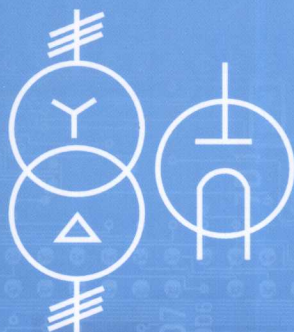


电子测量仪器

邓 斌 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TM93/110

2008

电子测量仪器

主 编 邓 斌

主 审 高晓平

编审人员(以下按姓氏笔画排列)

邓 斌	闫世强	许绍杰	花良发
杨 军	杨江平	李 鸿	陈小民
陈 辉	郭荣斌	盛 文	詹 建

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分 10 章,包含三部分内容。第一部分为第 1 章,主要介绍电子测量仪器的发展、分类和技术指标等基础知识。第二部分为第 2 章,主要讲述测量误差的表示、测量误差的处理、测量误差的估计和测量结果的数据处理等内容。第三部分为第 3 章~第 10 章,分别阐述电压测量仪器、示波器、频率和时间测量仪器、信号发生器、信号分析仪器、射频测量仪器、数据域测试仪器和电子元器件测量仪器等仪器的工作原理、技术指标、测试应用、选型依据、典型产品和产品实例。

本书重点讨论电子测量仪器的基本组成、工作原理和具体测试应用,同时介绍仪器仪表的技术指标、选型依据、典型产品。全书撰写力求理论与应用相结合,取材于生产和教学实践,既反映当前电子测量仪器仪表的技术发展水平,又突出其实用性要求,大部分仪器都有实例介绍,便于读者的理解与掌握。

本书内容编排合理,逻辑层次清晰,内容翔实,并提供了大量的产品实例,在每章后都附有思考题,既便于读者自学又利于教学。本书既可作为大专院校电子仪器与测量、检测技术与仪器仪表、电子工程和电子技术相关专业学生的教材和参考书,亦可供从事电子产品生产、检验、维修等工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器 / 邓斌主编. —北京:国防工业出版社,
2008.3

ISBN 978 - 7 - 118 - 04186 - 6

I. 电... II. 邓... III. 电子测量设备 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 159500 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 23½ 字数 463 千字

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

电子测量仪器是维修工程技术人员的基本工具,合理地选用仪器,制定测量方案及组成测试系统,熟练地使用测量仪器测取数据,以及对其维护、校准,是电子工程技术人员的基本技能。

现代电子测量仪器,种类繁多,型号复杂,有的是通用的电子测量仪器,有的是专用仪器,本书重点介绍通用电子测量仪器的组成、工作原理和主要技术指标。全书共分10章,包含三部分内容。第一部分为第1章,主要介绍电子测量仪器的发展、分类和技术指标等基础知识。第二部分为第2章,主要讲述电子测量中有关测量误差的表示、测量误差的处理、测量误差的估计和测量结果的数据处理等内容。第三部分为第3章~第10章,分别阐述电压测量仪器、示波器、频率和时间测量仪器、信号发生器、信号分析仪器、射频测量仪器、数据域测试仪器和电子元器件测量仪器等通用电子测量仪器的工作原理、技术指标、测试应用、选型依据、典型产品和产品实例等内容。

对于电子测量仪器的分类,本书是按照其功能进行划分的。其中,电压测量仪器主要包括模拟电压表和数字电压表;示波器则包括模拟示波器和数字存储示波器;频率和时间测量仪器包括电子计数器和微波频率计数器;信号发生器包括低频信号发生器、高频信号发生器、函数信号发生器、脉冲信号发生器、任意波形发生器和射频合成信号源;信号分析仪器包括频谱分析仪、失真度分析仪、调制度分析仪和扫频仪;射频测量仪器主要包括网络分析仪、射频阻抗分析仪、噪声发生器、噪声系数测试仪和微波功率计;数据域测量仪器包括逻辑笔、数字信号发生器和逻辑分析仪;电子元器件测量仪器包括万用电桥、高频Q表、晶体管特性图示仪。本书重点讨论电子测量仪器的基本组成、工作原理和具体测试应用,同时介绍仪器仪表的技术指标、选型依据、典型产品。全书撰写力求理论与应用相结合,取材于生产和教学实践,既反映当前电子测量仪器仪表的发展水平,又突出其实用性要求,大部分仪器都有实例介绍,便于读者的理解与掌握。

