

# 电磁场理论基础

林德云 李国定 编著

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书是作者在清华大学无线电系多年讲授电磁场理论的基础上编写而成的。全书对静电场、恒定场、时变场、电磁波在无界空间的传播和辐射、导波等基本内容作了较详细和系统地介绍，也包含了近年来在该领域内出现的一些新的内容和方法。对于重要的物理概念和电磁场理论中较难的基础性问题都给以详细地论述和分析，同时在各章中都列举了较多的典型例题和习题。

该书适用于大专院校无线电类专业的师生，也可供从事微波、天线、电磁场理论领域工作的科技工作者阅读参考。

## 电 磁 场 理 论 基 础

林德云 李国定 编著

责任编辑 董明 李幼哲

\*

清华大学出版社出版

北京 清华园

人民教育出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

\*

开本：787×1092 1/16 印张：20.75 字数：490 千字

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数：0001-5000

ISBN 7-302-00556-7/TN·11

定价：4.15 元

# 出版说明

根据1986年全国职业技术教育工作会议关于“职业技术教育管理职责暂行规定”的分工精神和国家教委的要求，为了满足职业高中、职业中专等职业学校的迅速发展对教材的需要，我部组织了职业学校电子类教材的编审与出版。通过全国部分省、市及参与编审工作的有实践经验的教师，从事电子技术工作的工程师，职业教育研究工作者的共同努力，已编审出版的教材深受职业学校师生的欢迎。我们在总结前段工作的基础上，为推进该层次的教材建设，成立了有北京、上海、天津、江苏、浙江、山东、辽宁、吉林、黑龙江、河北、河南、四川、新疆、甘肃共十四个省、市、自治区的教师和职教主管部门领导参加的职业学校电子类教材工作领导小组和编审委员会，制订了“实用电子技术”及“计算机技术”两个专业的参考性教学计划和1988~1990年教材出版规划。根据教学计划的需要，列入规划的教材共23种。

我们组织编写的这套教材，是以实用电子技术和计算机技术专业的教学计划为依据。为突出职业学校着重职业技能训练的特点，侧重于教材的实用性、科学性以及增强学生实验和操作技能训练的内容。为适应各地电子工业发展的需要，教材除注意基础知识外，也适当反映了电子专业的现代技术。另一方面，由于电子类专业分支多，教材编写还立足于宽口径，以方便不同专业选用。

编写职业学校教材是一个新课题，经验不足，希望全国电子类职业学校广大师生积极提出批评建议，共同为进一步提高教材质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

一九八八年十二月

# 职业学校电子类教材工作领导小组

组长：姚志清

(以下以姓氏笔划为序)

副组长：王世华 孙金兰 宫玉发 赵家鹏

组 员：于润发 王仲伦 王绍发 刘庆春 杨玉民 苏 丹 何肃波

李宏栋 张荫生 费爱伦 梁 义 葛玉刚 褚家蒙 翟汝直

秘书长：邓又强

# 职业学校电子类教材编审委员会

主任委员：杨玉民

(以下以姓氏笔划为序)

副主任委员：于润发（兼实用电子技术编审组组长）

张荫生（兼计算机技术编审组组长）

委 员：实用电子技术编审组

来岳舟 陈其纯 张晓明（以上为副组长）

万相众 王条鑫 白春章 朱晓斌 沈大林 杨荫彪 袁是人

徐洪吉 崔玉春

计算机技术编审组

王道生 王 森 栾宏为（以上为副组长）

马忠裔 刘永振 吕旭东 朱晋蜀 严振国 陈继国 李海田

郑子罕

秘 书：王昌喜 吴浩源

# 1988~1990年计划出版的职业学校教材

## 实用电子技术专业

1. 电子技术工艺基础
2. 模拟电路
3. 微型计算机应用基础
4. 制图与钳工工艺基础
5. 收录机原理与维修
6. 黑白电视机原理与维修
7. 录像机原理与维修
8. 家用电器原理与维修
9. 单片微型计算机原理与应用
10. 电子测量仪器
11. 维修电工技术
12. 电机的结构与维修

## 计算机技术专业

1. 计算机电路基础
2. 微型计算机原理与实验
3. BASIC语言程序设计
4. 微型计算机磁盘操作系统的使用
5. 数据库应用基础
6. 微型计算机汉字处理与录入
7. 微型计算机外设结构与维护——针式打印机
8. 微型计算机外设结构与维护——显示器与键盘
9. 微型计算机外设结构与维护——软磁盘驱动器
10. 微型计算机接口技术
11. Pascal 语言程序设计

