

高等学校教材

电子仪器原理

郭成生 古天祥 陆玉新 张世箕

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要论述通用电子仪器的基本原理。根据现代电子仪器的发展趋势,该书着重论述以微型计算机系统为核心的智能电子仪器的结构体系,以及其硬件和软件的设计原理和方法。

全书共分九章。第一章介绍电子仪器的组成及其特性;第二章介绍仪器通用输入/输出及其接口;第三章介绍仪器软件设计基础;第四章介绍仪器标准接口及其编程;第五章介绍电子计数器;第六章介绍数字电压表;第七章介绍电子示波器;第八章介绍信号发生器;第九章介绍频谱分析仪。

本书可作为高等学校工科电子类测量和仪器专业的试用教材,也可供从事电子仪器及测量技术工作的工程技术人员参考。

电子仪器原理

郭成生 占天祥 陆玉新 张世英

国防工业出版社

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张24 551千字

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷 印数: 0,001—5,080册

ISBN 7-118-00565-7/TP·74 定价: 4.75元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978年至1985年,已编审、出版了两轮教材,正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻“努力提高教材质量,逐步实现教材多样化,增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神,我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会,在总结前两轮教材工作的基础上,结合教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿,是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由高等学校工科电子类专业无线电技术与信息系统教材编委会委员与测量编审小组征稿、评选、推荐出版。责任编辑田良副教授。

本教材由成都电子科技大学郭成生教授担任主编,东南大学田良副教授担任主审。

本课程的参考学时数为70学时。本书以数字化、智能化为重点,讲述通用电子仪器的基本原理。其目的是使读者学会运用基础课(如电子测量原理、模拟与数字电路、微计算机原理等)中所学的有关知识,去分析、理解和掌握现代电子仪器的工作原理、基本设计思想、方法和技巧,并使读者能运用这些知识来解决应用与开发电子仪器中的实际问题,了解电子仪器的发展情况,能适应电子仪器日新月异发展的需要。

本书的内容是以仪器为线索来安排的,以便使读者能建立起几类典型电子仪器的整体概念。同时,对现代电子仪器中的共通性的理论与技术问题、基本的电路部件原理、硬件与软件设计中的基本方法等,也安排了专门的章节予以阐述,以有利于加强基础理论和基本技能的训练。书中主要讨论电子计数器、数字电压表、电子示波器、信号发生器、频谱分析仪等类电子仪器。由于电子仪器品种门类繁多,本书不可能且也没有必要一一给予讨论。在对各类电子仪器的讲述中着重对频率、电压和示波器三类仪器进行了较详细的论述。在第五、六章中还用了较多篇幅分别剖析了一种典型仪器的实例。这几种仪器是最通用的基本测试仪器,且在电路上各具有代表性,通过具体实例,便于读者深入地了解现代电子仪器的结构体系,以及微处理器在仪器中的作用原理。书中每章皆附有思考题、习题和主要参考资料,以便复习和查阅。

本课程应在全部基础课程、《电子测量》及《微型计算机原理》课完成后进行。为使理论联系实际,使用本书时,应配合一定数量的示教和实验。实验内容建议包括:电子计数器、A-D及D-A的接口和编程、电子示波器时基、智能仪器通用软件编程等。在教学过程中,如能结合一些典型仪器实例分析或做课程作业,可更好地帮助读者建立整机概念。除本书的第五、六章中提供的两种仪器实例外,读者还可结合分析一些其它种类的智能仪器。

本教材由郭成生编写第一、二、三、四章,古天祥编写第五、六章,陆玉新编写第七、八章,张世算编写第九章,郭成生统编全稿。在编写过程中,电子科技大学自动化系智能检测及仪器教研室的同志提供了许多宝贵资料和意见,杨洁、习友宝参加了典型仪器分析工作。北京无线电技术研究所吴天麟高级工程师、上海无线电仪器厂谢尔昌、叶忠毅高级工程师为本书提供了国产典型仪器产品的技术资料,对本书的编写给予巨大的帮助和支持。仪表与测量编审小组的专家们对本书编写提出了很多宝贵的指导性意见,特别是张世算教授、陈光福教授对本书编写给予极大的关心和鼓励。此外,东南大学田良副教授、柯吉祥副教授,南京邮电学院范懋本教授详细审阅了本书的初稿,提出了许多宝贵的修改意见。编者谨向他们表示诚挚的感谢!