本书内容编排合理,逻辑层次清晰,内容翔实,并提供了大量的产品实例,在每章后都附有思考题,既便于读者自学又利于教学。本书既可作为大专院

校电子仪器与测量、检测技术与仪器仪表、电子工程和电子技术相关专业学生的教材和参考书,亦可供从事电子产品生产、检验、维修等工作的技术人员参考。

针对电子测量仪器实践性强的特点及仪器仪表的教学特色,在本书编写过程中力求降低理论深度,省略公式中复杂的数学推导过程,注重和强调理论联系实践;在理论的分析上,力求简明扼要,通俗易懂,突出重点。

需要特别提出的是,在本书的撰写过程中,得到了美国安捷伦科技有限公司、泰克有限公司、美国力科公司、德国 R&S 公司、安立有限公司、福禄克测试仪器有限公司、爱德万测试有限公司、南京普纳有限公司、中国电子科技集团公司 41 研究所、江苏绿扬电子仪器有限公司、北京大华无线电仪器厂、北京普源精电科技有限公司、上海新建电子电器公司、天津无线电六厂、辽宁无线电二厂、石家庄无线电四厂、西安红华电子仪器公司、深圳优利德电子有限公司、深圳市安泰电子有限公司、深圳市胜利高电子科技有限公司、深圳麦创电子科技有限公司、西安红华电子仪器公司、成都前锋电子仪器厂(国营 766 厂)、天水庆华电子仪器有限公司(国营 860 厂)、扬中科泰电子仪器有限公司、南京新联电子有限公司、南京涌新电子有限公司和宁波中策电子有限公司等仪器仪表厂家的大力支持,在此一并致以衷心的感谢。尤其是中国电子科技集团公司 41 研究所的郭荣斌、北京普源精电科技有限公司的马志远、德国 R&S 公司的姚明、美国力科公司的李益飞、泰克有限公司的杨重远、总参 54 所的李鸿和空军装备部的陈小明等同志对本书中仪器选型依据和典型产品提出了大量宝贵意见,在此再次表示感谢。

本书由邓斌同志担任主编,由高晓平副教授主审。其中,邓斌同志负责统编全稿,并编写了第 1 章至第 9 章,陈辉副教授和杨军副教授共同编写了第 10 章,闫世强教授、盛文教授和杨江平教授编写了电子测量仪器的典型产品,许绍杰、花良发、詹建和郭荣斌等同志负责电子测量仪器选型依据的编写工作。在本书的撰写过程中,参考了一些电子测量方面的教材和科技书,在此编者向给予支持和帮助的同志深表感谢。

由于作者理论和技术水平有限,书中难免存在各种各样的疏漏和错误,诚挚希望相关领域的专家和读者批评指正。

作者

目 录

第1章 电子测量仪器的基础知识	1
1.1 电子测量仪器的发展概况	1
1.2 电子测量仪器的分类	1
1.3 电子测量仪器的主要技术指标	4
思考题	6
第2章 测量误差及其处理	7
2.1 测量的基本术语	7
2.2 测量误差及其表示	8
2.2.1 测量误差的来源	8
2.2.2 测量误差的表示方法	9
2.2.3 测量误差的分类	13
2.3 测量误差的估计和处理	14
2.3.1 系统误差的判断和处理	14
2.3.2 随机误差的估计和处理	17
2.3.3 粗大误差的判断和处理	18
2.4 测量结果的数据处理	19
2.4.1 测量结果的数字处理	19
2.4.2 测量结果的表示	21
思考题	22
第3章 电压测量仪器	23
3.1 电压测量仪器的分类	23
3.2 万用电表	24
3.2.1 工作原理	24
3.2.2 使用方法	27
3.2.3 测试应用	31
3.2.4 产品实例	33
3.3 电子电压表	36
3.3.1 工作原理	36
3.3.2 使用方法	39