# 前 言

本教材系由机械电子工业部职业学校电子类教材编审委员会实用电子技术编审组评审、推荐出版的，作为实用电子技术类专业的专业课程教材之一。

该教材由浙江省杭州市职业技术教育中心朱晓斌编写，苏州市电子学校陈其纯担任主审。责任编委陈其纯。

本课程的参考教学时数为96学时。其主要内容为：介绍电子测量的基本知识和几种常用的电子测量仪器，包括万用表、电子电压表、万用电桥、信号发生器、电子示波器、扫频仪、晶体管特性图示仪等的基本原理、使用方法及简单维修知识。本书对仪器原理的叙述以定性分析为主，避免繁琐的数学推导；使用方法上突出实用性，并附有实验报告；在仪器的选型上，尽量考虑应用的典型性和广泛性。本书在编写过程中，参阅了一些教材和资料（主要书目见本书所附参考文献资料），特此对有关作者表示感谢。

本教材在编写时，杭州大学计算机科学系副教授顾根青、杭州市职业技术教育中心校长寿天爵等领导及教师罗仕珍等同志都提了许多宝贵建议和意见，并给予大力支持，谨表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

一九八九年九月

# 目 录

<b>第一章 电子测量的基本知识</b> .....	1
<b>第一节 概述</b> .....	1
一、电子测量的任务.....	1
二、电子测量的特点.....	2
三、电子测量的分类.....	2
四、常见的几种电子测量仪器简介.....	3
<b>第二节 电子测量实验室的常识</b> .....	3
一、电子测量实验室的环境条件.....	3
二、电子测量仪器的组成.....	3
三、电子测量仪器的接地.....	5
<b>第三节 测量学的基本概念</b> .....	5
一、基准与标准.....	6
二、测量方法.....	6
三、测量误差.....	6
<b>第四节 测量结果的处理</b> .....	9
一、数据处理.....	9
二、图解分析法.....	10
<b>习题</b> .....	11
<b>第二章 万用电表</b> .....	12
<b>第一节 概述</b> .....	12
一、模拟式万用表的结构.....	13
二、数字式万用表的结构.....	15
<b>第二节 模拟式万用表的正确使用</b> .....	16
一、万用表的技术性能.....	16
二、万用表面板上各种符号、数字及刻度线的识别.....	18
三、模拟式万用表的基本使用方法.....	20
四、应用实例.....	22
<b>第三节 数字式万用表的基本原理</b> .....	25
一、DT830型数字万用表的总体组成.....	26
二、直流数字电压表DVM.....	26
三、测量电路.....	29
<b>第四节 数字式万用表的正确使用</b> .....	32
一、DT830型数字万用表的面板.....	32
二、DT830型数字万用表的基本使用方法.....	32
三、应用实例.....	33
<b>习题</b> .....	34

实验一 基本测量	35
实验二 测量晶体管	36
<b>第三章 元件参数测量仪器</b>	<b>38</b>
第一节 电桥法概述	38
一、直流电桥	38
二、交流电桥	39
第二节 万用阻抗电桥	42
一、QS18A型万用电桥结构特点及主要技术性能	42
二、QS18A型万用电桥的工作原理	42
三、QS18A型万用电桥的使用	43
第三节 L、C、R数字式测量仪	46
一、结构特点及技术性能	46
二、原理简述	46
三、使用方法	47
第四节 谐振法概述	48
一、谐振法测量电容	48
二、谐振法测量电感	50
第五节 Q表原理及使用	51
一、Q表原理	51
二、QBG-3型Q表的主要技术性能	52
三、QBG-3型Q表的使用	52
习题	55
实验一 QS18A型万用电桥的使用	56
实验二 QBG-3型Q表的使用	58
<b>第四章 电子电压表</b>	<b>60</b>
第一节 概述	60
一、电压测量的特点	60
二、发展方向	61
三、交流电压值的表示方法	61
第二节 模拟式电子电压表的基本原理	61
一、放大-检波式	61
二、检波-放大式	63
三、外差式	64
四、热电偶变换式	65
第三节 模拟式电子电压表的使用	66
一、放大-检波式电子电压表的使用方法	66
二、检波-放大式电子电压表的使用方法	68
三、应用实例	70
第四节 数字式电压表	71
一、数字式电压表的基本原理	71
二、数字电压表的使用	73
习题	76