编者在编写本书的过程中吸取了前几届教材编写的经验，并总结了多年教学实践。为适应电子仪器的发展，本书的编写力求取材先进、概念清楚、文字简练、图文并茂、利于教学、便于自学。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1988年11月于成都电子科技大学

目 录

第一章 绪论	1
一、电子仪器的作用及其重要性	1
二、电子仪器的特点及其技术特性	1
三、电子仪器的分类	4
四、电子仪器的基本组成	5
五、电子仪器的自动化与智能化	7
本章思考题和习题	11
参考文献	12
第二章 输入/出及其接口	13
§ 2-1 按键/开关及其接口	13
一、本控操作的按键/开关	13
二、按键/开关的接口及其驱动软件	15
§ 2-2 按键/开关的序列处理	21
一、按键/开关操作序列的状态图	21
二、按键/开关操作序列的状态表	25
§ 2-3 LED 显示器及其接口	30
一、LED 动态显示器及其接口	30
二、LED 七段显示器及其接口	30
三、LED 点阵显示器及其接口	35
§ 2-4 CRT 显示器及其接口	36
一、光栅扫描点阵液晶显示系统	36
二、随机扫描矢量光栅显示系统	42
本章思考题和习题	48
参考文献	48
第三章 软件设计基础	49
§ 3-1 结构化系统设计	49
一、系统结构分析	49
二、系统结构设计	50
§ 3-2 结构化程序设计	52
一、顺序与分支结构	52
二、循环结构及其编程	55
§ 3-3 数据表及其检索	60
一、数据结构与数据表	60
二、顺序检索	63
三、对分检索	64
四、字符串及其模式匹配	66
本章思考题和习题	69
参考文献	69

第四章 标准仪器接口及其编程	70
§ 4-1 大规模集成标准接口片的工作原理	70
一、大规模集成标准接口片	70
二、8291A 接口片的功能结构	71
三、8291A 接口总线系统	74
四、8291A 内部寄存器地址与寄存器	76
§ 4-2 大规模集成标准接口片的编程	85
一、8291A 接口片初始化状态	85
二、读/写接口功能的编程	87
三、辅助接口功能的编程	90
四、8291A 接口功能系统的操作原理	98
§ 4-3 软接口的实现	98
一、软接口的硬件结构	98
二、软接口的软件编程	100
§ 4-4 仪器远控操作中的若干问题	103
一、器件消息的编码与格式	103
二、远控操作消息及其处理	109
本章思考题和习题	112
参考文献	113
第五章 电子计数器	114
§ 5-1 电子计数器的原理及组成	114
一、时间(频率)模-数(A-D)转换原理	114
二、电子计数器各部分的工作原理	115
三、电子计数器的组成方框图	120
§ 5-2 通用计数器的基本测试功能和主要技术指标	120
一、基本测试功能	120
二、通用计数器的主要技术指标	122
§ 5-3 计数电路	123
一、分立式计数与显示电路的组成	123
二、计数电路及其与译码的接口	132
三、8253 计数/计时器在电子计数器中的应用	133
§ 5-4 单片通用计数器	140
一、内部电路及引脚功能	141
二、典型应用电路	144
§ 5-5 典型智能计数器举例——AS221 通用电子计数器	145
一、仪器的概况	145
二、原理及功能	147
三、硬件逻辑电路简介	150
四、仪器软件简介	165
本章思考题和习题	177
参考文献	178
第六章 数字电压表	179
§ 6-1 概述	179
一、数字电压表和数字多用表的基本原理	179
二、DVM 和 DMM 的主要工作特性	183
三、智能多用表的主要特点	183

§ 6-2 双斜式电压-数字转换技术	188
一、双斜式电压-数字转换器	188
二、双斜式电压-数字转换器的自动校零技术	194
三、双斜式电压-数字转换器与微型计算机的接口和编程	202
§ 6-3 比较式电压-数字转换技术	211
一、反馈比较式电压-数字转换器的原理	211
二、微机对比较式电压-数字转换过程的控制	217
三、单片集成的比较式电压-数字转换器的接口及测量	220
§ 6-4 典型智能数字多用表介绍——BY1955A 快速系统数字多用表	231
一、BY1955A 概况	231
二、仪器的原理及组成	234
三、余数循环 A-D 转换器	235
四、内层测量电路	238
五、模拟控制器	243
六、数字控制器	246
七、IEEE-488 接口	249
八、键盘与显示电路	250
九、外层软件简介	250
十、内层软件简介	254
本章思考题和习题	261
参考文献	262
第七章 电子示波器	264
§ 7-1 概述	264
一、电子示波器的分类	264
二、电子示波器的基本组成	265
§ 7-2 阴极射线管	267
一、电子在电场中的运动	267
二、静电式 CRT 中的电子枪	268
三、电子射线的像电晕	269
四、CRT 的工频特性	271
五、偏转系统的高频特性	272
§ 7-3 电子示波器的水平系统	273
一、水平系统的组成	273
二、扫描方式	276
§ 7-4 扫描功能的扩展	289
一、延迟扫描和双时基系统	290
二、单次扫描	294
§ 7-5 电子示波器的垂直系统	295
一、垂直系统的输入电路	296
二、示波器的多踪显示	297
三、满带宽度和上升时间	299
§ 7-6 电子示波器的原理框图	300
§ 7-7 数字存储示波器	302
一、瞬态信号测试方案	303
二、波形的取样、变换和存储	305
三、波形的显示	313
四、波形参数的测量	316
五、波形处理	318