3.3.3 测试应用	40
3.3.4 产品实例	41
思考题	46
3.4 数字电压表	46
3.4.1 工作原理	46
3.4.2 数字电压表中的自动功能	50
3.4.3 主要技术指标	51
3.4.4 使用方法	53
3.4.5 测试应用	56
3.4.6 典型产品	56
3.4.7 选型依据	57
3.4.8 产品实例	58
思考题	66
第4章 示波器	67
4.1 示波器的发展	67
4.2 模拟示波器	68
4.2.1 基本工作原理	68
4.2.2 主要技术指标	77
4.2.3 使用方法	78
4.2.4 测试应用	83
4.2.5 典型产品	85
4.2.6 选型依据	86
4.2.7 产品实例	87
思考题	92
4.3 数字存储示波器	92
4.3.1 概述	92
4.3.2 基本组成	93
4.3.3 DSO 的信号采样	94
4.3.4 主要技术指标	97
4.3.5 典型产品	99
4.3.6 选型依据	108
4.3.7 产品实例	109
思考题	116
第5章 频率和时间测量仪器	117
5.1 时间和频率的基本概念	117
5.2 电子计数器	118
5.3 微波频率计数器	125

5.4 产品实例	128
思考题	130
第6章 信号发生器	131
6.1 概述	131
6.1.1 用途	131
6.1.2 分类	131
6.1.3 主要技术指标	132
6.2 低频信号发生器	134
6.3 高频信号发生器	136
6.4 脉冲信号发生器	137
6.5 函数信号发生器	139
6.6 任意波形发生器	142
6.7 射频合成信号源	143
6.7.1 基本概念	143
6.7.2 基本工作原理	144
6.7.3 采用的新技术	147
6.7.4 主要技术指标	151
6.7.5 应用实例	154
6.8 选型依据	155
6.9 典型产品	157
6.9.1 国外产品	157
6.9.2 国内产品	160
6.10 产品实例	161
思考题	165
第7章 信号分析仪器	166
7.1 频谱分析仪	166
7.1.1 概述	166
7.1.2 分类	169
7.1.3 组成及工作原理	172
7.1.4 主要技术指标	177
7.1.5 测试应用	179
7.1.6 典型产品	181
7.1.7 选型依据	183
7.1.8 产品实例	183
思考题	189
7.2 失真度测量仪	190
7.2.1 概述	190

7.2.2	失真度定义	190
7.2.3	失真度的测量方法	191
7.2.4	主要技术指标	192
7.2.5	典型产品	193
7.2.6	选型依据	196
7.2.7	产品实例	197
思考题		200
7.3	调制度测量仪	201
7.3.1	概述	201
7.3.2	基本工作原理	201
7.3.3	主要技术指标	203
7.3.4	典型产品	204
7.3.5	选型依据	206
7.3.6	产品实例	206
思考题		210
7.4	扫频仪	210
7.4.1	扫频仪工作原理	211
7.4.2	产生扫频信号的方法	212
7.4.3	频标产生电路	213
7.4.4	主要技术指标	214
7.4.5	典型产品	214
7.4.6	选型依据	215
7.4.7	产品实例	215
思考题		219
第8章 射频测量仪器		220
8.1	网络分析仪	220
8.1.1	网络分析基本概念	221
8.1.2	网络分析仪分类	227
8.1.3	网络分析基本原理	228
8.1.4	标量网络分析仪	232
8.1.5	矢量网络分析仪	233
8.1.6	典型产品	244
8.1.7	选型依据	247
8.1.8	产品实例	249
思考题		258
8.2	射频阻抗分析仪	258
8.2.1	基本参数	258
8.2.2	测量方法	259

