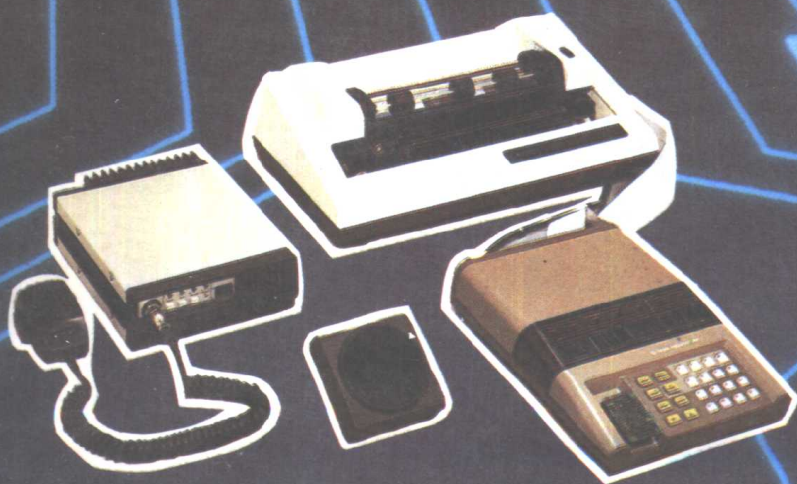


工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书

实用无线电 维修测试基础

聂在强 迟朋豆 编



机械工业出版社

工人技术等级标准(家用电器维修专业)考核辅导丛书

实用无线电维修测试基础

聂在强 迟朋亘 编

机械工业出版社

全书共分十二章和二十个基本实验。包括电子测量的基本知识、指针式万用表、电子毫伏表与数字万用表、双踪示波器、信号发生器、晶体管图示仪、扫频仪、数字式频率计、失真度测量仪与Q表、直流稳压电源、无线电元器件的检测和实用自制简易仪器的基本原理、使用操作方法、测试举例及其常见故障的检测。每章后附有习题,以便学生思考、练习,在较短的时间里掌握基本无线电测试技术。

本书可作为家用电器维修工人的培训教材和自学参考书,也可供中等职业学校有关专业的师生参考。

实用无线电维修测试基础

吴克勤 迟树田 编

责任编辑 周胜贤 袁克勤 版式设计 朱淑珍

封面设计 曹大平 责任印制 李兴民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

河北省涿县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092_{1/16}·印张14·字数334千字

1996年5月第一版 第二次印刷

印数 7500-9500 定价 16.80元

*

ISBN7-111-04397-9/TN·94

工人技术等级标准（家用电器维修专业）考核辅导丛书
编写委员会

主 编	王仲文	孙祥根	关正杰
副 主 编	贡克勤	高文龙	
主任编委	李兴民	高士曾	刘志平
编 委	韩泽林	魏 钢	李玉林
	赵炳祺	武绪廉	张 屹
	曹志宏	陶宏伟	沈 文
	邹 平	宋贵林	李旭东
	李振华	张峻峰	邓从真
	王 敏	杜德昌	李 波
	段 欣	李援瑛	刘慧贞
	王银波	孟宪明	刘新民
	赵山鹰	孙志奇	聂在强
	迟朋亘	陈延军	黎国胜

序

根据劳动部和国内贸易部联合颁发的“商业行业工人业务技术等级标准”要求，为了培训各类家用电器维修技术人员，本书由劳动部、国内贸易部组织专家进行审定。它是我国目前工人技术等级标准（家用电器维修专业）考核唯一的一套具有系统性、权威性的辅导丛书。本书突出实践环节，注重家电维修的基本技能训练，明确技能要求和考核标准，使读者在尽可能短的时间内取得技术等级证书。本书由机械工业出版社出版。

本套教材包括《实用无线电维修理论基础》，《实用无线电维修操作基础》，《实用无线电维修技术基础》，《实用无线电维修测试基础》，《新编黑白电视机电路解说与故障分析、检修》，《新编收录机电路解说与故障分析、检修》，《新编彩色电视机电路解说与故障分析、检修》，《家用制冷设备原理与故障分析、检修》，《家用电热、电动器具原理与故障分析、检修》，《新编家用录象机电路解说与故障分析、检修》共10本。各类家电维修人员都将按照本教材组织培训、考核、晋升等级，此套丛书的读者对象是：具有初中以上文化程度的全国家电维修人员、职工大学、职业中学家用电器专业师生以及广大无线电爱好者。

