

通用电子测量仪器

刘明晶 编



航空工业出版社

内 容 提 要

本书主要讲述通用电子测量仪器的基本原理、整机方框图、电路分析和使用方法。还介绍了各类智能仪器的新技术和新电路,扼要讲述了以微处理器为主体的智能仪器以及数据域测试仪器。

各章内容安排为:概述;信号发生器;电子示波器;频谱分析仪;数字式测量仪器;智能仪器;数据域测试仪器。全书力求物理概念清晰、通俗易懂、便于自学。

本书可做中专、大专及高等职业教育的教材,也可供有关专业技术人员参考。

通 用 电 子 测 量 仪 器

刘 明 晶 编

张 世 箕 审

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里14号)

各地新华书店经销

—邮政编码:100013—

北京海淀区东升印刷厂印刷

1989年5月第1版

1989年5月第1次印刷

开本:787×1092毫米1/16

印张:20.5

印数:1—1400

字数:512千字

ISBN 7-80046-126-2/TH·011

定价:4.20元

编 者 前 言

本书经成都电讯工程学院自动化系系主任张世箕教授审阅，并为其作序。在编写过程中承蒙张教授多方指教并提出宝贵的意见，特此表示衷心的感谢。此外，成都航校邱寄帆、田宏伟、于巧燕等同志为本书的绘图工作给予协助，在此一并致谢。

本书读者需具备“电子线路”、“脉冲数字电路”、“微机原理”以及“电子测量技术”等方面的必要知识。

由于编者水平有限，错误知疏漏之处在所难免，恳请读者给予指正。

编 者

1988年3月

序

测量是人类对客观世界获取定量信息的唯一手段。测量技术的水平是衡量一个国家科学技术和生产发展的水平和现代化程度的重要标志之一。测量仪器是实现测量的主要工具。特别是电子测量仪器,由于它们在信息的获取、变换、传递、处理等方面具有无比的优越性和方便性,而且更易于实现快速、准确以及高度自动化的测量,所以在各类仪器中日渐占有极其重要的地位。在各行各业中,其中也包括航空、航天工业和电子技术本身,电子测量仪器应用的广泛程度已成为该行业或科学领域现代化的主要特征之一。

正因如此,有关电子测量仪器本身及其应用方面的学术论文已成为各种科技期刊中常见的一大类内容;论文和专门资料,其数量之多,可谓汗牛充栋。然而,比较全面而集中地论述电子测量仪器的书籍,却屈指可数,实在少得令人诧异。其原因是多方面的,其中一个重要的原因是在于现代电子测量仪器的复杂多样性,所涉及的范围非常广泛,撰写一本比较全面而系统的专著,难度是相当大的。而写出一本适于有限学时使用的教材,则尤为不易。根据什么来剪裁取舍,如何组织编排,都更费思量。

这里要奉献给读者的这一本教材,是成都航校刘明晶高级讲师按照原航空工业部和原电子工业部电子仪器与测量技术专业的教育计划和电子测量仪器课程教学大纲的要求编写的。原稿几经修订,经1979届以来历届学生教学实际使用,表明是一本成功之作。最近作者又进行了一次较重大的修订,对原有材料整理得更加系统化、合理化,重点更加突出。此外,内容也不断更新,扬弃了若干较旧的内容,补充了一些更为新近的内容。特别是对于当代以微电脑为基础的仪器智能化和测试自动化问题,予以更多的重视,增加了新的篇幅。此外,除了传统的时域和频域测量仪器之外,还增添了崭新的关于数据域测量仪器的专章。这就使得这本新教材更紧地跟上当前电子测量仪器的发展趋势,更加适应我国现代化建设的需要。

全书以最常用的通用电子测量仪器为主,结合具体的典型仪器来阐述有关的基本概念和原理,分析有关的主要单元电路,使读者易于掌握各类电子仪器的要领,为实际工作中仪器的应用和设计打下了良好的基础。就此而言,本书不仅是一本值得推荐的中等电子专业教材,对于有关专业的大学生也是一本有用的参考书。对于现在有关实际工作岗位上的工程技术人员,作为知识更新的一种参考资料,本书也仍有可供一读的篇章。这也是本书难能可贵的又一特色。

张世箕

于成都电讯工程学院

1988年3月26日

目 录

第一章 概论

§ 1—1	电子测量仪器的作用	(1)
§ 1—2	电子测量仪器的分类	(1)
§ 1—3	电子测量仪器的技术条件	(2)
§ 1—4	电子测量仪器的数字化、自动化和智能化	(3)
§ 1—5	本课程的任务	(6)
练习题		(6)
参考资料		(7)

