

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

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;当你彷徨于就业的关口,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、QSI8A 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> .....	105
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> .....	120
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,把规定应垂直放置的仪器水平放置;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。

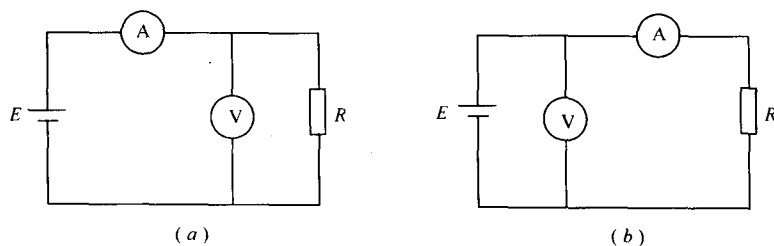


图 1-1 用电压表、电流表测量电阻

## 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  $U'$ 。

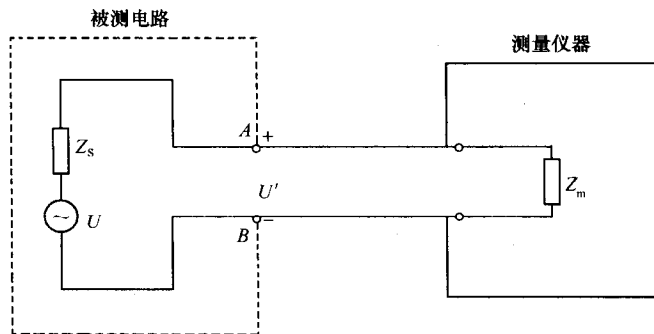


图 1-2 测量仪器和被测电路并联

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。