工人技术等级标准（家用电器维修专业）考核辅导丛书编委会

1994年1月

前 言

随着无线电电子技术的迅速发展,各类电子电气产品的性能不断提高,普及面越来越广,在我国需形成一个具有较高水平的调试、维护和检修网,以保障产品的质量和后期服务。因此,向培养人材的中等职业学校和各种形式的培训教育组织提供新颖的、受学员欢迎的教材,是编写该书的主要目的。同时,为实现继续教育的发展方向,为参加技术等级考核的维修人员在尽可能短的时间里取得等级证书提供教材,是编写该书的另一个主要目的。

本书是按国家教育委员会对电子类职业中专和职业高中制定的专业课教学大纲中关于电子测量技术和仪器使用方面的要求,根据劳动部和国内贸易部联合颁发的《工人技术等级标准》中对无线电测量技术和仪器操作方面的要求进行编写的,故本书内容不仅适度、丰富、信息量大,而且便于进行统考和等级考核使用。

本书在编写时力求深入浅出,通俗易懂、图文并茂、突出实用性,特别注意到紧扣等级标准和大纲要求,压缩定量的理论分析、避免复杂的数学推导,重在培养学生的专业技术能力。编写这套丛书的内容在注意基础知识的同时,也适当反映了电子专业的现代技术。另外,由于电子类专业分支多,编写这套丛书时还注意到宽口径,以便于不同专业选用。

为贯彻和推广国家标准,本书使用的电气图图形符号和文字代号,产品及材料型号规格等,均采用了国家的有关最新标准。

使用本丛书的学员若能在学习过程中结合这套丛书的内容和实验题目多动手、多实践,并结合日常维修工作多进行实际测量,一定会使技术水平有较大提高的。

全书由山东大学电子工程系李若红作了认真细致的审阅。在编写过程中,还曾得到有关学校、工厂、科研单位的领导、教师和工程技术人员的热情支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于常用电子测量仪器的种类繁多,发展迅速,加之编者的水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者指正。

编 者

1994年5月

目 录

序

前 言

第一章 电子测量的基本知识	1	二、晶体管的检测	20
第一节 概述	1	第六节 万用表常见故障及检修	22
一、测量和电子测量的意义	1	一、万用表的常见故障及其原因	22
二、电子测量的特点	1	二、检修实例	23
三、电子测量的分类	1	第七节 万用表面板上常见符号和识别	26
四、电子测量的内容	2	习题	27
第二节 电子测量仪器	2	第三章 电子毫伏表与数字万用表	29
一、常见的电子测量仪器	2	第一节 电子管或晶体管毫伏表	29
二、电子测量仪器的使用常识	2	一、概述	29
第三节 测量误差	4	二、GB-9 型电子管毫伏表	29
一、测量误差的来源	4	三、HFJ-8 型电子毫伏表	32
二、误差的表示方法	6	第二节 数字万用表	34
三、误差的降低和修正	7	一、概述	34
第四节 测量结果的处理	8	二、数字万用表的基本原理及组成	34
一、数据处理	8	三、DT-890 数字万用表	36
二、图解处理	9	习题	38
习题	9	第四章 双踪示波器	39
第二章 指针式万用表	10	第一节 概述	39
第一节 概述	10	一、电子示波器的特点	39
第二节 指针式万用表的一般结构	10	二、电子示波器的种类	39
一、指示表头	10	三、电子示波器的选用	40
二、转换开关	11	四、示波器测量的发展方向	40
三、测量电路	12	第二节 示波器的基本工作原理	41
第三节 MF-10 型万用表的基本工作		一、示波管的构造	41
原理	13	二、波形显示原理	41
一、直流电流的测量原理	13	三、示波器的基本结构	42
二、直流电压的测量原理	14	第三节 双踪示波器的基本原理	43
三、交流电压的测量原理	14	一、基本结构	43
四、直流电阻的测量原理	15	二、基本原理	45
第四节 万用表的正确使用	16	第四节 SR-8 型双踪示波器的使用方法	46
一、万用表的基本量程和误差	16	一、面板布置	46
二、MF-10 型万用表的主要技术特性	17	二、主要技术性能	46
三、使用前的准备	18	三、面板上各控制件的作用	49
四、万用表的正确使用	18	四、使用操作方法	52
第五节 万用表的应用实例	20	第五节 实际测量举例	54
一、电容器的检查	20	一、电压的测量	54

