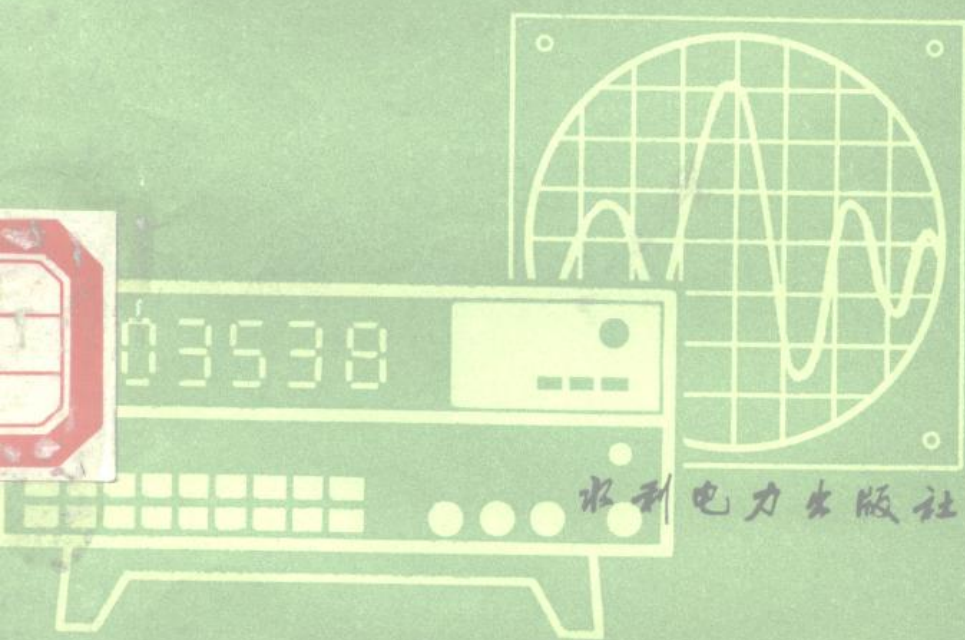


常用电子仪器丛书

电子仪器基础

张国屏 编



常用电子仪器丛书

电子仪器基础

张国屏 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是《常用电子仪器丛书》中之一册，可为电子仪器工作人员提供必要的专业基础知识，并为学习其它各册打下必要的基础。

本书共分三章，主要内容是：先从电子仪器工作的性质、任务、特点和误差入手，讲述电子仪器工作的重要性和常用电路元件的基础知识。然后，介绍常用电子电路中的元器件，如电子管、集成电路和半导体传感器的原理、特性及应用；常用电子仪器的故障和检查方法。

本书可供具有电子仪器基础知识的技术工人阅读，也可供有关专业的技术人员参考。

常用电子仪器丛书 电 子 仪 器 基 础

张国屏 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.75印张 103千字

1986年1月第一版 1986年1月北京第一次印刷

印数0001—6620册 定价1.00元

书号 15143·5908

前 言

《常用电子仪器丛书》是一套系统介绍我国目前大量生产和广泛应用的电子仪器原理、电路、使用、维修和校象，验方面的普及性丛书。它以广大电子技术工人为主要读者，也可供其他一般电子仪器工作人员参考。本丛书在篇幅上，着重介绍仪器的原理和电路，以便读者能融会贯通，举一反三；在仪器的选型上，尽量做到既考虑仪器的先进性，又考虑到应用的广泛性；在内容上，以论述物理概念为主。

本丛书共分九册。其中，《电子仪器基础》、《模拟式电子电压表》和《电子仪器的干扰及其抑制》由张国屏编写；《交直流稳压电源》由朱康中等编写；《低频信号发生器》由刘庆雄等编写；《电子管、晶体管参数测试仪》由蔡光显编写；《电子示波器》由叶胜泉编写；《数字频率计》由吴静凡等编写；《数字电压表》由陈中洪编写。张国屏担任本丛书主编；郭永坤、刘庆雄担任副主编。

