

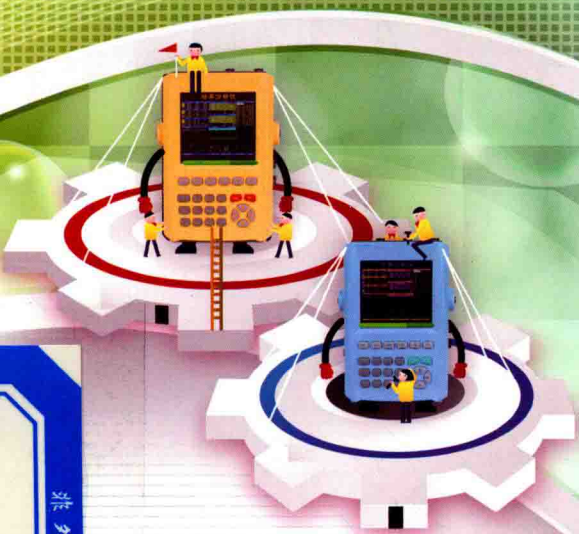


职业院校教学用书（电子技术专业）

电子测量仪器与应用

DIANZI CELIANG YIQI YU YINGYONG

（第4版）



第4版

李明生 丁向荣 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子测量仪器与应用

(第4版)

李明生 丁向荣 主 编
闫华莉 参 编



Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要由5个项目11个任务组成。项目一是典型电信号的产生及显示,包含典型电信号的产生、电信号的显示两个任务;项目二是电信号的波形参数测量,包含用模拟示波器测量电信号波形参数、用数字示波器测量电信号波形参数两个任务;项目三是电信号参数测量,包含电压测量、频率与时间测量两个任务;项目四是电子元器件测量,包含电子元件测量、电子器件测量两个任务,项目五是频率特性测量和频谱分析,包含线性系统的频率特性测量、谐波失真度测量、信号频谱分析三个任务。

本书引入电子装接工岗位和五级、四级、三级电子装接工考核标准。结合职业教育的特点和学生的基础水平,内容深入浅出,图文并茂,表达清晰,便于自学。

本书可作为职业学校电子与信息技术、电子技术应用等专业课程的教材,也可作为岗位技能培训用书或相关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

电子测量仪器与应用 / 李明生, 丁向荣主编. —4版. —北京: 电子工业出版社, 2017.10

ISBN 978-7-121-32876-3

I. ①电… II. ①李… ②丁… III. ①电子测量设备—职业教育—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第247714号

策划编辑: 蒲 玥

责任编辑: 蒲 玥

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 14.5 字数: 371千字

版 次: 2000年3月第1版

2017年10月第4版

印 次: 2017年10月第1次印刷

定 价: 35.00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)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254485, puyue@phei.com.cn。

第4版前言

PREFACE

《电子测量仪器与应用》自第3版问世至今已经有6年之久。6年来,随着电子测量技术的发展,电子测量仪器经历了由模拟仪器发展到数字仪器的过程。根据教育部有关职业院校教学改革的规定,为体现职业教育特色,培养应用型人才,促进职业技术教育专业教材建设,通过项目化的模式来组织教材,为职业院校实现项目化教学提供教材支持。教材编写过程中充分考虑当前的学情,遵循“知识面广、够用为度,重在应用技能”的人才培养理念,参照国家五级、四级电子设备装接工关于技能鉴定的考核标准组织编写,课、证融通,重点培养电子技术专业初学者对电子测量仪器的基本操作技能和工程应用能力,通过图例牵引,以电子测量仪器实物的图片整体呈现与局部关键部位放大相结合的展示形式,按步骤介绍常用电子测量仪器的使用方法,整个学习过程围绕真实仪器面板操作,并针对常见的错误操作和故障现象进行深入分析。

本书共包含5个项目。项目一是典型电信号的产生及显示(建议14学时),包含典型电信号的产生、电信号的显示两个任务;项目二是电信号的波形测量(建议18学时),包含用模拟示波器测量电信号波形参数、用数字示波器测量电信号波形参数两个任务;项目三是电信号参数测量(建议12学时),包含电压测量、频率与时间测量两个任务;项目四是电子元件测量(建议8学时),包含电子元件测量、电子器件测量两个任务;项目五是频率特性测量和频谱分析(建议8学时),包含线性系统的频率特性测量、谐波失真度测量、信号频谱分析三个任务。

