

从零开始学电子技术丛书

# 从零开始学

# 电子测量技术

刘建清 主编  
刘汉文 寻立波 鲁金 编著



随书附光盘一张



国防工业出版社

National Defense Industry Press



责任编辑：杨星豪 xhyang@ndip.cn  
文字编辑：闫晓春  
责任校对：钱辉玲  
封面设计：王晓军 xjwang@ndip.cn

# 从**零**开始学电子技术丛书

从零开始学电路仿真Multisim与电路设计Protel技术

从零开始学电气控制与PLC技术

**从零开始学电子测量技术**

从零开始学CPLD和Verilog HDL编程技术

从零开始学单片机C语言

从零开始学单片机技术

从零开始学电路基础

从零开始学元器件识别与检测

从零开始学电动机控制与维修

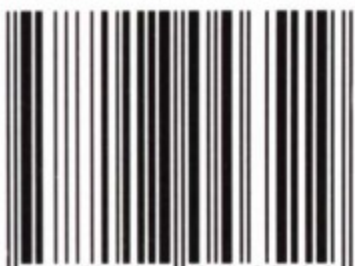
从零开始学模拟电子技术

从零开始学数字电子技术

◎ 上架建议：电子技术 ◎

<http://www.ndip.cn>

ISBN 7-118-04651-5



9 787118 046519 >



ISBN 7-118-04651-5/TN · 746

定价：25.00 元（含光盘）

从零开始学电子技术丛书

# 从零开始学电子测量技术

刘建清 主编

刘汉文 寻立波 鲁金 编著

国防工业出版社

·北京·



## 内 容 简 介

电子测量是电子技术工作者必须掌握的一项基本技术,本书是为使初学者从零开始,快速掌握电子测量技术而编写的。本书以应用与实战为出发点,首先介绍了电子测量的基础知识,然后介绍了许多常用电子测量仪器的基本原理、使用方法与使用技巧,最后介绍了发展前途巨大的虚拟电子测量仪器。

本书附赠光盘一张,提供了大量电子测量仪器的电路图以及常用虚拟电子测量仪器软件的试用版。

本书可供电子工业领域中的技工、工矿企业的技术人员、电气工人、家电维修人员以及无线电爱好者阅读,也可作为中专、中技的教材或教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

从零开始学电子测量技术/刘建清主编;刘汉文,寻立波,鲁金编著. —北京:国防工业出版社,2006.8

(从零开始学电子技术丛书)

ISBN 7-118-04651-5

I. 从... II. ①刘... ②刘... ③寻... ④鲁...  
III. 电子测量 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 080508 号

※

国防工业出版社出版发行  
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京四季青印刷厂印刷  
新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 293 千字

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 25.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 丛书前言

我们所处的时代是一个知识爆炸的新时代。新产品、新技术层出不穷,电子技术的发展更是日新月异。可以毫不夸张地说,电子技术的应用无处不在,电子技术正在不断地改变着我们的生活,改变着我们的世界。

读者朋友:当你为妙趣横生的电子世界发生兴趣时;当你徘徊于就业的关口,想成为电子产业中的一名员工时;当你跃跃欲试,想成为一名工厂的技术革新能手时;当你面对“无所不能”的“单片机”,梦想成为一名自动化高手时;当你的头脑里冒出那么多的奇思妙想,急于把它们应用于或转化为产品时……都是那么急切地想补充自己有关电子技术方面的知识,这时,你首先想到的是找一套适合自己学习的电子技术图书阅读。《从零开始学电子技术丛书》正是为了满足广大读者特别是电子爱好者的实际需要和零起点入门的阅读要求而编著的。

和其他电子技术类图书相比,本丛书具有以下特点:

内容全面,体系完备。本丛书给出了广大电子爱好者学习电子技术的全方位解决方案,既有初学者必须掌握的电路基础、模拟电路和数字电路等基础理论,又有电子元器件检测、电子测量仪器的使用、电路仿真与设计等操作性较强的内容,还有电气控制与PLC、单片机、CPLD等综合应用方面的知识,因此,本丛书内容翔实,覆盖面广。

通俗易懂,重点突出。传统的电子技术图书和教材在介绍电路基础和模拟电子技术等内容时,大都借助高等数学这一工具进行分析,这就给电子爱好者自学电子技术设置了一道门槛,使大多数电子爱好者失去了学习的热情和兴趣。本丛书在编写时,完全考虑到了初学者的需要,不涉及高等数学方面的公式,尽可能地把复杂的理论通俗化和实用化,将烦琐的公式简易化,再辅以简明的分析及典型的实例,从而形成了本丛书通俗易懂的特点。为了满足不同层次读者的需求,本丛书对难点和扩展知识用“\*”进行了标注,初学者可跳过此内容。

实例典型,实践性强。本丛书最大程度地强调了实践性,书中给出的例子大都经过了验证,可以实现,并且具有代表性;本丛书中每本书都配有光盘,光盘中收录了书中的实例、常用软件、实验程序和大量珍贵资料,以方便读者学习和使用。

内容新颖,风格活泼。本丛书所介绍的都是电子爱好者最为关心并且在业界获得普遍认同的内容,本丛书的每一分册都各有侧重,又互相补充,论述时疏密结合,重点突出。对于重点、难点和容易混淆的知识,书中还特别进行了标注和提示。

把握新知,结合实际。电子技术发展日新月异,为适应时代的发展,本丛书还对电子技术的新知识做了详细的介绍;本丛书中涉及的应用实例都是编著者开发经验的提炼和总结,相信一定会给读者带来很大的帮助。在讲述电路基础、模拟和数字电子技术时,还

专门安排了计算机辅助软件的仿真实验,实验过程非常接近实际操作的效果,使电子技术的学习变得更为直观,使学习变得更加生动有趣,这可以加深读者对电路理论知识的认识。

总之,对于需要学习电子技术的电子爱好者而言,选择《从零开始学电子技术丛书》不失为一个好的选择。本丛书一定能给你耳目一新的感觉,当你认真阅读之后将会发现,无论是你所读的书,还是读完书的你,都有所不同。

感谢本丛书的策划者——电子科普领域中的知名专家、中国电子学会高级会员刘午平先生,他与我们共同交流,共同探讨,达成了共识,确立了写作方向,并为本丛书的编排、修改和出版做了大量卓有成效的工作,他以丰富的专业知识和认真、敬业的态度为我们所敬佩;感谢山东持恒开关厂总经理陈培军先生和山东金曼克电气集团设计处总工程师高广海先生,他们对本丛书的编写提出了很多建设性的意见和建议,为本丛书的许多实验提供了强有力的支持与帮助,并参与了部分图书的编写工作;感谢网络,本丛书的许多新知识、新内容都是我们通过网络而获得的,我们在写作过程中遇到的许多疑难问题也大都通过网络得以顺利解决,对于这么多乐于助人、无私奉献的站主和作者们,无法在此一一列举,只能道一声“谢谢了!”感谢众多电子报刊、杂志的编辑和作者,他们为本丛书提供了许多有新意、有实用价值的参考文献,使得这套丛书能够别出心裁、与时俱进;感谢国防工业出版社,能与国内一流的出版社合作,我们感到万分的荣幸;感谢其他对本丛书的出版付出过辛勤工作的人士,没有他们的热心与支持,本丛书不知何时才能与读者见面!

最后,祝愿本丛书的每一位读者在学习电子技术的过程中,扬起风帆,乘风破浪!

丛书编者



# 前 言

电子测量技术是以电子技术为基本手段的一种测量技术,它是测量学和电子学相互结合的产物。掌握电子测量的分析、测量方法,对从事任何专业技术特别是电子技术工作,都能为之奠定坚实的、重要的基础。

本书写作的出发点是不讲过深的理论知识,力求做到理论和实际应用相结合,循序渐进、由浅入深、通俗实用,以指导初学者快速入门。

按照结构清晰、层次分明的原则,本书可分为以下几部分。

第一部分为电子测量基础篇。主要包括本书的第一章。重点介绍了电子测量的意义、特点,电子测量的误差以及测量仪器对测量的影响等内容。

第二部分为常用电子测量仪器篇。主要包括本书的第二章~第七章。重点介绍了万用表、毫伏表、示波器、扫频仪、频谱分析仪、频率计、信号发生器、失真度分析仪、逻辑分析仪、直流电源、万用电桥、高频 Q 表、晶体管特性图示仪的基本组成、原理与使用方法。

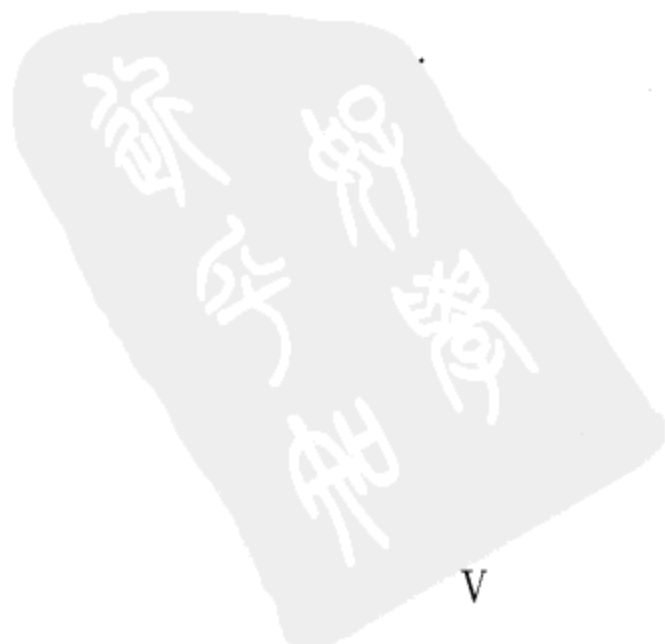
第三部分为虚拟电子测量仪器篇。主要包括本书的第八章。随着计算机的普及,在测量领域掀起了一个虚拟仪器的旋风。在美国 NI 公司提出“软件就是仪器”的口号后,各种虚拟仪器应运而生,加之虚拟仪器价格便宜、功能全面,因此,虚拟仪器很快得到了广大电子爱好者的认可。此部分内容主要介绍了几种常用的虚拟电子测量仪器的使用方法。

