准频率源	155
5.4.2	频率计的基本概念	157
5.4.3	数字频率计的划分	157
5.4.4	通用计数器的基本工作原理	158
5.5	通用计数器的主要测试功能	162
5.5.1	频率测量	162
5.5.2	时间测量	163
5.5.3	相关参数测量	166
5.6	频率计电路结构的分类	168
*5.7	频率计数器典型电路分析	169
*5.8	频率/功率计	171
5.9	相位的测量	174
5.9.1	脉冲计数法测相位	174

5.9.2 数字相位计举例	175
习题	176
第6章 时域测量	178
6.1 示波器分类	178
6.2 模拟示波器	180
6.2.1 模拟示波器的基本构成	180
6.2.2 示波器显示波形的原理	181
6.2.3 垂直系统	184
6.2.4 水平放大系统	188
6.3 数字存储示波器	189
6.3.1 数字存储示波器的基本工作原理	190
6.3.2 主要性能指标	191
6.3.3 数字存储示波器中的关键器件	193
6.3.4 数字存储示波器中的典型电路	197
6.4 数字存储示波器的测试功能	204
6.5 示波器功能扩展举例	205
6.6 示波器的应用	206
习题	209
第7章 频域测量	210
7.1 扫频仪	210
7.1.1 常用术语	210
7.1.2 扫频仪中的关键器件	211
7.2 扫频仪工作原理	214
7.2.1 整机电路原理框图	214
7.2.2 单元电路工作原理	215
7.3 频标单元	218
7.4 Y通道单元	221
7.5 操作使用	222
*7.6 测试实例	224
*7.7 正确选用扫频仪依据	225
*7.8 熟练使用扫频仪要领	225
7.9 频谱分析仪工作原理	226
7.9.1 时域和频域的关系	226
7.9.2 频谱分析仪的分类	228
7.9.3 信号频谱测量	231
*7.9.4 技术性能指标	237
*7.9.5 操作使用要点	239
习题	240
第8章 数据域测量	241
8.1 概述	241
8.2 逻辑分析仪的特点	242

8.3	逻辑分析仪的分类	243
8.4	逻辑分析仪的基本工作原理	246
8.5	逻辑分析仪的主要电路	247
8.6	逻辑分析仪的主要工作方式	248
8.7	逻辑状态分析仪	254
*8.8	逻辑分析仪的应用	258
*8.9	逻辑分析仪的选用原则和使用要点	260
	习题	261
第9章	调制域测量	262
9.1	概述	262
9.2	调制方式的划分	262
9.3	调制信号测量的定义	264
9.4	连续计数技术(ZDT)	266
9.5	调制域分析仪的基本工作原理	267
9.6	主要技术指标及应用	269
	习题	270
第10章	非电量测量	271
10.1	非电量及其检测的分类	271
10.1.1	非电量的分类	271
10.1.2	非电量检测的分类	271
10.1.3	非电量检测的主要优点	272
10.2	非电量测量的组成与基本工作原理	272
10.3	传感器的分类	273
10.4	传感器的特性	274
10.5	非电量测量的应用	279
10.5.1	温度和湿度测量电路	279
10.5.2	集成磁场测量电路	287
	习题	289
第11章	电磁兼容测量	290
11.1	概述	290
11.2	电磁兼容测量的基本概念	290
11.3	电磁干扰的分类	292
11.4	电磁兼容测量的基础理论	293
11.5	测量天线	300
11.6	测量接收机	301
	习题	303

第二部分 现代电子测量

第12章	智能仪器	304
12.1	智能仪器的特点	304
12.2	智能仪器的结构及其作用	305

12.3	智能仪器的基本工作原理	307
*12.4	S-100 和 STD 总线简介	310
12.5	智能仪器设计	312
	习题	314
第 13 章	虚拟仪器	315
13.1	概述	315
13.1.1	传统仪器与虚拟仪器简介	315
13.1.2	软件的功能	316
13.2	虚拟仪器的组成与分类	317
13.3	虚拟仪器的系统构成	318
13.4	虚拟仪器的特点与应用	318
13.4.1	虚拟仪器的特点	318
13.4.2	虚拟仪器的应用	320
*13.5	虚拟仪器总线	321
13.5.1	VXI 总线	321
13.5.2	PXI 总线	324
13.5.3	IVI 技术	326
13.6	虚拟仪器编程环境	329
13.7	ATE 中的虚拟测量仪器	334
	习题	335
第 14 章	自动测试系统	336
14.1	概述	336
14.2	自动测试系统发展简介	336
14.3	自动测试系统的结构	338
14.3.1	自动测试设备(ATE)	338
14.3.2	测试程序集(TPS)	339
14.3.3	TPS 软件开发工具	340
14.4	自动测试系统的硬件组成	340
14.5	自动测试系统举例	341
14.6	自动测试系统数据库	341
14.6.1	数据库在自动测试系统中的作用	342
14.6.2	数据库的设计与实现	342
14.7	自动测试系统常用总线及软件开发环境简介	344
*14.8	GPIB 的自动测试系统	345
*14.9	VXIbus 仪器模块	351
*14.10	LXI 总线技术简介	355
*14.11	USB 仪器简介	356
	习题	358
	参考文献	359