第二章 信号发生器

§ 2—1	信号发生器的作用及分类	(8)
§ 2—2	正弦信号发生器	(9)
一、	低频信号发生器	(9)
二、	高频信号发生器	(16)
§ 2—3	脉冲信号发生器	(21)
一、	脉冲信号发生器的工作原理及组成方框图	(21)
二、	脉冲信号发生器实例 (XC16A)	(22)
§ 2—4	函数信号发生器	(27)
一、	方波-三角波产生电路	(29)
二、	函数变换网络	(30)
§ 2—5	合成信号发生器	(32)
一、	概述	(32)
二、	直接合成法	(33)
三、	间接合成法	(35)
§ 2—6	智能信号发生器实例 (HP3325A)	(37)
一、	HP3325A合成/函数发生器概述	(37)
二、	HP3325A主要技术指标	(39)
三、	HP3325A合成/函数发生器的工作原理	(40)
练习题		(43)
参考资料		(43)

第三章 电子示波器

§ 3—1	通用示波器	(44)
一、	概述	(44)
二、	示波器的工作原理	(45)
三、	通用示波器的简化方框图	(45)

四、示波器的主要工作特性.....	(46)
§ 3—2 主机电路.....	(50)
一、示波管.....	(50)
二、示波管的供电电路.....	(53)
三、示波管的屏蔽.....	(54)
四、示波器的供电电源.....	(54)
五、校准信号.....	(55)
§ 3—3 示波器的垂直系统 (Y通道)	(58)
一、垂直系统的指标及方框图.....	(58)
二、输入电路.....	(60)
三、前置放大器.....	(63)
四、延迟级.....	(66)
五、输出级.....	(68)
六、双踪显示.....	(70)
§ 3—4 示波器的水平系统 (X 通道)	(74)
一、水平系统的指标及方框图.....	(74)
二、时基发生器.....	(75)
三、触发脉冲发生器.....	(82)
四、增辉与消影.....	(86)
五、水平放大器.....	(87)
六、双扫描系统.....	(88)
§ 3—5 基本示波技术的应用.....	(91)
一、频率特性测试仪.....	(92)
二、晶体管特性图示仪.....	(99)
§ 3—6 取样示波器.....	(107)
一、取样示波器的基本原理.....	(107)
二、随机取样示波器的原理.....	(111)
§ 3—7 存储示波器.....	(113)
一、模拟存储示波器.....	(114)
二、数字存储示波器 (DOS)	(119)
练习题.....	(127)
参考资料.....	(128)

第四章 频谱分析仪

§ 4—1 概述.....	(130)
§ 4—2 频谱分析仪的工作原理.....	(132)
一、模拟式频谱分析仪.....	(132)
二、数字式频谱分析仪.....	(134)
§ 4—3 扫频型外差式频谱分析仪.....	(135)
练习题.....	(138)

参考资料	(138)
第五章 数字式仪器	
§ 5—1 电子测量仪器的数字化	(139)
一、模拟量和数字量	(139)
二、模拟式测量仪器和数字式测量仪器	(141)
三、数字式仪器的特点	(142)
§ 5—2 电子计数器	(143)
一、概述	(143)
二、工作原理及基本测试功能	(145)
三、通用计数器的组成	(153)
四、电子计数器的测量误差	(173)
§ 5—3 智能计数器实例 (HP5370B)	(178)
一、主要性能指标	(178)
二、工作原理	(179)
§ 5—4 数字电压表	(186)
一、概述	(186)
二、电压-数字 (U-D) 转换器	(190)
三、数字电压表的干扰及其抑制	(224)
§ 5—5 智能数字多用表实例 (8520A—BY1995A)	(230)
一、主要技术指标	(230)
二、仪器的原理方框	(230)
三、模拟-数字 (余数再循环式) 变换器	(232)
四、交流-直流 (AC-DC) 转换器	(235)
五、欧姆-直流 (Ω -DC) 变换器	(236)
六、系统软件	(238)
七、信号列的存取功能 (批处理功能)	(244)
八、运算程序	(245)
九、IEEE-488接口 (远地操作)	(246)
练习题	(247)
参考资料	(250)
第六章 智能仪器	
§ 6—1 概述	(251)
一、测量仪器的新发展	(251)
二、智能仪器的结构特点	(251)
三、智能仪器的性能特点	(252)
§ 6—2 微处理器在智能仪器中的作用举例	(253)
一、智能仪器的硬件软化	(255)
二、提高仪器性能	(264)
§ 6—3 智能仪器的显示器及键盘	(268)