在本书的最后,用一些篇幅对常用电子测量仪器进行了简要介绍,以方便读者使用。

本书附赠光盘一张,提供了大量电子测量仪器的电路图以及常用虚拟电子测量仪器软件的试用版。

由于时间仓促,书中错漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者



# 目 录

<b>第一章 电子测量基础</b> .....	1
<b>第一节 电子测量的意义、特点和内容</b> .....	1
一、电子测量的意义 .....	1
二、电子测量的特点 .....	1
三、电子测量的内容 .....	2
<b>第二节 常用电子测量仪器</b> .....	2
一、专用仪器 .....	2
二、通用仪器 .....	2
<b>第三节 测量误差</b> .....	3
一、测量误差的来源 .....	3
二、测量误差的分类 .....	4
三、误差的表示方法 .....	5
四、测量结果的处理 .....	6
<b>第四节 测量仪器对测量的影响</b> .....	7
一、测量仪器的阻抗对测量的影响 .....	7
二、仪器的接地对测量的影响 .....	8
<b>第二章 万用表与毫伏表</b> .....	13
<b>第一节 万用表的分类、特性和选用</b> .....	13
一、万用表的分类.....	13
二、万用表的技术特性.....	13
三、万用表的选用.....	15
<b>第二节 指针万用表的结构、原理与使用</b> .....	16
一、指针万用表的结构.....	16
二、指针万用表的原理.....	18
三、500型万用表的使用方法 .....	22
四、指针万用表的使用技巧.....	25
五、指针万用表使用注意事项.....	26
<b>第三节 数字万用表的结构与使用</b> .....	28
一、数字万用表的结构.....	28
二、DT890数字万用表的使用方法 .....	29
三、数字万用表使用注意事项.....	32
<b>第四节 毫伏表简介</b> .....	34
一、DA-16FS型双路晶体管毫伏表的原理 .....	34
二、DA-16FS型双路晶体管毫伏表的工作特性 .....	34



三、DA-16FS 型双路晶体管毫伏表的使用 .....	35
<b>第三章 电子示波器 .....</b>	<b>38</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>38</b>
一、电子示波器的特点 .....	38
二、电子示波器的种类 .....	38
<b>第二节 通用(模拟)单踪示波器介绍 .....</b>	<b>39</b>
一、单踪示波器基本组成 .....	39
二、波形显示原理 .....	41
三、X-Y 显示原理 .....	42
四、BS-7701 单踪示波器介绍 .....	43
<b>第三节 通用(模拟)双踪示波器介绍 .....</b>	<b>44</b>
一、基本结构 .....	44
二、双踪示波器的工作方式 .....	46
三、Z 轴电路 .....	46
四、典型双踪示波器介绍 .....	47
<b>第四节 通用(模拟)示波器的基本测量方法 .....</b>	<b>65</b>
一、示波器的使用 .....	65
二、示波器的基本测量方法 .....	67
<b>第五节 数字存储示波器简介 .....</b>	<b>71</b>
一、数字存储示波器概述 .....	71
二、数字存储示波器的特点 .....	71
三、数字存储示波器的组成 .....	72
四、数字存储示波器的显示方式 .....	74
五、数字存储示波器使用必须注意的问题 .....	74
<b>第四章 扫频仪、频谱分析仪和频率计 .....</b>	<b>77</b>
<b>第一节 扫频仪 .....</b>	<b>77</b>
一、扫频仪的主要组成 .....	77
二、扫频仪的基本原理 .....	78
三、BT-3C 扫频仪的使用 .....	79
四、BT-8 扫频仪的使用 .....	82
五、扫频仪的应用 .....	84
<b>第二节 频谱分析仪 .....</b>	<b>86</b>
一、频谱分析仪的特点和性能指标 .....	86
二、频谱分析仪的工作原理 .....	87
三、安泰 AT5010 频谱分析仪的使用方法 .....	88
<b>第三节 数字频率计 .....</b>	<b>91</b>
一、LT9801 数字频率计的特点 .....	91
二、LT9801 数字频率计的使用方法 .....	91
<b>第五章 电子元器件测量仪器 .....</b>	<b>92</b>

第一节 万用电桥 .....	92
一、电桥的分类及平衡条件 .....	92
二、万用电桥的组成和工作原理 .....	93
三、QS18A 型万用电桥的使用 .....	94
第二节 高频 Q 表 .....	96
一、高频 Q 表的组成 .....	96
二、QBG-3 型高频 Q 表的使用 .....	97
第三节 晶体管特性图示仪 .....	99
一、JT-1 型晶体管特性图示仪的组成 .....	99
二、JT-1 型晶体管特性图示仪的基本工作原理 .....	100
三、JT-1 型晶体管特性图示仪旋钮的作用 .....	100
四、JT-1 型晶体管特性图示仪的使用方法 .....	103
<b>第六章 信号发生器</b> .....	<b>105</b>
第一节 低频信号发生器 .....	105
一、低频信号发生器的基本组成 .....	105
二、XD-22 型低频信号发生器的使用 .....	106
第二节 高频信号发生器 .....	107
一、高频信号发生器的基本组成 .....	107
二、XFG-7 型高频信号发生器的使用 .....	108
三、应用举例 .....	111
第三节 函数信号发生器 .....	112
一、岩崎 GFC8255A 函数发生器功能和性能指标 .....	112
二、岩崎 GFC8255A 函数发生器的使用 .....	113
第四节 彩色电视信号发生器 .....	115
一、AV 信号输出的选择 .....	115
二、Y/C 信号输出的选择 .....	116
三、应用举例 .....	117
<b>第七章 失真度测量仪、逻辑分析仪和直流稳压电源</b> .....	<b>120</b>
第一节 失真度测量仪 .....	120
一、失真度测量仪主要组成 .....	120
二、BS1 型失真度测量仪的技术性能 .....	121
三、BS1 型失真度测量仪的使用方法 .....	122
第二节 逻辑分析仪 .....	122
一、逻辑分析仪的特点和分类 .....	122
二、逻辑分析仪的工作原理 .....	123
三、逻辑分析仪的基本应用 .....	125
第三节 直流稳压电源 .....	126
一、直流稳压电源的分类和性能指标 .....	126
二、DWZ-301 直流稳压电源的使用 .....	127

<b>第八章 虚拟电子测量仪器</b> .....	128
<b>第一节 虚拟仪器概述</b> .....	128
一、什么是虚拟仪器 .....	128
二、虚拟仪器的组成 .....	128
三、虚拟仪器的分类 .....	129
四、虚拟仪器的展望 .....	130
<b>第二节 虚拟仪器软件 AudioSCSI</b> .....	130
一、基本原理 .....	130
二、准备工作 .....	131
三、基本操作 .....	133
<b>第三节 虚拟仪器软件 FlashDSO II</b> .....	136
一、基本工作原理 .....	136
二、系统安装 .....	137
三、界面组成 .....	140
<b>第四节 电视机示波器</b> .....	144
一、基本原理 .....	144
二、系统组成 .....	144
三、准备工作 .....	145
四、基本操作 .....	145
<b>第五节 虚拟声卡仪器</b> .....	146
一、性能指标 .....	146
二、输入输出的连接 .....	149
三、软件的安装 .....	150
四、示波器的使用 .....	151
五、频谱分析仪的使用 .....	159
六、信号发生器的使用 .....	162
<b>附录 常用电子测量仪器简介</b> .....	165
一、电流电压表 .....	165
二、示波器 .....	168
三、频谱分析仪 .....	181
四、扫频仪 .....	182
五、逻辑分析仪 .....	183
六、信号发生器 .....	185
七、晶体管图示仪 .....	190
八、频率计 .....	191
九、稳压电源 .....	193
十、音频分析和失真度测试仪 .....	193
十一、其他 .....	195
<b>参考文献</b> .....	198

# 第一章 电子测量基础

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电子测量技术。本章主要介绍电子测量的意义、特点和内容,电子测量误差和常用电子测量仪器等内容。

## 第一节 电子测量的意义、特点和内容

### 一、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。为了确定被测量的量值,要把它与标准量进行比较,所获得的测量结果的量值包括两部分,即数值(大小及符号)和用于比较的标准量的单位名称。如某电阻为 $200\Omega$ ,某线路流过的电流为 $1\text{A}$ ,某电压为 $-6\text{V}$ 等,其中 $200$ 、 $1$ 、 $6$ 为数值, $\Omega$ 、 $\text{A}$ 、 $\text{V}$ 为单位。

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

与其他测量相比,电子测量具有以下几个明显的特点。

#### 1. 测量频率范围宽

除测量直流外,还可测量交流。其频率范围低至 $10^{-6}\text{Hz}$ ,高达 $10^{12}\text{Hz}$ ,而且随着电子技术的发展,目前还在向着更高频段发展。

#### 2. 量程范围广

量程是测量范围的上限值与下限值之差。由于被测量的数值相差很大,因而要求测量仪器具有足够宽的量程。如数字万用表对电阻测量的范围小到 $10^{-5}\Omega$ ,大到 $10^8\Omega$ ,量程达到13个数量级,而数字式频率计的量程可达到17个数量级。

#### 3. 测量准确度高

电子测量的准确度已达到相当高的水平。例如,对频率和时间测量时,由于采用原子频标和原子秒作为基准,可以使测量准确度达到 $10^{-13}\sim 10^{-14}$ 的数量级。这是目前在测量准确度方面达到的最高指标。

#### 4. 测量速度快

电子测量是通过电子运动和电磁波传播进行工作的,具有其他测量方法无法类比的高速度。像卫星、宇宙飞船等各种航天器的发射和运行,没有快速、自动化的测量与控制就无法实现。

#### 5. 易于实现遥测

电子测量可以通过各种类型的传感器实现遥测、遥控。例如,对于遥远距离或环境恶劣,人们不便接触或无法到达的区域(如人造卫星、深海、地下、核反应堆内等),可通过传感器或电磁波、光、辐射等方式进行测量。

#### 6. 易于实现测量过程的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,在测量过程中能够实现程控、遥控、自动转换量程、自动调节、自动校准、自动诊断故障和自动恢复,对于测量结果可进行自动记录、自动进行数据运算、分析和处理。

由于电子测量技术具有一系列优点,而被广泛应用于科学技术的各个领域。

### 三、电子测量的内容

电子测量的内容主要包括以下几方面。

(1) 电能量的测量。如电压、电流、电功率的测量。

(2) 电路元器件参数的测量。如电阻、电感、电容、阻抗、品质因数等元件参数、晶体管参数和集成电路参数的测量。

(3) 电信号特征的测量。如信号的波形和失真度、频率、周期、时间、相位差、脉冲参数和调制度的测量。

(4) 电路参数的测量。如衰减、增益、通频带、灵敏度、集成电路参数的测量。

(5) 特性曲线的显示。如频率特性、器件特性等的显示。

电子测量除具体运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量外,还可应用传感技术对非电量进行测量,而且更加方便、快捷、准确,是用其他测量方法所不能替代的。