二、时间的测量	55	习题	103
三、频率的测量	57	第七章 扫频仪	104
四、相位的测量	57	第一节 概述	104
五、用示波器检测低频放大器	58	一、网络的频率特性及频率特性曲线	104
六、电流波形的测量	58	二、扫频仪	104
七、整流滤波前后电压波形的测量	59	第二节 扫频仪的基本工作原理	105
八、视频信号波形的观察	59	一、扫频仪的主要组成部分	105
九、彩色视频信号波形的观察	60	二、扫频仪的基本原理	106
十、用李沙育图形法进行测量	60	三、扫频仪外部旋钮对内部结构的控制	118
习题	61	第三节 扫频仪的使用方法	109
第五章 信号发生器	63	一、BT-3 型扫频仪的主要技术性能	109
第一节 低频信号发生器	63	二、BT-3 型扫频仪各旋钮及开关的作用	110
一、基本工作原理	63	三、使用前的性能检查及准备工作	112
二、使用常识	64	第四节 实际测量举例	116
三、应用举例	66	一、电视机视放级频率特性曲线的测试	116
第二节 高频信号发生器	67	二、高频头混频器曲线的检测	117
一、电路结构	67	三、高频头总曲线的检测	128
二、基本工作原理	68	四、电视机图象中放曲线的检测	120
三、主要技术性能	69	五、电视机分立体伴音通道曲线的检测	120
四、使用方法	69	六、电视机集成伴音电路 S 曲线的检测	122
五、应用举例	71	习题	123
第三节 脉冲信号发生器	74	第八章 数字式频率计	124
一、基本原理	74	第一节 概述	124
二、XC-16 型脉冲信号发生器	76	第二节 数字式频率计的基本原理和测量原理框图	124
三、应用举例	77	一、周期与频率	124
第四节 彩色/黑白电视信号发生器	78	二、频率的测量	124
一、性能简介	79	三、周期的测量	125
二、使用方法	80	四、频率比的测量	126
习题	81	五、计数 A 的测量	126
第六章 晶体管特性图示仪	82	六、校对自校回路	126
第一节 概述	82	七、数字式频率计的组成	126
第二节 JT-1 型晶体管特性图示仪	82	第三节 E-312 型电子计数式频率计	128
一、晶体管特性图示仪的组成框图	82	一、E-312 型频率计原理及框图	128
二、JT-1 型晶体管特性图示仪的基本工作原理	83	二、E-312 型频率计的主要技术指标	129
三、JT-1 型晶体管特性图示仪的主要技术性能	83	第四节 E-312 型频率计的使用方法	130
第三节 JT-1 型晶体管特性图示仪的使用方法	84	一、仪器面板上各旋钮的作用	130
一、面板上各旋钮的作用	84	二、使用方法	130
二、使用方法	88		
三、测试实例	92		
第四节 晶体管特性图示仪的检修	102		

三、几项主要测试的使用	130	二、电位器的识别与检测	156
习题	132	三、电容器的识别与检测	157
第九章 失真度测量仪与 Q 表	133	第二节 晶体二极管的检测	160
第一节 失真度测量仪	133	一、整流、检波二极管的检测	160
一、概述	133	二、半桥和全桥的检测	160
二、失真度测量仪简介	134	三、高压硅堆的检测	161
三、应用举例	136	四、稳压二极管的检测	161
第二节 Q 表	138	第三节 三极管和场效应管的检测	162
一、概述	138	一、三极管的检测与判别	162
二、Q 表的组成及原理	139	二、场效应管的检测	165
三、QBG-3 型高频 Q 表简介	140	第四节 单结晶体管和晶闸管的检测	166
习题	143	一、单结晶体管的检测	166
第十章 直流稳压电源	145	二、晶闸管的检测	167
第一节 概述	145	第五节 集成电路的检测	168
一、直流稳压电源的基本组成	145	一、引脚的判别	168
二、直流稳压电源的分类	145	二、集成电路好坏的判断	168
三、直流稳压电源的主要性能指标	145	第六节 变压器和线圈的检测	169
四、串联型稳压电源的典型电路	146	一、变压器的检测	169
第二节 WY-17B 型晶体管稳压电源	146	二、电感线圈的检测	170
一、电路组成和基本原理	146	第七节 音频电声器件的检测	170
二、主要技术参数	147	一、扬声器的检测	170
三、使用方法	149	二、拾音器的检测	171
第三节 WYJ-6B 型晶体管稳压电源	149	三、话筒的检测	171
一、电路组成和工作原理概述	149	四、录音机磁头的判别与检测	171
二、主要技术性能	150	第八节 电视机常用元器件的检测	172
三、使用注意事项	150	一、行输出变压器的检测	172
四、电路原理图及结构简介	150	二、偏转线圈的检测	172
第四节 5G14 集成稳压电源	152	三、声表面波滤波器 SAWF 的检测	173
一、概述	152	四、延时线的检测	174
二、常用接法	152	五、石英晶体和陶瓷滤波器的检测	174
三、主要参数与技术性能	153	习题	175
四、扩大输出电流的接法	153	第十二章 实用自制简易仪器	176
第五节 三端稳压器	153	第一节 印制电路板的制做	176
一、概述	153	一、落料	176
二、W7812 三端稳压器电路图	153	二、铜箔抛光	176
三、元器件介绍	153	三、描图	176
四、技术性能	154	四、上保护漆	176
五、电路特点及应用范围	154	五、腐蚀	176
习题	154	六、清洗	176
第十一章 无线电元器件的检测	155	七、钻孔	176
第一节 电阻器电位器电容器的检测	155	八、涂刷保护膜	177
一、电阻器的识别与检测	155	第二节 多用信号发生器的制做	177
		一、输出信号	177