本章思考题和习题	321
参考文献	321
第八章 信号源	322
§ 8-1 合成信号源	322
一、频率合成方案	322
二、合成信号源	322
三、合成信号源的特点	331
§ 8-2 扫频信号源	332
一、扫频信号的特性及其应用	332
二、扫频信号的产生	334
§ 8-3 程控信号源	336
一、概述	336
二、波形合成原理	337
三、任意波形信号发生器的工作	342
本章思考题和习题	344
参考文献	345
第九章 频谱分析仪	346
§ 9-1 概述	346
一、时域和频域分析的优缺点	346
二、频谱分析仪的工作原理和基本组成方案	347
三、外差式频谱仪的新发展	348
§ 9-2 频谱仪中的几个基本问题	350
一、频谱仪的静态分辨率	350
二、频谱仪的动态分辨率	351
三、分析滤波器通带的最佳选择	352
四、频谱仪的灵敏度	354
五、射频脉冲的测量	355
§ 9-3 频谱仪的总体设计	357
一、多级变频系统	357
二、分析滤波器	358
三、检波和校准系统	359
四、微处理系统	358
五、面板设计	360
§ 9-4 若干特殊于系统的设计	364
一、视频滤波器	364
二、互调失真测试	365
本章思考题和习题	367
参考文献	368

第一章 绪 论

一、电子仪器的作用及其重要性^(2,5)

测量仪器是用于确定被测量的量值的装置(设备或器件等),包括测量(输入)被测量的和提供(输出)标称量值的装置两类(如弹簧秤与电压表以及天平的砝码与标准信号发生器等)。为确定被测量的量值所进行的操作过程通常称为测量。用测量仪器进行测量,实质上是将待测量的量值直接地或间接地与同类量的已知单位量值进行比较,以确定被测量的量值大小(包括符号与单位)。

电子测量是利用电子科学技术,测量在电子科学中有关电量的量值的技术。利用电子科学技术构成的,用于电子科学技术中测量有关电量的量值的仪器,通常称为电子测量仪器(这里,将简称电子仪器)。

测量仪器与测量技术是人们认识自然、改造自然和促进生产发展必不可少的工具与手段。它有助于人们从实事求是的定量分析中发现事物的特性及其相互关系,认识客观事物的发展规律,建立与检验科学理论,用于改造客观世界。许多事实表明,测量仪器与测量技术对促进国民经济和国防建设的发展有着极其重要的作用,它的发展状况是表明国家现代化水平的一个重要标志。

在电子科学技术领域中,许多物理现象与物理量是人体感官无法直接感觉得到的,必须借助于电子仪器与测量技术,才能定量地确定它们的变化规律。在电子工业中,电子产品技术特性的调试与检验,以及电子设备的维护与修理等环节也都必须运用电子仪器与测量技术才能完成。在科学研究与生产实践的过程中,电子仪器与测量技术同电子科学技术有着密切的联系,它们互相促进、相辅相成地共同发展。电子仪器与测量技术已经成为电子科学技术的一个重要分支。

随着科学技术的不断发展,借助于不同的传感器将各种非电的待测量(例如,力、热、光、声等物理量)转变为电信号,便可利用电子仪器与测量技术来进行测量。因此,非电测量技术既包含着各种传感技术,又包含着电子测量技术。非电测量仪器通常是各种传感器与电子仪器有效的结合。这样,便使电子仪器与测量技术的应用日益广泛地深入到科学研究与工程技术的各个领域,成为促进国民经济与国防建设不断发展的强有力的手段与工具。

二、电子仪器的特点及其技术特性^(2,5)

电子仪器是基于电子科学技术构成的,并用于电子科学技术的各个领域,测量各种有关电量的量值。就广义而言,电子仪器包括通用性与专用的电子仪器两类。通用的电子仪器有较宽广的通用性。专用的电子仪器是为特定的应用而专门研制的,有较强的针对性和适应性。这里,将论述通用电子仪器的主要特点,以及其相应的基本技术特性。