## 第二节 常用电子测量仪器

电子测量仪器一般分为专用仪器和通用仪器两大类。

### 一、专用仪器

专用仪器是指各个专业领域中测量特殊参量的仪器。例如,机械部门的超声波探伤,医疗部门的超声波诊断、频谱治疗仪等。

### 二、通用仪器

通用仪器是为了测量一个或某一些基本电参数而设计的,它能用于各种电子测量,例如电子示波器即属于这一类。

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。例如,低频信号发生器、调频调幅信号发生器、脉冲信号发生器、扫频信号发生器、函数信号发生器等。

### 2. 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,有各种示波器、波形分析仪和频谱分析仪。

### 3. 电平测量仪器

电平测量仪器主要用于测量电压、电流等,如电流表、电压表、电平表和万用表。

### 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。这类仪器有各种频率计、相位计、波长表等。

### 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。这些特性主要是指频率特性、阻抗特性、功率特性等。

### 6. 电子元器件测试仪

电子元器件测试仪主要测量各种电子元器件的各种电参数。根据测试对象的不同,可分为晶体管测试仪(图示仪)、集成电路(模拟、数字)测试仪和电路元件(电阻、电感、电容)测试仪等。

### 7. 电波特性测试仪

电波特性测试仪主要是指用于对电波传播、干扰强度等参量进行测量的仪器,如测试接收机、场强计、干扰测试仪等。

### 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。

### 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均属于辅助仪器。

## 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、环境的影响、人们感觉器官的限制或测试人员的疏忽等原因,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,通常把它的来源大致分为5大类。

### 1. 仪器误差

所谓仪器误差,是指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,平时所使用的0.5级仪表,当它的读数在满刻度附近时,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 $\pm 0.5\%$ 。

### 2. 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,把规定应垂直安置的仪器水平放置;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。

### 3. 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;有的实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。

### 4. 环境误差

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。

### 5. 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1-1(a)或图1-1(b)两种测量电路。根据 $R = E/I$ ,求得被测电阻值。但是,对于图1-1(a)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,当用图1-1(b)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1-1(a)中测得的电压值和图1-1(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。

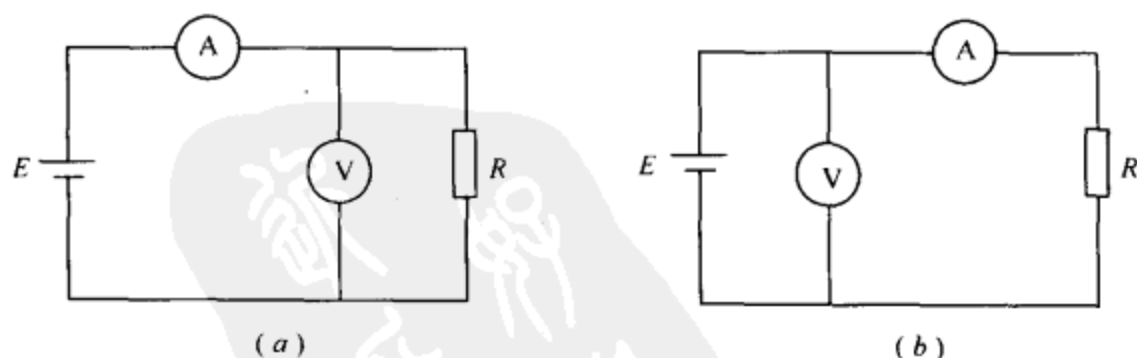


图1-1 用电压表、电流表测量电阻

## 二、测量误差的分类

测量误差按性质和特点可分为系统误差、随机误差和粗差3大类。

### 1. 系统误差

系统误差是指在相同条件下重复测量同一量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定的规律变化的误差。系统误差一般可通过实验方法或分析方法,查明其变化规律及产生原因后,可以减少或消除。电子技术实验中,系统误差常来源于测量仪器的调整不当和使用方法不当。

### 2. 随机误差

在相同条件下多次重复测量同一量时,误差大小和符号无规律地变化的误差称为随机误差(偶然误差)。随机误差不能用实验方法消除。但从随机误差的统计规律中可了解它的分布特性,并能对其大小及测量结果的可靠性作出估计,或通过多次重复测量,然后取其中算术平均值来达到目的。

### 3. 粗差

这是一种过失误差。这种误差是由于测量者对仪器不了解、粗心,导致读数不正确而引起的,测量条件的突然变化也会引起粗差。含有粗差的测量值称为坏值或异常值。必须根据统计检验方法的某些准则去判断哪个测量值是坏值,然后去除。

## 三、误差的表示方法

误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

### 1. 绝对误差

设被测量的真值为  $A_0$ , 测量仪器的示值为  $X$ , 则绝对值为

$$\Delta X = X - A_0$$

在某一时间及空间条件下,被测量的真值虽然是客观存在的,但一般无法测得,只能尽量逼近它。故常用高一级标准测量仪器的测量值  $A$  代替真值  $A_0$ , 则

$$\Delta X = X - A$$

### 2. 相对误差

绝对误差值的大小往往不能确切地反映出被测量的准确程度。例如,测 100V 电压时,  $\Delta X_1 = +2V$ , 在测 10V 电压时,  $\Delta X_2 = -0.5V$ , 虽然  $\Delta X_1 > \Delta X_2$ , 可实际  $\Delta X_1$  只占被测量量的 2%, 而  $\Delta X_2$  却占被测量量的 5%。显然, 后者的误差对测量结果的影响相对较大。因此, 工程上常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差。实际相对误差是用绝对误差  $\Delta X$  与被测量的实际值  $A$  的比值的百分数来表示的相对误差, 记为

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

(2) 示值相对误差。示值相对误差是用绝对误差  $\Delta X$  与仪器给出值  $X$  的百分数来表示的相对误差, 即

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

(3) 满度相对误差。满度相对误差是用绝对误差  $\Delta X$  与仪器的满刻度值  $X_m$  之比的百分数来表示的相对误差, 即



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

电工仪表的准确度等级就是由  $r_m$  决定的,如 1.5 级的电表,表明  $r_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表按  $r_m$  值共分 7 级,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

#### 四、测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形表示。

##### 1. 测量结果的数据处理

###### 1) 有效数字

由于存在误差,所以测量资料总是近似值,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如,由电流表测得电流为 12.6mA,这是个近似数,12 是可靠数字,而末位 6 为欠准数字,即 12.6 为 3 位有效数字。有效数字对测量结果的科学表述极为重要。

对有效数字的正确表示,应注意以下几点。

(1)与计量单位有关的“0”不是有效数字,例如,0.054A 与 54mA 这两种写法均为 2 位有效数字。

(2)小数点后面的“0”不能随意省略,例如,18mA 与 18.00mA 是有区别的,前者为 2 位有效数字,后者则是 4 位有效数字。

(3)对后面带“0”大数目数字,不同写法其有效数字位数是不同的,例如,3000 如写成  $30 \times 10^2$ ,则成为 2 位有效数字;若写成  $3 \times 10^3$ ,则成为 1 位有效数字;如写成  $3000 \pm 1$ ,就是 4 位有效数字。

(4)如已知误差,则有效数字的位数应与误差所在位相一致,即有效数字的最后一位数应与误差所在位对齐。例如,仪表误差为  $\pm 0.02V$ ,测得数为 3.2832V,其结果应写为 3.28V。因为小数点后面第 2 位“8”所在位已经产生了误差,所以从小数点后面第 3 位开始,后面的“32”已经没有意义了,写结果时应舍去。

(5)当给出的误差有单位时,则测量资料的写法应与其一致。例如,频率计的测量误差为正负数千赫,其测得某信号的频率为 7100kHz,可写成 7.100MHz 和  $7100 \times 10^3 Hz$ ,若写成 7100000Hz 或 7.1MHz 是不行的。因为后者的有效数字与仪器的测量误差不一致。

###### 2) 数据舍入规则

(1)遇到大于 5 的数,向前位入 1。

(2)遇到小于 5 的数,舍去。

(3)遇到等于 5 的数,有以下两种情况。

①若 5 后面有数字,则舍 5 入 1。

②若 5 后面无数字或为 0 时,当 5 之前是奇数,则舍 5 入 1;是偶数,则舍 5 不入。

例如,以下数字均保留小数点后一位有效数字。

25.14 → 25.1

11.150 → 11.2

22.66 → 22.7

14.85 → 14.8

10.253→10.3

在测量中,为了提高测量的可靠性,便于复查数据和进行计算,一般都规定了必须保留的有效数字的位数。

## 2. 图解处理

在分析两个(或多个)物理量之间的关系时,用曲线表示比用数字、公式表示常常更形象和直观。因此,测量结果常要用曲线来表示。在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据将出现离散现象,如将测量点直接连接起来,将不是一条光滑的曲线,而是呈折线状。但应用有关误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑均匀的曲线。

# 第四节 测量仪器对测量的影响

## 一、测量仪器的阻抗对测量的影响

### 1. 测量仪器和被测电路并联

以用示波器或数字电压表测量电路的内部电压为例,在图 1-2 中,被测电路的输出阻抗为  $Z_s$ ,内部电压为  $U$ 。用输入阻抗为  $Z_m$  的示波器或者数字电压表测量时,测量点 A、B 间的电压为  $U'$ 。

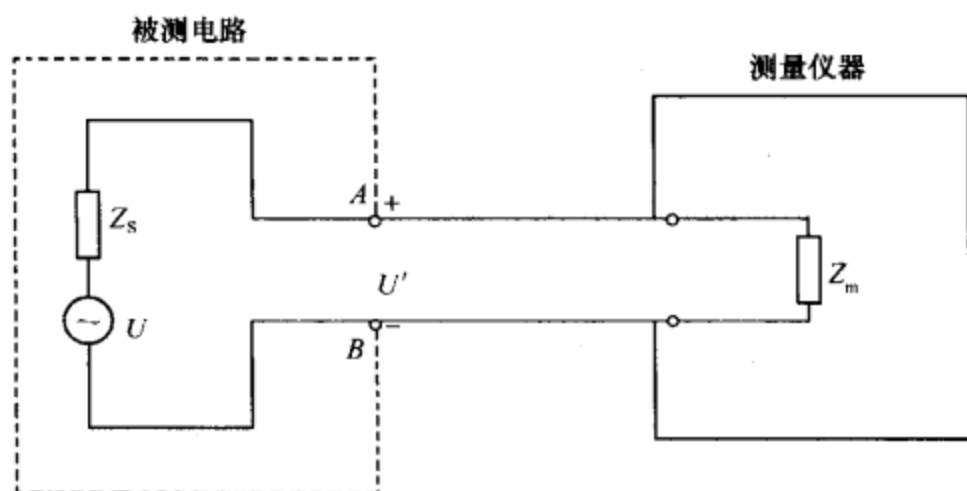


图 1-2 测量仪器和被测电路并联

当  $Z_m \gg Z_s$  时,  $U' \approx U$ , 此时误差非常小。如果  $Z_m = Z_s$ ,  $U' = U/2$ , 指示值为实际电压的  $1/2$ 。因此,在这种情况下,必须使测量仪器的输入阻抗比被测电路的输出阻抗大很多。