一、显示器.....	(268)
二、键盘.....	(272)
§ 6—4 键盘监控(分析)程序.....	(277)
一、直接分析法.....	(277)
二、状态变量(状态表)法.....	(278)
练习题.....	(284)
参考资料.....	(284)

第七章 数据域测试仪器

§ 7—1 概述.....	(285)
§ 7—2 逻辑电路的简易测试.....	(286)
一、测试方法举例.....	(286)
二、逻辑测试笔.....	(287)
§ 7—3 特征分析仪.....	(288)
一、特征分析法.....	(288)
二、信号特征分析仪.....	(291)
§ 7—4 逻辑分析仪.....	(294)
一、逻辑分析仪概述.....	(294)
二、逻辑分析仪的基本原理.....	(295)
三、状态分析仪、定时分析仪及示波器的相互配合.....	(304)
四、智能逻辑分析仪.....	(305)
练习题.....	(308)
参考资料.....	(309)

第一章 概 论

§1-1 电子测量仪器的作用

电子测量是泛指以电子技术为手段进行的测量,电子测量技术系指电子测量的一般原理和方法,而电子测量仪器是实现这些方法的装置。具体地说,电子测量仪器主要是指在电子科学技术中测量电磁参量的电子仪器。

电子测量仪器是与整个无线电电子学同时诞生、并驾发展的,任何一种无线电电子技术的设备的研究、制造、安装、调试、验收、运行、维护和修理工作都离不开电子测量仪器。

电子测量仪器是电子科学技术中的一个重要分支,它为整个电子科学技术提供实验手段,同时又受到电子科学技术中其他学科的促进。每当一种新理论、新技术、新产品出现时,必定有一些新仪器伴随出现。例如,电子计算机的发展出现了逻辑分析仪、字符发生器等数据域测量仪器;大规模集成电路和微处理器的发展,出现了大规模集成电路测试仪和微处理器开发系统。电子测量仪器对新技术应用十分敏感,例如,频率合成技术、电子计算技术、超导技术、微处理器技术都在电子测量仪器中得到迅速应用。

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,而后者也是衡量一个国家科学技术发展的标志。电子测量仪器对国民经济各个领域的发展有着巨大而深刻的影响,高度现代化、自动化的测量仪器的广泛应用将大大推动科学技术的迅速发展。

电子测量仪器与其它仪器相比,有频率范围极宽、量程广、精确度高、可进行遥测、可实现快速测量、易于实现自动化等优点。电子测量仪器的应用范围极为广泛,已经渗透到各个科学技术领域,如物理学、天文学、地质学、化学、医学以及机械制造工业、纺织工业、冶金工业、航空工业、食品工业等各有关部门。

§1-2 电子测量仪器的分类

电子测量仪器按功能基本上可以分为两大类:

(1) 专用电子测量仪器 用来测量某种特定的电子技术设备。它们的结构取决于测量对象的特定结构及其工作原理,它们的功能服从于具体的特定要求。它们往往不能借作其它用途,例如电视讯号发生器只能用于电视收发设备的测试,而不能用于其它,航空工业、纺织工业等部门的专用设备也只能适用于航空、纺织等工厂。

(2) 通用电子测量仪器 用来测量一定的物理量或电子设备的某些参数。这些测量本身与测量对象的结构特点及工作原理并没有不可分割的关系,因而通用电子仪器可以认为是独立的电子设备。通用仪器具有较宽的适用范围,具有很强的通用性,他们常可作为测试系统专用设备中的组件,例如雷达综合测试仪主要由信号发生器、功率计、波长计等仪器组成。这类仪器即本课程所要研究的对象。为简便起见,这里约定,本书以下所谈及的电子

测量仪器均指通用电子测量仪器。

电子测量仪器根据用途大体可划分为以下几种：

- (1) 测量基本电量的电子仪器 包括各种电压表、频率计、相位计、功率计等。
- (2) 测量信号波形及频谱、相位的电子仪器 包括各种电子示波器、波形分析仪、幅度测量仪、频谱分析仪、非线性失真仪、相位计、移相等。
- (3) 测量模拟电路特性的仪器 包括频率特性测试仪、相位特性测试仪、噪声系数测试仪等。
- (4) 测量数字电路特性的仪器 包括逻辑状态分析仪、逻辑时间分析仪、逻辑脉冲发生器等。
- (5) 测量电子元件参数的仪器 包括各种电阻、电感、电容测定仪，各种电桥、Q表，电子管参数测试仪、晶体管参数测试仪、集成电路测试仪等。
- (6) 信号源 包括低频、高频、超高频信号发生器、函数发生器、脉冲信号发生器、合成信号发生器等。
- (7) 测试系统 包括网络分析仪、线路特性测试仪、微处理器开发系统等。
- (8) 其它类型的电子仪器。