本书具有以下特点:

(1) 项目引领任务驱动。充分考虑到当前职业院校的项目化教学改革,每个任务对应的总结和习题是对知识点和技能点的强调和检验,从内容和组织形式上支持项目化教学的开展。

(2) 与岗位和职业技能鉴定标准无缝对接。引入电子装接工岗位和五级、四级电子装接工考核标准,实现教学内容与考核内容的对接,考核标准与企业、行业标准的一致。

(3) 所选典型设备和测量内容与中职升学对口单独招生技能考核的设备要求一致。

(4) 考虑当前学情特点。关注职业教育的特点和学生的基础水平,内容上力争深入浅出,图文并茂,表达清晰,并力求按专业实践的规律和初学者的认识规律编写。

(5) 习题环节形式多样。习题环节有选择、判断、填空、问题等题型,并附有答案,便于学生课后巩固所学的基础知识,也利于教师对学生基础知识掌握情况进行考核。

(6) 每个项目通过项目背景展开,提升了学习者的学习兴趣。

本书由淮安信息职业技术学院李明生、丁向荣主编，江苏省扬州技师学院闫华莉参与编写。其中，丁向荣编写绪论、项目一~项目四；闫华莉编写项目五；全书由李明生统稿。

本书在编写过程中参考了相关图书和单位的产品技术资料，在此向有关作者和单位表示感谢。

由于编者学识和水平有限，不当和错误之处在所难免，敬请批评指正。为了方便教师教学，本书还配有电子教学参考资料包（包括教学指南、电子教案、习题答案），请有此需要的教师登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后再进行下载，有问题请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系（E-mail:hxedu@phei.com.cn）。

编者

2017年8月

目 录

CONTENTS

绪 论	1
项目一 典型电信号的产生及显示	9
1.1 项目背景	9
1.2 任务一：典型电信号的产生	9
1.2.1 测量知识：信号发生器基础知识	10
1.2.2 测量仪器：函数信号发生器	13
1.3 任务二：电信号的显示	22
1.3.1 测量知识：示波显示技术	22
1.3.2 测量仪器 1：模拟示波器	34
1.3.3 任务实施 1：模拟示波器显示电信号	56
1.3.4 测量仪器 2：数字存储示波器	59
1.3.5 任务实施 2：数字示波器显示电信号	71
1.4 项目总结	72
项目二 电信号波形测量	75
2.1 项目背景	75
2.1.1 测量知识：电子测量基础知识	75
2.1.2 拓展知识：电子测量误差知识	78
2.2 任务一：用模拟示波器测量电信号波形参数	82
2.2.1 测量知识：模拟示波器测量技术	82
2.2.2 任务实施：模拟示波器的使用	90
2.3 任务二：用数字示波器测量电信号波形参数	96
2.3.1 测量知识：数字示波器测量技术	96
2.3.2 任务实施：数字示波器的使用	127
2.4 项目总结	130
项目三 电信号参数测量	131
3.1 项目背景	131
3.2 任务一：电压测量	131

3.2.1	测量知识: 电压测量技术	132
3.2.2	测量仪器: 交流毫伏表	139
3.2.3	任务实施: 用交流数字毫伏表测电压	142
3.3	任务二: 频率与时间测量	144
3.3.1	测量知识: 频率测量技术	144
3.3.2	测量仪器: 通用电子计数器	148
3.3.3	任务实施: 通用电子计数器测函数信号频率和时间	155
3.4	项目总结	157
项目四	电子元器件测量	159
4.1	项目背景	159
4.2	任务一: 电子元件测量	159
4.2.1	测量知识: 电子元件测量技术	160
4.2.2	测量仪器 1: 电桥	162
4.2.3	任务实施 1: 电桥测集总元件参数	169
4.2.4	测量仪器 2: 数字万用表	171
4.2.5	任务实施 2: 数字万用表的使用	179
4.3	任务二: 电子器件测量	182
4.3.1	测量知识: 电子器件测量技术	182
4.3.2	测量仪器: 晶体管特性图示仪	184
4.3.3	任务实施: 半导体分立器件特性测试	195
4.4	项目总结	198
项目五	频率特性测量和频谱分析	199
5.1	项目背景	199
5.2	任务一: 线性系统的频率特性测量	200
5.2.1	测量知识: 频率特性测量技术	200
5.2.2	测量仪器: 频率特性测试仪	203
5.2.3	任务实施: 线性系统的幅频特性测量	208
5.3	任务二: 谐波失真度测量	209
5.3.1	测量知识: 谐波失真度测量技术	209
5.3.2	测量仪器: 失真度测试仪	211
5.3.3	任务实施: 失真度测试仪的使用	215
5.4	任务三: 信号频谱分析	217
5.4.1	测量知识: 信号频谱分析技术	217
5.4.2	测量仪器: 频谱分析仪	220
5.4.3	任务实施: 信号的频谱分析	223
5.5	项目总结	225
	参考文献	226