实验 变压器变比及直流稳压电源纹波系数的测量	76
<b>第五章 信号发生器</b>	78
第一节 低频信号发生器的基本原理	78
一、电路组成	78
二、电路原理	79
第二节 低频信号发生器的使用常识	81
一、XD-22型低频信号发生器	81
二、XD-11型多用低频信号发生器	84
三、低频信号发生器的应用	85
第三节 高频信号发生器的基本原理	85
一、电路组成	86
二、电路原理	86
第四节 高频信号发生器的使用常识	88
一、XFG-7型高频信号发生器	88
二、XFC-6型标准信号发生器	91
三、高频信号发生器应用实例	94
第五节 脉冲信号发生器	95
一、脉冲信号发生器的基本原理	95
二、XC-16型脉冲信号发生器的使用	96
第六节 合成信号发生器	98
一、直接合成法	98
二、间接合成法	99
第七节 彩色/黑白电视信号发生器	100
一、CDXF-IVD型彩色/黑白电视信号发生器概述	100
二、CDXF-IVD型彩色/黑白电视信号发生器的使用方法	102
三、几种常见的电视信号发生器	103
习题	104
实验一 低频信号发生器的使用	104
实验二 高频信号发生器的使用	106
<b>第六章 电子示波器</b>	10
第一节 概述	107
一、电子示波器的特点	107
二、电子示波器的类型	107
第二节 示波管及波形显示原理	107
一、示波管	107
二、波形显示原理	110
第三节 通用电子示波器的组成及原理	111
一、Y轴系统	111
二、X轴系统	116
三、主机系统	126
第四节 通用电子示波器的使用	127
一、主要技术性能	128

二、面板布置	129
三、使用方法	131
四、测量实例	132
第五节 取样示波器	138
一、取样示波器的基本原理	138
二、取样示波器的组成	139
三、取样示波器的主要技术性能	140
第六节 电子示波器的发展	140
习题	142
实验一 用示波器观测正弦信号的幅度	142
实验二 波形合成法测频率	143
实验三 使用示波器观测电路的波形	144
<b>第七章 频率和时间测量仪器</b>	<b>145</b>
第一节 概述	145
第二节 数字式频率计的基本原理	146
一、计数器工作原理	146
二、数字式频率计的组成	148
三、数字式频率计测频范围的扩展	150
第三节 数字式频率计的应用	151
一、主要技术指标	151
二、面板	151
三、使用方法	153
四、应用实例	154
习题	155
<b>第八章 失真度、调制度及频率特性测量仪器</b>	<b>157</b>
第一节 失真度的测量	157
一、失真度测量原理	157
二、BS1型失真度测量仪	158
第二节 调制度的测量	161
一、调幅度的测量原理	161
二、频率偏移的测量原理	164
三、BE1型调制度测量仪	165
第三节 频率特性测试仪概述	168
一、频率特性测试原理	168
二、频率特性测试仪的组成及原理	169
第四节 BT3型频率特性测试仪	170
一、主要技术性能	170
二、电路组成	171
三、使用方法	172
四、应用实例	177
习题	180
实验一 BS1型失真度测量仪的使用	180

实验二	BE1型调制测量仪的使用	181
实验三	BT3型扫频仪的使用练习	181
实验四	高频头的测试	182
实验五	传输线阻抗的测量	182
<b>第九章</b>	<b>半导体器件测量仪器</b>	<b>184</b>
第一节	晶体管特性图示仪的原理及组成	184
一、	晶体管特性图示仪的测试原理	184
二、	晶体管特性图示仪的组成框图	185
第二节	JT-1型晶体管特性图示仪	186
一、	主要技术性能	186
二、	整机电路框图	187
三、	使用方法	188
四、	应用实例	192
	习题	203
实验一	JT-1型晶体管特性图示仪的基本操作及对晶体三极管的测试	203
实验二	晶体二极管及稳压管的测量	206
实验三	场效应管的测量	208
实验四	可控硅的测量	210
<b>第十章</b>	<b>常用电子测量仪器的检修</b>	<b>212</b>
第一节	电子测量仪器维护及检修的基本知识	212
一、	电子测量仪器的日常维护	212
二、	电子测量仪器检修的一般步骤	213
三、	电子测量仪器检修的基本方法	214
第二节	万用表的检修	215
一、	表头的检修	215
二、	测量电路的检修	217
三、	检修实例	218
第三节	电子示波器的检修	221
一、	电源及显示系统的检修	221
二、	Y轴系统的检修	223
三、	X轴系统的检修	223
四、	校准信号系统的检修	225
第四节	频率特性测试仪的检修	225
一、	用频标图确定故障部位	225
二、	利用扫频检波图确定故障部位	226
三、	常见故障的检修	226
第五节	晶体管特性图示仪的检修	228
一、	电源部分	229
二、	阶梯信号发生器	229
三、	扫描系统	231
	习题	232
	<b>主要参考文献</b>	<b>233</b>