另外,一般  $Z_m$  和  $Z_s$  是频率的函数(通常多是频率越高,阻抗越低),尤其在高频测量时必须注意这一点。

### 2. 测量仪器和被测电路串联

测量电流时,测量仪器和被测电路串联,如图 1-3 所示。

若  $Z_m \gg Z_s$ , 则  $I' \approx I$ , 测量值近于真值。如果  $Z_m = Z_s$ , 则  $I' = I/2$ , 测量指示值为真值的  $1/2$  倍。因此,在这种情况下,测量仪器的输入阻抗应远小于被测电路的输出阻抗。由此可见,如果忽略了测量仪器的阻抗,会对结果产生较大影响,实验中应给予足够的重视。

### 3. 阻抗匹配

用信号发生器进行测量时,如图 1-4 所示,当被测电路的输入阻抗  $Z_m$  和信号发生器的输出阻抗  $Z_s$  相等时,称为阻抗匹配,匹配的目的在于使负载  $Z_m$  上得到最大功率,特别在高频电路中,此种匹配还为了在负载端不产生反射。

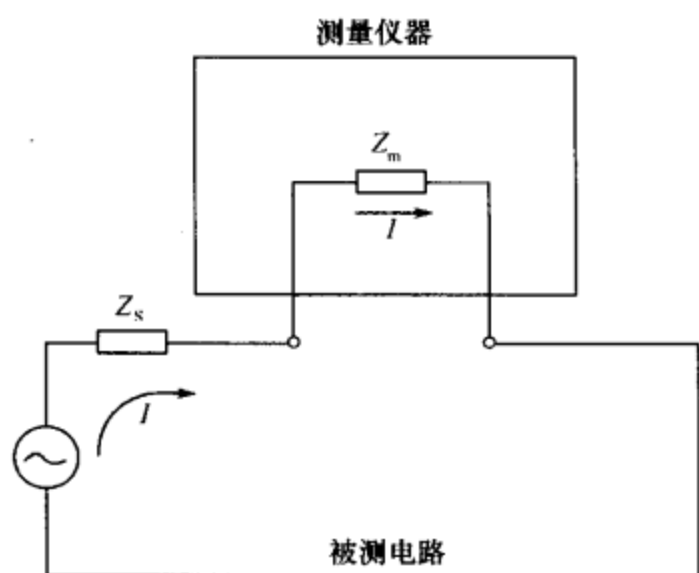


图 1-3 测量仪器和被测电路串联

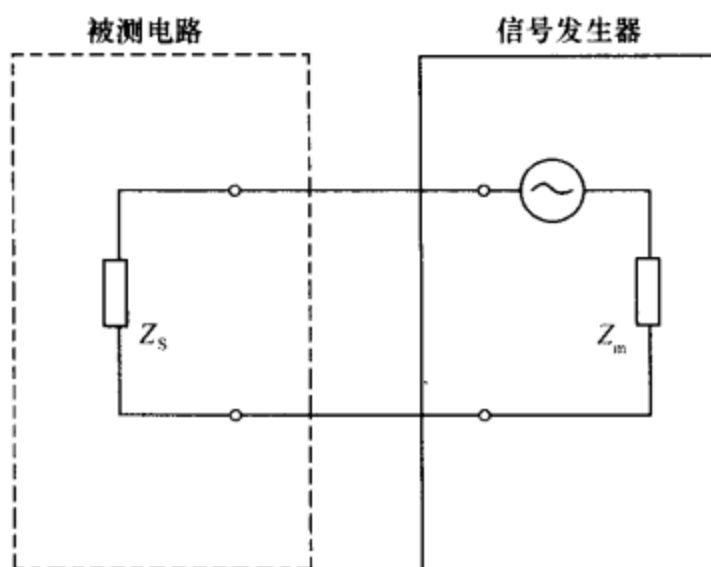


图 1-4 信号发生器与被测电路的连接

## 二、仪器的接地对测量的影响

一般电子技术中的接地有两种含义。第一种含义是指接真正的大地,即与地球保持等电位,而且常常局限于所在实验室附近的大地。对于交流供电电网的地线,通常是指三相电力变压器的中线(又称零线),它是在发电厂接大地。第二种含义是指接电子测量仪器、设备、被测电路等的公共连接点。这个公共连接点通常与机壳直接连接在一起,或通过一个大电容(有时还并联一个大电阻——有形或无形的)与机壳相连(这在交流意义上也相当于短路)。因此,至少在交流意义上,可以把一个测量系统中的公共连接点,即电路的地线与仪器或设备的机壳看做同义语。

研究接地问题应包括两方面的内容:保证实验者人身安全的安全接地和保证正常实验、抑制噪声的技术接地。

### 1. 安全接地

绝大多数实验室所用的测量仪器和设备都由 50Hz, 220V 的交流电网供电,供电线路的中线(零线)已经在发电厂用良导体接大地,另一根为相线(又称为火线)。如果仪器或设备长期处于湿度较高的环境或长期受潮未烘烤、变压器质量低劣等,变压器的绝缘电阻就会明显下降。通电后,如人体接触机壳就有可能触电。为了防止因漏电使仪器外壳电位升高,造成人身事故,应将仪器外壳接大地。

比较安全的办法是采用三孔插座,如图 1-5 所示。

三孔插头中较粗的一根插头应与仪器或设备的机壳相连,另外两根较细的插头分别与仪器或设备的电源变压器的初级线圈的两端相连。利用如图 1-5 中所示的电源插接方式,就可以保证仪器或设备的机壳始终与实验室大地处于同电位,从而避免了触电事故。如果电子仪器或设备没有三孔插头,也可以用导线将仪器或设备的机壳与实验室大地相

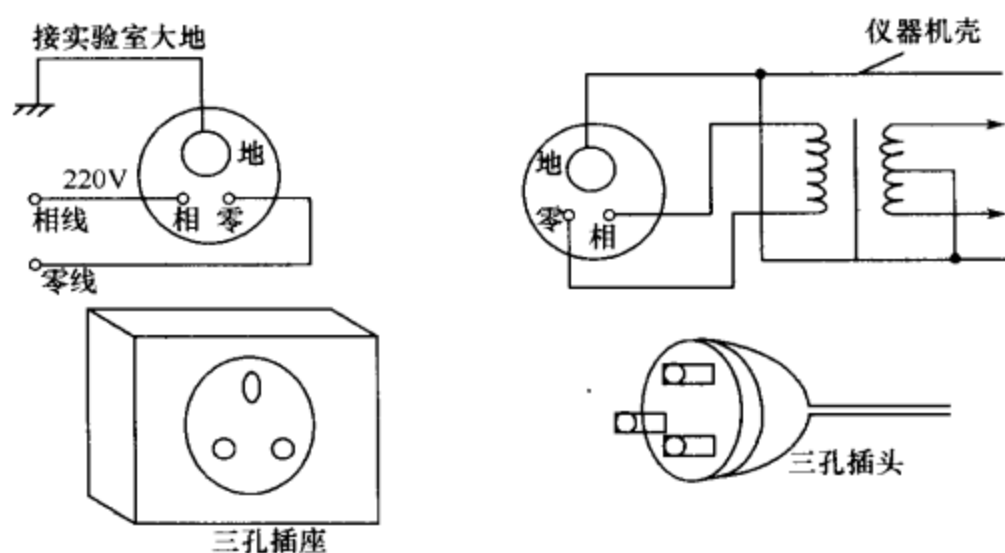


图 1-5 利用三孔插座进行安全接地

连。

**重点提示** 三孔插座中间较粗的插孔与本实验室的地线(实验室的大地)相接,另外两个较细的插孔,一个接 220V 相线(火线),另一个接电网零线(中线),由于实验室的地线与电网中线的实际节点不同,二者之间存在一定的地电阻  $R_d$ (这个电阻还随地区、距离、季节等变化,一般是不稳定的),如图 1-6 所示。

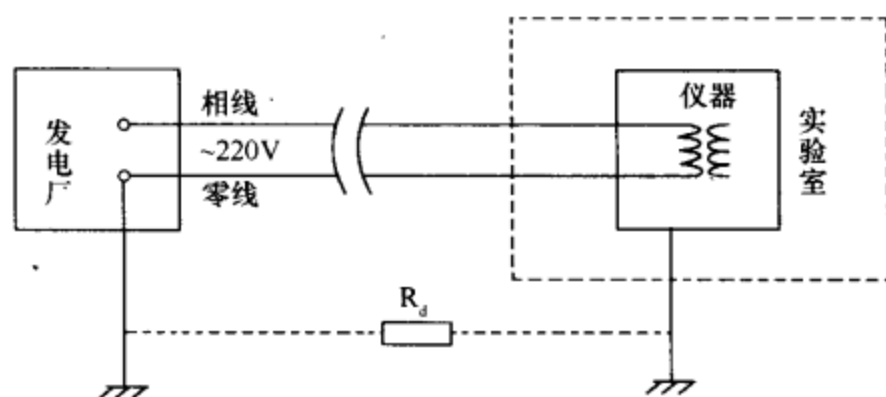


图 1-6 实验室的地线与电网电线间的电阻

电网零线与实验室大地之间由于存在沿线分布的大地电阻,因此不允许把电网零线与实验室地线相连。否则,零线电流会在大地电阻  $R_d$  上形成一个电位差。同样道理,也不能用电网零线代替实验室地线。实验室地线是将大的金属板或金属棒深埋在实验室附近的地下(并用撒食盐等办法来减小接地电阻),然后用粗导线与之焊牢再引入实验室,分别接入各电源插座的相应位置。

## 2. 技术接地

### 1) 接地不良引入干扰

在电子电路实验中,由信号源、被测电路和测试仪器所构成的测试系统必须具有公共的零电位线(即接地的第二种含义),被测电路、测量仪器的接地除了保证人身安全外,还可防止干扰或感应电压窜入测量系统或测量仪器形成相互间的干扰,以及消除人体操作的影响。如果接地不当,可能会产生实验者所不希望的结果。