绪 论

测量是人类对客观事物取得数值的认识过程。在这一过程中，人们借助于专门的设备，依据一定的理论，通过实验的方法，求出以所用测量单位来表示的被测量的量值或确定一些量值的依从关系。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。没有单位的量值是没有物理意义的。

一、电子测量的意义、内容和特点

1. 电子测量的意义

随着测量学的发展和无线电电子学的应用，诞生了以电子技术为手段的测量，即电子测量。如用数字万用表测电压、频谱分析仪监测卫星信号、红外温度计测体温等。它是测量学一个很重要的分支，是测量技术中最先进的技术之一。目前，电子测量不仅因为其应用广泛而成为现代科学技术中不可缺少的手段，同时也是一门发展迅速、对现代科学技术的发展起着重大推动作用的独立学科。从某种意义上说，近代科学技术的水平是由电子测量的水平来保证和体现的。电子测量的水平，是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

2. 电子测量的内容

本课程中电子测量的内容是指对电子学领域内电参量的测量，主要有以下几点。

(1) 基本电量的测量，如电流、电压、功率等的测量。在此基础上，电子测量的内容可扩展至其他量的测量。例如，阻抗、频率、时间、相位、电场强度、磁场及相关量等。

(2) 电路、元器件参数的测量与特性曲线显示，如电子线路整机的特性测量与特性曲线显示（伏安特性、频率特性等）或电气设备常用各种元器件（例如，电阻、电感、电容、晶体管、集成电路等）的参数测量与特性曲线显示。

(3) 电信号特性的测量，如频率、波形、周期、时间、相位、谐波失真度、调幅度及逻辑状态等的测量。

(4) 电子设备性能指标测量，如各种电子设备的性能指标（设备的灵敏度、增益、带宽、信噪比等）测量。

另外,通过传感器,可将很多非电量如温度、压力、流量、位移等转换成电信号后进行测量。

3. 电子测量的特点

几乎所有的学科都需要应用电子测量技术。同其他的测量相比,电子测量具有以下几个突出的优点。

1) 测量频率范围宽

电子测量既可测量直流电量,又可以测量交流电量,其频率范围可以覆盖整个电磁频谱,可达 $10^{-6}\sim 10^{12}$ Hz。但应注意,在不同的频率范围内,即使测量同一种电量,所需要采用的测量方法和使用的测量仪器也往往不同。

2) 仪器量程宽

量程是仪器所能测量各种参数的范围。电子测量仪器具有相当宽广的量程。例如,一台数字电压表可以测出从纳伏(nV)级至千伏(kV)级的电压,其量程达12个数量级;一台用于测量频率的电子计数器,其量程可达17个数量级。

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,特别是对频率和时间的测量,误差可减小到 10^{-15} 量级,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,是它在现代科学技术领域得到广泛应用的重要原因之一。

4) 测量速度快

由于电子测量是通过电磁波的传播和电子运动来进行的,因而可以实现测量过程的高速度,这是其他测量所不能比拟的。只有测量的高速度,才能测出快速变化的物理量。例如,原子核的裂变过程、导弹的发射速度、人造卫星的运行参数等的测量,都需要高速度的电子测量。

5) 易于实现遥测

电子测量的一个突出优点是可以通过各种类型的传感器实现遥测。例如,对于遥远距离或环境恶劣的、人体不便于接触或无法达到的区域(如深海、地下、核反应堆内、人造卫星等),可通过传感器或通过电磁波、光、辐射等方式进行测量。