(一) 工作频率范围宽

在电子科学技术领域中,待测量包括频率范围从直流(零频)直至光频(300GHz以上)的各种电信号与电路的参数和特性。因此,要求电子仪器能适用的工作频率范围极宽。一般来说,同类的待测量在不同的频段须用不同的电子仪器来测量。具体的工作频率范围是一台电子仪器的一项基本的技术特性。有些类型的电子仪器的工作频率范围是很宽的。例如,有的频谱分析仪的工作频率范围可从100Hz至300GHz(由若干频段组成),整个频率范围的覆盖系数达 3×10^9 。

(二) 量程宽广

对电子仪器而言,待测量的量值范围往往也是很宽广的。一台电子仪器在允许的误差限内能测量某一待测量的量值范围,为该仪器的测量范围,测量范围上限值与下限值之差的模通称为量程。测量范围或量程的宽窄属电子仪器的基本技术特性。为了覆盖足够宽的量程,电子仪器的测量范围常常包括若干档级,一般按1—2—5或1—3或10的比例划分。有些类型的电子仪器的测量范围是很宽广的,可达十个数量级左右。例如,数字式频率计、数字式多用表等。

(三) 灵敏度与分辨力高

电子仪器的灵敏度是表示它对被测量的量值变化的响应能力。灵敏度通常定义为电子仪器输出端的响应增量与输入端被测量的量值增量之比。对于特定类型的电子仪器而言,灵敏度的表示方法往往有所不同。例如,频谱分析仪的灵敏度,通常表示为在输出端具有额定信号/噪声比(如 $(S+N)/N=2$)时输入信号的最小电平。有的频谱分析仪的灵敏度可达 -150dBm 。

分辨力通常是表示电子仪器可分辨被测量的量值最小增量的能力。例如,模拟式电子仪器的分辨力是表示它的指针刻度相邻分度所对应的量值之差;数字式电子仪器的分辨力是表示它的数字显示器最低数位相邻数字所对应的量值之差。

灵敏度或/与分辨力往往是电子仪器重要的技术特性。有效地运用电子科学技术,可使电子仪器获得较高的灵敏度与分辨力。

(四) 误差小、精确度高

运用电子仪器进行测量时,所获得的被测量的量值称为测得值或测量结果。测量结果与被测量的实际值之差为绝对误差,绝对误差与被测量的实际值之比为相对误差。导致测量误差的因素有多方面。例如,电子仪器的失调、不稳定、鉴别力差、重复性差、测量方法的不完善、各种影响量与影响特性对电子仪器性能与特性的作用,以及错综复杂的内部与外部影响对测量过程所致的不良效应等因素。

在连续多次测量某一被测量的过程中,凡数值与符号都保持恒定不变或按一定的规律变化的测量误差分量为系统误差。电子仪器的系统误差,决定了它的测量准确度。电子仪器的准确度,是表明它所给出的测量结果与被测量的实际值之间的偏差程度。电子仪器误差的系统分量的大小,是它的准确度的标志。准确度高,意味着系统误差小。系统误差具有规律性,可以运用实验的方法进行校准,引入校准因子或修正值来加以改正。

在连续多次重复测量某一被测量的过程中,始终保持测量条件不变的情况下,凡数值与符号变化无一定规律的测量误差分量为随机误差。电子仪器的随机误差决定了它的测量精密度。电子仪器的精密度,是表明它所给出被测量的测量结果的重复一致的程度。电

子仪器误差的随机分量的大小,是它的精密度的标志。精密度高,意味着随机误差小。随机误差没有一定的规律性,它是不能修正的。但是,随机误差的总体服从一定的统计规律,可以运用统计的方法来估计它对测量结果的影响。

电子仪器的测量精确度是它的测量精密与准确程度的综合反映。电子仪器的精确度高,意味着它的随机误差分量与系统误差分量都很小,也就是说它既精密又准确。电子仪器的测量误差与精确度,是对它的测量性能的两种不同的描述方式。

电子仪器的精密度,常用随机不确定度来表示;系统不确定度可用来表示电子仪器的准确度(相应于数值与符号未经确定的未定系统误差限)。若已修正了所有的已定系统误差,则电子仪器的精确度常用不确定度来表示。电子仪器的不确定度,表征它对被测量的实际值不能确定的程度,即它对被测量的实际值位于某个量值范围的一个估计(它的测量结果与被测量的实际值的差异程度)。电子仪器的测量结果的不确定度小,其可信程度就高。一般,测量结果的不确定度包含有几个不确定度分量。按方和根合成法将它们合成可得合成不确定度(相当于标准偏差)。将合成不确定度乘以置信因子,可得总不确定度(相当于电子仪器的测量结果的误差极限)。