例如,如图 1-7 所示为用晶体管毫伏表测量信号发生器输出电压,因未接地或接地不良引入干扰的示意图。

图中,C1、C2 分别为信号发生器和晶体管毫伏表的电源变压器初级线圈对各自机壳

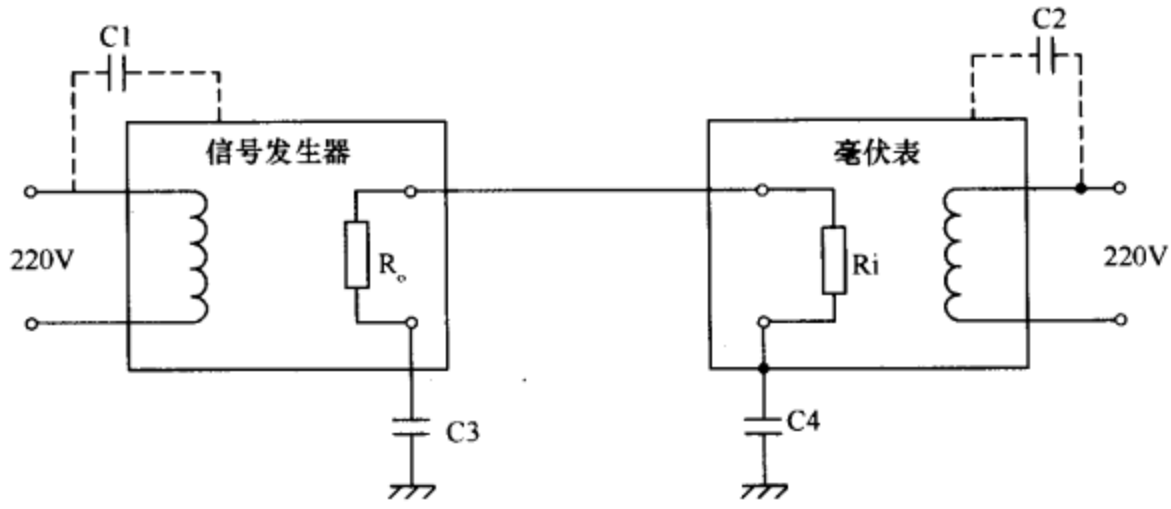


图 1-7 接地不良引入干扰

(地线)的分布电容,  $C_3$ 、 $C_4$  分别为信号发生器和晶体管毫伏表的机壳对大地的分布电容。由于图中晶体管毫伏表和信号发生器的地线没有相连, 因此实际到达晶体管毫伏表输入端的电压为被测电压  $U_x$  与分布电容  $C_3$ 、 $C_4$  所引入的 50Hz 干扰电压之和, 由于晶体管毫伏表的输入阻抗很高(兆欧级), 故加到它上面的总电压可能很大而使毫伏表超负荷, 表现为在小量程挡表头指针超量程而打表。

如果将图 1-7 中的晶体管毫伏表改为示波器, 则会在示波器的荧光屏上看到如图 1-8(a) 所示的干扰电压波形, 将示波器的灵敏度降低, 可观察到如图 1-8(b) 所示的一个低频信号叠加一个高频信号的信号波形, 并可测出低频信号的频率为 50Hz。

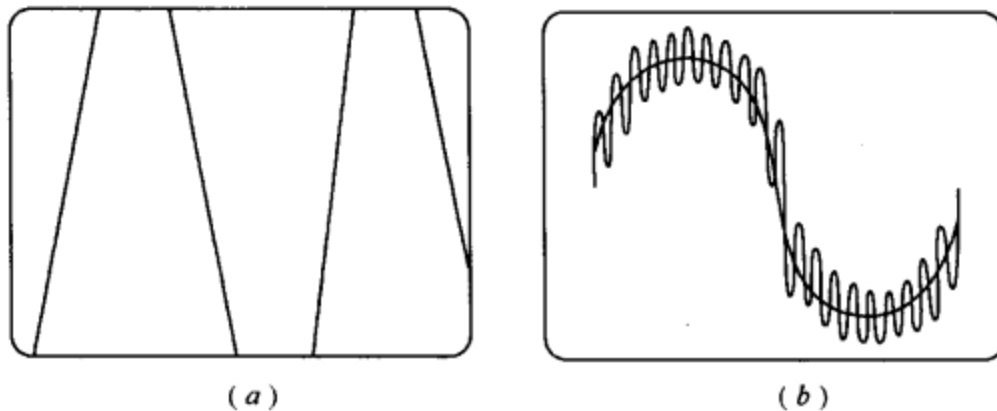


图 1-8 示波器观测 50Hz 干扰信号波形

如果将图 1-7 中信号发生器和晶体管毫伏表的地线相连(机壳)或两地线(机壳)分别接大地, 干扰就可消除。因此, 对高灵敏度、高输入阻抗的电子测量仪器应养成先接好地线再进行测量的习惯。

在实验过程中, 如果测量方法正确, 被测电路和测量仪器的工作状态也正常, 而得到的仪器读数却比预计值大得多或在示波器上看到如图 1-8 所示的信号波形, 那么, 这种现象很可能就是地线接触不良造成的。

## 2) 仪器信号线与地线接反引入干扰

有的实验者认为, 信号发生器输出的是交流信号, 而交流信号可以不分正负, 所以信号线与地线可以互换使用, 其实不然。

如图 1-9 所示, 用示波器观测信号发生器的输出信号, 将两个仪器的信号线分别与对方的地线(机壳)相连, 将信号发生器和示波器的地线(机壳)相连或两地线(机壳)分别与

实验室的大地相接,那么,在示波器的荧光屏上就观测不到任何信号波形,信号发生器的输出端被短路。

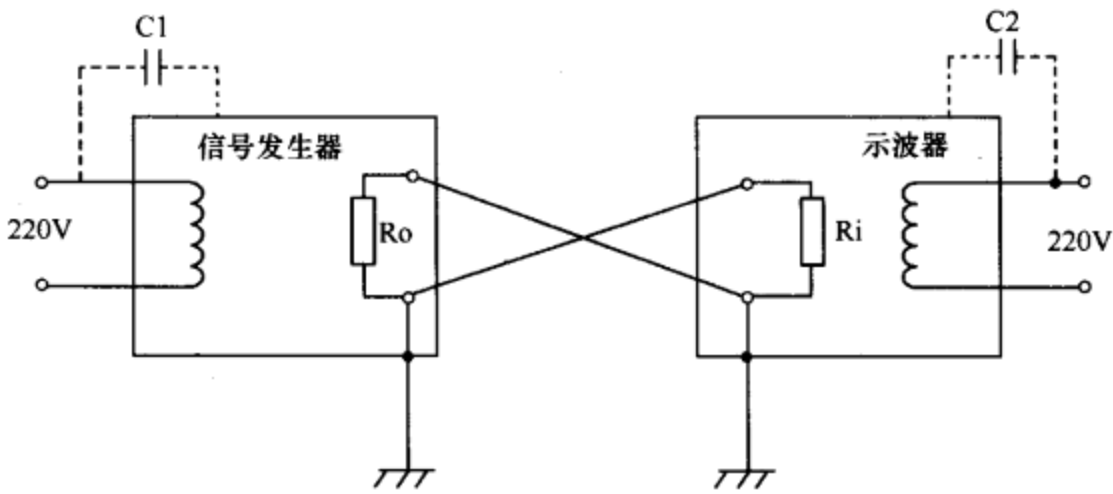


图 1-9 仪器信号线与地线接反引入干扰

如果信号发生器和示波器的地线(机壳)不与大地相连,在示波器荧光屏上将看到信号波形叠加有 50Hz 干扰信号。

### 3) 高输入阻抗仪表输入端开路引入干扰

以示波器为例来说明这个问题。如图 1-10(a)所示,  $C_1$ 、 $C_2$  分别为示波器输入端对电源变压器初级线圈和大地的分布电容,  $C_3$ 、 $C_4$  分别为机壳对电源变压器初级线圈和大地的分布电容。此电路可等效为如图 1-10(b)所示电路,可见,这些分布参数构成一个桥路,当  $C_1C_4 = C_2C_3$  时,示波器的输入端无电流流过。但是,对于分布参数来说,一般不可能满足  $C_1C_4 = C_2C_3$ ,因此示波器的输入端就有 50Hz 的市电电流流过,荧光屏上就有 50Hz 交流电压信号显示。如果将示波器换成晶体管毫伏表,毫伏表的指针就会指示出干扰电压的大小。正是由于这个原因,毫伏表在使用完毕后,必须将其量程旋钮置 3V 以上挡位,并使输入端短路,否则,一开机,毫伏表的指针会出现打表现象。