# 第一章 电子测量的基本知识

人们如何去认识客观世界呢？毫无疑问，首先必须对具体事物进行观察，形成定性认识，然后进行测量，获得定量的概念；在此基础上就可以总结出各种客观规律，形成定理和定律。所以测量是一把打开自然科学“未知”宝库的钥匙。

所谓测量就是通过物理实验的方法，获取被研究对象定量信息的过程。随着科学技术向纵深发展及各学科间的交叉渗透，解决一个研究课题，往往要进行大量的且非常复杂的测量分析。在现代工业生产和人们的日常生活中，从零件的制作到整机的装配、调试，从产业分工到产品可靠性及相容性的检测，乃至商品交换、医疗保健、工程成败、国家安全等，都离不开统一的、精确的测量。正如有人说过：“作为规律，高度发达的科学技术，总是伴随着高级的测量；简陋的科学是与初级的测量技术并存的。”测量技术水平的高低是公认的评价一个国家科学技术和现代化水平的重要标志之一。

## 第一节 概 述

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；从狭义而言，电子测量是特指对各种电参量和电性能的测量。电子测量包括电子测量技术和电子测量仪器，两者是相辅相成不可分割的。电子测量为电子学和其它学科的研究、实验分析提供了便利的条件，而无线电电子学、计算机科学、材料科学等的发展又反过来向电子测量提供各种新理论、新技术、新材料、新器件和新仪器。特别是近年来出现的微处理机技术与传统的电子测量技术相结合形成的“智能”仪器系统，它可以对电参量进行自动测量、自动记录、自动完成数据的分析和处理乃至故障的检查，这种崭新的电子测量仪器系统的出现对整个电子技术领域及其它技术领域均产生了巨大的影响，它代表了现代电子测量的发展方向。

### 一、电子测量的任务

电子测量仪器通常能对以下四类电参量进行测量：

#### 1. 电能的量

电流、电压、功率、电场强度、电磁干扰及噪声等。

#### 2. 电信号特征量

频率、相位、波形参数、脉冲参数、调制参数、频谱、相关系数、信/噪比等。

#### 3. 电路元件及材料参数的量

电阻或电导、电抗或电纳、阻抗或导纳、电感、电容、品质因数、介质损耗、介电常数及导磁率等。

#### 4. 有源和无源网络性能特性的量

反射系数、电压驻波比、衰减或增益、频带宽度、灵敏度、分辨力、噪声系数、晶体管的 $\beta$ 值和 $h$ 或 $y$ 参数、电子管的跨导等。

以上的分类并非严格的分类法，一个参量如果从不同角度，既可以把它归入某一

类，也可将其归入另一类。例如，电压既是电能的一个属性，同时又是电信号的一个重要特征。

## 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：

### 1. 频率范围极宽

频率范围低端一般为  $10^{-4} \sim 10^{-8}$  Hz，而高端可达 100GHz，甚至有的已进入可见光范围，目前还在向更宽频段乃至全频段方向发展。

### 2. 量程很广

所测的电参量，其值的大小可以相差极其悬殊，例如，被测功率可以小到  $10^{-14}$  W（宇宙飞船发自外空的信号），也可以大到  $10^8$  W 以上（远程雷达发射）。因此，一般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，常采用不同的测量方法和仪器去测量。当然，也存在一台测量仪器覆盖很宽量程的情况，例如，一台数字式频率计可测频率范围为  $10^{-8}$  Hz  $\sim$   $10^{11}$  Hz。