有效地运用电子科学技术,可降低电子仪器的测量结果的不确定度,提高它的测量结果的可信程度。一般来说,电子仪器的精确度可以比其它测量仪器高很多。在电子仪器中,数字电压表测量直流电压的不确定度可达 10^{-8} 量级以上,频率计数器测量频率的不确定度可达 10^{-8} 量级以上。利用参数变换技术,电子仪器有可能获得较高的精确度。这正是电子仪器优于其它测量仪器的一个重要因素,也是电子仪器日益广泛深入应用于科学研究与工程技术各个测量领域的一个主要原因。

电子仪器的测量误差或精确度是它的基本技术特性。它们与各种影响量和影响特性有着密切的关系,与它的工作条件和使用范围有着密切的关系。国家标准规定了电子仪器给出误差的原则、误差的表示方法及其检验方法。电子仪器的误差,可分别用固有误差、工作误差、影响误差、稳定误差,以及误差极限等表示。电子仪器必须标明在额定工作条件下,组合有关影响量与影响特性,它所给出的被测量的测得值的误差极限,即电子仪器的工作误差。

(五) 响应时间短、测量速度快

从输入或改变被测量的量值至电子仪器直接给出相应的测得值的稳定读数之间的间隔时间,即为电子仪器的响应时间。这也就是,电子仪器进行一次有效的测量所需的时间。电子仪器的响应时间短,它的测量速度就快。响应时间或测量速度往往也是有些类型的电子仪器的一项重要的技术特性。

由于电子仪器是基于运用电子科学技术构成的,它的测量速度(或响应时间)显然要比其它测量仪器来得快(或短)。电子仪器的模拟电路的响应速率往往要比时序的数字电路来得快。但是,模拟式的读数装置(如指针式指示器)的响应速率往往要比数字式的读数装置(如数字式显示器)来得慢。电子仪器的测量速度还与它所运用的测量原理(或效应)有关,如积分式的电子仪器的响应时间就取决于测量所需积分时间的长短。

在科学研究与工程技术的许多测量领域中,往往需要进行动态测量。及时测得某个待测量的瞬时值或它随时间变化的规律,或实时测量某个系统的动态特性。在这些情况下,电子仪器的响应速率、测量的实时性就很重要。

(六) 对科学技术新成就十分敏感

电子仪器的发展对科学技术新成就的出现十分敏感, 引用十分迅速。微处理器刚一问世, 很快就在电子仪器中得到了应用, 导致了新一代电子仪器的广泛涌现。电子仪器与微处理器结合, 有力地促进了电子仪器自动化与智能化的新发展。

电子仪器与通用微型计算机有效地结合在一起, 可以实现计算机辅助测试。借助于计算机执行有关测试的程序, 可以实行程控操作, 自动地设置仪器功能、操作方式与工作参量, 进行测试组态; 自动地采集测试数据, 进行多种运算与处理, 以及自动地按照预定的方式给出测试结果。

有效地利用计算机的存储、控制, 以及运算与处理等功能, 充分地开发各种有关测试的算法及其程序, 将能大大地增强仪器的测试功能与性能、提高测试的精确度、加快测试的速度, 以及改善仪器测试操作的方便性与灵活性等, 将能有效地提高电子仪器测试自动化与智能化的水平。

三、电子仪器的分类^[2,3,6]

电子仪器的类别、品种与型式繁多, 又有一系列的特点, 应用范围广泛。研究它的分类, 有助于更好地掌握它, 方便于分门别类地研制、生产与管理它。从不同的观点与角度出发, 电子仪器可以有各种不同的分类方法。

(一) 按工作频率范围来分类

在不同的工作频率范围, 即使功能类同的电子仪器, 它们的工作原理、电路器件与结构型式往往也迥然不同。因此, 电子仪器常按工作频率范围来分类, 分为超低频、低频、视频、高频, 以及微波等类别, 其中各个频段还可再细分。必须指出, 它们间的界限并不甚明确, 相互间常有交叉重叠。应注意, 随着电子科学技术的不断发展, 电子仪器日益趋向宽频段发展。现在, 有些类型的电子仪器已从直流覆盖到微波频段。因此, 这种分类方法常与其它分类方法结合使用, 作为一种辅助分类方法。

(二) 按测量的参量特性来分类

在电子科学技术领域中, 待测的参量一般包括下列四大类:

(1) 有关电磁能的量 如电流、电压、功率、电场强度, 以及电磁干扰与噪声等多种待测量。

(2) 有关电信号特征的量 如频率、相位、波形参数、调制参数、频谱、概率密度、随机过程特性, 以及信号/噪声比等。

(3) 有关电路元件与材料性能特性的量 如电阻、电容、电感、阻抗或导纳、品质因数、介质损耗角正切, 以及介电常数与导磁率等。

(4) 有关无源与有源网络特性的量 如传输系数(衰减、增益、相移、时延等)、频率特性、冲激响应、分辨力、灵敏度、噪声系数、驻波比(反射系数)、耦合度、方向性、晶体管特性参数等。