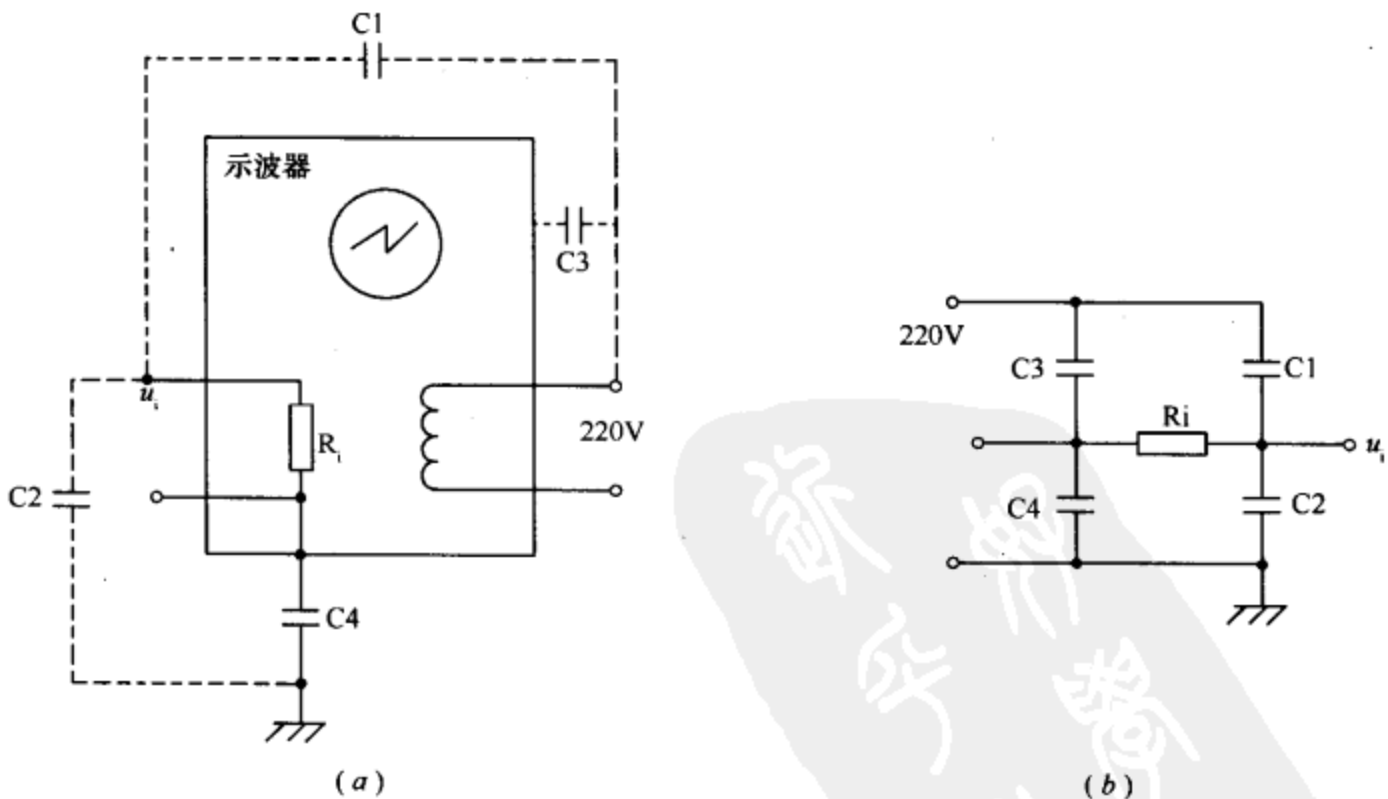


图 1-10 示波器输入端开路引入干扰

#### 4) 接地不当将被测电路短路

这个问题在使用双踪示波器时尤其应注意。如图 1-11 所示,由于双踪示波器两路输入端的地线都是与机壳相连的,因此,在图 1-11(a)中,示波器的第一路(CH1)观测被测电路的输入信号,连接方式是正确的,而示波器的第二路(CH2)观测被测电路的输出信号,连接方式是错误的,导致了被测电路的输出端被短路。在图 1-11(b)中,示波器的第二路(CH2)观测被测电路的输出信号,连接方式是正确的,而示波器的第一路(CH1),观测被测电路的输入信号,连接方式是错误的,导致了被测电路的输入端被短路。

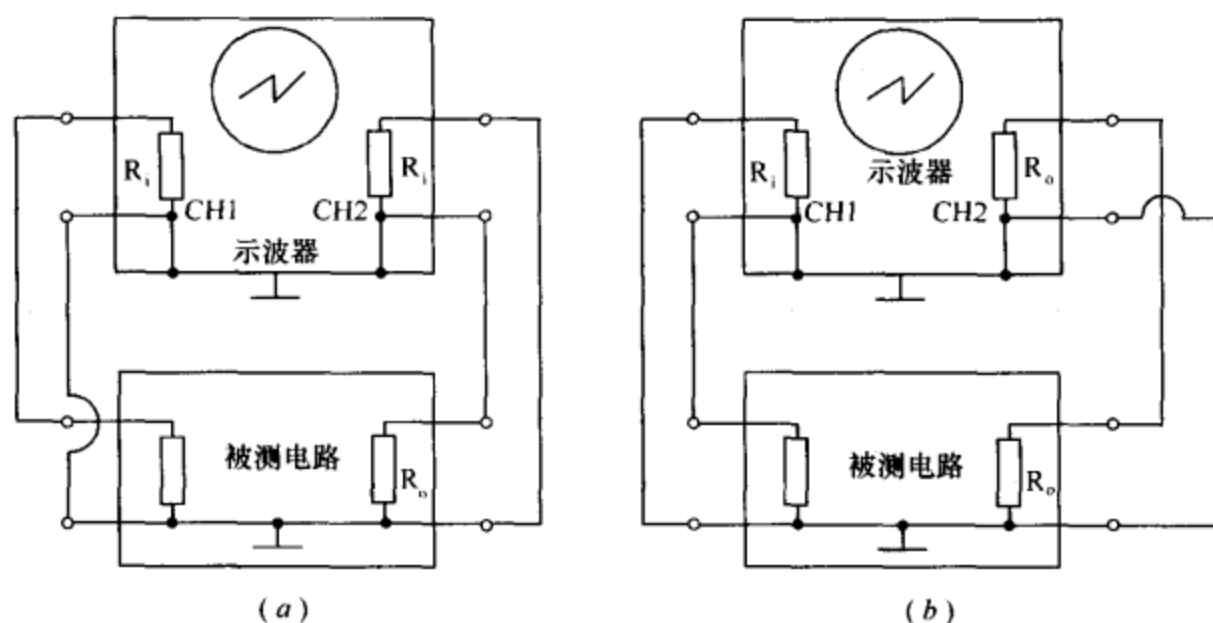


图 1-11 接地不当将被测电路短路

此外,接地时应避免多点接地,而采取一点接地方法,以排除对测量结果的干扰而产生测量误差。尤其多个测量电仪器间有两点以上接地时更需注意。如果实验室电源有地线,此项干扰可以排除,否则,由于两处接地,工作电流在各接地点间产生电压降或在接地点间产生电磁感应电压,这些原因也会造成测量上的误差。为此,必须采取一点接地措施。

在测量放大器的放大倍数或观察其输入、输出波形关系时,也要强调放大器、信号发生器、晶体管毫伏表以及示波器实行共地测量,以此来减小测量误差与干扰。

## 第二章 万用表与毫伏表

万用表分指针万用表和数字万用表两类,是一种可以进行多种项目测量的便携式仪表,它除可以测量电流、电压、电阻外,还可以粗略测量和判断电容、晶体管等的好坏,是无线电爱好者和维修人员的必备工具之一。本章以目前较为常用的指针式和数字式万用表为例,系统地分析了万用表的结构、原理和基本使用方法,最后对毫伏表的使用做了简要介绍。

### 第一节 万用表的分类、特性和选用

#### 一、万用表的分类

万用表简称万用表或三用表,是一种便携式仪表,可以比较精确地测量交、直流电压,交、直流电流以及电阻值的大小,这些是万用表的基本挡位,万用表还有一些附加挡位,如电容器的测量、二极管的测量、三极管的静态电流放大系数、线路的通断等。

万用表有指针式和数字式两类。常见的指针式万用表(简称指针万用表)有:500型、MF500-B型、MF47型、MF64型、MF50型、MF15型等,常见的数字式万用表(简称数字万用表)有:DT890、DT890D、DT830、DT9101、DT9102、DT9103等。指针式万用表使用方便、价格便宜、性能稳定,不易受外界环境和被测信号的影响,可以直观形象地观察变化的趋势;而数字式万用表测试精度高、测量范围宽、显示清晰、读数准确,还能准确进行电容量和小电阻值的测量。这两类万用表各有所长,在使用的过程中不能完全替代,要取长补短,配合使用。

#### 二、万用表的技术特性

##### 1. 万用表的灵敏度

灵敏度是指计量器具对被测量对象的变化反应能力。在指针式万用表当中,灵敏度有表头灵敏度、直流电压灵敏度、交流电压灵敏度之分。

(1)表头灵敏度。表头灵敏度是指单位电流量能使表头指针发生偏转的角度。由于在指针式万用表当中,指针的偏转范围是一定的,通常在指针发生最大偏转时,也就是满偏时,流过表头的电流为表头的灵敏度。此电流越小,表头的灵敏度越高。500型万用表一般使用内阻为 $2500\Omega$ 、满偏电流为 $40\mu\text{A}$ 的直流表头,因此500型万用表的表头灵敏度为 $40\mu\text{A}$ 。

(2)直流电压灵敏度。一般取万用表的最小直流电流挡的满偏电流的倒数来表示。如500型万用表的最小直流电流挡为 $50\mu\text{A}$ ,那么其直流电压灵敏度为

$$\text{直流电压灵敏度} = 1/I = 1/50 \times 10^{-6} = 20\text{k}\Omega/\text{V}$$



当量程为 10V 时,该挡的总内阻 $=10 \times 20\text{k}\Omega/\text{V}=200\text{ k}\Omega$

当量程为 50V 时,该挡的总内阻 $=50 \times 20\text{k}\Omega/\text{V}=1\text{M}\Omega$

当量程为 250V 时,该挡的总内阻 $=250 \times 20\text{k}\Omega/\text{V}=5\text{M}\Omega$

从以上的分析可以看出,直流电压挡的量程越大,其内阻越大,对测量结果的影响越小。

(3)交流电压灵敏度。如果仍使用  $50\mu\text{A}$  电流量程作交流电压表,并采用半波整流的方式,则该整流电路的工作效率为 0.44,那么,使表头发生满偏所需要的交流电流为

$$50\mu\text{A}/0.44=113.5\mu\text{A}$$

则交流电压灵敏度为

$$\text{交流电压灵敏度}=1/113.5 \times 10^{-6}=8.8\text{k}\Omega/\text{V}$$

当量程为交流 10V 时,该挡的总内阻 $=10 \times 8.8\text{k}\Omega/\text{V}=88\text{k}\Omega$

当量程为交流 50V 时,该挡的总内阻 $=50 \times 8.8\text{k}\Omega/\text{V}=440\text{k}\Omega$

从以上的分析可以看出,跟直流电压挡一样,交流电压挡的量程越大,其内阻越大,对测量结果的影响越小,不同的是,交流电压的灵敏度低,相同数值的量程交流挡内阻低。由于 500 型万用表的整流电路采用全波整流,因此它的效率也相应地提高了 1 倍,其交流电压灵敏度降低了 1/2,内阻也减小了 1/2。

## 2. 万用表的分辨力及分辨率

分辨力是描述数字万用表技术性能的一项参数,它表示该表可显示的最小数对被测量值的可表达程度。分辨力不仅可以用来表示测量机构的技术性能,也可以用来表示各挡的技术性能。随着量程的转换,分辨力也作相应的变化:统一测量功能条件下,量程越小,分辨力越高;反之,分辨力越低。如 DT890D 数字万用表 200mV、2V、20V、200V、1000V 的分辨力分别是 0.1 mV、1 mV、10 mV、100 mV、1 V。