§1-3 电子测量仪器的技术条件

技术条件是规定仪器的用途、工作特性、工作条件、以及运输与贮存条件的技术文件。因此，无论设计制造还是使用维修，都必须首先拟定或了解该仪器的技术条件。仪器的用途（即研制或使用仪器的目的）决定了仪器的功能、仪器的工作条件和工作特性。工作特性是用数值、误差范围来表征仪器性能的量，通常称为技术指标。电子测量仪器的工作特性主要分为电气工作特性和一般工作特性，以电压表为例，电气工作特性包括量程、误差、工作频率范围、波形响应、输入特性等；一般工作特性包括电源、尺寸、重量、可靠性等。工作条件不但包括仪器适应的外界条件，而且还包括仪器的工作状态，如电压表有直流和交流工作状态之分。工作条件可分两种情况：一是额定工作条件，它是工作特性有效范围与影响量（主要指影响仪器性能的各种外界因素）额定使用范围的总和。在额定工作范围内，仪器应满足规定的性能。另一种情况是基准条件，它是为了进行比较试验和校准试验而对各种影响量和影响特性规定的一组数值。贮存与运输条件是温度条件、湿度条件、大气压力条件、振动条件、冲击条件等的总和，在这些条件规定的范围内，仪器在非工作状态下贮存或运输应不致损坏；当它以后工作在额定工作条件时，其性能不会降低。

电子测量仪器的工作特性一般有如下几项：

(1) 误差 电子测量仪器的误差可以用工作误差、固有误差、影响误差、稳定误差等来表示。据我国电子工业部部颁标准规定，凡成批生产的电子测量仪器都应给出工作误差极限，在额定工作条件以内影响量和影响特性为任何可能组合的情况下工作时，此误差极限都应有效。这个原则对仪器制造厂提出了更高的要求，有利于产品质量的提高；对使用者来说，则十分方便，免去了根据单项误差去估算总误差的困难。

(2) 稳定性 在工作条件恒定的情况下，在规定时间内仪器保持其指示值或供给值不变的能力称为仪器的稳定性。因此，稳定性只是直接与时间相关。稳定性的高低由稳定误差

来表征。如果把时间也看作一种影响量，则稳定误差就是时间影响误差，显然，不应该把温度、供电电压等影响量变化而致的误差看成稳定误差。在给出稳定误差的同时，必须给出相应的时间间隔，否则所给的稳定误差就没有任何意义。我国电子工业部部颁标准规定，时间间隔应从下列数值中选取：15分钟、1小时、3小时、7小时、24小时、10天、30天、3个月、6个月、1年。

(3) 分辨力 分辨力是指测量仪器可能检测出的被测参量最小变化的能力。一般说来，数字式仪器的分辨力是读数装置最后一位的一个数字，模拟式仪器的分辨力是读数装置的最小刻度的一半。显然，仪器的绝对误差不可能小于仪器的分辨力。分辨力与误差既有联系又有区别。高精度的仪器必须有高的分辨力，但不能说有高分辨力的仪器必然有高的精度，例如两台电子计数器，一台有七位数字；另一台有八位数字，显然后一台较前一台有更高的分辨力；但如果前者时基准确度为 10^{-7} ，后者的时基准确度为 10^{-6} ，那么前者的测频精度却完全可能高于后者。

当测量目的不在于确定被测量的绝对数值，而在于得到相对某一参数值的变化情况时，仪器的分辨力具有十分重要的意义，如在测量频率稳定度、频率响应以及进行谐波分析时就是如此。

(4) 有效范围和动态范围 测量的有效范围是指仪器在满足误差要求的情况下，所能测量的最大值与最小值之差，习惯上称为仪器的量程。量程的宽窄是仪器通用性的重要标志。为了覆盖足够宽的量程，通用仪器常需分档，一般按1—2—5，1—3—10进位的序列划分档级。仪器量程的下限不可能小于它的分辨力；同时，仪器的分辨力可能随量程的换档而变化。