6) 易于实现测量自动化和测量仪器微机化

由于大规模集成电路和微型计算机的应用,使电子测量出现了崭新的局面,例如,在测量中能实现程控、自动量程转换、自动校准、自动诊断故障和自动修复,对于测量结果可以自动记录、自动进行数据运算、分析和处理。目前已出现了许多类型带微处理器的自动化示波器、数字频率计、数字式电压表,以及受计算机控制的自动化集成电路测试仪、自动网络分析仪和其他自动测试系统。

二、电子测量方法的分类

1. 按测量方式分类

1) 直接测量

直接从电子仪器或仪表上读出测量结果的方法称为直接测量。例如,电压表测量电路中的电压,用通用电子计数器测频率,都属于直接测量。

2) 间接测量

对一个与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后通过代表该函数关系的公

式、曲线或表格, 求出被测量值的方法, 称为间接测量。例如, 要测量已知电阻 R 上消耗的功率, 先测量加在 R 两端的电压 U , 然后再根据公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 求出功率 P 之值。

3) 组合测量

在某些测量中, 被测量与几个未知量有关, 测量一次无法得出完整的结果, 则可改变测量条件进行多次测量, 然后按被测量与未知量之间的函数关系组成联立方程, 求解, 得出有关未知量。此种测量方法称为组合测量, 它是一种兼用直接测量与间接测量的方法。例如, 在 $0 \sim 650^\circ\text{C}$ 温度区间内, 工业用铂热电阻 ($W_{100}=1.387 \sim 1.390$) 的电阻 (R_t) 与温度 (t) 的关系近似为 $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$, 其中, R_0 为元件在 0°C 时的电阻值。测量电阻温度系数 A 、 B 和初始阻值过程 R_0 中, 可直接测量 R_0 值。测出三组不同温度下的 R_t 后, 可由联立方程求解 A 、 B 。

上面介绍的三种方法中, 直接测量的优点是测量过程简单迅速, 在工程技术中采用得比较广泛。间接测量多用于科学实验, 在生产及工程技术中应用较少, 只有当被测量不便于直接测量时才采用。至于组合测量, 是一种特殊的精密测量方法, 适用于科学实验及一些特殊的场合。

2. 按被测信号的性质分类

1) 时域测量

时域测量是测量被测对象在不同时间的特性, 这时把被测信号看成是一个时间的函数。例如, 使用示波器显示被测信号的瞬时波形, 测量它的幅度、宽度、上升和下降沿等参数。时域测量还包括一些周期性信号的稳态参量的测量, 如正弦交流电压, 虽然它的瞬时值会随时间变化, 但是交流电压的振幅值和有效值是稳态值, 可用指针式仪表测量。

2) 频域测量

频域测量是测量被测对象在不同频率时的特性。这时把被测对象看成是一个频率的函数。信号通过非线性电路会产生新的频率分量, 能用频谱分析仪进行分析。放大器的幅频特性, 可用频率特性图示仪予以显示。放大器对不同频率的信号会产生不同的相移, 可使用相位计测量放大器的相频特性。

3) 数据域测量

数据域测量是对数字系统逻辑特性进行的测量。利用逻辑分析仪能够分析离散信号组成的数据流, 可以观察多个输入通道的并行数据, 也可以观察一个通道的串行数据。

4) 随机测量

随机测量是利用噪声信号源进行动态测量, 如各类噪声、干扰信号等。这是一种比较新的测量技术。

三、电子测量仪器的基本知识

电子测量仪器是利用电子元器件和线路技术组成的装置, 用以测量各种电磁参量或产生供测量用的电信号或能源。

电子测量仪器一般分为专用仪器和通用仪器两大类, 本课程主要讨论后者。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, 它能用于各种电子测量。通用仪器按照功能, 可作如下分类。

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。如调频调幅信号发生器、脉冲信号发生器、扫频信号发生器、函数