8.2.3	反射系数法测量阻抗	260
8.2.4	射频电流—电压直接测量法	260
8.2.5	射频阻抗分析仪的校准	262
8.2.6	测试应用	263
8.2.7	典型产品	263
8.2.8	产品实例	264
思考题		267
8.3	噪声系数测量仪器	267
8.3.1	基本概念	268
8.3.2	噪声系数的测量方法	271
8.3.3	噪声发生器	274
8.3.4	噪声系数测量仪器	277
8.3.5	典型产品	283
8.3.6	选型依据	284
8.3.7	产品实例	284
思考题		289
8.4	微波功率计	290
8.4.1	概述	290
8.4.2	组成及分类	291
8.4.3	功率传感器	293
8.4.4	热敏电阻功率计	294
8.4.5	热电偶式功率计	296
8.4.6	晶体二极管式功率计	299
8.4.7	主要技术指标	301
8.4.8	典型产品	301
8.4.9	选型依据	303
8.4.10	产品实例	303
思考题		308
第9章 数据域测试仪器		309
9.1	数据域测试概述	309
9.1.1	数据域分析的基本概念	309
9.1.2	数据域测试的特点	310
9.2	逻辑笔	311
9.2.1	逻辑笔的基本组成	311
9.2.2	逻辑笔的应用	312
9.3	数字信号发生器	312
9.3.1	数字信号发生器的作用	312
9.3.2	数字信号发生器的结构	313

9.3.3	数据的产生	314
9.3.4	数据流的特征	314
9.3.5	主要技术指标	317
9.4	逻辑分析仪	321
9.4.1	概述	321
9.4.2	基本组成	323
9.4.3	数据的捕获与触发跟踪	323
9.4.4	数据流的高速存储	327
9.4.5	数据的建立时间和保持时间	329
9.4.6	数据的显示	330
9.4.7	主要技术指标	331
9.4.8	典型产品	332
9.4.9	选型依据	333
9.4.10	产品实例	334
	思考题	335
第10章	电子元器件测量仪器	336
10.1	概述	336
10.2	基本电路元件特性	336
10.2.1	电阻器	337
10.2.2	电容器	337
10.2.3	电感器	338
10.3	万用电桥	338
10.3.1	电桥的分类及平衡条件	338
10.3.2	基本组成和工作原理	340
10.3.3	典型产品	341
10.3.4	产品实例	342
10.4	高频Q表	344
10.4.1	基本组成和工作原理	344
10.4.2	典型产品	346
10.4.3	产品实例	347
10.5	晶体管特性图示仪	350
10.5.1	基本组成和工作原理	351
10.5.2	典型产品	353
10.5.3	产品实例	355
	思考题	362
	参考文献	363

第1章 电子测量仪器的基础知识

俄国著名的科学家门捷列夫曾说“没有测量,就没有科学”。测量是人类对客观世界获取定量信息的过程,在这个过程中,人们借助于专门的测试仪器和设备,通过实验的方法,求出被测量的大小,从而对被测量的对象形成定性和定量的认识。在测量实验过程中所使用的仪器是科学探索的工具,测量仪器见证了科学的发展过程。

1.1 电子测量仪器的发展概况

电子测量仪器在20世纪获得了许多重大的发展。20世纪20年代发展起来的电子管仪器,由于采用了放大器,与电工仪表比较,灵敏度、内阻和频率范围均提高了许多,但仪器笨重,耗能较多。50年代出现了晶体管仪器,其体积、质量和功耗大为减少,但多为指针偏转式仪器,存在测量速度低、测量误差大等缺点。到70年代用集成电路构成的数字仪器,以数字显示代替指针偏转,提高了测量速度,又便于读数。70年代初,开始将微处理器应用于电子测量仪器,出现了智能仪器。近20年来,电子技术特别是微电子技术和计算机技术的迅猛发展促进了电子仪器技术的飞跃发展,电子仪器与计算机技术相结合使功能单一的传统仪器,变成先进的智能仪器和由计算机控制的程控式测试系统。