以上按测量的参数特性进行电子仪器的分类并不是绝对的。有关电信号与电路系统特性的量是密切联系的。通常, 有关电路元件和材料, 以及无源和有源网络性能特性的量是通过有关电磁能的量与有关电信号特征的量的测量来获得的。因此, 测量表征3类与4类性能特性量的电子仪器, 往往是测量1类与2类参量的仪器功能的适当组合。

这些电子仪器既能测量表征3类与4类性能特性的量,又能测量1类与2类的参量。在上述各类待测量中,有些待测量从不同的角度出发,有时可将它们归入某一类,有时又可将它们归入另一类(如频带宽度等)。

电子仪器在按测量的参量特性来分类时,常常还用按工作频率范围分类法或所用的电路技术与测量原理的不同再行细分。

应注意到,随着电子科学技术的不断发展,电子仪器日益趋向多功能的发展。也就是说,一台电子仪器有多种功能,能测量多种电参量的量值,或能供给多种电参量的标称量值。它的适用范围宽,使用方便灵活(如数字式多用表等),这也就使它突破了传统分类的界限。

此外,电子仪器还有多种分类方法。按所用测量原理与方法的不同来分类,有模拟式的、比较(替代)式的、电桥式的、伏安式的、……等多种类别的电子仪器。按所用电路技术与分析处理方法的不同来分类,有模拟式的、数字式的电子仪器等类别。按待测量所在畴域的特征与分析处理方法的不同来分类,有频域的、时域的、幅域的、数据域的等多种类别的电子仪器。就这些畴域的分析处理方法而言,它们之间有联系,又有区别,是相辅相成互为补充的。有些电子仪器所用分析处理方法与测量技术往往不只局限于某一畴域、某一方法。

电子仪器按其结构特点的不同又可分为袖珍式的、便携式的、台式的、架式的、插件式的、组合式的等多种类别。按操作方式的不同,可分手动的、自动的、可编程的、智能化的等类型的电子仪器。

根据国家标准规定,电子仪器按使用条件分成三个基本的组别。I组的电子仪器适用于设有空调设备的可控环境,温度为 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$,湿度为 30°C 、 $(20\sim 75)\% \text{RH}$,操作仪器时要细心,仪器只允许受轻微的振动,如计量用的高精确度仪器一般归入该组。II组的电子仪器适用于具有一般保暖、供暖及通风的室内环境,温度为 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$,湿度为 40°C 、 $(20\sim 90)\% \text{RH}$,仪器在使用中允许受到一般的振动与冲击。通用仪器应符合该组的要求。III组的电子仪器适用于无保暖、供暖条件,或有大量热源的高温环境,温度为 $-10\sim 50^{\circ}\text{C}$,湿度为 50°C 、 $(5\sim 90)\% \text{RH}$,以及与此相类似的室外环境,仪器在频繁的运输、装卸、搬动中允许受到振动与冲击。必须指出,在研制、定型、生产电子仪器的各个阶段应注意到国家标准有关电子仪器按使用条件分成三个基本组别的详细规定,以利于提高产品质量。

四、电子仪器的基本组成⁽³⁾

电子仪器具有两大类型:一种类型是测量输入被测量的量值的电子仪器,如电压表、频率计、示波器、频谱分析仪、逻辑分析仪、随机过程特性分析仪等;另一种类型是提供标称量值输出的电子仪器,如各种标准信号源、噪声源、随机码发生器、测试码发生器等。现在,有些电子仪器包含有上述两种基本类型的电子仪器的功能,即将它们组合在一台电子仪器内。这些电子仪器既能为测量提供所需的标称量值的输出,又能测量输入的被测量的量值,具有多种功能,适用于测量电子材料和电路元件,以及电路与系统的性能特性,例如各种综合测量仪器等。下面分别论述上述两种类型的电子仪器的基本组成。

(一) 提供标称量值输出的电子仪器

它的基本组成示于图 1-0-1, 包括信号产生器、综合与整形器、输出装置、检测与指示(显示)装置、控制部件, 以及直流稳压电源等基本组成部分。

这里, 信号产生器产生各种基本的信号, 供给综合与整形器合成所需的测试信号, 通过输出装置输出。输出装置能调整输出量值, 并具有滤波、隔离与驱动等功能。操作人员通过仪器前面板的按键/开关与旋钮, 设置仪器的输出功能、操作方式与工作参数。控制部件将前面板的按键/开关与旋钮的状态转变为相应的控制信号, 分别供给信号产生器、综合与整形器, 以及输出装置, 实现对仪器的输出功能、操作方式与工作参数相应的组态。检测与指示(显示)装置的作用是, 检测与指示(显示)仪器各组成部分的工作状态, 以及仪器的输出量值。