### 3. 测量精确度相差极大

测量精确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，由于频率的测量是以原子频标<sup>①</sup>和原子秒<sup>②</sup>作基准的，因此其精确度可达  $10^{-18}$  至  $10^{-14}$  量级，而有些测量项目，如失真度和 Q 值的测量，精确度只能达到  $10^{-2}$  数量级。

### 4. 误差较难处理

电子测量仪器及被测对象内部所包含的各种元器件往往很多，因此，容易受各种外界因素的影响，使得各种测量误差难以控制，同时，实际测量又很难获得大量的采样，难以了解误差的概率分布规律，所以误差处理就变得复杂化了。

### 5. 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的结合，使得电子测量技术和电子测量仪器向着自动化和智能化的方向发展。

## 三、电子测量的分类

### 1. 按频率分类

电子测量一般以 30kHz 为界，划分为低频测量和高频测量；也可再细分为音频、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。

### 2. 按电路、信号与系统的理论分析方法分类

根据电路、信号与系统的理论分析方法，电子测量可分为时域测量、频域测量和数据域测量。时域测量研究被测参量和时间的关系；频域测量研究被测参量与频率的关系；数据域测量包括数字电路系统的故障侦查、故障定位、故障诊断等。

### 3. 按测量方法进行分类

根据测量方法的不同，电子测量可分为谐振法测量、电桥法测量、电流电压法测

<sup>①</sup> 原子频标，国际计量委员会确定的计时标准，即利用原子从某种能量状态转变到另一种能量状态时，辐射或吸收的电磁波的频率作为标准频率用来计量时间。

<sup>②</sup> 原子秒，国际计量委员会确定的时间单位，即秒是铯  $^{133}\text{Cs}$  原子基态的两个超精细结构能级  $[F=4, m_F=0]$ 、 $[F=3, m_F=0]$  之间跃迁频率相应的射线束持续 9, 192, 631, 770 个周期的时间。

量、示波法测量、计数法测量和比较（替代）法测量等。

#### 四、常见的几种电子测量仪器简介

常见的几种电子测量仪器的名称及功能简介见表 1.1 所示。

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-10型电压表 DA-16型电压表
集中参数测量仪器	测量电阻、电容、电感等。	QS18A型万能电桥
频率-时间测量仪器	测量频率、周期、时间间隔等。	E312型电子计数式频率计
信号发生器	产生电子测量中附合一定技术要求的各种信号。	XD-22型低频信号发生器 XFG-7型高频信号发生器
信号波形测量仪器	观测电信号电压、电流、时间、频率之间的关系。	SR8型双踪示波器
信号频谱分析仪器	显示电信号的频谱。	BS-1型失真度测量仪, BP-1型频谱仪
场强测量仪器	测量电磁场强度。	RC-11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
网络特性测量仪器	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	测量模拟和数字集成电路的基本参数。	TOC-2型运算放大器测试仪

## 第二节 电子测量实验室的常识

电子测量是在一定环境条件下进行的，作为电子测量的基本场所——电子测量实验室，对测量的精确度起重要的作用。这部分的基本常识主要有以下几方面，

### 一、电子测量实验室的环境条件

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、大气压强、振动、电网电压、电磁场干扰等外界环境的影响，因此，在不同环境条件下，用同一台仪器及同样的测量方法去测量同一个物理量，就会出现不同的测量结果。

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，电子测量所应具备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及分组作了规定，见表 1.2。中国机械电子工业部也制定了相应的部颁标准(SJ 2075-82 标准)，见表 1.3。

一般电子测量实验室设置的通用测量仪器均属 II 组（或称 B 组）仪器。仪器的使用应在生产厂家规定的范围内进行，以保证一定的测量精度，其中应特别注意电网电压，环境温度和湿度必须符合要求。

### 二、电子测量仪器的组成

在电子测量实验室中完成一项电参量的测量，往往需要数台测量仪器及各种辅助设

表 1.2 IEC 推荐的电子测量仪器工作环境分组

工作组别	工作条件
A	适用于标准实验室，用以校准或仲裁测量。
B	适用于一般实验室或轻工部门的工作场所。
C	适用于重工业部分的工作场所。
D	对环境可不加控制，对仪器的操作无特别要求。
E	适用于野外工作等特殊环境。

表 1.3 我国规定的电子测量仪器工作环境分组

工作组别	工作条件
I	指设有空调设备的可控环境。操作仪器要细心，仪器允许受到轻微的振动。计量用的高精度仪器属于本组。
II	指具有一般保暖、供暖及通用的室内环境。仪器在使用时允许受到一般的振动与冲击。通用仪器属于本组。
III	无保暖、供暖条件，或有大量热源的高温环境，以及与此相类似的室外环境。仪器允许受到振动与冲击。

