

中等专业学校试用教材

# 电路 基础 实验

曹彦芳 主编



高等教育出版社

中等专业学校试用教材  
**电路基础实验**  
曹彦芳 主编

·  
高等教育出版社出版  
新华书店上海发行所发行  
上海市印刷三厂印装

·  
开本 787×1092 1/16 印张 15 字数 338,000

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数00001—6,110

ISBN 7-04-002291-5/TN·121

定价 3.15元

# 前 言

1987年3月国家教委颁布了中等专业学校工科电子类专业通用的《电路基础实验教学大纲》，本书就是根据这份教学大纲编写的。为了适应中专培养应用型人才的目标，必须加强学生实践技能的训练，因此作为电路课程改革的尝试，《电路基础实验》将是一门独立开设的以实验为主的技术基础课，本书是为《电路基础实验》独立设课而编写的教材。

本书在编写中注意到以下一些问题：

1. 为了使电工测量和常用电工仪器仪表知识与实验紧密结合，将这些知识采用大分散、小集中、自成体系的办法，分布于全书各有关章节中，教学过程即可按章节顺序进行。

2. 使用本书时要注意与《电路基础》课程的配合，《电路基础》课的讲授要略先于《电路基础实验》课的进行。在各次实验原理的说明中，对电路理论知识仅作概括介绍，详细叙述可参阅李树燕主编《电路基础》教材（1988年4月高等教育出版社出版）中的有关章节。

3. 考虑到中专学生的接受能力，采用循序渐进的原则来安排实验内容，先简单后复杂，先直流后交流，进而由学生自拟实验方案，独立完成实验。书中打“\*”号的章节，可作为学生选学或选作内容。

4. 注意到教材的实用性和通用性，书中对直流稳压电源、万用表、功率表、示波器、电子管（晶体管）电压表、低频信号发生器等仪器仪表，选取一种常用型号说明其基本原理和使用方法，各校可结合本校实验室所用的型号再作相应介绍。各次实验中用到的部份仪器和设备列出了参考型号，在书末附录二中还列有电路基础实验室主要仪器设备清单供参考。

5. 为了巩固学生所学的知识技能，培养学生的学习兴趣，在部份章节末尾和实验报告中给出了一些思考题。同时为了便于学生做实验报告，将实验报告纸附于每个实验之后，在实验报告纸上写明了完成该次实验报告的要求。做完实验报告后，实验报告纸可以撕下交指导教师审阅。

本书除概述外共分六章，现将它们的主要内容和时间安排简介如下：

概述部份，主要介绍实验课的进行方式和实验室的安全操作规程。

第一章为电工测量的基本知识，重点介绍测量误差的表示，减小和消除误差的方法，仪表的准确度等级及选择仪表的初步知识，并在认识实验中对这些知识加以运用和巩固。概述和第一章约需授课3学时，实验1学时。

第二章为直流电路，主要介绍磁电系仪表、万用表、单臂电桥、直流电流、电压和电阻的测量。共做九个实验。考虑到学生的实际需要，本章比大纲增加了电路中电位的测定和电源与电阻元件伏安特性的测定两项实验内容。万用表部分只做应用实验，关于万用表的组装，编入书末附录一中，供有关学校进行万用表组装实习时参考。直流电路综合实验，是在学习完本章内容后，由学生自选实验课题，拟定实验方案，在教师许可下独立完成实验，考察学生综合运用直流仪器仪表和直流电路实验知识的能力。在该次实验中还提供了部分实验选题供

学生选用。本章约需授课6学时,实验18学时。

第三章为正弦交流电路,主要介绍电磁系仪表、电动系仪表,交流电压、电流和功率的测量,常用电子仪器的简单原理和使用方法,还介绍了自耦调压器和试电笔。共做七个实验。常用电子仪器包括示波器、电子管(晶体管)电压表和低频信号发生器,着重于它们的实际应用。交流电路综合实验与直流电路综合实验的目的相似,在该次实验中也提供了部分实验选题,供学生选用。本章约需授课6学时,实验14学时。

第四章为谐振电路和RC电路的过渡过程。共做三个实验。谐振电路安排串联谐振和并联谐振两个实验,目的是验证谐振电路的特点,测定谐振曲线,观察电路中电流和电压的相位差。RC电路的过渡过程实验,主要测定电路中电流和电压的变化规律及电路的时间常数,关于微分和积分电路,为避免与后续课程重复,在此不进行实验。本章需实验时间6学时。

第五章为电动机和变压器,本章为大纲规定的选学和选作内容,只对三相和单相异步电动机的结构、转动原理和起动作简介,并安排异步电动机的起动的和反转实验;单相变压器的变压比、变流比和同极性端的测定实验。直流电机不作介绍。全章约需授课3学时,实验3学时。