发生器等。图1所示为函数任意波形发生器。

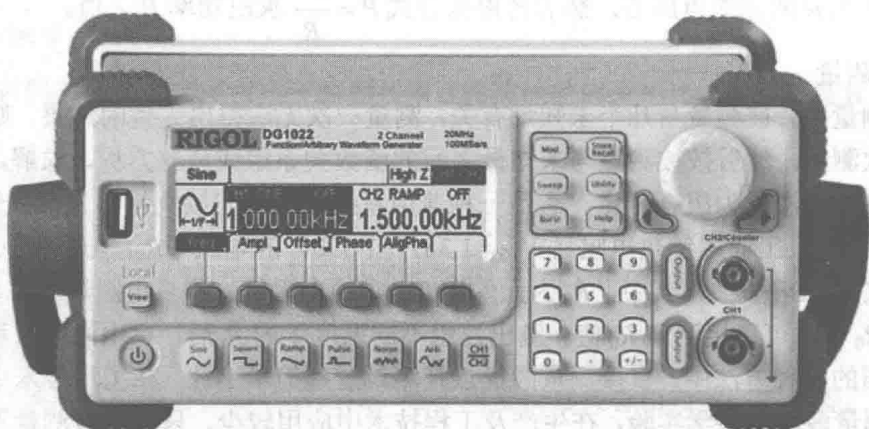


图1 函数任意波形发生器

2) 电平测量仪器

电平测量仪器主要用于测量电信号的电压、电流、电平。如电流表、电压表、电平表、多用表等。图2所示为数字式电压表。

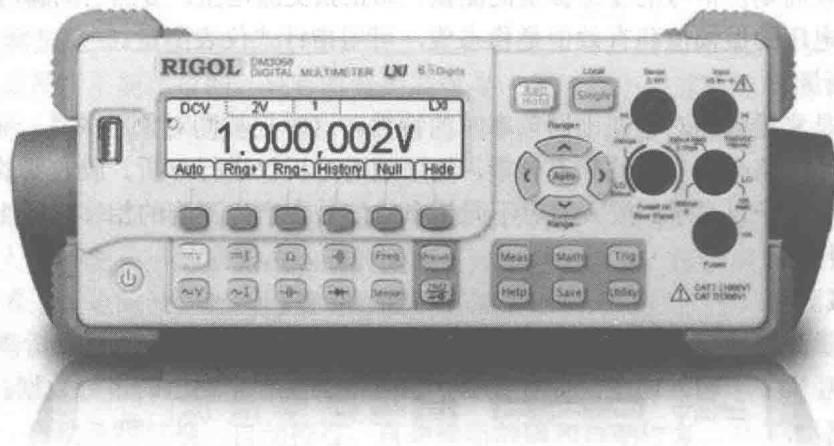


图2 数字式电压表

3) 信号分析仪器

信号分析仪器主要用来观测、分析和记录各种电量的变化。如各种示波器、波形分析仪和频谱分析仪等。图3所示为模拟示波器，图4所示为数字存储示波器。

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、时间间隔和相位差。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。图5所示为频率计。

5) 网络特性测量仪

网络特性测量仪有阻抗测试仪、频率特性测试仪及网络分析仪等，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。图6所示为频谱分析仪。