动态范围是仪器在不调整量程档级（包括细调）和满足误差要求的情况下，容许被测物理量的最大相对变化范围。宽的动态范围使我们能同时检测幅度差别很大的多个信号，可以避免因量程换档而引入附加误差。在分析信号频谱、测试噪声或干扰信号时，宽的动态范围具有特别重要的意义。

(5) 测试速率 测试速率是指单位时间内仪器读取被测量数值的次数。直读式仪器的测试速率高于非直读式仪器，数字式仪器的测试速率远远高于指针式仪器。随着仪器的自动化，测试速率愈来愈成为电子测量仪器的重要工作特性。

由于高速过程占有更宽的频带，因此，测试速率必然和仪器的有效工作频率范围密切相关。这就是说，为了提高仪器的测试速率，必须相应地展宽其工作频率范围；反过来说，在仪器工作频率范围一定的情况下，过份地提高测试速率，必然会引起测量结果的失真，就会出现较大的测量误差。

(6) 可靠性 可靠性系指仪器在规定时间内和规定条件下，满足其技术条件、规定性能的能力。可靠性是反映产品是否耐用的一项综合性质量指标。

§1-4 电子测量仪器的数字化、自动化和智能化

从50年代到80年代，随着电子技术的飞速发展，电子仪器的面貌发生了巨大的变化。电子仪器的数字化、自动化、智能化便是一个重要标志。

一、电子仪器的数字化

电子仪器数字化产生人们常说的数字式仪器。数字式仪器对显示方式作了重大改革，直接将测量结果用数字显示，不仅直观、清晰，而且这种显示方式对测量的分辨力和精度没有任何影响和限制。数字仪器采用数字测量技术，把各种被测模拟量转换成数字量，再利用数字电路的各种逻辑功能（如计数、存贮、运算、判断、时序控制等）来完成测量任务。例如数字电压表就是最早出现的数字化仪器之一，50年代初的第一台数字电压表利用数字逻辑电路，模仿手工操作的直流电位差计的程序，控制测量的全过程，实现了直流电压的高精度自动测量。仪器的数字化是实现仪器自动化的基础，因为利用数字电路的各种逻辑功能，很容易实现测量过程的自动化，从而仪器的单机自动化也易于实现。

二、测试系统的自动化

早期电子仪器的单机自动化是靠模拟技术来实现的，如图1-1(a)所示，利用逐点法测试晶体管的特性曲线，既费时又费事。如(b)图所示将一个阶梯波信号加在晶体管的基极，同时又将与阶梯波同步的锯齿波加在示波管的水平偏转板上，而晶体管的集电极电流则加在示波管的垂直偏转板上，这样示波管的荧光屏上就可以得到晶体管的输出特性曲线，而不必用手工逐点测试出来

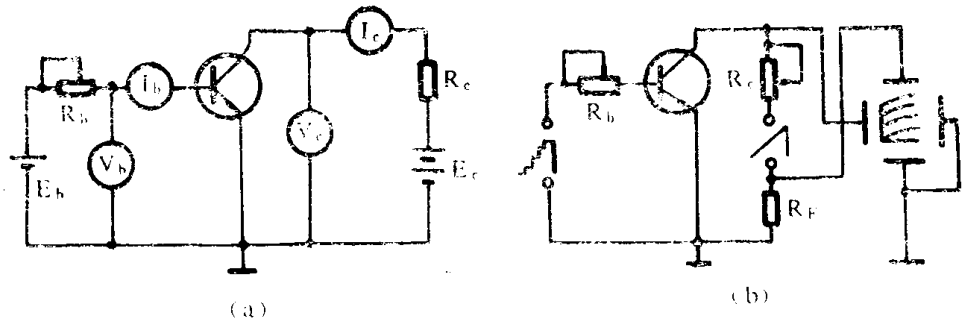


图 1-1 晶体管特性曲线的测试
(a) 逐点法； (b) 示波器法

当测试任务比较复杂，要求自动化程度很高时，需用多台仪器组成自动化测试系统。利用控制器（计算机）对测试过程进行控制，仪器和控制器之间还需要进行信息交换，这个任务由接口系统来完成。接口要完成信息的发送与接收，应具有编码、译码的能力并能进行电平和阻抗变换等工作。从60年代至今，接口经历了由专用到通用的使用过程，现在已有多种通用接口可供选用。1977年国际电工委员会通过了IEC-625标准接口，图1-2为用IEC-625母线