二、电路图及原理概述	177	实验二 万用表测试训练一	189
三、印制电路板及组装	177	实验三 万用表测试训练二	190
四、元器件及其选择	178	实验四 双踪示波器的使用方法	191
五、调试	178	实验五 用示波器观察视频信号波形	191
六、使用	179	实验六 用波形合成法测信号相位	194
第三节 在路三极管质量测试仪	180	实验七 低频信号发生器的使用	195
一、电路图及结构概述	180	实验八 高频信号发生器的使用	196
二、被测管好坏的显示	180	实验九 晶体管特性图示仪的基本操作 和对三极管的测试	198
三、元器件及其选择	180	实验十 用晶体管特性图示仪测量二 极管	200
四、组装	180	实验十一 BT-3 型扫频仪的使用方法	202
第四节 直流稳压电源的制作	182	实验十二 高频头总曲线的测量	205
一、电路图及其组成概述	182	实验十三 电视机中放级增益的测量	206
二、元器件的选择	182	实验十四 用扫频仪调鉴频器的 S 曲线	207
三、安装与调试	182	实验十五 测量集成电路的频率特性曲线	208
第五节 充电器	184	实验十六 50Hz 交流电失真度的测量	209
一、充电器的电路图	184	实验十七 Q 表的使用方法	210
二、元器件选择及安装	184	实验十八 测量晶体管	211
三、充电方法	184	实验十九 电子器件的检测	212
第六节 几件简单检修工具的制作	185	实验二十 集成电路的检测	213
一、信号注入器	185	参考文献	213
二、高压测试棒	186		
三、磁头消磁器	186		
实验	188		
实验一 万用表的基本操作和基本测量	188		

第一章 电子测量的基本知识

第一节 概 述

一、测量和电子测量的意义

测量是人类认识自然和改造自然的重要手段之一。通过测量人类对客观事物获得了数量上的概念。例如，用尺子去量一块布料可得知它的长度。反过来，根据大量的测量结果，可以分析、归纳，总结出事物的规律，形成新的概念和理论。

电子测量是测量学的一个重要分支。从广义上讲，凡是利用电子手段进行的测量均属于电子测量的范畴。在现代工业中，从零件的加工到机器的装配、调整，都离不开电子测量。没有精确的电子测量，就无法保证产品的质量。在无线电设备中，电子测量更为重要，没有精确的测量仪器和正确的测试方法，设备的调整就没有依据，也就无法进行设备的定度。

二、电子测量的特点

电子测量与其它测量相比，主要有以下特点：

（一）测量精度高

测量精度是决定测量技术水平和测量结果可信性的关键。在电子测量中，许多项目的测量精确度可达 10^{-13} 与 10^{-14} 量级。如频率的测量，由于以原子频标和原子秒作基准，使其测量达到极高的精度。当然，有些项目的测量，如失真度和 Q 值的测量，精确度只能达 10^{-2} 数量级。

（二）量程很广

所测的电参量，其值的大小和频率的高低可以相差极其悬殊，例如，被测功率可以小到 10^{-14} W（宇宙飞船发向外空的信号），也可以大到 10^8 W 以上（远程雷达发射）。被测频率低端可以低到 10^{-4} Hz，而高端可达 100GHz（1GHz = 10^9 Hz）。目前无法用一种测量方法或一种测量仪器去覆盖整个量程，不同量级的同类物理量，通常采用不同的测量方法和仪器去测量。