第六章为非正弦周期性电流电路和二端口网络。本章内容是大纲中没有的,可以列为选作。做两个实验。非正弦周期性电流电路实验,主要验证非正弦周期量的有效值公式和谐波阻抗的概念;二端口网络实验是测定传输参数和验证等效电路。约需实验时间4学时。

全书除万用表组装实习和第六章内容外,共需授课18学时,实验42学时,合计60学时,与大纲时数大体一致。以上时间安排,仅供参考。

本书由西安航空工业技术专科学校曹彦芳任主编,并编写概述、第一、五、六章和附录二;南京无线电工业学校周贞秀编写第二章和附录一;九江船舶工业学校刘勇编写第三章;黑龙江省邮电学校孟庆智编写第四章。此外,南京无线电工业学校章培义也参加了第二章中直流电阻测量的编写工作。

本书承广东省邮电学校高级讲师区嘉雄老师主审,并提出许多宝贵意见。1988年8月,全国中专电工基础课程组在北京召开了对本书的审稿会议,参加审稿会议的有:广东省邮电学校区嘉雄,南京无线电工业学校李树燕、李明章,内蒙古电力学校丁道鹏,重庆电力学校张步滋、吴涛,河南省邮电学校董玉淑,天津市仪表无线电工业学校叶依梅等,他们对本书初稿提出了许多有益的修改意见和建议,叶依梅老师还为本书提供了部分思考题。编者在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,虽对书稿进行过多次审核,书中不妥和错误之处在所难免,热忱欢迎使用本书的广大老师和同学提出批评指正。

编 者

1988年9月

# 目 录

概述	1
一、实验课的重要性	1
二、课程的性质和基本要求	1
三、课程的方式进行方式	1
四、实验室的安全操作规程	2
<b>第一章 电工测量的基本知识</b>	4
§1-1 电工测量的测量方法	4
§1-2 测量误差	4
§1-3 有效数字	7
§1-4 电工仪表的基本知识	8
§1-5 认识实验	12
<b>第二章 直流电路</b>	17
§2-1 磁电系仪表	17
§2-2 电源和电阻元件伏安特性的测定	21
§2-3 电阻的混联与分压器实验	29
§2-4 测量直流电阻的仪器和方法	37
§2-5 直流电阻的测量	42
§2-6 万用表的结构和原理	51
§2-7 万用表的使用	55
§2-8 电位的测量·基尔霍夫电压定律的验证	63
§2-9 基尔霍夫电流定律和叠加定理的验证	67
§2-10 直流电阻性电路故障的检查	73
§2-11 有源二端网络的研究	81
§2-12 直流电路综合实验	89
<b>第三章 正弦交流电路</b>	93
§3-1 电磁系仪表	93
§3-2 交流电路中 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 元件伏安特性的测定	96
§3-3 常用电子仪器简介	105
§3-4 常用电子仪器的使用	114
§3-5 电感和电容频率特性的测定	121
§3-6 正弦稳态下 $RL$ 、 $RC$ 电路的研究	125
§3-7 电动系仪表	133

§3-8	日光灯电路和功率因数的提高	139
§3-9	三相交流电路实验	145
§3-10	交流电路综合实验	151
<b>第四章</b>	<b>谐振电路·RC 电路的充放电过程</b>	<b>155</b>
§4-1	串联谐振电路实验	155
§4-2	并联谐振电路实验	165
§4-3	RC 电路的充放电过程	175
<b>*第五章</b>	<b>电动机和变压器</b>	<b>183</b>
§5-1	三相和单相异步电动机简介	183
§5-2	异步电动机实验	189
§5-3	单相变压器实验	195
<b>*第六章</b>	<b>非正弦周期性电流电路·二端口网络</b>	<b>203</b>
§6-1	非正弦周期性电流电路实验	203
§6-2	无源二端口网络参数的测定	209
<b>附录一</b>	<b>万用表的组装</b>	<b>217</b>
<b>附录二</b>	<b>电路基础实验室的主要仪器和设备</b>	<b>231</b>

# 概 述

## 一、实验课的重要性

实验是教学中一个重要的实践性环节，是理论联系实际的重要手段。人们可以通过实验发现真理，又通过实验去证实真理和发展真理，在电路科学中从欧姆定律的发现直到大规模集成电路的发明，以及人类对于各种未知事物的探讨和研究，都是从大量科学实验的归纳和总结中得到的。实验对于人们去认识世界和改造世界都具有十分重要的意义。