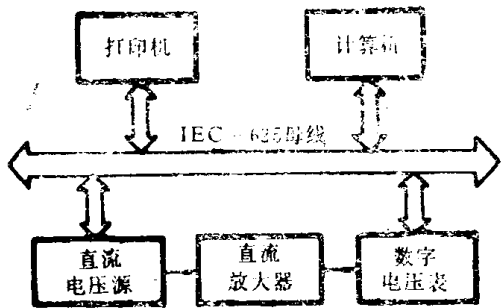


图1-2 直流放大器线性度自动测试系统方框图

线(又称IEEE-488或HP-IB或GPIB母线)连接起来的一个直流放大器线性度自动测试系统框图。精密直流电压源依次增加输出的电压值，数字电压表则依次测量放大器相应的输出电压，并将测量数据输送到打印机，整个过程由计算机控制，直到设定的测量点全部测完。

与上述IEC-625标准等效的是我国电子工业部1984年颁布的SJ-2479标准，1985年又颁布了GBn-249国家标准，这两个标准是相同的，性能指标与IEC-625相同，母线的插头

与IEEE-488接口相同。

标准接口系统还有CAMAC标准接口系统和RS232C串行接口、BCD并行接口和S-100总线等。

三、仪器的智能化

仪器的智能化是指以微处理器为基础而设计出的一代新型仪器即智能仪器。以微处理器为中心，其它部件作为外围设备的微机系统构成了智能仪器。图1-3为智能仪器的方框图。由模拟测量电路完成测试任务，获得的测试结果经A-D变换器变为数字量，微处理器根据面板键盘设置的状态、数据，按程序存储器(ROM)中的程序控制整机各部分的工作，进行数据处理。数据存储器(RAM)用来存贮测量数据及运算的中间结果，最后得到的测量结果可直接送数字显示器或经数字-模拟(D-A)变换器转变成模拟量后在模拟显示器上显示。

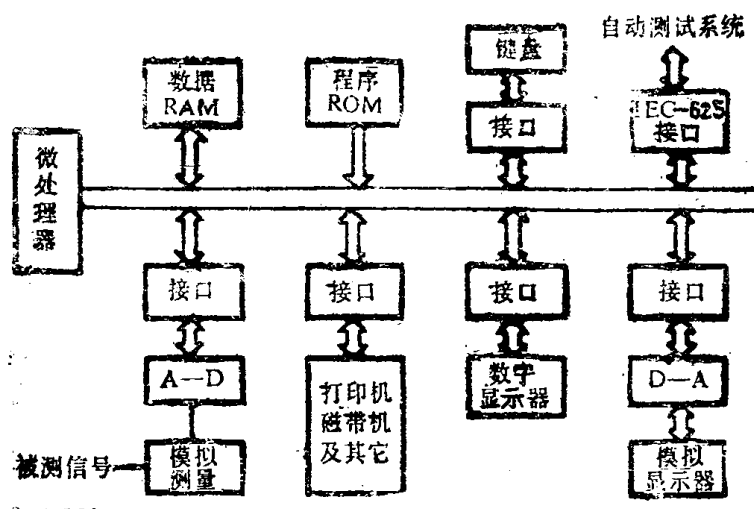


图 1-3 智能仪器方框图

智能仪器与普通的电子仪器相比具有以下特点：

- (1) 具有面板编程控制能力，仪器可由面板上功能键和数字键来完成一系列操作。
- (2) 能接受远地编程控制，通过仪器的标准接口，用标准母线连接，用计算机进行远地控制。
- (3) 整机电路以微处理器为核心，由ROM, RAM等组成专用微机系统，可以用软件来代替一些硬件，将硬件软化，既简化了电路又降低了成本。
- (4) 具有一定的数据处理能力（计算、变换、误差修正）具有自校、自检、自处理能力。
- (5) 输出显示多样化，可以有数据、模拟显示或打印记录，具有人-机对话的能力。

四、个人仪器

随着个人计算机的普及，并日益成为普通工程师的设计工具，传统的仪器功能正在利用个人计算机的资源，而且将仪器与计算机合成一体，这就是个人仪器。从广义上讲，个人仪器是由硬件和软件组合而成，这种组合体同个人计算机结合在一起，形成一种仪器或仪器系统的功能。具体地说个人仪器采用个人计算机，插入一个或多个仪器板或外接插件板箱，相互通过计算机系统总线连接，使系统有了测量和数据采集能力。图1-4所示为个人仪器的结