（三）新技术应用快

电子测量对科学技术的新成就很敏感，如取样、锁相、频率合成、数字化等技术，特别是与计算机科学相结合形成的“智能”测试系统，它具有很强的自动测量功能，例如，自动选择量程、自动记录数据、自动修正误差、自动检查故障等，它不仅打破了人们长期以来的许多传统观念，而且对整个电子技术和若干近代科学技术产生了巨大的影响。它是现代电子测量的发展方向。

三、电子测量的分类

电子测量可以按以下几个方面分类：

1) 从测量的对象（系统）来说，可分为线性网络测量和非线性网络测量。线性网络一般指该网络中电压与电流的关系是线性的。在任一时刻，任一频率，任一信号作用下，该网络中的电压、电流都具有固定的、等比例的关系。而非线性网络中的电压、电流关系要相对复

杂得多。

2) 从电路工作状态来说,可分为动态(瞬态)测量和静态(稳态)测量。动态测量和静态测量是根据测量过程中被测量是否随时间变化而变化来区分的。在进行静态测量时,如放大器静态工作点的测量,被测电路只需提供必要的工作电压,不加输入信号。而在进行动态测量时,如放大器增益的测量,被测电路需加上一定频率和幅度的输入信号。

3) 从电路的工作频率来说,可分为低频测量和高频测量;也可再分为直流、音频、视频、射频和微波测量等。由于电子测量正在向宽频段和全频段方向发展,这种按频率进行划分的方法已日渐失去意义。

4) 从测量方法上来说,分为直接测量和间接测量。前者是指用标准测量仪器对某一待测量进行测量,可直接获得结果,例如,用电压表测电压,用计数器测频率。后者是指先对几个与待测量有确定函数关系的物理量进行测量,再借助于函数关系求出待测量,例如,先测出电阻 R 的阻值及其两端的电压 U , 然后就可根据公式 $P = U^2/R$, 求出待测量功率 P 。

5) 从被测参量的内容来说,可分为电能的量的测量、电路器件参数的测量、信号特征的测量和网络性能的测量。

四、电子测量的内容

电子测量的内容很多,可分为四大类,分别包含的内容如下。

(一) 电能的量

电流、电压、功率、电场强度、电磁干扰及噪声等。

(二) 电路元件参数

电阻、电抗、阻抗、电感、电容、品质因数、介电常数、磁导率、晶体管 β 值、电子管跨导等。

(三) 电信号特征

频率、相位、幅度、过渡时间、调制度、频谱、相关系数、信噪比等。

(四) 网络性能

灵敏度、选择性、频带宽度、分辨力、增益、衰减、驻波比、反射系数、噪声系数等。

有些参量如果从不同角度看,既可以把它归入某一类,也可以将其归入另一类。例如,电压既是电能的一个量,同时又是电信号的一个重要特征。

第二节 电子测量仪器

一、常见的电子测量仪器

目前,电子仪器的种类很多,不同的用途有不同的仪器,不同的要求,有不同的档次,有简单的,也有复杂的。常见的几种电子测量仪器的名称及功能简介见表 1-1。

二、电子测量仪器的使用常识

电子测量仪器是由各种电子元器件及部件构成的,它们往往程度不同地受到诸如温度、湿度、振动、电网电压、电磁场干扰等外界环境的影响,因此,为了保证测量仪器的正常工作,获得较为准确的测量数据,同时保障操作者的人身安全,在使用电子测量仪器时,必须掌握它们对工作环境、电网电压、连线和接地等方面的要求。

表 1-1 常见的几种电子测量仪器

名 称	用 途	典型型号
电平测量 仪器	测量电能的量, 包括各种电压表、电流表和 功率表	GB-9 型电压表 DT-890 系列数字万用表
集中参数 测量仪器	测量电阻、电容、电感等	QS18A 万能电桥
频率-时间 测量仪器	产生电子测量中符合一定技术要求的各种 信号	XD-22 型低频信号发生器 XFG-22 型高频信号发生器 XC-16 型脉冲信号发生器
信号波形 测量仪器	观察电信号电压、电流、时间、频率之间的 关系	SR-5 双踪示波器
信号频谱 分析仪器	显示电信号的频谱	BP-1 型频谱仪 BS-1 型失真度测量仪
场强测 量仪器	测量电磁场强度	BC-12 型场强仪
器件参数 测量仪器	测量各种电子器件的参数, 如晶体管的电流 放大倍数等	JT-1 型晶体管 特性图示仪
网络参数 测量仪器	测量网络的频率特性、相位特性、噪声特性 等	BT-3 型扫频仪
集成电路 参数测量 仪器	测量数字和模拟集成电路的基本参数	TOC-2 型运算放 大器测试仪