微电子技术及相关技术的发展,不断为电子测量仪器提供各种新型器件,如ASIC(专用集成电路)、信号处理器芯片、新型显示器件及新型传感器件等,不仅使电子仪器变得“灵巧”、功能强、体积小、功耗低,而且使过去难以测试的一些参数变得容易测试,数据域仪器的出现就是一例。微型计算机采用总线结构,信号多路传输,信息仅在某些指定时刻有效,因而采用传统的示波器、电压表之类仪器对计算机系统性能测试和故障检修变得越来越困难,必须采用如逻辑分析仪、特征分析仪、仿真器及微机开发系统之类的新型数据域测试仪器进行测试、调试和故障诊断。目前,电子测量仪器正朝着数字化、智能化、自动化、快速、小型、低功耗、多功能和高性能的方向发展。

1.2 电子测量仪器的分类

测量仪器是将被测量转化成可以直接观测的数值或者信息的工具。通常将利用电子技术对各种被测量进行测试的电子仪表、仪器、设备统称为电子测量仪器。

对于种类繁多的电子测量仪器,通常有以下两种分类方法。一是按测量仪器的被测对象可分为时域测量仪器、频域测量仪器和数据域测量仪器三大类。二是按测量仪器的功能可分为通用仪器和专用仪器两大类。通用仪器是为了测量某一个或某一些基本电参量而设计的,它可用于各种电子测量。专用仪器则是为特定的目的专门设计制作的,适用

于特定对象的测量。通常电子测量仪器又可按其功能进行细分,具体分类如下。

1. 信号发生器

信号发生器主要用来提供各种测量所需的信号。根据用途的不同,有各种波形、各种频率和各种功率的信号发生器,如低频信号发生器、高频信号发生器、函数信号发生器、脉冲信号发生器、任意波形信号发生器和射频合成信号源。

2. 电平测量仪器

电平测量仪器主要用来测量电信号的电压、电流、电平,如电流表、电压表(包括模拟电压表和数字电压表)、电平表、多用表等。

3. 信号分析仪器

信号分析仪器主要用来观测、分析和记录各种电信号的变化,如各种示波器(包括模拟示波器和数字存储示波器)、波形分析仪、失真度分析仪、谐波分析仪和频谱分析仪等。

4. 频率、时间和相位测量仪器

频率、时间和相位测量仪器主要用来测量电信号的频率、时间间隔和相位等参量。这类仪器有各种频率计、相位计、波长表以及各种时间、频率标准等。

5. 电子元器件测试仪器

电子元器件测试仪主要用来测量各种电子元器件的电参数是否符合要求。根据测试对象的不同,可分为晶体管测试仪(如晶体管特性图示仪)、集成电路(模拟、数字)测试仪和电路元件(如电阻、电感、电容)测试仪(如万用电桥和高频Q表)等。

6. 电波特性测试仪

电波特性测试仪主要用来测量电波传播、干扰强度等参量,如测试接收机、场强计、干扰测试仪等。

7. 网络特性测量仪器

本书所指的网络特性是指模拟电路网络的特性,所以网络特性测量仪器也可称为模拟电路特性测量仪器。网络特性测量仪有阻抗测试仪、频率特性测试仪(又称扫频仪)、网络分析仪和噪声系数分析仪等,主要用来测量电气网络的各种特性。这些特性主要指频率特性、阻抗特性、功率特性等。

8. 数字电路特性测试仪

数字电路特性测试仪包括逻辑分析仪、特征分析仪、数字I/O和总线仿真器等,是数据域测试不可缺少的仪器。

其中,逻辑分析仪是专门用于分析数字系统的数据域测量仪器。利用它对数字逻辑电路和系统在实时运行过程中的数据流或事件进行记录和显示,并通过各种控制功能实现对数字系统的软、硬件故障分析和诊断。

9. 辅助仪器

辅助仪器主要用于配合上述各种仪器对信号进行放大、检波、隔离、衰减,以便使这些仪器更充分地发挥作用。各种交/直流放大器、选频放大器、检波器、衰减器、记录器及交/直流稳压电源等均属于辅助仪器。