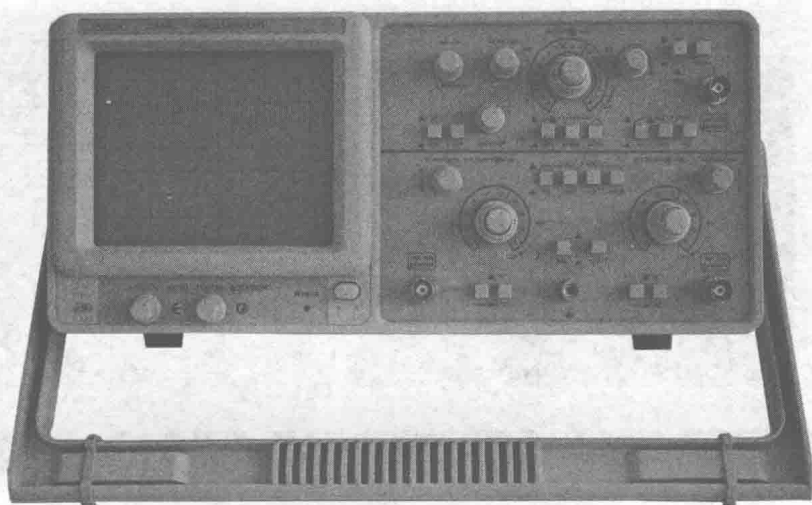


图3 模拟示波器

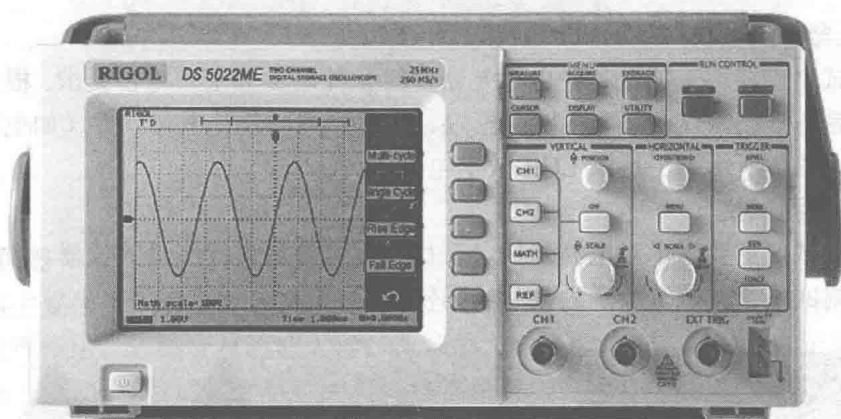


图4 数字存储示波器

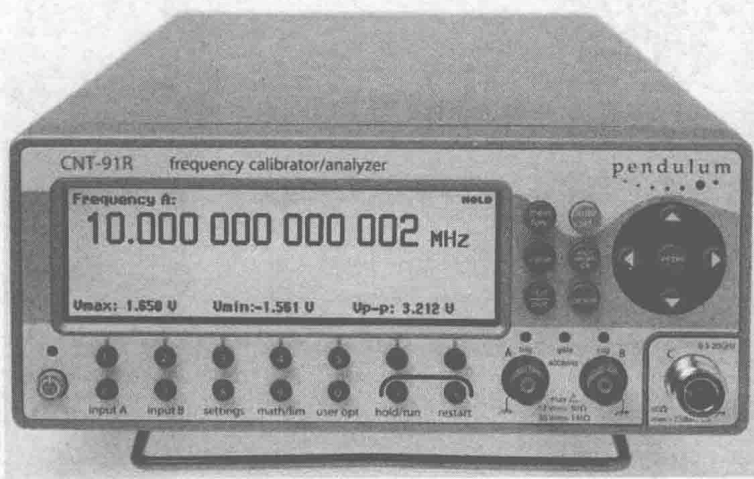


图5 频率计

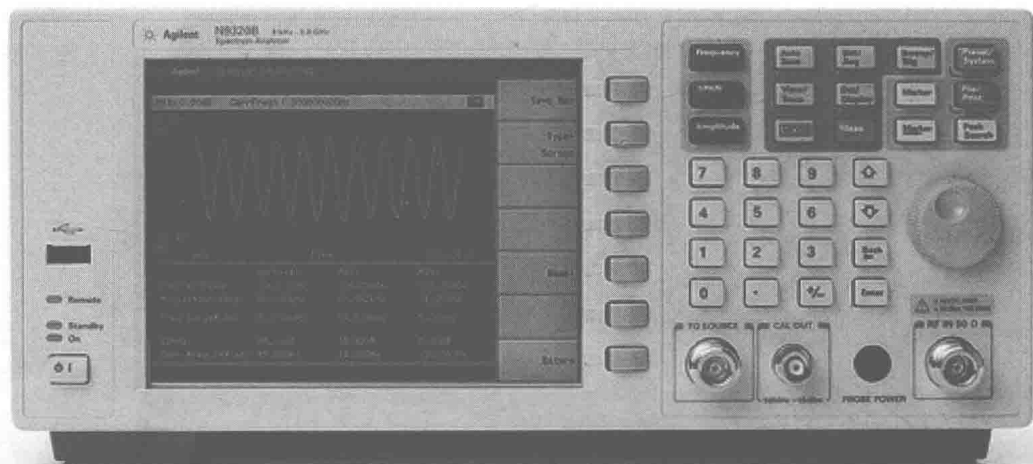


图6 频谱分析仪

6) 电子元器件测试仪

元器件测试仪主要用来测量各种电子元器件的各种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、集成电路(模拟、数字)测试仪和电路元件(如电阻、电感、电容)测试仪等。图7所示为手持式LCR数字电桥。