(一) 环境条件

根据电子测量的任务(或性质)及各种电子测量仪器的技术要求, 电子测量仪器要求的环境条件也是不同的。为此, 国际电工委员会(IEC)对电子测量仪器的工作环境分组作了规定, 我国也制定了相应的部颁标准(SI2075-82 标准)。总的来说, 电子测量仪器分为三类:

高精度仪器 它的工作环境要求设有空调, 即室内温度相对稳定, 操作仪器时要细心。

通用仪器 它运用于一般的正常环境, 仪器使用时允许受到一般的振动和冲击。目前一般的测量仪器室使用的维修测试设备均属于这一类。

特殊仪器 它可在气温较低或有大量热源的高温环境下工作, 使用时允许受到振动和冲击。

(二) 交流供电和安全接地

1. 供电

仪器的使用应特别注意电网电压是否符合要求。大多数电子测量仪器一般都使用 220V 的交流市电, 但少数仪器, 尤其是进口设备有不同的供电档位(如 110V、200V、220V、240V……), 为此, 我们在接通电源前, 一定要认真检查一下供电档位是否正确无误, 以免造成不必要的损失。

2. 安全接地

由于仪器内部的电源变压器的铁心及一次、二次级之间的屏蔽层都直接与机壳连接，正常情况下，绝缘阻值一般很大（达 $10^4 M\Omega$ ），人体接触机壳是安全的。但当仪器受潮或电源变压器质量不佳时，绝缘度会明显下降，人体接触机壳就可能触电。为此，一般仪器的电源插头应采用“三星”插头，其中“中星”为接地端，应与仪器的外壳相连。另外，可在测试台下的地面上铺设绝缘橡胶或塑料，从而消除隐患。

（三）仪器的连线和技术接地

1. 连线

完成一项电参量的测量，有时需要数台测量仪器及辅助设备。如要观测收音机的灵敏度，就需要高频信号发生器，电子示波器，直流稳压电源等仪器。电子测量仪器的连线原则上要尽量短，尽量减少或消除交叉，以免引起信号串扰和寄生振荡。例如，图 1-1a、c 是正确的连线方法；图 b 连线过长，图 d 连线有交叉。

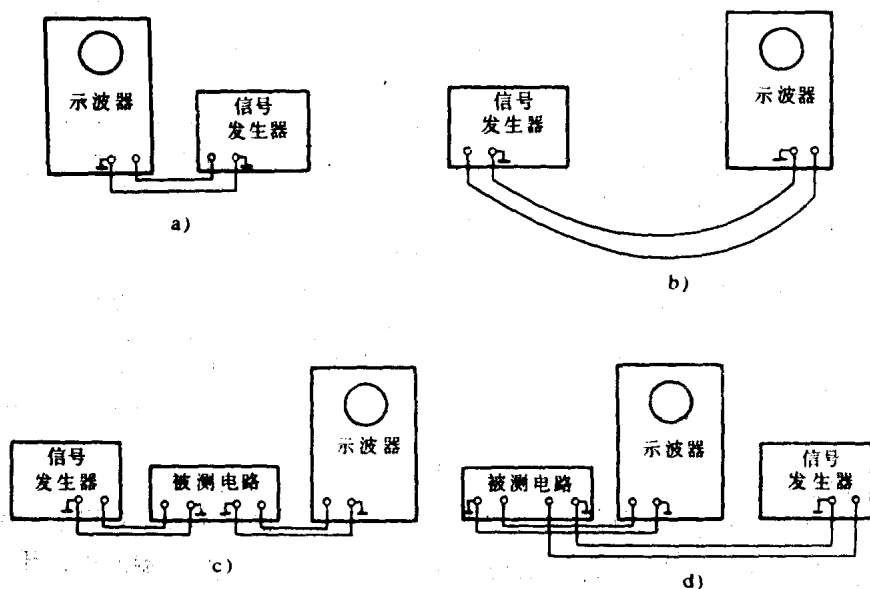


图 1-1 仪器的连线

2. 技术接地

技术接地是一种防止外界信号串扰的方法。这里所说的“地”并非大地，而是指测量仪器和被测电器的“地”或者说参考电位点。测量仪器的地一般就是仪器的外壳。技术接地一般是把测量仪器的技术接地点与被测电路的技术接地点连在一起。有必要的話，可再与测量仪器室的总地线（大地）相连接。