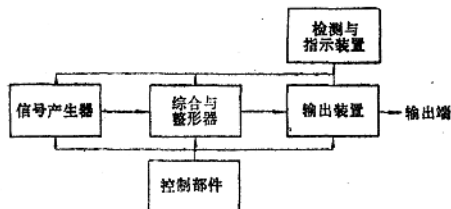


图1-0-1 提供标称量值输出的电子仪器的基本组成

一般说来, 仪器内各个组成部分可包含有模拟电路与数字逻辑电路。实际上, 具体仪器所用电路的类型将取决于仪器的输出功能、工作原理, 以及工作频率范围等多方面的因素。

(二) 测量被测量的量值的电子仪器

它的基本组成如图 1-0-2 所示, 包括输入装置、变换与分析处理器、指示(显示)装置、控制部件、参考(标准)源, 以及直流稳压电源等基本组成部分。

由图 1-2 可见, 被测量输入到输入装置, 经它缓冲/隔离、衰减或放大、滤波等, 供给变换与分析处理器适当地提取出有关被测量的量值信息, 通过指示(显示)器给出被测量的示值(测量结果)。使用人员通过仪器面板上的按键/开关与旋钮, 设置仪器的测量功能、操作方式与工作参数。控制部件将仪器面板上的按键/开关与旋钮的状态转变为相应的控制信号, 分别供给仪器的输入装置、变换与分析处理器, 以及指示(显示)装置, 实现对仪器的测量功能、操作方式与工作参数相应的组态。参考(标准)源供仪器在测量过程中将被测量的量值直接或间接地与它比较用。它也可供仪器在测量进行之前作自校用, 克服仪器的影响误差与稳定误差。

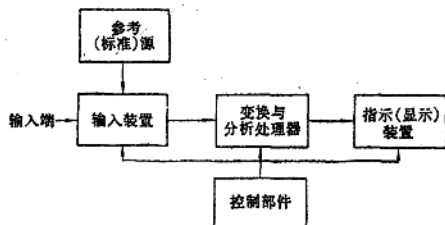


图1-0-2 测量被测量的量值的电子仪器的基本组成

同样, 仪器内各个组成部分可由模拟电路与数字逻辑电路构成。具体的仪器实际所用电路的型式由仪器的测量功能、工作原理, 以及使用的频率范围等多方面的因素来决定。

必须指出, 上述两类仪器在研制与生产过程中, 必须在规定的条件下用相应的参考

标准来校准(定度);在使用过程中,也必须在规定的条件下定期用相应的参考标准来检定。这样,才能使仪器由输出装置所供给出的标称量值,或由仪器的指示(显示)装置所给出的被测量的示值,与相应的参考标准保持一致,才能保证仪器具有相应的精确度。

五、电子仪器的自动化与智能化^[1,4,6,7]

近年来,由于数字技术、微电子学,以及计算技术等科学技术的深入发展与广泛应用,使电子仪器与测试在各方面发生了根本性的变化。现代电子仪器与测试一个最显著的特点,是它们与计算机有效地结合在一起。应用计算机辅助测试(CAT),导致了电子仪器与测试的自动化和智能化的新发展,涌现出了新一代的电子仪器与测试技术。

借助于不同的传感器将各种非电的待测量转换为电量或电信号,使电子仪器与测试技术的应用,已广泛深入到科学研究和工程技术的各个领域。这标志着电子仪器与测试技术的发展,已进入到了一个崭新的阶段。

现在,新的电子仪器与测试技术基本上有三种结构体系:以通用计算机为核心,以国际上标准化的仪用接口总线为基础,由可编程的通用电子仪器构成现代自动测试系统;以通用微处理器系统为核心构成智能化的电子仪器;以及以廉价的通用微型计算机为基础构成个人计算机仪器系统。下面分别论述它们的结构体系与特点。

(一) 仪用标准接口总线与现代自动测试系统

自1978年国际电工委员会(IEC)正式推荐“可编程测量仪器的一种接口系统”的标准以来,世界上许多国家包括我国在内,很快就普遍采纳了这项先进的国际标准(简称IEC 625, IEEE 488-1978,或GPIB等),广泛应用于电子仪器与测试领域。仪用标准接口总线系统的普遍应用,使不同国家、不同厂家,乃至不同类型的、配置有标准仪用接口的各种可编程电子仪器以及计算机,可以当作不同的功能块,借助于无源总线电缆按积木方式互联,灵活地自由组合构成各种不同用途的现代自动测试系统,如图1-0-3所示。