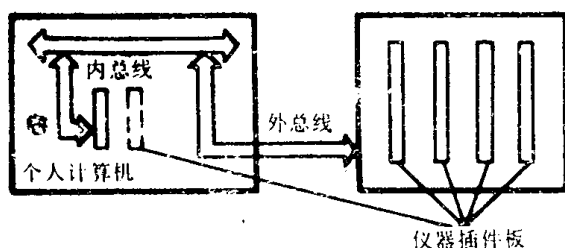


图1-4 个人仪器结构框图

构框图。个人仪器可能有三种结构形式，一种是只有内插的仪器插件板，没有外加部分；第二种是附有外部插件板箱，计算机内插只有接口板；第三种是内插和外加兼有。由此可见，个人仪器实际上是一个微机仪器系统。其特点如下：

(1) 成本低 与由IEC-625接口总线组成的自动测量系统相比，具有同样测试功能的个人仪器系统价格可降低1/3~1/10。测试功能由插件完成，智能仪器所需的微处理器、显示装置、键盘、机箱等都由个人计算机提供。

(2) 使用方便 标准的仪器功能写入操作软件中，用户根据清单进行选择，不必编制程序就能完成各种测试任务。

(3) 制造方便 个人计算机可以购买，仪器制造厂仅需生产测试插卡。

(4) 个人仪器并不能完全代替专用仪器，而是为需用中、低档性能仪器的用户开辟了另一条可供选择的途径。对于高档性能的专用仪器，个人仪器是无法与之相比的。例如数字多用表已多到21位模数转换器，用个人计算机的8位和16位的模数转换器是无法代替的；其次，专用仪器具有高分辨力的显示器，通常还有快速的处理器，也不会产生电路板插入计算机时可能产生的接地误差。利用高性能的智能仪器通过IEEE-488接口母线工作而组成的专用测试系统，仍然是目前最为先进的测试系统。

§1-5 本课程的任务

本课程是在学了《晶体管电路》、《脉冲与数字电路》、《微机原理》等课程的基础上，对电路硬件及软件具有了一定的分析能力后开设的。《电子测量技术》着重解决测量原理、方案、方法和测量结果的分析等问题。有关电子仪器的某些特殊的重要单元电路的分析、总体方框图的介绍及整机举例则是本门课的主要任务。希望通过对具有普遍意义的原则性问题的分析和讨论，结合具体典型电路的分析，举一反三，牢固掌握通用电子仪器的工作原理、使用方法以及一般的校准技术和故障检修等技能，并通过作业和实验来巩固我们所学的理论 and 锻炼实际工作技能。

我们将按照电子仪器的不同种类逐一加以介绍，这仅仅是基本的和通用的电子仪器中的一部分。当然本教材决不可能囊括各种参考资料，如各种手册、仪器说明书、产品目录等，这些资料有待于今后在工作中去搜集。同时，各种类型的崭新的电子仪器还将不断出现，更有待于我们去学习和开创。

练 习 题

1. 什么是电子测量仪器？它有哪些特点？
2. 为什么说电子测量仪器是电子科学技术的基础？是一个国家科技发展的标志？
3. 电子测量仪器按功能可以分为哪几类？
4. 电子测量仪器的技术条件有哪些内容？

5. 误差和分辨力的含义是什么？二者有何区别？
6. 电子仪器为什么要数字化？
7. 母线系统有什么功用？
8. 什么是智能仪器？有什么优点？

参 考 资 料

- 〔1〕 陈杰美、钱学济编，《电子测量仪器原理》（上册），国防工业出版社，1980。
- 〔2〕 杨吉祥编，《智能仪器》，南京工学院出版社，1986。
- 〔3〕 张礼勇、程玉润，《IEC-625通用接口及其应用》，计量出版社，1985。
- 〔4〕 刘家松，“个人仪器”，《电子科学技术》，7期，1987。

第二章 信号发生器

§2-1 信号发生器的作用及分类

测量用信号发生器是为进行电子测量提供符合一定技术条件的测试信号的设备，它是使用最广泛的电子仪器之一，也是一种最基本的电子测量仪器。

在电子工业中，除了对信号源或信号本身进行测量之外的所有工作，都离不开信号发生器。例如，测试晶体管的放大倍数时，要由信号发生器（阶梯信号）供给基极一定形状和大小的信号；测量放大器的频率特性时也要由信号发生器提供不同频率、一定形状和大小的信号；在测试各种接收机时，许多基本参数，如频率范围、灵敏度、选择性、信噪比等，也都要通过信号发生器来进行测试。所以，信号发生器是一种应用广泛而又最基本的仪器；同时，它又常以各种形式出现在其他设备中作为一个组成部分，或和其它设备一起组成一套测试系统。