## 二、课程的性质和基本要求

《电路基础实验》是一门独立开设的以实验为主的技术基础课。通过本课程的学习，使学生能够掌握中等电子技术人员所必需具备的电工测量的基本知识和电路实验的基本技能，从而达到下列基本要求：

(一)能够熟练掌握交直流电流表、电压表及万用表、单臂电桥的使用，并了解其结构、原理和主要技术特性。同时还要求熟练掌握电路中电流、电压、电阻等电量的测试技术和可变电阻器、单相调压器、直流稳压电源的使用方法。

(二)学会使用信号发生器、晶体管(或电子管)电压表、示波器等常用电子仪器。

(三)能够根据实验需要，正确选择电路元件，按电路图正确接线和检查线路，分析并排除线路中的简单故障。

(四)了解电路实验中误差产生的原因，减小和消除误差的方法。学会正确处理数据，绘制图线，分析实验结果，并能写出实验报告。

(五)验证、巩固、并加深理解电路基础课程中的基本概念和基本定律。

(六)培养实验操作的规范化，懂得安全用电的一般常识。同时也培养理论联系实际、实事求是、严肃认真的工作作风和科学态度，发扬团结协作和爱护仪器仪表的良好风尚。

## 三、课程的进行方式

本教材中的电工测量基本知识，仪器仪表的结构、原理和使用方法，可以讲授或自学。实验部分则可按下列顺序进行：

### (一)实验课的预习和准备

实验前要认真预习实验中涉及的有关理论知识，明确实验目的和要求，了解实验原理、实验内容和注意事项等。如果实验中要求事先计算或自拟电路和实验步骤的，也应在预习时完成，并准备好记录用纸。实验中如需要绘制图线的，还应准备好坐标纸。为了使实验工作顺利进行，同组人员要作好接线、操作和记录的分工。

## (二) 实验课进行的一般方式

### 1. 检查仪表和仪器设备

检查本次实验所需要的仪表和仪器设备是否齐全,仪表的类型和量程是否合适,仪表指针的起始位置是否正确,指针摆动是否灵活,同时将所用仪表和仪器设备的型号、规格及编号记录下来。

### 2. 连接线路

首先把仪器设备和仪表放在便于操作和读数的位置,然后进行接线。接线时应按照电路图先接主回路,即由电源的一端开始,顺次而行,回到电源的另一端,然后再接分支电路。连接导线的长短、粗细和颜色等均应合理选用,以便进行检查。导线的连接点要牢靠。

### 3. 检查线路

线路接好后,应由同组未参加接线的人员核对线路,检查线路的连接是否正确,所接仪表的量限和极性是否符合要求,变阻器滑动触点的位置是否合适,单相调压器的手柄指示是否在起始零位。初次做实验的线路或较复杂的实验线路,还必须经指导教师检查合格后,方能接通电源。

### 4. 接通电源

电源开关闭合前,必须通知在场人员,以免发生设备或人身事故。接通电源后,应立即注意仪表和仪器设备的工作是否正常,如发现异常现象,要立即切断电源,检查原因。

### 5. 读取数据和审查数据

对于从指针指示读取数据的仪表,读数时视线要与仪表刻度面垂直,根据所接量限,分清刻度线上每一分格所代表的读数值。读得的数据,观察得到的现象,测绘的曲线,要分别记录下来。测量和记录完毕后,断开电源,暂不要拆线。对于记录下来的数据、现象和图线,要用所学的理论知识去分析和判断,看它是否合理,然后送指导教师审查。

### 6. 拆除线路

数据经审查合格后,切断电源,拆除线路,整理仪表和仪器设备,清理导线。经指导教师允许后,离开实验室。

## (三) 做实验报告

电路基础实验报告,应根据报告的要求,在整理与计算实验数据的基础上写出。图线应绘在坐标纸上,比例尺的选取应使图形清晰美观,坐标轴上必须注明所代表物理量的符号、单位及一定间隔的数值。根据实验数据,描出点的坐标位置,可以用符号“ $\odot$ ”或“ $\times$ ”标出。连接曲线时,应使用曲线板,绘出光滑曲线,不必强使曲线通过所有的点子,未被通过的点子,应大致均匀分布在曲线的两侧。在做实验报告时,必须实事求是,不得任意更改或杜撰数据。