7) 电波特性测试仪

电波特性测试仪主要用于对电波传播、干扰强度等参量进行测量的仪器。如测试接收机、场强仪、干扰测试仪等。图8所示为数字场强仪。



图7 手持式LCR数字电桥



图8 数字场强仪

8) 逻辑分析仪

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。面向微处理器的逻辑分析仪,则用于对微处理器及微型计算机的调试和维护。图9所示为逻辑分析仪。

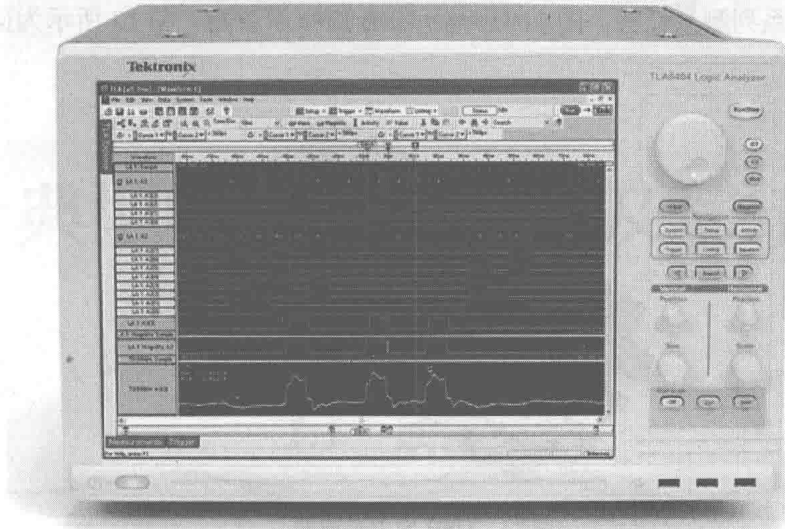


图9 逻辑分析仪

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。图10所示为可编程直流稳压电源。

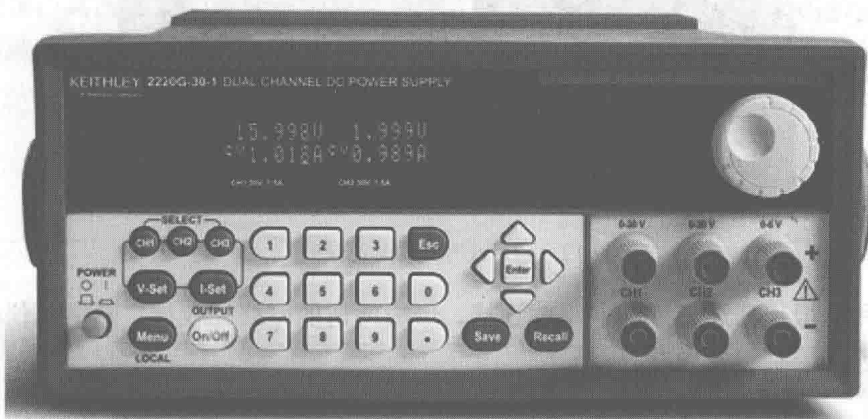


图10 可编程直流稳压电源

10) 基于 (based on) 计算机的仪器

基于 (based on) 计算机的仪器是上述各种仪器和微计算机相结合的产物,可分为智能仪器和虚拟仪器两类。

智能仪器是在仪器内加入微计算机芯片,对仪器的工作过程进行控制,使其具有一定智能,自动完成某些工作。

虚拟仪器是在计算机上配备一定的软硬件,使其具有仪器的功能。虚拟仪器的功能主要由软件来定义,因此对于同一个硬件设备,可通过编制不同的软件,使其实现不同的功能。

由于智能仪器和虚拟仪器和计算机紧密相连,这使得它们可以很容易地构成自动测试系统。所谓自动测试系统,就是若干测量仪器通过总线和主控计算机相连,各仪器在主控计算机统一指挥下完成一系列测量任务。图 11 所示为 USB 虚拟示波器,图 12 所示为蓝牙/USB 数据记录仪。