第三节 测量误差

一、测量误差的来源

利用任何测量仪器进行测量，总存在着误差。即测量结果总不可能准确地等于被测量的真值，而是它的近似值。

所谓真值就是真实值，是利用理想的、无误差的仪器进行测量而得到的数值。但由于人们对客观世界认识的局限性，例如，由于测量仪器本身固有误差、测量方法的不完善、环境影响、人们感觉器官的限制或测试人员的疏忽等原因，我们不论采用什么方法测量一个量，在测量结果中总不可避免地带来误差，即测量结果偏离真实值。

误差是各种综合因素作用的结果，我们常把它的来源大致分为五大类。

（一）仪器误差

所谓仪器误差是指我们所使用的测试装置或仪器仪表本身不准确而引起的误差。例如，我们平时所使用的 0.5 级仪表，当它的读数在满刻度附近时，它本身允许的固有误差在 $\pm 0.5\%$ 以内，所以测量结果的误差可能达到 $\pm 0.5\%$ 。仪器的读数分辨率不高也是仪器误差的重要原因之一。仪器的读数分辨率是指仪器刻度能读出被测量大小的准确程度。例如，一只 0.5 级 10mA 的电流表，其刻度如图 1-2a 所示，可以读出电表的示值约为 9.47 mA，其中小数点后第二位“7”是估计出来的，如把刻度改为图 1-2b 所示，则只能读出示值约为 9.4 mA，其小数点后第一位“4”是靠估计的。

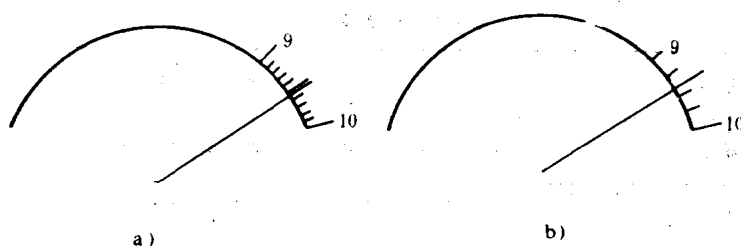


图 1-2 不同的仪器刻度指示

显然，图 1-2b 因刻度指示分辨率不高而读不出更准确的数值，增加了测量误差。

（二）使用误差

使用误差又称操作误差。是指在使用仪器过程中，由于安装、调节、布置、使用不当所引起的误差，例如，把规定应垂直安放的仪器水平放置；接线太长或未考虑阻抗匹配；未按操作规程进行预热、调节、校准、测量等，都会产生使用误差。

（三）人身误差

人身误差是指由于人的感觉器官和运动器官不完善所产生的误差。对于某些需借助于人耳、人眼来判断结果的测量以及需进行人工调谐等的测量工作，均会产生人身误差。例如，有的测试人员在读取仪表的指示数时，总是读得偏高或偏低；有的试验人员在启动某一信号或开关时，在时间上总是有些超前或滞后等。

（四）影响误差

影响误差又称环境误差，是指仪器由于受到外界温度、湿度、气压、电磁场、机械振动、噪声、光照、放射性等的影响所产生的误差。这个误差极限在国家标准 SJ944—75《电子测量仪器环境要求及其试验方法》的规定中都作了具体规定。

（五）方法误差

这种误差是由于测试方法不完善或由于所依据的计算公式不完善所引起的。

例如：用电流表、电压表测量电阻时，可采用图 1-3a 或图 1-3b 两种测量电路，根据 $R = E/I$ 求得被测电阻值。但是，对于图 1-3a 测量电路来说，由于电流表的测量结果忽略了电压

表内阻的分流作用,从而使求得的电阻值产生一定的误差。同理,当我们用图 1-3b 电路来测量电阻上的电压、电流时,由于电压表的测量结果忽略了电流表内阻的分压作用的影响,从而使求得的电阻值亦不很准确。因此,只有用图 1-3a 中测得的电压值和图 b 中测得的电流值求得的电阻值才是准确的,才克服了方法误差。

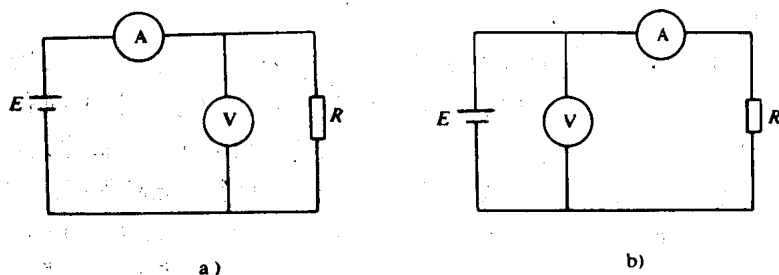


图 1-3 用电压表、电流表测量电阻

综上所述 误差的来源可归纳在表 1-2 中。

表 1-2 误差来源

误差名称	来源说明
仪器误差	由于仪器本身不准确造成的误差。如校准不好,刻度不准等
使用误差	在仪器使用过程中,由于安装,调节、放置或使用不当造成的误差
人身误差	由操作者个人引起的误差,如读刻度时,习惯性超过或欠少,或者粗心疏失造成的误差
影响误差	由各种外界环境,如温度、湿度、电磁场等的影响而产生的误差
方法误差	由于测量时所依据的理论不严密或应用不适当的简化及近似公式所引起的误差