分辨力的相对值成为分辨率。设最大显示数为  $N_{\max}$ ,最小分辨力为一个字,则

$$\text{分辨率}=1/N_{\max}$$

当  $N_{\max}=1000\text{V}$ ,最小分辨力 $=1\text{ V}$ 时,分辨率 $=1/1000=0.001=0.1\%$

## 3. 万用表的准确度等级

按万用表的测量准确度大小所划分的级别,称为万用表准确度等级。划分的依据是仪表的基本误差,该误差是在规定的正常测量条件下所具有的误差。指针式万用表的准确度等级有 1.0 级、1.5 级、2.5 级、5.0 级,进口万用表中还有 0.5 级。准确度等级的标注方法有 3 种,分别代表不同数值的测量误差。有的万用表还标有 3 个精度等级:—2.5、~5.0、 $\Omega$ 2.5,其中“—2.5”表示直流量程的基本误差为 2.5%，“~5.0”表示交流量程的基本误差，“ $\Omega$ 2.5”表示电阻量程的基本误差为刻度线弧长的 2.5%。

## 4. 万用表的其他技术性能

万用表的其他技术性能还有线性度、波形误差、频率特性等。

线性度是指测量仪表各刻度之间的分布,偏离均匀分布理想点的误差程度。指针式万用表显示测量结果的线性度与生产的工艺有关系。随着产品质量的提高,万用表的线性度也有了明显的改善。数字万用表的线性度比指针万用表的线性度更好,它的所有测量结果中非线性可以忽略不计。

波形误差是指针万用表的指示值为交流电压的平均值,仪表的指示值是按正弦波形

交流电的有效值校正,被测交流电压的波性失真应在任意瞬时值与基本正弦波形上相应的瞬时值间的差别不超过基本波形振幅的 $\pm 2\%$ ,当被测电压为非正弦波时,如测量铁磁饱和稳压器的输出电压,表的指示值将因波形失真而引起误差。数字万用表大都采用平均值响应的 AC/DC 转换器,只能测量正弦电压的有效值,并且要求被测正弦电压的失真不超过 $5\%$ ,欲测量方波、矩形波、锯齿波、梯形波、半波或全波整流波等非正弦波的电压,必须选用真有效值数字万用表,如 DT960T、DT980、DM8145 型等。

频率特性是指针万用表的交流电压挡,适应频率的范围因表而异。有的万用表交流电压挡的频率范围是 $45\text{Hz}\sim 65\text{Hz}$ ,其扩展频率为 $1000\text{Hz}$ ,在刻度盘上表示为 $45\text{Hz}\sim 65\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$ 。有的万用表交流电压挡的频率范围是 $45\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$ ,在刻度盘上直接标注。有些万用表没有标注所适应的频率范围,一般情况下,按 $45\text{Hz}\sim 65\text{Hz}$ 使用。有些进口万用表的频率适应范围更宽,在这里不再细说。在使用的过程当中,如果被测交流电的频率超过万用表的工作频率范围,也将产生误差,并且误差会随着频率的升高而增大,最终会使测量结果失去意义。500 型万用表的工作频率范围是 $45\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$ 。手持式数字万用表的频率范围一般在 $400\text{Hz}$ 以下,超过此值时测量结果会增大。

### 三、万用表的选用

万用表按精度可分为精密、较精密、普通 3 种,按灵敏度可分为高、较高、低 3 种,按体积可分为大、中、小 3 种,一般来说,精密、高灵敏度、功能多、大体积的万用表质量高、价格贵。万用表的型号很多,而不同型号之间功能也存在差异,一般情况下,指针万用表都具有以下基本量程: $\times 1\sim 10\sim 100\sim 1\text{k}\sim 10\text{k}\Omega$  的欧姆挡, $0\sim 2.5\sim 10\sim 50\sim 250\sim 500\text{V}$  的直流电压挡, $0\sim 10\sim 50\sim 250\sim 500\text{V}$  的交流电压挡, $0\sim 50\mu\text{A}\sim 1\sim 10\sim 100\sim 500\text{mA}$  的直流电流挡,而数字万用表量限更大、量程更多。因此,在选购万用表的时候,通常要注意以下几个方面。

(1)要了解万用表的性能和价格。在购买万用表之前,首先要根据自己的需要,对万用表的精密程度、灵敏度的高低、价格等方面作进一步的比较了解,再选择不同档次的万用表。如果对测量结果精度要求很高,就要选择一块灵敏度高、性能好的万用表;如果对测量结果要求不高,比如家庭使用,就选择价格便宜、性能一般,具有上述基本量程的万用表即可。

(2)要注意万用表使用的环境。如果室内使用,可以购买体积较大、精度较高、测量范围较广的万用表;如果外出流动使用,就要考虑购买体积较小,并且密封性较好的万用表。

(3)注意万用表的外观。表盘刻度要清晰、无污点,表壳光亮而无划痕、裂缝,后盖结合紧密而不松动,提手牢固安全,功能开关触点接触可靠而不左右晃动,旋转时声音清脆而无杂音,机械调零旋钮和电阻挡调零旋钮旋转要灵活。如果是数字万用表,还应注意显示屏数字显示是否清晰、完整,保护能力是否齐全有效等。

(4)表头的检查。机械调零后,将表在水平、垂直方向上作小幅度的来回晃动,指针不应该有明显的摆动;将表水平放置和竖直放置时,表针偏转不应该超过一小格;将表旋转 $360^\circ$ 时,指针应该始终在零附近均匀摆动。如果达到了上述的要求,就说明表头在平衡和阻尼方面达到了标准。

(5)测量准确度的检测。选择好了样式和型号之后,就要简易判断万用表的性能。最好事先准备一些参照物,如大小电阻、电池、电容等,对电阻挡、电压挡、电流挡进行实验性检查,以便进行比较选择,有条件的可以借用一块精度高的万用表进行对比测量,这样就能购买到一块称心满意的万用表了。值得一提的是:如果在这方面是一位新手,最好请一位行家帮助选择购买。

(6)选择时要注意质量的真伪。目前,市场上的伪劣假冒产品很多,购买时最好到信誉高的商店去购买,千万不能图便宜,随便买一块,否则会给今后的工作带来很多麻烦。

## 第二节 指针万用表的结构、原理与使用

### 一、指针万用表的结构

指针万用表的种类很多,功能各异,但它们的结构和原理却基本相同。其结构主要由测量机构、测量电路、转换装置 3 部分组成,从外观上看,由外壳、表头、表盘、机械调零旋钮、电阻挡调零电位器、转换开关、专用插座、表笔及其插孔组成,而内部则由电池及电阻、电容、二极管、三极管、集成电路等元器件组成的测量电路。

下面结合 500 型万用表,介绍一下指针万用表的结构。

500 型指针万用表,是一种高灵敏度、多量程的携带式整流系仪表,该表共有 24 个测量量程,能完成交/直流电压、直流电流、电阻及音频电平等基本项目的测量,还能估测电容器的性能,判别各种类型的二极管、三极管及极性。

从外观上看,500 型万用表正面有表头、表盘、2 个转换开关、机械调零旋钮、调零电位器和 4 个表笔插孔,背面有电池盒,能容纳 1.5V 二号电池 1 节和 9V 层叠电池 1 块。如图 2-1 所示。

#### 1. 表头

表头是万用表的重要组成部分,决定了万用表的灵敏度。表头由指针、磁路系统和偏转系统组成。为了提高测量的灵敏度和便于扩大电流的量程,表头一般都采用内阻较大、灵敏度较高的磁电式直流安培表,500 型万用表使用的是内阻为  $2500\Omega$ 、满度电流为  $40\mu\text{A}$  的直流表头。

**重点提示** 由于 500 型万用表的表头采用的是直流安培表,电流只能从正极流入,从负极流出。在测量直流电流的时候,电流只能从与“+”插孔相连的红表笔流入,从与“\*”插孔相连的黑表笔流出,在测量直流电压时,红表笔接高电位,黑表笔接低电位,否则,一方面测不出数值,另一方面很容易损坏指针。



图 2-1 500 型万用表的结构

## 2. 表盘

表盘由多种刻度线以及带有说明作用的各种符号组成。只有正确理解各种刻度线的读数方法和各种符号所代表的意义,才能熟练、准确地使用好万用表。表盘示意图如图 2-2 所示。

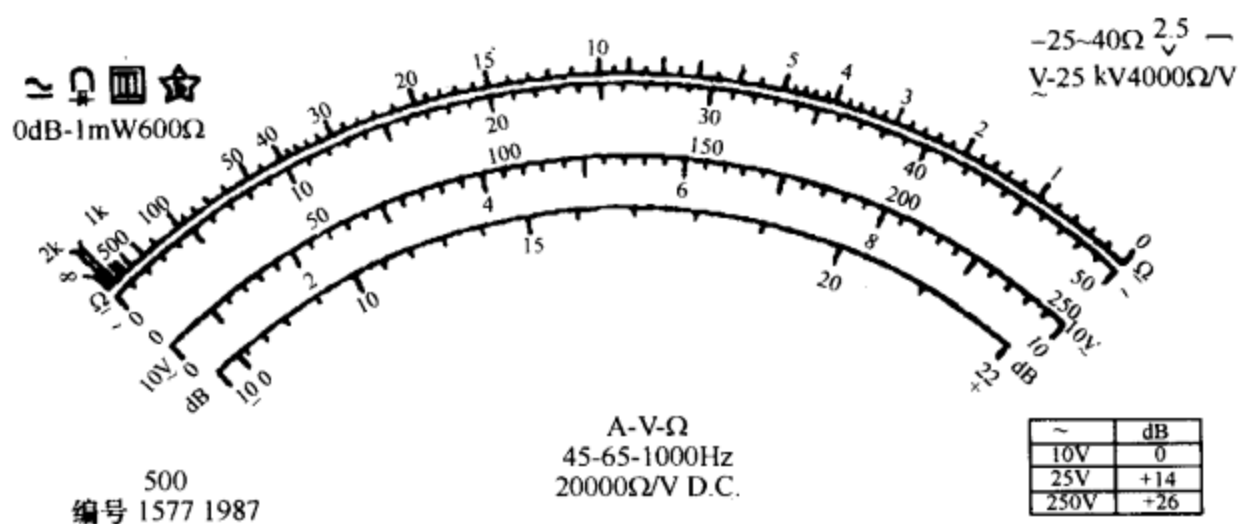


图 2-2 表盘示意图

刻度尺有 4 种刻度标记,从上至下分别是:欧姆挡刻度尺、交/直流 50V 和 250V 挡的刻度尺、交流 10V 挡的专用刻度尺及 dB 挡刻度尺。由图可见,直流电流和直流电压共用一条刻度尺,并且该刻度尺上的刻度是均匀的、等分的,其他刻度尺上的刻度是不均匀的,同一条刻度尺上标有不同的数字,以避免在使用某些量程时进行换算。电阻值的读数方法与其他读数方法正好相反,从右边零位开始,至左边无穷大,其他量程读数从左边零位开始。