第一部分 通用基础测量

第1章 绪 论

内 容 摘 要

本章重点介绍测量与计量的基本概念、常用术语,电子测量的内容、特点与分类,并对电子测量的方法做详细论述。简介计量基准的划分,计量器具的特征,以及自动化测试系统等电子测量方面的基础知识。

1.1 测量与计量的基本概念

测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程,是人们认识和改造自然的一种不可缺少的手段。在自然界中,对于任何被研究的对象,若要定量地进行评价,必须通过测量来实现。在电子技术领域中,科学的分析只能来自正确的测量。

测量技术主要研究测量原理、方法和仪器等方面内容。凡是利用电子技术进行的测量都可以称为电子测量。电子测量涉及在宽广频率范围内的所有电量、磁量以及各种非电量的测量。电子测量广泛应用于科学研究、实验测试、工农业生产、通信、医疗及军事等领域。如今电子测量已经成为一门发展迅速、应用广泛、精确度愈来愈高、对现代科学技术发展起着巨大推动作用的独立学科。

测量的定义:为确定被测对象的量值而进行的一组操作。

通常,测量结果的量值由两部分组成:数值(大小及符号)和相应的单位名称。当然测量的结果也可以用一组数据、曲线或图形等方式表示出来,但它们同样包含着具体的数值与单位。没有单位,量值是没有物理意义的。

在测量过程中,不可避免地存在着误差。在表示测量结果时应将测量结果与误差同时标注出来,说明测量结果可信赖的程度。

量:是指现象、物体或物质可定性区别和定量确定的属性。

量是计量学所研究的主要对象,它是表征自然界运动的基本概念,在自然界中任何现象、物体或物质都具有一定的形式,所有形式都要通过量来体现出来。

量分为特性相同的量和特性不相同的量两种。特性相同的量组合在一起称为同类量,如功、热能采用同一个单位“焦耳”来表示,波长、周长、宽度、高度采用长度单位“米”来表示。特性不同的量,它们之间不能相互比较。定性区别是指在特性上的差异,如电磁量、声学量、光学

量、化学量及几何量等。定量确定是指具体的量,也称为特定量,它们之间可以相互比较,如元器件引线的长短、导线电阻值的大小等。特定量也称为同种量。

根据量的性质又分为可数量和可测量。可数量是指专门用于确定被计数对象数目多少的量,它只需要经过计数的方法便可得知,如1块万用表、5只电容器等。可数量在理论上不存在误差,不属于计量学研究的范畴。可测量是指通过计量器具和测试仪器进行测量才能获得量值的量。可测量是不可计数的,测量结果必然存在误差。一般情况下,它由数值和计量单位的组合形式表示其大小,没有计量单位的纯数值不能表示量。在这里需要重点指出:本书中的量是可测量的量。

量值:由数值与计量单位的乘积表示量的大小。例如,5 mV,3 A 等。

被测量:被测量的量。它可以是待测量的量,也可以是已测量的量。

影响量:不是被测量,但却影响被测量的量值或计量器具示值的量。例如,环境温度、被测交流电压的频率等。

量的真值:某量在所处的条件下被完美地确定或严格定义的量值。或者可以理解为没有误差的量值。量的真值是一个理想的概念,实际上不可能确切得知,只能随着科学技术的发展及认识的提高去逐渐接近它。然而,也可以说,保存在国际(国家)的基准,按定义规定在特定条件下的值可视为是真值。

近年来,在测量不确定度的表述中,鉴于量的真值是一个理想的概念,已不再使用它,而代之以“量的值”或“被测量的值”。

约定真值:为约定目的而取的可以代替真值的量值。一般来说,约定真值与真值的差值可以忽略不计。故在实际应用中,忽略约定真值的不确定度(或误差)不计,约定真值可以代替真值。