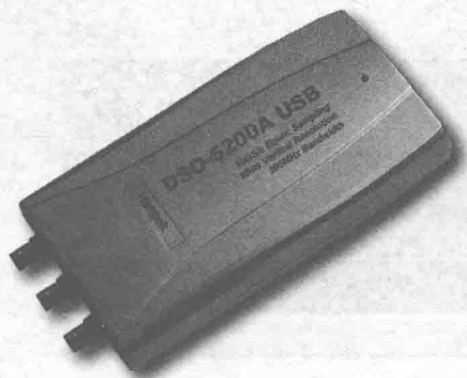


图 11 USB 虚拟示波器



图 12 蓝牙/USB 数据记录仪

智能仪器和虚拟仪器还可以和网络相连接,形成所谓的网络化仪器。网络化仪器的最大优点是可以实现远程控制和资源共享。

项目一

典型电信号的产生及显示

1.1 项目背景

信号源又称信号发生器，它能够产生不同频率、不同幅度、规则或不规则波形的电信号，是电子测量中最常用的仪器之一。信号发生器使用广泛，常用在试验、测量、校准和维修等领域。

由于电信号无法被人类感官直接感知，但在应用时候又必须对它们有所了解，即掌握电信号的相关参数，例如，随时间变化的波形形状、电压、频率、周期等。因此需要设计一种仪器（示波器），它能够将电信号按特定规律显示出来，以便对其进行参数测量。

如何真实显示和直接观测电信号，首先需要解决的问题是如何将电信号转化成为人类眼睛可感知的图像；其次显示的图像必须稳定清晰，便于观测。本项目中将介绍示波测量的基本原理，通用示波器和数字存储示波器的结构组成，逐步分析如何利用示波器解决上述问题。

1.2 任务一：典型电信号的产生

任务目标

- 了解信号发生器的分类，知道信号发生器的用途、种类；
- 能画出低频信号发生器、高频信号发生器的组成框图，了解其工作原理，并注意其使用要点；
- 理解典型的函数信号发生器的工作原理，能读懂其组成框图；
- 能正确使用函数信号发生器，使其输出符合要求的信号。

1.2.1 测量知识：信号发生器基础知识

一、信号发生器的用途及种类

1. 信号发生器的用途

归纳起来，信号源有如下三方面的用途。

(1) 激励源。即作为某些电气设备的激励信号，如激励扬声器发出声音等。

(2) 信号仿真。当研究一个电气设备在某种实际环境下所受的影响时，需要施加与实际环境相同特性的信号，如高频干扰信号等。

(3) 校准源。用于对一般信号源或其他测量仪器进行校准，如校验自动化仪表时需要标准直流电压、电流信号源。

2. 信号发生器的种类

信号发生器按其用途可分为通用信号发生器和专用信号发生器，见表 1.2.1。按输出波形又可分为正弦信号发生器和非正弦信号发生器。

表 1.2.1 信号发生器按用途分类

分类名称		应用
通用信号发生器	正弦信号发生器	产生正弦波信号
	脉冲信号发生器	产生脉冲数字信号
	噪声信号发生器	产生噪声信号
	函数信号发生器	产生各种函数信号
专用信号发生器	电视信号发生器	产生电视行场信号
	编码脉冲信号发生器	产生编码脉冲信号
	频谱信号发生器	产生频谱信号

正弦信号源是最普遍、应用最广泛的一类信号发生器，按其输出信号的频率范围可分为低频信号发生器和高频信号发生器等。

频率范围是指各项指标都能得到满足的输出信号的频率范围。在有效频率范围内，频率调节可以是离散的，也可以是连续的。当频率范围很宽时，常划分为若干频段。表 1.2.2 列出了各类常用正弦信号发生器的频率范围。

表 1.2.2 正弦信号发生器频率范围

分类名称	频率范围	应用
超低频信号发生器	0.0001Hz~1kHz	地震测量、电声学、声呐、医疗设备测量
低频信号发生器	1Hz~1MHz	音响设备、扩音机、家电测试、维修
视频信号发生器	20Hz~10MHz	电视设备(视频)测试、维修
高频信号发生器	100kHz~30MHz	调幅广播、遥控等无线通信测试、维修
甚高频信号发生器	30MHz~300MHz	调频广播、电视、导航设备测量
超高频信号发生器	300MHz~3GHz以上	UHF电视、移动通信设备测试
特高频信号发生器	3GHz以上	微波、卫星通信设备调试