本书在编写过程中，得到了水利电力部南京自动化研究所丁功华、山西省电力试验研究所芦士鹤、东北电业管理局技术改进局阎占元、四川省电力试验研究所电子组的大力支持和协助。初稿完后，由北京电力科学研究所许遐进行了审阅修改。在此一并表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1984年11月

目 录

前 言

第一章 电子仪器的基本知识	1
第一节 电子仪器的基本概念	1
第二节 电子仪器的基本误差	6
第三节 基本电路元件	13
第二章 电子元件	34
第一节 电子管	34
第二节 晶体管	62
第三节 集成电路	81
第四节 半导体传感器	113
第三章 电子仪器的检修	124
第一节 检修电子仪器的一般步骤	124
第二节 检修电子仪器的一般方法	127
第三节 电子仪器的一般故障	132

第一章 电子仪器的基本知识

第一节 电子仪器的基本概念

电子仪器是由电子管、晶体管、集成电路等一类电子元件构成的，用于观测和计量各种电量或非电量的仪器设备。电子仪器是电子工业的基础之一。随着国民经济和科学技术的发展，电子仪器不仅仅用于试验室中的观测和计量，而且还广泛地用作为工农业各部门中的检测、控制、管理和计算工具。

电子仪器发展至今已有半个多世纪了。随着无线电电子学的发展，电子仪器的种类、性能、功能和结构均有很大的进步，新的测试技术和新的电子仪器大量涌现。五十年代前，电子仪器大致可分为通用电子仪器和专用电子仪器两大类。前者，主要是模拟式电子电压表、信号发生器、电子示波器、交直流稳压电源、各种参数测试仪等；后者，则包括指示各种电子设备和系统（如电视、雷达中心、广播台等）工作情况的各种监视器和检测器，它们都是固定的设备组合。近年来，庞大复杂的电子工程系统日渐增加，如弹道测量系统、巨型相控阵雷达、卫星通讯系统、大型电子计算机系统。为了在运转中能随时监视其运行性能和迅速寻找出故障，还出现了大量专用监视检测系统，如大规模自动化测试系统、综合数据处理系统、自动网络分析系统等。随着电子技术在各个不同领域的应用，还出现了工业电视、微型计算机系统、红外成像、电子显微镜、原子吸收分光光度计、

色谱仪、质谱仪、极谱仪、应力测定仪以及各种物理量、化学量等的专用精密测试电子仪器和设备。随着各种新物理原理、新型元器件、新生产工艺、计算技术等的发展，电子仪器将不断得到改进和提高。按构成电子仪器的关键电子元器件的不同，可把电子仪器的发展分为电子管、晶体管和集成电路三个阶段。解放以来，在短短的三十多年中，我国的电子仪器工业有了很大的发展，不仅初步形成了电子仪器生产体系，而且已使我国的电子仪器向集成化、自动化、智能化方向迈进。

电子仪器分类方法很多。例如：根据电子仪器中的关键元件，可分为电子管仪器、晶体管仪器和集成电路仪器；根据电子仪器的用途，可分为通用电子仪器和专用电子仪器；根据电子仪器的作用范围，可分为电量测量仪器和非电量测量仪器；根据电子仪器的作用，可分为计量用电子仪器和控制用电子仪器等等。下面我们根据电子仪器基本原理的分类原则，将电子仪器分为三大类：

1. 电气测量仪器

当电子的运动主要作为能量（电力）来使用时，对其运动的基本参量进行测量的仪器，称为电气测量仪器。主要有测量各种电压、电流、功率、周波、相位以及测量各种电路参数（如 R 、 L 、 C 等）的电量测量仪器。这些仪器已经由电磁式发展到了电子或电子——电磁式，而且正在向高精度数字式、智能化、多功能、自动循检方向飞速发展。

2. 电子测量仪器

当电子的运动主要作为信息来使用时，对其运动信息进行测量和应用的仪器，称为电子测量仪器。由于被测对象的不同要求，这类电子仪器的种类很多，大致可分为如下

几类:

(1) 信号发生器——主要用来提供各种所需的信号源。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, 如调频调幅发生器、微波信号发生器、标准信号发生器、脉冲信号发生器、低频信号发生器、超低频信号发生器、噪声信号发生器、函数信号发生器、特殊信号发生器等。

(2) 信号分析仪器——主要用来观测和分析、记录各种电量波形。根据显示和记录方式的不同, 可分为时域分析仪和频域分析仪两大类。前者, 包括各种示波器; 后者, 包括各种波形记录器和频谱分析仪。

(3) 频率和时间测量仪器——主要用来测量电信号的时间间隔、频率、周期, 如各种数字式或指针式频率计、波长表、时间间隔测量仪、数字式毫秒计、数字式周波表, 以及各种时间、频率测量标准等。

(4) 网络特性测量仪——主要用来对电气网络的各种特性进行测量。这些特性主要是指频率特性、噪声特性、阻抗特性、功率特性。例如, 阻抗测试仪、频率特性测试仪、扫频仪、暂态特性测试仪等。

(5) 电子元件测试仪——主要用来测量各种电子元件的各种电气参数是否符合要求。根据测试对象的不同, 可分为电子管测试仪、晶体管测试仪、集成电路测试仪和电路元件(如电阻、电感、电容等)测试仪。例如, 电子管参数测试仪、晶体管特性图示仪、场效应管测试仪、数字集成电路测试仪和模拟集成电路测试仪等。

(6) 电波特性测试仪——主要用于对电波传播、电磁场强度、干扰强度等参量进行测量的仪器, 如标准接收机、

场强计、高斯计、干扰测量仪、杂散功率测量仪等。

(7) 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、滤波、隔离、衰减,以便使这些仪器更充分地发挥作用。例如,各种交直流放大器、选频放大器、检波器、衰减器、滤波器、记录器以及交直流稳压电源等。

3. 电子应用仪器

用电子的运动特性对其它运动信息进行测量的仪器,称为电子应用仪器。在国民经济的各个部门和科学的各个领域,由于有大量的精密测量和需待分析的问题,因此,各种物理量、化学量、生物量等等都可用电子仪器进行测量。这些电子仪器的分类方法尚未完全一致,大致可分为如下几大类:

(1) 机械量测量仪——包括各种压力、应变、振动、速度、加速度、流量以及长度、弯曲度、同心度、厚度、锥度、重量等的测量仪器,如动态应变仪、测振仪、流速和流量测量仪、测厚仪、准直仪、应力测定仪、测距仪等。

(2) 热学量测量仪——包括各种温度、比热、热量等的测量仪器。例如,各种电子式温度计(如光学高温计、红外测温仪等)、温度调节与温度控制器、热量计、比热计等。

(3) 光学量测量仪器——包括各种照度计、光谱仪、光度计等。例如,色谱仪、红外分光光度计、紫外分光光度计、原子吸收分光光度计等。

(4) 化学量测量仪器——包括用来测量酸碱度、元素含量、浓度等化学量和各种腐蚀、结垢、裂纹的探测仪器。例如,pH计、硅表、磷酸根表、碳氢元素分析仪、粉尘浓度计、微库仑仪、电位滴定仪、恒电位仪、超声波探伤仪、

裂纹深度探测仪等。

(5) 核计量仪器——包括用来计量辐射强度和用核源作信息的核电子仪器。例如， α 、 β 、 γ 等射线的剂量仪、 x 射线剂量仪以及用射线作信息的各种应用电子仪器。由于它们具有简单、可靠、不怕干扰等优点，因此已大量用于国民经济的各个部门。

电子仪器具有许多独特之点，应用极其广泛，这是其它单纯机械式和电磁式仪器所不能比拟的。归纳起来，电子仪器的特点主要有以下几点：

(1) 速度快。由于电子器件的工作速度极高，因此，由这些器件所构成的电子仪器便具有反应速度快的优点，这是任何其它方法所比不上的。这一特点，在快速测量和快速生产、试验过程的控制中尤为重要。由于速度快，使电子仪器的响应灵敏、动作迅速。