10. 智能仪器

随着微型计算机在仪器中的广泛应用,微机化仪器和自动测试系统得到了迅速发展,

相继出现了以微处理器为基础的智能仪器,比如可通过 GPIB 接口总线将计算机和一组电子仪器联合在一起组成自动测试系统,也可以以微型计算机为基础,用仪器电路板的扩展箱与微型计算机内部总线相连的仪器。人们习惯把内部装有微型计算机的新一代仪器,或者把可以进行程序控制的仪器,称为智能仪器。在电子测量仪器领域中,这是一个应用广泛而且很有前途的方向。

11. 虚拟仪器

上述传统电子测量仪器中,除电源和信号源外,都要完成以下三大功能:信号的采集和控制、信号的分析 and 处理、结果的表达与输出。这些功能都是由仪器生产厂家通过硬件功能模块或固化软件来完成的。根据对信号的分析、处理功能及相应的结果显示方式,电子测量仪器可分为很多不同类型,如电子示波器、电子计数器、电子电压表等。这些仪器的功能只能由仪器厂家定义和制造,用户无法改变。

虚拟仪器则是对传统仪器概念的重大突破,它是计算机技术与电子仪器相结合产生的一种全新的仪器模式。它改变了传统测量仪器的观念,许多过去在传统仪器中由硬件完成的功能,目前都可以由软件来实现。通常,可以将虚拟仪器定义为无操作控制面板,所有动作均在计算机中通过图形化的虚拟控制面板来完成的仪器。

虚拟仪器将仪器的三大功能全都放在计算机上完成。在微型计算机上插数据采集卡,完成对信号的采集;用计算机软件实现信号的分析与处理,完成各种测试功能;用软件在计算机显示器屏幕上方便地生成各种仪器的控制面板,以各种形式表达输出测量结果。

在虚拟仪器中,硬件仅仅解决信号的输入、输出问题,软件才是整个仪器系统的关键。仪器的功能由软件来实现,就是所谓“软件即仪器”。用户可根据自己的需要,设计自己的仪器系统,满足各种应用需求,彻底打破仪器功能只能由厂家定义,用户无法改变的模式。

在实际使用中,用户通过鼠标和键盘操作虚拟仪器,就像操作传统的电子测量仪器一样,用户可以充分发挥自己以前使用传统仪器的特长,只需经过很少训练即可很快掌握虚拟仪器的使用,特别是有 Windows 操作经验的用户。

虚拟仪器技术利用计算机技术实现和扩展传统仪器的功能,既然是使用计算机,当然离不开计算机软件编程。虚拟仪器的软件开发平台首推美国国家仪器公司的图形化编程软件 LabView。这种图形化、交互式的编程环境,面向没有编程经验的科研及工程技术人员。使用者无需软件专业背景,经过极短时间培训后即可开始编程。LabView 除了具备其他语言所提供的常规函数功能外,还集成了大量生成图形界面的模板,具有丰富实用的数据分析、数字信号处理功能以及多种硬件设备驱动功能,为用户开发仪器控制系统节省大量时间。

以上是通用电子测量仪器按功能分类的情况,此外还可按显示方式将其分为指针式仪器和数字式仪器。前者主要是用指针方式直接将被测量结果在标度尺上指示出来的仪器,如各种指针式万用表和电子电压表等。后者是将被测的连续变化的模拟量转换成数字量之后,以数字方式显示测量结果的仪器,如各种数字电压表、数字频率计等。

1.3 电子测量仪器的主要技术指标

仪器的技术指标又称为性能指标。在实际测量工作中拟定具体的测量方案时,需要选择测量仪器,而选择合适的测量仪器,就必须依据它的技术指标。电子测量仪器的技术指标确定了它能实现测量功能,以及实现该测量功能的优劣和适应性。

仪器的技术指标中,最重要的是工作条件、测量范围和误差大小,具体主要包括频率范围、测量精度、量程与分辨力、响应特性、输入特性与输出特性、稳定性与可靠性、测量的环境条件及电磁兼容性等。这些技术指标既反映了电子测量仪器的适应范围,又反映了它的工作能力。