准值:一个明确规定的值,以它为基准定义准值误差。例如,该值可以是被测值、测量范围上限、刻度盘范围、某一预调值,或其他明确规定的值。

示值:对于测量仪器,是指示值或记录值;对于标准器具是标称值或名义值;对于供给量仪器是设置值或标称值。

额定值:由制造者为设备或仪器在规定工作条件下指定的量值。

读数:是仪器刻度盘或显示器上直接读到的数字。例如,以100分度表示50 mA的电流表,当指针指在50处时,读数是50,而示值为25 mA。有时为了避免差错和便于查对,在记录测量的示值时应同时记下读数。

实际值:满足规定精确度的用来代替真值的量值。实际值可以理解为由实验获得的,在一定程度上接近真值的量值。在计量检定中,通常将上级计量标准所复现的量值称为下级计量器具的实际值。

测得值(测量值):由测量得出的量值。它可能是从计量器具直接得出的量值,也可能是通过必要的换算查表等(如系数换算、借助于相应的图表或曲线等)所得出的量值。

测量原理:是指测量的理论基础。

1.2 电子测量的内容与特点

1. 电子测量的内容

随着电子技术的不断发展,测量的内容愈来愈多。对于电参数的测量,分为电磁测量与电

子测量两类。前者注重研究交直流电量的指示测量法与比较测量法,以及磁量的测量方法等;后者是以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,以电量和非电量为测量对象的测量过程。

电子测量的内容包括:

- ① 电能量的测量(各种信号和波形的电压、电流、电功率等);
- ② 电信号特性的测量(信号的波形、频率、相位、噪声及逻辑状态等);
- ③ 电路参数的测量(阻抗、品质因数、电子器件的参数等);
- ④ 导出量的测量(增益、衰减、失真度、调制度等);
- ⑤ 特性曲线的显示(幅频特性、相频特性及器件特性等)。

随着电子技术的发展,人们力图通过传感器将许多非电量转换成电信号,再利用电子技术进行测量。例如,天文观测、宇宙航行、地震预报、矿物探测,生产过程检测中的温度、压力、流量、液面、速度、位移,以及成分分析等,都可以转换成电信号进行测量。

电子测量除了对电参量进行稳态测量以外,还可以对自动控制系统的过渡过程及频率特性等进行动态测量。例如,通过对一个轧钢的电气传动系统的模拟,计算机可以自动描绘出动态过程曲线;对于化工系统的生产过程进行自动检测与分析等。

当然,其他科学技术领域的发展也对电子测量技术起着巨大的推动作用。例如,半导体技术、计算机技术、近代物理学等,均为电子测量的发展提供了新理论、新材料、新器件及新技术。同时由微型计算机、单片机、数字信号处理器等组成的自动化、智能化仪器不断涌现。各学科和领域这种相辅相成、互相促进的局面表明,掌握电子测量技术是对理工科大学生及科技人员提出的一个基本要求。

2. 电子测量的特点

与其他测量相比,电子测量具有以下几个明显的特点。

(1) 频率范围宽

除测量直流电量外,还可以测量交流电量,其频率范围低至 10^{-4} Hz,高至 180 GHz。电子测量设备能够工作在这样宽的频率范围,使它的应用范围大为扩展。如果利用各种传感器,则几乎可以测量全部电磁频谱的物理量。当然对于不同频段的测量需采用不同的测量方法与测量仪器。

(2) 量程范围广

量程是仪器测量范围上限值与下限值之差。由于被测量的大小相差很大,因而要求测量仪器具有足够的量程。对一台电子仪器,通常要求最高量程与最低量程要相差几个甚至十几个数量级。例如,一台数字电压表,要求能测出从纳伏(nV)级至千伏级的电压;用于测量频率的电子计数式频率计,其高低量程相差近 17 个数量级。量程范围广正是电子测量的突出优点。

(3) 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法高得多。例如,长度测量的准确度最高为 10^{-8} ,而用电子测量方法对频率和时间进行的测量,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^{-15} 的量级,这是目前人类在测量准确度方面达到的最高指标。电子测量的准确度高,正是它在现代科学技术领域得到广泛应用的重要原因之一。由于目前频率测量的准确度最高,所以,为了提高测量的准确度,应尽可能地把其他参数转换成频率信号再进行测量。