(2) 灵敏度高。由于电子仪器一般都采用了电子放大电路，使仪器的灵敏度大大提高。随着放大技术的发展，目前可以测量的最小电流已达 10^{-14}A ；电压达 10^{-9}V ；电功率也可达 10^{-12}W 的数量级，这是一般电磁式测量仪表所不可能达到的测量灵敏度。由于灵敏度高，电子测量仪器便具有很高的分辨力，这对微量测量，精密控制都是非常重要的。

(3) 量程范围广。由于电子仪器具有放大电路，再加上适当的分压或衰减器，便可得到极广的量程调节范围，一般来说，做到具有四个数量级的调节范围是不困难的；而其它各种测量器具要做到如此大的调节范围几乎是不可想象的。由于电子仪器具有量程范围广的优点，使它们有可能实现一机多用和便于组成电子仪器测量系统。

(4) 稳定性高。由于电子元器件质量的不断提高，仪

器制造工艺的不断改进,特别是负反馈技术的应用,使电子仪器的稳定性不断提高。例如:利用晶振产生的时间频率标准的稳定性已达 10^{-12} /日数量级。这种高稳定性对于长期工作的卫星通讯与控制、宇宙飞船、导弹控制、大型计算机系统和工业生产的自动控制都具有重要作用。

(5) 显示直观。由于数字技术和各种显示器件的发展,使得电子仪器可以将各种被测量以数字或图形的方式予以直接显示,可以完全消除读数误差和视觉疲劳。由于各种打印记录和记忆式器件的出现,电子技术还可以将多种被测量的变化过程记录下来,以便对其进行分析。

(6) 便于实现自动测量和数据处理。由于逻辑电路和微型计算机技术的发展,使电子仪器能按照预先规定的程序进行自动测量,或者将测量的结果按预先规定的计算方法进行计算,并将结果直接指示或打印出来,故在工业生产的程序控制中,有着广泛的应用。微计算机的应用,使电子仪器更便于实现智能化。

(7) 各种电量或非电量变换器件的出现,为电子仪器的广泛应用提供了广阔的天地。

第二节 电子仪器的基本误差

电子仪器大部分用作测量仪器。随着科学技术的不断发展,对测量技术及仪器的精密度、速度、量程、自动化程度、数据存储和处理能力等各方面,都提出了越来越高的要求。下面对电子仪器工作中经常碰到的有关计量方面的基本概念,尤其是有关误差的基本概念,作一简单介绍。

一、基本概念

1. 单位制

各种物理量的单位是表征测量结果的重要组成部分，是物理量进行比较的基础。有的物理量的单位，可以任意地、彼此无关地加以规定，这种单位称为基本单位。在国际单位制（缩写为SI）中，规定出七个基本单位：即长度单位“米”（m）、质量单位“千克”（kg）、时间单位“秒”（s）、电流单位“安培”（A）、热力学单位“开尔文”（K）、光强度单位“坎德拉”（cd）。此外，还规定了平面角单位“弧度”（rad）和立体角单位“球面角”（sr）两个辅助单位。由这些单位派生出来的单位，称为导出单位。例如：由长度及时间可导出速度单位“米每秒”（m/s）、加速度单位“米每二次方秒”（ m/s^2 ）等。为了使用方便，有的导出单位还规定了一个相应的名称，而且大多数用人名来命名，如电压单位为“伏特”（V）；力的单位为“牛顿”（N）；频率的单位为“赫芝”（Hz）等。

我国和世界上许多国家及国际组织，都采用国际单位制。

2. 基准和标准

所谓基准，是指用当代最先进的科学技术及工艺水平，以最高的精确度建立起来的专门用来规定、保持和复现某种物理量单位的特殊量具或仪器。

由于一般基准器的工艺、结构都很精细，对使用环境有严格的要求，而且往往操作复杂、价格昂贵、不允许经常动用，因此，根据基准复现的量值制成了不同等级的标准仪器（或量具），用作量值的传递。根据不同的精度，标准仪器（或量具）又可分为一级标准、二级标准和三级标准。一级标准的量值由更高的基准来确立，然后由一级标准向下一级