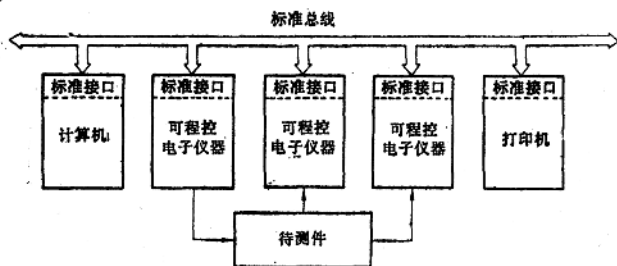


图1-0-3 现代自动测试系统

这样,现代自动测试系统将通用计算机与若干台可编程的通用电子仪器有效地结合起来,由计算机执行自动测试软件,实行程控测试、数据采集,以及运算处理,并可以多种形式给出所需的测试结果。在测试系统内,各台仪器和设备之间通过各自的接口与互联的总线,借助于互锁挂钩联络,可实现单向或双向的异步通信。也就是说,它们之

间可相互直接交换信息, 无须经计算机中转。某台仪器发送数据可供多台仪器与设备, 以及计算机同时接收。数据通过接口与总线传送的速率可在很宽的范围内自动地改变, 以适应不同仪器和设备在操作速率方面的差异, 其最高数据传输率可达1兆字节/秒。在接口与总线上交换信息, 采用国际上通用的ISO-646(ASCII)七位标准编码。在系统内, 接口总线电缆可长达20米, 同时可互联多达15台不同的仪器与设备及计算机。利用接口总线扩展器, 还可扩展系统的作用距离, 增加系统可容纳仪器与设备的台数。

应用计算机辅助测试, 可使测试系统自动化和智能化, 使它具有多功能多参量快速综合测试的能力。现代自动测试系统特别适合于诸如宇航器和航天器这类要求自动快速与多功能多参量综合测试方面的应用, 诸如核子工程这类对操作人员在现场参与测试有害场合的应用, 诸如高精度计量测试这类因操作人员直接参与测试有人为误差场合的应用, 诸如彩色电视机大批量生产线这类需要进行大量重复性多参量自动快速综合测试场合的应用, 诸如科学研究和工程技术这类要求对大量测试数据进行复杂运算处理场合的应用等。现代自动测试系统的功能和应用是多方面的, 各种新的能力和应用尚有待于人们进一步开发, 以充分发挥它的效能。

为计算机和可编程电子仪器配置仪用标准接口, 曾是组建现代自动测试系统的一个关键问题。现在, 已有多种大规模集成的可编程标准仪用接口片可供选用。例如, Motorola 68488 & MC 3447/8; Intel 8291 & 8293; TMS 9914 & SN 75160/1; μ PD 7210 & SN 75160/1; Fairchild 96 LS 488 等, 皆可适配于可编程电子仪器所用微处理器系统的内总线, 其中 Fairchild 96 LS 488 也可直接适配于可编程电子仪器的内部数字逻辑电路。又如, Intel 8291、8292 & 8293; TMS 9914 & SN 75160/2; μ PD 7210 & SN 75160/2 等, 可适配于计算机系统的内总线。此外, 用软件模拟仪用标准接口功能的软接口, 既可用于计算机, 也可用于智能化电子仪器。

现在, 大多数微型计算机以及各种可编程电子仪器几乎全都配置有标准仪用接口, 将它们用于组建现代自动测试系统皆能广泛地相容。配置有仪用标准接口的计算机备有面向现代自动测试系统操作的高级编程语句(BASIC, FORTRAN & Pascal 等), 可方便地编制自动测试软件, 大大地有利于测试系统的广泛应用。以标准仪用接口总线为基础的现代自动测试系统, 通过相应的适配器, 可转接口到 CAMAC (计算机自动测量与控制接口标准) 系统, 以及 RS-232C (远程串行数传接口标准) 系统等, 进一步扩展它的作用领域。

(二) 智能化电子仪器

由于微电子学与LSI技术的飞速发展, 使微处理器的体积小、耗电少、功能强、价格低, 以及可靠性高。自70年代末以来, 广泛地将微处理器系统直接应用于电子仪器内已开始成为现实。这意味着, 在仪器内包含有一个专用的微型计算机系统。它的控制、存储, 以及运算处理等功能与仪器内的测试功能有效地结合, 形成了以微处理器系统为基础的智能电子仪器。与传统仪器显著地不同, 智能化仪器采用微型计算机的结构体系。它以微处理器为核心, 按总线结构方式, 仪器面板上的按键/开关与显示器以及内部的测试功能模块等皆通过各自的接口并联于系统总线上。微处理器执行仪器的系统软件, 实现程控测试、数据采集与运算处理, 并能直接给出所需的测试结果。

整个智能仪器包括硬件与软件两大部分。硬件系统的基本组成示于图1-0-4。在仪