备。例如，要观测负反馈对单级放大器的影响，就需要低频信号发生器、电子示波器、电子电压表及直流稳压电源等仪器。电子测量仪器的放置方式、连接方法等都会对测量过程、测量结果及仪器自身的安全产生影响。

1. 电子测量仪器的放置

在测量进行前应安排好电子测量仪器的位置。主要注意以下两点：

(1) 放置仪器时，应尽量使仪器的指示电表或显示器与操作者的视线平行，以减少视

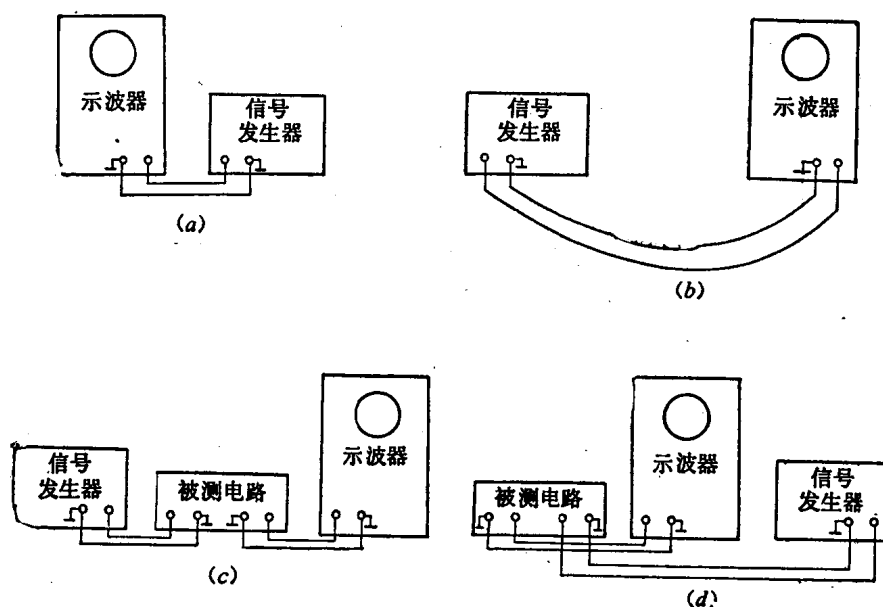


图 1-1 仪器的连线

差；对那些在测量中需频繁操作的仪器，其位置的安排应方便操作者的使用。

(2) 在测量中，当需要两台或多台仪器重叠放置时，应把重量轻、体积小的仪器放在上层；对散热量大的仪器还要注意它自身的散热及对邻近仪器的影响。

## 2. 电子测量仪器之间的连线

电子测量仪器之间的连线原则上要求尽量短，尽量减少或消除交叉，以免引起信号的串扰和寄生振荡。例如图 1-1 中，图 (a)、(c) 是正确的连线方法，图 (b) 连线过长，图 (d) 连线有交叉。

## 三、电子测量仪器的接地

电子测量仪器的接地有二层含义，即以保障操作者人身安全为目的的安全接地和以保证电子测量仪器正常工作为目的的技术接地。

### 1. 安全接地

安全接地中的“地”是指真正的大地，即实验室附近的大地。大多数电子测量仪器一般都使用 220V 交流电，而仪器内部的电源变压器的铁芯及初、次级之间的屏蔽层都直接与机壳连接，如图 1-2 所示。其中  $R_1$ 、 $C_1$  分别为变压器初级对铁芯的绝缘电阻和分布电容， $R_2$ 、 $C_2$  分别为变压器次级对铁芯的绝缘电阻和分布电容， $R_3$ 、 $C_3$  分别为机壳对大地的绝缘电阻和分布电容；大方框表示机壳。正常时，绝缘电阻一般很大（达  $10^2 M\Omega$ ），人体接触机壳是安全的；当仪器受潮或电源变压器质量不佳时，绝缘电阻会明显下降，人体接触机壳就可能触电。为了消除隐患，一般可采取以下措施：