标准传递，一直传到不同精度级别的工作仪器或量具。

3. 量值的传递

为了保证全国各行各业中同一物理量值的统一，必须通过各级基准、标准以及相应的辅助设备，把一个物理量单位一直准确地传递到日常工作的千万台测量仪器或量具。为此，还必须以法定的形式规定一套检定规程。在这些规程中，对检定方法、检定设备、检定步骤以及对受检仪器给出误差的方式等，都应做出详细、具体和统一的规定。各种基准、标准和工作仪器，都必须按规定交上级计量部门进行检定，并发给检定合格证书；凡没有检定合格证书或证书有效期已经超过者，其原有说明书或检定记录上所标明的精度指标，不可再采用、而只能作为参考。

二、绝对误差与相对误差

任何测量仪器的示值或量具的标称值，都不可能完全准确地等于被测量的真值，即不可避免地存在误差。真值是指在一定时间及空间条件下，某物理量的真实数值。显然，真值是不可能实际得到的。

1. 绝对误差

令真值为 A_0 ，仪器的示值或量具的标称值为 X ，则绝对误差为

$$\Delta X = X - A_0$$

在实际测量中，通过把测量仪器或量具与上级标准相比较，得出其实际值 A 来代替真值 A_0 。由于上级标准也有误差，故实际值也不是真值。但一般来说，实际值 A 总比示值或标称值更接近真值 A_0 。 X 与 A 之差称为仪器的示值绝对误差或量具的标称绝对误差。一般称这种绝对误差为实际绝对误差，即

$$\Delta X = X - A$$

绝对值与 ΔX 相等、但符号相反的值称为修正值 C ，即

$$C = -\Delta X = A - X$$

通过检定，可由上一级标准（或基准）给出被检仪器的修正值，利用修正值可求得该仪器的实际值为

$$A = X + C$$

根据不同仪器的特点，修正值可以曲线、公式或表格等形式给出。在某些自动测量和智能仪器中，可预先把修正值储存起来，然后，在测量中自动进行修正。

仪器的示值与仪器的读数是不同的，这点应当注意。读数是从仪器的刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数，而示值则是该读数所代表的被测量的数值。有时示值就是读数；有时则不相同。

对于各种供给量仪器（如各种信号发生器、稳压电源等），根据国际电工委员会（IEC）359号公报，我国在SJ943-75部颁标准中规定其绝对误差定义与以上恰好相反，即

$$\Delta X = A - X$$

2. 相对误差

由于绝对误差往往不能说明测量的精确度，故普遍采用相对误差。相对误差形式很多，常用的有以下几种：

（1）实际相对误差 r_A ——绝对误差与被测量实际值之比的百分率，即

$$r_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

（2）示值相对误差 r_x ——绝对误差与仪器的示值之比的百分率，即

$$r_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

(3) 满度相对误差 r_m ——绝对误差与仪器示值的上限 (满度值) X_m 之比的百分率, 即

$$r_m = \frac{\Delta X}{r_m} \times 100\%$$

(4) 用分贝 (db) 表示的相对误差 r_{db} 。

对电压、电流等电参数为

$$r_{db} = 20 \lg \left(1 + \frac{\Delta X}{X} \right)$$

对功率等电参数为

$$r_{db} = 10 \lg \left(1 + \frac{\Delta X}{X} \right)$$

由于通常 ΔX 都不大, X 与 A 相差不远, 故 r_A 与 r_x 也很接近 (但 $r_A > r_x$)。当误差不太小或处于临界状态时, 就须注意 r_A 与 r_x 之间的差别了。这时一般宜采用 r_x , 因为仪器出厂检验时, 都是把此被检仪器调到某一刻度上, 然后从标准仪器或其它检定装置上读出实际值或直接读出误差 ΔX , 而此时仪器的相对误差是 ΔX 与被检仪器的示值之比; 此外, 在某些检定结果的表示式中, 修正值 C 是用被检仪器在某检定点上的相对值 (C/X) 给出的, 故以 r_x 表示相对误差更为方便, 且很容易求得被检仪器在该检定点上的实际值, 即