测量结果的读取有 3 种方法:另 1 种是量限法,即被测对象的数值在刻度尺满偏范围之内,可以直接读取,如测量 250V 以内的电压值,上面的例子就属于这一种;第 2 种是量程法,即测量结果等于读数乘以量程,电阻挡就属于这一种方法,如将电阻挡量程开关旋至  $R \times 100\Omega$  挡,读数为 10,那么被测电阻的阻值为  $1k\Omega$ ;第 3 种是换算法,有 250V 以上的电压挡,+22dB 以上的 dB 挡等。

## 3. 转换开关

万用表的型号不同,转换开关工作方式也不同,有功能开关—量程开关合用一只开关型、功能开关—量程开关分离型、功能开关—量程开关交互使用型等,有些万用表还设有专用插座,与功能转换开关配合使用,以完成某些专项测量。500 型万用表就属于交互使用型,使用时首先要熟悉两个转换开关上功能选项的位置,根据被测对象的类别,选择相应的测量项目,再根据被测数值的大小,选择合适的量程,即可进行测量了。如用 500 型万用表测量一节 9V 层叠电池的电压,首先选择功能开关,即将右边的旋钮旋至“V”挡;再选择量程,即将左边的旋钮旋至直流电压 10V 挡,然后将红表笔插入“+”,黑表笔插入“\*”,确认无误后,即可进行测量,并从刻度线上读取测试结果。500 型万用表除了用上述方法选择量程外,还可利用改变表笔插头位值的方法来转换测量量程。例如,当测量 2500V 交、直流电压时,黑表笔插在“\*”不动,将红表笔插在 2500V 的插孔内即可进行测量。

## 4. 机械调零旋钮和电阻挡调零旋钮

机械调零旋钮的作用是调整表头指针静止时的位置。万用表不作任何测量时,其指针应指在表盘刻度线左端“0”的位置上,如果不在这个位置,可调整该旋钮使其到位。电

阻挡调零旋钮的作用是,当两表笔短接时,表头指针应指在欧姆挡刻度线的右端“0”的位置,如果不指在“0”的位置,可调整该旋钮使其到位。需要注意的是,每转换一次欧姆挡的量程,都要调整该旋钮,使指针指在“0”的位置上,以减小测量的误差。

### 5. 表笔插孔

不同的万用表,其表笔“+”、“-”插座的表示方式也各有不同,有的直接用“+”和“-”表示,有的用“+”、“\*”表示,有的用“+”、“COM”表示等。500型万用表有4个表笔插孔分别对应着“\*”、“+”、“dB”(有些为5A)和“2500V”位置上。测量时,红表笔应插在“+”,黑表笔应插在公共端“\*”,在使用交直流“2500V”和音频电平测试量程时,红表笔应分别插在此孔。

**重点提示** 指针万用表的红表笔插孔与万用表内部电池的负极相连,黑表笔插孔与万用表内部电池的正极相连。数字万用表正好相反。在用万用表测量二极管、三极管和某些有极性的元件时要特别注意表笔内部电源极性,以免引起误判。

## 二、指针万用表的原理

万用表实际上是电压表、电流表、电阻表的组合体,利用转换开关变换内部的测量电路,实现多种项目、多种量程的测量。下面简要介绍一下电压、电流及电阻的测量电路及其测量原理。

### 1. 直流电压测量电路

500型万用表使用一只内阻为 $2.5\text{k}\Omega$ 、量程为 $40\mu\text{A}$ 的直流表头。若用它去直接测量电路的直流电压,其最大测量范围为 $2.5 \times 10^3 \times 40 \times 10^{-6} = 0.1\text{V}$ ,即高于 $0.1\text{V}$ 的直流电压因流过表头的电流超过 $40\mu\text{A}$ 不能测量。欲扩大它的量程,只要串接适当阻值的电阻即可。例如,在其表头上接一只 $247.5\text{k}\Omega$ 的电阻,它能测量的最大电压范围将变为 $(247.5 + 2.5) \times 10^3 \times 40 \times 10^{-6} = 10\text{V}$ ,即量程扩大了100倍。不难推知,若分别串入不同阻值的电阻,并通过开关分别进行转换,便可得到一个不同量程的电压表。

在实际用的万用表中,串接电阻与表头的连接方法有两种,单独连接和串联连接,分别如图2-3(a)和图2-3(b)所示。显然,单独连接时各量程之间互不影响,维修时也较方

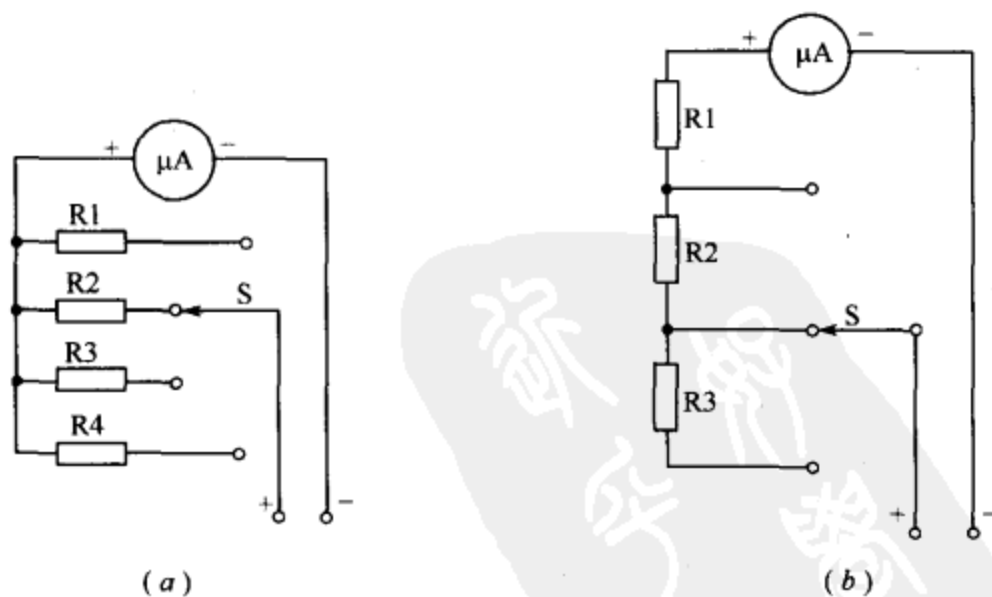


图 2-3 串联电阻与表头的连接

(a)串联电阻与表头单独连接;(b)串联电阻与表头串联连接。

便。串联连接时,各量程之间相互影响,维修时较麻烦,但串接电阻的利用率高。500型万用表的电压测量档采用串联接法。

### 2. 直流电流测量电路

与直流电压测量电路相反,为了扩大表头的电流量程,必须给它并联上分流电阻,使实际通过表头的电流为被测电流的一部分,显然,若表头原来的量程为  $I_g$ ,欲使其扩大量程 100 倍,则流过并联分流电阻中的电流应当为  $99I_g$ 。不难推知,电流量程扩大的倍数越大,表头上需要并联电阻的阻值就越小。如果在表头上分别并上不同阻值的分流电阻,并通过转换开关控制,就能得到多种不同量程的电流表。

万用电表电流测量挡分流电阻的接法也有两种:单独并联式和闭路串并联式,分别如图 2-4 所示。

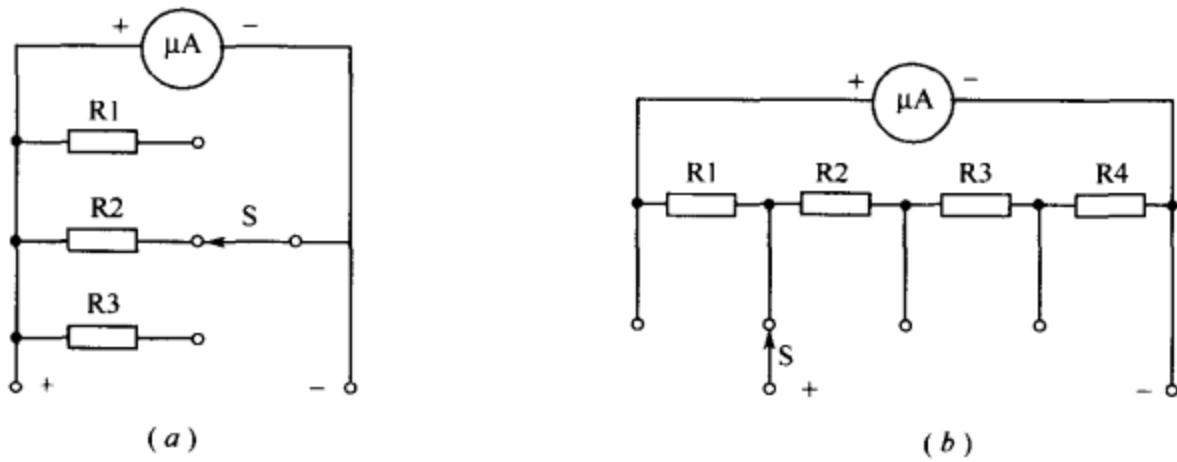


图 2-4 并联电阻与表头的连接  
(a)单独并联式; (b)闭路串并联式。

单独并联式突出的优点是,分流电阻互不影响,维修方便。其缺点是,当分流电阻接触不好或损坏时,不仅影响测量精度,而且表头还会因通过的电流太大而烧毁,所以在实际的万用表中很少采用。闭路串并联式不仅克服了这一缺点,而且还具有测量误差小,各测量量程表针阻尼均匀等优点,因而应用广泛。500型万用表的电流测量挡采用的就是这种闭路串并联式。

### 3. 交流电压测量电路

磁电式直流表头要求通过的电流有一定方向,因此只能测量直流电。欲测量交流电,必须通过“整流电路”将交流电转变为直流电,然后方能进行交流电压(或交流电流)的测量。

整流电路有如图 2-5(a)和图 2-5(b)所示的全波和半波之分,由于半波整流电路结构简单、量程转换容易,因此应用较多。500型万用表交流电压测量挡采用的就是半波整流电路。

通过半波整流电路将交流电变换成直流电,再利用前述串联电阻方法,进一步将微安表头安装成多交流电压的大小是随时间变化的,所以有平均值、有效值及最大值之分,由于磁电式仪表指针的偏转大小与通过电流的平均值成正比,但对交流电实际中应用的却是有效值,即表盘刻度必须是有效值。这样一来,交流电压(或交流电流)的刻度就变得不均匀了。由于交流电流的测量电路较复杂一些,而且应用不多,所以 500 型万用表(个别新型号除外)不设交流电流测量挡。