二、误差的表示方法

误差的表示方法一般有三种形式。

(一) 绝对误差

被测量的测量值 x 与它本身的真值(真实值 x_0) 之间的差值 Δx 称为绝对误差。即
绝对误差 $(\Delta x) = \text{测量值}(x) - \text{真值}(x_0)$

例如,某电阻线圈规定的测量值为 1000Ω ,而实际的真值为 1000.5Ω 时,其绝对误差为 -0.5Ω 。

又如,某电流表测得值为 4.65mA ,而实际值是 4.63mA ,绝对误差为 $+0.02\text{mA}$ 。

当我们知道绝对误差后,就可以对测量值进行修正或更正。修正值大小和绝对误差相等,但符号相反。

(二) 相对误差

相对误差是绝对误差 Δx 与被测量的真值(x_0) 之间的百分比,表示为

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}(\Delta x)}{\text{真值}(x_0)} \times 100\%$$

相对误差较绝对误差更能确切地说明测量精度。例如，分别对 20kHz 和 200Hz 两个频率进行测量，从频率计上的显示表明测量结果分别产生 -2Hz 和 $+0.2\text{Hz}$ 的绝对误差，因此可求得它们的相对误差分别为

$$\frac{2}{20} \times 100\% = 0.01\%$$

和

$$\frac{0.2}{200} \times 100\% = 0.1\%$$

可以看出，虽然测量 20kHz 时的绝对误差比较大，但它的测量精度或称测量质量要比对 200Hz 频率测量高得多。

（三）容许误差

容许误差是根据技术条件的要求，规定某一类仪器误差不应超过的最大范围。通常一般仪器的说明书上所标明的误差就是指容许误差。

关于容许误差必须注意下述两个概念：

1) 容许误差是指某一类仪器不应超出的误差最大范围，并不是指某一台确定仪器的实际误差。例如，有几台同类型的 Q 表，其技术说明书上注明仪器的容许误差为 $\pm 1.0\%$ 。我们只能说，这几台仪表的误差都不会超过 $\pm 1.0\%$ ，但对于其中每一台的误差各为多少，一般并不知道。

2) 按规定容许误差以误差极限（又称最大误差或极限误差）的形式给出。

它的表示方法既可以是绝对误差形式，也可以是相对误差形式。

三、误差的降低和修正

误差集中反映的是测量结果的正确程度，误差越小，说明测量结果与被测量的直值的差别越小，正确程度越高。为了减小误差，可以根据误差产生的原因，采取措施予以降低和修正。

（一）仪器误差的减少

为了减少仪器误差，不应一味追求高准确度等级的仪表，更应注意仪表量程的选择。例如，当被测电流为 0.5 A 左右时，选用测量上限为 0.5 A 的 1.0 级电流表比选用测量上限为 5A 的 0.2 级电流表要好些，因为前者的测量误差最大不会超过 $\pm 1.1\%$ ，而后的测量误差可能达到 $\pm 2.2\%$ 。

目前，为了提高仪器的测量精度，往往在仪表的表盖或检验证书上直接给出修正值，并画成修正曲线。在实际使用时，只要把仪表的读数与该读数下的修正值相加就可以求得被测量的实际值。例如，仪表读数为 0.45 mA 时的误差修正值为 0.004 mA，那么被测量的实际值应为 $0.45 + 0.004 = 0.454\text{ mA}$ 。应当注意，经过修正后的测量结果的误差并不是完全消失，因为仪表的读数精度是有限的，而且修正值本身也是含有误差的。

（二）影响误差的减小

为了修正温度、电源频率或电压的变化引起的误差，可以根据仪表的温度、频率或电压特性曲线将此附加误差扣除。为了减少外磁场或铁磁物质对仪表读数的影响，应该尽可能使它远离外磁源或铁磁物质，当测量大电流时，外连接导线的进线和出线要互相平行靠近或按规定位置摆放。此外，当使用仪表时，为消除外磁场影响，可以把仪表转动 180° 以后再测量。