$$A = X + C = X \left(1 + \frac{C}{X} \right)$$

由于满度相对误差的分母是量程的上限 X_m , 故 r_m 的数值总小于或等于 r_x 。对同一量程来说, X_m 是一个常数, 故 r_m 提供的实际上只是绝对误差。电工仪表的准确度, 就是按正常条件下的满度相对误差来分级的。“正常条件”的主要内容

如表1-1所示。根据国家标准的规定，电工仪表共分为七级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5及5.0。

表 1-1 正 常 条 件 的 主 要 内 容

规 定 条 件	数值范围或要求	规 定 条 件	数值范围或要求
环境温度($^{\circ}\text{C}$)	(20 ± 5)	外界电磁场干扰	应 避 免
相对湿度(%)	(65 ± 15)	外界机械振动或冲击	应 避 免
大气压力(Pa)	99991.5 ± 3999.66	仪器负载、输入、输出功率，电压，频率等	符合技术条件的要求
交流供电电压(V)	额定值 $\pm 20\%$		

三、测量误差

测量误差是指被测量所测得的数值与其实际值之差。它是测量仪器本身的误差以及辅助测量设备、测量方法、环境条件、操作技术等因素共同作用的结果。

1. 仪器误差

这是由于仪器本身性能不完善所产生的误差，它包括以下几种：

(1) 读数误差——包括仪器刻度的校准误差和由于分辨力不高、读数调节机构不完善等因素造成的误差。

(2) 噪声、干扰及寄生阻抗引入的误差——由于仪器受到内部或外部各种噪声、干扰、寄生电感、寄生电容及寄生电阻等的影响，而被测参数又很小或工作频率较高时，就有可能使测量结果产生显著的误差。

(3) 稳定误差——这是由于电子元器件的老化、电气性能对温度的敏感及机械磨损、弹性疲劳等原因造成的误

差。电气性能的变化主要表现为零点漂移和读数的变化；机械性能的变化主要表现为调节机构的松动、接触不良、工作不稳定及零点变化等。

(4) 动态误差——在进行快速测量时，由电路中的过渡过程、电表的阻尼时间及有限的机械调节速度等所造成的误差。

2. 使用误差

在测量过程中，由于对仪器性能和使用方法不够了解或使用不当而造成的额外误差，称为使用误差。例如：仪器的位置不符合要求、接地不良、引线过长（尤其是高频时）、直接把不同特性阻抗的电缆和插座连接在一起、未按规定预热、调零、校准和测量等所造成的误差。

3. 人身误差

指因人的感觉器官和运动器官不完善所造成的误差，特别是用眼、耳进行判断的仪器更为突出。

4. 影响误差（又称环境误差）

由于温度、湿度、气压、电磁场、机械振动、声音、光照及放射性等因素的影响所产生的误差，称为影响误差。有时，这些因素还可能损坏仪器。在我国，把对电子测量仪器使用环境的要求分为三组，每组规定了一个“额定使用范围”，在此范围内工作可以保证满足仪器的误差要求。例如：对于温度的额定使用范围而言，第一组电子仪器为 $10\sim 35^{\circ}\text{C}$ ；第二组电子仪器为 $-10\sim +40^{\circ}\text{C}$ ；第三组电子仪器为 $-40\sim +55^{\circ}\text{C}$ 。

5. 方法误差（又称理论误差）

由于测量方法不完善、所依据的理论不严密、对某些物理量的定义不明确等所带来的误差，称为方法误差。例如：用谐振法测量频率时，常用的公式为