由于信号发生器有着广泛的应用，于是对它提出了各种不同的要求，这就出现了各种不同类型的信号发生器。

1. 按用途分，有通用和专用两大类。专用信号发生器是为某一特殊的测量目的而研制的，如电视图象信号发生器、彩带发生器等，这一类发生器的特性主要由其测量对象所决定。

2. 按输出信号的波形，可分为正弦信号发生器、脉冲信号发生器、多种波形发生器（如函数发生器）和噪声发生器等，最常用的是正弦信号发生器和脉冲信号发生器。正弦信号发生器按其性能又可分为若干种。

（1）按频段分，有如下几种：

超低频信号发生器，频率一般在 $0.0001\sim 1000\text{Hz}$ 。

低频信号发生器，频率一般在 $1\text{Hz}\sim 100\text{kHz}$ （有的高达 1MHz ）。用得最多的是音频信号发生器，其频率范围是 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 。

视频信号发生器，频率一般在 $20\text{Hz}\sim 10\text{MHz}$ 。

高频信号发生器，频率一般在 $200\text{kHz}\sim 30\text{MHz}$ ，即大致相当于长波、中波及短波几个波段，有时又称为射频信号发生器。

甚高频信号发生器，频率一般在 $(30\sim 300)\text{MHz}$ ，即大致相当于米波段。

超高频信号发生器，一般指频率在 300MHz 以上的信号发生器，即工作在分米波、厘米波、等波段的各种信号发生器，其中工作于厘米及更短波长的又常称为微波信号发生器。

应当指出，上述频段划分并不是绝对的，如甚高频信号发生器又常称为高频信号发生器，对于一个具体的产品，它可能工作在所在某一频段的全部，也可能只工作在某一部分，也可能超出这一频段范围，甚至占据几个频段。不过一般说来，它总有一个主要工作频段，而它的特点也主要由这一频段来决定。

（2）按性能分，基本上可分为信号发生器和标准信号发生器两种：

信号发生器用于供给各种电子测量设备的测试信号源，对输出信号的波形、失真度（正

弦)、输出电压、输出功率都有一定的要求。例如低频信号发生器XD-1、XD-2,高频信号发生器XFC-6、XFG-7A等,就分别是晶体管或电子管的信号发生器,它们有的有功率输出,有的则只有电压输出,使用时按所要求选用。

标准信号发生器是用来产生标准信号,即信号的频率、电压、调制系数可在一定的范围内调节,能准确读数,屏蔽良好的信号发生器。标准信号可以用来测量被测对象的各种参数,例如,测试各类接收机的基本参数时,要求信号发生器供给的信号有准确的频率和电压以及适当的调制度,特别要求给出幅度足够小的准确电压,以测试灵敏度。

(3) 按产生频率方法分,可分为数种:

谐振法 利用谐振电路的频率特性来产生信号,如LC振荡器、RC振荡器中利用具有频率选择性的回路来产生振荡。

函数变换法 利用方波、三角波发生器通过函数变换网络由方波或三角波变换为正弦波。

合成法 利用高稳定度的石英晶体振荡器作频率源,再进行频率的加、减、乘、除,以得到一系列所需的频率。这种信号发生器具有高稳定度,并可象标准信号发生器一样输出调幅、调频波,输出功率经过校准即可作为标准。

(4) 按频率调节方式分,输出频率是手动调节或自动调节,如普通信号发生器、扫描信号发生器、程控信号发生器。

(5) 按调制类型分,可分为调幅、调频、调相、脉冲调制及组合调制信号发生器。超低频和低频信号发生器一般无调制;高频信号发生器通常是调幅的;甚高频信号发生器有调幅和调频;超高频信号发生器应有脉冲调制。

§2-2 正弦信号发生器

一、低频信号发生器

(一) 工作特性及组成方框图

低频信号发生器一般指能够产生频率从几十赫到1兆赫这一范围内的设备,它可用来测试低频放大器的频率特性,发射机的调幅特性,接收机的失真度,以及对高频或超高频信号作为调制信号源。

对低频信号发生器一般要求如下:

(1) 工作频率 要求频率在一定范围内能够进行步进或连续调节。

(2) 频率稳定度和准确度 输出信号的频率必须满足给定的误差要求。一般准确度为 $\pm(1\sim3)\%$,稳定度 $\pm 0.1\%$ 。

(3) 波形失真小,非线性失真度 γ 一般应为 $(0.1\sim1)\%$ 。

通常,电压或电流波中的非线性失真度是用基波成分除外的总谐波有效值与基波有效值之比化成百分数来表示的,即

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \times 100\% \quad (2-2-1)$$