(4) 测量速度快

由于电子测量是通过电子技术实现的,因而测量速度很快。这也是电子测量在现代科学技术领域内得到广泛应用的一个重要原因。例如,洲际导弹的发射和运行过程中就需要快速测出它的工作参数,通过计算机运算,再对它的运行发出控制信号,以使它达到预期的目标,这个过程如果测量速度较慢,就不能进行及时调整,自动控制系统就会失去作用。

同样道理,工业自动控制系统中,在生产线上进行“在线测量”,及时对机械运转状态或物质成分的比例进行调节,这对于提高生产效率和产品质量都具有重大意义。在某些场合,要求对测量结果迅速进行数据处理,再发出控制信号。这样,对测量速度就提出了更高的要求。

在有些测量过程中,希望在相同条件下对同一量进行多次测量,再用求平均值的方法以减小误差。但是测量条件容易随时间变化,这时可以采用提高测量速度的方法,在短时间内完成多次测量,从而提高精密度。

(5) 易于实现遥测和测量过程的自动化

对于人体不便于接触和无法达到的区域,如深海、地下、高温炉、核反应堆等,可以将传感器埋入其内部,或者通过电磁波、光、辐射等方式进行测量,这就是一般所说的遥测。

电子测量同电子计算机相结合,使测量仪器智能化,并在自动化系统中占据重要的地位。尤其是大规模集成电路和微处理器的应用,使电子测量呈现了崭新的局面。例如,自动转换量程,自动调节,自动校准,自动记录,自动进行数据处理,自动修正等。

电子测量技术的新水平是科学技术最新成果的反映。因此,一个国家电子测量技术的水平,标志着这个国家科学技术的水平,这就促使电子测量技术获得前所未有的迅速发展。

(6) 易于实现仪器小型化、微型化

随着微电子器件集成度的不断提高,可编程器件和微处理器及 ASIC 电路的采用,使电子仪器正向着小型化、微型化发展。特别是随着模块式仪器系统的采用,把多个仪器模块连同计算机一起装入一个机箱内,组成自动测试系统,使之更为紧凑。

1.3 电子测量仪器的分类

测量仪器是指用于检测或测量一个量,或为达到测量目的而提供的测量器具,包括各种指示式仪器、比较式仪器、记录式仪器、信号源、稳压电源及传感器等。利用电子技术构成的测量仪器,称为电子测量仪器。

电子测量仪器的种类很多,一般分为专用仪器和通用仪器两大类。前者是为某一个或几个专门目的而设计的,如电视彩色信号发生器;后者是为了测量某一个或几个电参数而设计的,它能用于多种电子测量,如电子示波器等。

1. 通用电子仪器

通用电子仪器按其功能分为以下几类:

(1) 信号发生器

用于提供测量的各种波形信号。例如,低频、高频、脉冲、函数、扫频及噪声信号发生器等。

(2) 信号分析仪

用于观测、分析和记录各种电量的变化,包括时域、频域和数据域分析仪。例如,各种示波器、波形分析仪、频谱分析仪和逻辑分析仪等。

(3) 频率、时间及相位测量仪器

这类仪器包括各种频率计(常用电子计数器式)、相位计,以及各种时间、频率标准等。

(4) 网络特性测量仪

这类仪器有频率特性测试仪(扫频仪)、阻抗测量仪及网络分析仪等,主要用于测量频率特性、阻抗特性及噪声特性等。

(5) 电子元器件测试仪

用于测量各种电子元器件的电参数及显示特性曲线等。例如,RLC 测试仪、晶体管参数测试仪、晶体管特性图示仪、模拟或数字集成电路测试仪等。

(6) 电波特性测试仪

用于测量电波传播、电磁场强度及干扰强度等。例如,场强仪、测试接收机、干扰测量仪等。

(7) 辅助仪器

与上述各种仪器配合使用的仪器。例如,各种放大器、衰减器、检波器、滤波器、记录器,以及各种交直流稳压电源等。

2. 通信测试仪器

这类仪器的测试包括从模拟到数字、从低频到微波、从用户信息到信令、协议,从系统质量测试到网络监视和管理等功能。例如,矢量信号分析仪、误码抖动测试仪、数字/数据传输分析仪、网络检测仪、信令测试仪、移动通信综合测试仪等。