(1) 在实验室的地面上铺设绝缘橡胶或塑料。

(2) 仪器的电源插头应采用“三星”插头，其中“一星”为接地端（另一端连在仪器的外壳上）。

(3) 电子测量实验室的总地线可用大块金属板或金属棒深埋在附近的地下，并撒些食盐以减少接触电阻，再用粗导线引入实验室。

### 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，而是指等电位点，即测量仪器及被测电路的基准电位点。技术接地一般有一点接地和多点接地两种方式。前者适用于直流或低频电路的测量，即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，再与实验室的总地线（大地）相连；多点接地则应用于高频电路的测量。

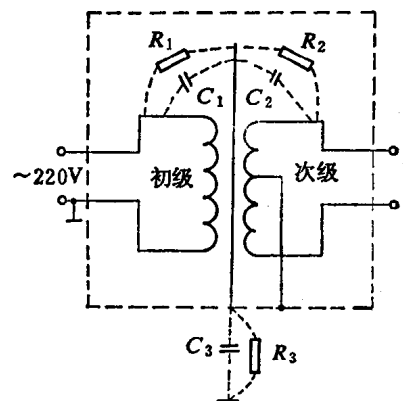


图 1-2 电源变压器的绝缘

## 第三节 测量学的基本概念

在日常生活或生产实践中，我们常会接触到各种量，而且要对它进行测量、比较、计算、并研究量与量之间的关系。由于环境因素和人为影响，因此不可避免地带来了误差，即测量结果偏离真值（真实数值）。测量，实际上就是通过实验手段求出被测量与计算单位的比值的比值的过程，所以测量结果就包括数字和计量单位名称两部分。



## 一、基准与标准

在测量中使用的具有标准化性能的工具称为测量器具。而测量器具又分为量具和测量仪器。前者是指用来复制标准量的器具（或者说是体现计量单位的物体），后者泛指一切参与测量工作的设备，它包括各种直读、非直读和比较仪器及为测量提供各种信号的设备，还有电源和其它辅助设备。

事实上，在各种实际测量工作中，经常要使用大量的不同精度、不同类型的测量器具；对同一个量来说，确保各类测量器具所体现的量值的互相统一是一项必不可少的工作；为此，国家为各种物理量规定了测量的基准和标准，而有关基准和标准的建立及标准量的传递工作，就称为计量。

### 1. 基准

基准是指用当代最先进的科学技术及工艺水平，以最高的精确度和稳定性建立起来的用来保持和复现某种物理计量单位的特殊量具和仪器。基准可分为一级基准、二级基准和三级基准<sup>①</sup>。

### 2. 标准

在实际测量中，为了确保各种基准器的最高精确度和稳定性，一般不经常动用基准器；而是根据基准器复制出各种标准量具和仪器，简称标准。这种有限精度的计量标准，可分为一级标准、二级标准和三级标准。

各种物理量的量值便通过基准和标准向日常工作仪器进行传递。

## 二、测量方法

在电子测量技术中，测量方法可分为以下几类：

### 1. 静态测量和动态测量

静态测量和动态测量的区分是根据测量过程中被测量是否随时间变化而进行的。前者是指测量时，被测电路不加输入信号或只加固定电位，如放大器静态工作点的测量；后者是在测量时，被测电路需加上一定频率和幅度的输入信号，如放大器增益的测量。

### 2. 直接测量和间接测量

根据获取测量结果的不同方法，分为直接测量和间接测量。前者是指用已知标准量定度好的测量仪器对某一待测量直接进行测量，以获得测量结果；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，再将测量结果代入表示该函数关系的公式、曲线或表格，最后求出待测量，例如，先直接测出电阻  $R$  的阻值及其两端的电压  $V$ ，然后就可根据公式  $P = V^2/R$ ，求出待测量功率  $P$ 。

## 三、测量误差

在实际测量中，由于受测量仪器精确度、测量方法、测量人员的生理原因及环境等综合因素的影响，测量结果总是偏离真值<sup>②</sup>，这种偏差就称为测量误差。

<sup>①</sup> 一级基准，主基准、原始基准或称国家基准，指一个国家直接按物理量单位的定义复现的，具有最高精确度的基准。

二级基准，副基准、或称次基准，用来代替一级基准向下传递量值，以保持一级基准的精度。

三级基准，工作基准，用以将单位量值直接向标准测量设备进行传递的基准。

<sup>②</sup> 真值：在一定的时间及空间条件下，某物理量的真实数值；一般是利用理想无误差引入的量具或测量仪器而获得的。