1. 频率范围

频率范围是指仪器能保证其他指标正常情况下的有效频率范围。对于正弦波被测信号,只要求其工作频率在所选择仪器的有效频率范围之内,即可满足要求。但是,当被测量或测试信号含有多种谐波时,仪器的有效频率范围应同时满足其中高次谐波分量的要求。对于显示类仪器,有时还要考虑其幅频特性、相频特性和过渡特性。

2. 准确度

仪器的准确度是用来同时表示测量结果中系统误差和随机误差大小的程度。仪器的准确度,也称为精度,通常以容许误差或不确定度的形式给出。仪器误差往往是测量误差的主要成分,它们与各种影响因素(仪器内部及外部)都有着密切的关系,因此在估计仪器的准确度时,必须考虑以下几点:一是仪器是否具有有效检定的合格证书;二是根据仪器说明书的要求,分析测量过程中的环境条件、测量人员的操作使用情况以及工作频率、量程、输入特性可能对仪器产生的影响,并做出的估计,确定修正和削弱这些影响的方法;三是采用间接测量方案时,应按照误差的分配原则,根据总误差的要求使每台仪器及设备的误差指标都满足要求。

(1) 固有误差与基本误差。仪器在基准工作条件下容许的误差(又称极限误差)称为固有误差,它大致反映了仪器所具有的最高使用精度,通常用于仪器误差的检定、比对和检验。表1-1是IEC推荐的基准条件。基本误差是仪器在正常工作条件下的容许误差。正常工作条件比基准工作条件范围稍宽。例如,环境温度: $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;相对湿度: $65\% \pm 15\%$;交流电压:额定值 $\pm 2\%$ 等。

早期生产的电子测量仪器分别给出基本误差及各项附加误差(如温度误差、频率特性误差、量程误差等)。至于该仪器的总误差,则需要使用人员根据误差理论进行计算。

(2) 工作误差。工作误差是指在仪器的额定工作条件内,在任一点上求得的仪器某项特性的误差。额定工作条件包括仪器本身的全部使用范围和全部外部工作条件,因此最不利的组合情况下,会产生最大误差。仪器的工作误差常以极限的形式给出,在确定的置信概率(通常为95%)下,工作误差处于该误差极限之内。工作误差包括仪器的固有误差(或基本误差)及各种影响量共同作用的总效应,电子测量仪器的工作误差指标在其说明书中必须给出,固有误差则可视情况给出。

表 1-1 IEC(国际电工委员会)推荐的基准条件

影 响 量	基准数值或范围	公 差
环境温度	20℃, 23℃, 25℃, 27℃, 未指明时为 20℃	±1℃
相对湿度	40% ~ 75%	
大气压强	101kPa	
交流供电电压	额定值	±2%
交流供电频率	50Hz	±1%
交流供电波形	正弦波	$\beta \leq 0.05$
直流供电电压	额定值	$\Delta U/U_0 \leq \pm 1\%$
通风	良好	
太阳辐射效应	避免直射	
周围大气速度	0 ~ 0.2m/s	
振动	测不出	
大气中沙、尘、盐、污染气体或水蒸气、液态水等	均测不出	
工作位置	按制造厂规定	

在表 1-1 中, β 称为失真因子, 交流供电波形应保持在 $(1 + \beta) \sin \omega t$ 与 $(1 - \beta) \sin \omega t$ 所形成的包络之内。 ΔU 为纹波电压峰峰值, U_0 为直流供电电压额定值。

3. 量程与分辨力

量程是指测量仪器的测量范围。分辨力是指通过仪器所能直接反映出的被测量变化的最小值, 即指针式仪表刻度盘标尺上最小刻度代表的被测量大小或数字式仪表最低位的“1”所表示的被测量大小。量程的选择应充分利用仪器所提供的精度。各种仪器对于同一被测量用不同的量程去测量时, 其测量精度可能会有很大的差别。

分辨力反映仪器区分被测量细微变化的能力。同一仪器不同量程的分辨力不同, 通常以仪器最小量程的分辨力(最高分辨力)作为仪器的分辨力。显然, 在最小量程上, 仪器具有最高分辨力。量程与分辨力的选择, 应结合被测量大小和仪器的特点来进行。