3. 光电测试仪器

这类仪器主要用于光纤测量和光纤通信系统中各种数据传输特性的测量。例如,光源、光功率计、光时域反射计、光谱分析仪、激光参量测试仪器、光纤熔接机和光纤切割机等。

除上述各类电子仪器外,还有功能更加强大的自动测试系统。自动测试系统完全可以满足对测试项目、范围、速度、精确度等综合性技术指标的测试要求。

按显示方式分,电子测量仪器有模拟式和数字式两大类。前者主要是用指针方式直接将被测量的电参数转换为机械位移,在标度尺上指示出测量数值,如各种电子电压表等。后者是将被测的连续变化的模拟量转换为数字量,并以数字方式显示其测量数据,达到直观、准确、快速的效果,如各种数字电压表、数字频率计等。

通过上述介绍,电子测量仪器品种繁多,用途各异,在实际工作中应合理地选择使用。

近年来,电子测量仪器的发展十分迅速。从 20 世纪 50 年代起,晶体管仪器相继出现,并逐步取代了大部分电子管仪器。从 20 世纪 60 年代开始,集成电路问世,数字仪器不断涌现,使仪器的体积、重量、功耗等大幅度减小,准确度明显提高,在工业、科技及军事上的应用越来越多。从 20 世纪 70 年代起,随着微处理器研制成功,微机化仪器迅速发展,多功能、高性能的智能仪器达到成千上万种,已逐步取代了传统仪器。

从总的发展趋势来看,我国常规的以晶体管和集成电路为主体的仪器,正在进行由模拟到数字化的转变,带微处理器的仪器品种繁多,以个人计算机为基础构成的个人仪器及自动测试系统正处在大力研制和开发生产阶段。目前,各研制单位为提高仪器的质量、稳定性及可靠性,实现仪器的多功能、高性能、集成化、数字化、智能化、网络化、虚拟化和机电一体化(含传感器等)正进行着不懈的努力。

1.4 电子测量方法

为实现测量目的,正确选择测量方法是极其重要的。它直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。测量方法的分类大致有以下几种。

1. 电子测量方法的分类

(1) 按测量方法分类

① 直接测量

无须通过被测量与其他实际测得量之间的函数关系进行计算,而是直接得出被测量值的一种测量方法。

注:④即使需要借助图表才能将测量仪器的标度值转换成测量值,该测量值也认为是直接测得的;⑤即使为了进行校正而需要做一些补充测量,以确定影响量的值,也仍认为是直接测量的。例如,用电压表测量晶体管各极的工作电压等。

② 间接测量

利用直接测量的量与被测量之间已知的函数关系,得到该被测量值的测量方法叫间接测量。例如,测量电阻的消耗功率 $P = UI = I^2 R = U^2 / R$, 可以通过直接测量电压、电流或测量电流、电阻等方法求出。

当被测量不便于直接测量,或者间接测量的结果比直接测量更为准确时,多采用间接测量方法。例如,测量晶体管的集电极电流,较多采用直接测量集电极电阻(R)上的电压,再通过公式 $I_c = U_R / R$ 算出,而不用断开电路串入电流表的方法。测量放大器的电压放大倍数 A , 一般是分别测量输出电压 U_o 与输入电压 U_i 后,再计算出 $A_u = U_o / U_i$ 。

③ 组合测量

它是兼用直接测量与间接测量的方法。将被测量和另外几个量组成联立方程,通过测量这几个量来最后求解联立方程,从而得出被测量的大小。用计算机来求解,是比较方便的。

(2) 直读测量法与比较测量法

① 直读测量法

直接从仪器仪表的刻度线上读出测量结果的方法叫直读测量法。例如,一般用电压表测量电压,利用温度计测量温度等都是直读测量法。这种方法是根据仪器仪表的读数来判断被测量的大小的,作为计量标准的实物并不直接参与测量。

这种方法具有简单方便等优点,被广泛应用。

② 比较测量法

在测量过程中,被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法叫比较测量法。电桥就是典型的例子,利用标准电阻(电容,电感)对被测量进行测量。

由上述可见,直读法与直接测量、比较法与间接测量并不相同,二者互有交叉。例如,用电桥测电阻,是比较法,属于直接测量;用电压表、电流表测量功率,是直读法,但属于间接测量。

测量方法还可以根据测量的方式分为自动测量和非自动测量,原位测量和远距离测量等。

根据测量精确度划分,有精密测量与工程测量两类。前者多在计量室或实验室进行,要深入研究测量误差和测量不确定度等问题。后者也要研究测量误差,但不是很严格,所选用的仪器仪表的准确度等级必须满足实际使用的需要。