4. 响应特性

一般说来, 仪器的响应特性是指输出的某个特征量与其输入的某个特征量之间的响应关系或驱动量与被驱动量之间的关系。被测对象的特征信息往往是多方面的。因此仪器的响应特性在电信号的测量中显得特别重要。非正弦信号及噪声电压的测量就是一个典型的例子。电压表响应的是峰值、均值或有效值, 至于最后显示的结果代表哪种意义, 则完全取决于交/直流转换器的响应特性及表头的刻度特性。除此之外, 有时还要考虑允许的响应时间、带宽或频率补偿探头的使用等。

5. 输入特性与输出特性

输入特性主要包括测量仪器的输入阻抗、输入形式等。由于电子测量绝大多数属于接触式测量, 当测量仪器接入被测电路或系统时, 常会在不同的程度上改变其原有的工作状态, 在测试回路时也会产生反射、驻波等, 从而导致测量误差的产生。为了消除或削弱这种影响, 通常从三个方面采取措施: 一是改进测量方法; 二是选择合适的仪器; 三是在一定的条件下对仪器输入特性的影响加以计算和修正。

输出特性主要包括测量结果的指示方式(即指按什么方式进行读数或显示)、输出电

平、输出阻抗及输出形式等。在有的测试系统中,还要考虑是否要求仪器输出某种形式的电平或编码,去控制其他设备或被测对象。

6. 稳定性与可靠性

仪器的稳定性是指在一定的工作条件下,在规定的时间内,仪器保持指示值或供给值不变的能力。电子测量仪器的稳定性是以稳定误差的形式来表示的。影响仪器稳定性的因素有很多,主要有温漂、电源的波动、元器件的稳定性、电路的抗干扰性能及其环境条件的改变等。在精密测量及长时间的测量中,为了减小仪器稳定误差的影响,应在测量前或测量的过程中进行仪器的自校准或外部校准。在计量测试中有时还要求在测量结束时,对校准仪器或量具进行复检。

仪器的可靠性是指其在规定的条件下,完成规定功能的可能性,是反映仪器是否耐用的一种综合性和统计性的质量指标。仪器不可靠的原因是多方面的,从使用的角度看,除了正确进行操作外,还必须配备有关的保护、检测、报警等装置及应急电源、备用设备或附件等。

7. 环境条件

对环境条件的适应性也是电子测量仪器的重要性能指标。选择仪器时,要注意其使用的环境条件是否满足,必要时应对环境条件不理想所造成的误差加以评估或修正。一般情况下,应着重注意环境温度、湿度和电源电压的影响,必要时应采取恒温、干燥和稳压等措施。根据具体的测量任务及仪器技术要求,IEC 将电子测量仪器按工作环境条件分为五个组别,如表 1-2 所列。

表 1-2 IEC 推荐的工作范围

工作组别	工作条件说明
A	此环境用于标准实验室,用以进行校准或仲裁测量
B	这是一组室内环境条件,通常指一般的实验室及轻工业部门的工作场所,在仪器操作方面要求细心
C	通常指重工业部门的工作场所
D	本组对环境不加控制,对仪器操作方面无特别要求
E	这是一组适用于野外工作的特殊环境

8. 电磁兼容性

电磁兼容性是指电子系统在规定的电磁环境中按设计要求而工作的能力,即在不损失有用信号所包含信息的条件下,信号和干扰共存的能力。也就是说,电磁兼容性是评价电子系统对环境造成的电磁污染的危害程度和抵御电磁污染的能力。提高测量系统的电磁兼容性的主要工作是对各种干扰设法加以有效的抑制。

思考题

- 1. 什么是测量仪器? 什么是电子测量仪器?
- 2. 电子测量仪器的发展大致经历了哪几个发展阶段?
- 3. 通用电子测量仪器按照其功能进行分类,主要包含哪些类型的仪器?
- 4. 电子测量仪器的主要技术指标有哪些?