有关实验误差的计算及有效数字的处理,详见第一章。

电路基础实验报告纸附于各次实验之后。

## 四、实验室的安全操作规程

在实验中,为了防止仪表和仪器设备的损坏,杜绝人身事故的发生,实验者必须严格按



照下列安全操作规程进行实验。

(一)首先对控制电源的开关要熟悉，电源是直流还是交流？电源的电压是多少？直流电源的正负极是哪两个？等等。

(二)仪表和仪器设备的型号、规格要清楚，特别要注意它们的量限或额定值，并熟悉其接线和使用方法。

(三)实验时，仪表和仪器设备的安放要整齐，接线要清晰。线路经检查合格后，需要接通电源时，必须通知在场人员。接通电源后，应立即注视各仪表的偏转是否正常，若发现异味或异声等，要立即断开电源进行检查。在线路接通电源的情况下，实验者不准离开实验桌。

(四)实验进行要规范化，按步骤做实验，不能盲目操作；在调节电压、电流或其它电路参数时，要注意仪表的偏转情况及电路各部分动向。

(五)严禁带电改接线路或带电更换仪表量限。线路接通电源后，身体不可触及线路中带电的裸露导体。当身体触及高于36V的电压时，就有可能引起触电事故。潮湿的地面，安全电压更低。一旦发生设备或人身事故，首先要立即断开电源，保持线路现状，报告指导教师，查明原因。

(六)做完实验，在拆除线路前，必须先断开电源。若线路中存在电容器，须用导线短路，经放电后再拆除线路。

(七)与本实验无关的仪表、仪器设备和开关等，不许乱动。未经许可，不准进入配电室。

### 思考题

1. 怎样做好实验和实验报告？
2. 在实验中突然有一只电阻器发生焦糊味，你该如何处置？
3. 有一位同学，实验完毕后拆除线路时，突然被电击了一下，你认为可能是什么原因造成的？

# 第一章 电工测量的基本知识

## § 1-1 电工测量的测量方法

在电路实验中，离不开电工测量，因此首先必需了解电工测量的基本知识，包括电工测量的测量方法，测量误差的产生和消除，误差的表示，有效数字的读取和处理，电工仪表的准确度等级，仪表的技术要求，电工仪表的分类、标记和型号等。以便在实验中正确选择和使用仪表，掌握正确的测量方法，获得最佳的实验效果。本节先介绍电工测量的测量方法，它分直接测量法和间接测量法两种。

### 一、直接测量法

直接测量法是指被测量与其单位量作比较，被测量的大小可以直接从测量的结果得出。例如用电压表测量电压，读数即为被测电压值，它就是直接测量法。

直接测量法又分直接读数法和比较法两种，上述用电压表测量电压，就是直接读数法，被测量可直接从指针指示的表面刻度读出。这种测量方法的设备简单，操作方便，但其准确度较低，测量误差主要来源于仪表本身的误差，误差最小约可达  $\pm 0.05\%$ 。比较法是指测量时将被测量与标准量进行比较，通过比较确定被测量的值。例如用电位差计测量电压源的电压，就是将被测电压源的电压与已知标准电压源的电压相比较，并从指零仪表确定其作用互相抵消后，即可从刻度盘读得被测电压源的电压值。比较法的优点是准确度和灵敏度都比较高，测量误差主要决定于标准量的精度和指零仪表的灵敏度，误差最小约可达  $\pm 0.001\%$ ，比较法的缺点是设备复杂昂贵，操作麻烦。

### 二、间接测量法

间接测量法是指测量时测出与被测量有关的量，然后通过被测量与这些量的关系式，计算得出被测量。例如用伏安法测量电阻，首先测得被测电阻上的电压和电流，再利用欧姆定律求得被测电阻值。间接测量法的测量误差较大，它是各个测量仪表和各次测量中误差的综合。

## § 1-2 测量误差

测量中，无论是采用什么样的仪表，仪器和测量方法，都会使测量结果与被测量的真实值（即实际值或简称真值）之间存在着差异，这就是测量误差。测量误差可分为三类，即系统误差、偶然误差和疏忽误差。

## 一、系统误差

系统误差的特点是测量结果总是向某一方偏离，相对于真实值总是偏大或偏小，具有一定的规律性，产生的原因有以下几个方面：

(一) 仪表误差：仪表在规定的正常工作条件下(仪表使用在规定的温度、湿度，规定的安置方式，没有外界电磁场的干扰等)，由于仪表本身结构和制造工艺上的不完善所引起的误差，叫做仪表的基本误差。例如仪表偏转轴的磨损、标尺刻度的不准等引起的误差，都是属于基本误差，是仪表本身所固有的。由于仪表在非正常工作条件下使用而引起的误差，叫仪表的附加误差。例如外界电磁场的干扰所引起的误差，就属于附加误差。

仪表误差有两种表示方法：

### 1. 绝对误差

仪表的测量值  $A_x$  与真实值  $A_0$  之差，叫绝对误差，用  $\Delta$  表示

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

绝对误差的单位与被测量的单位相同。绝对误差在数值上有正负之分。

**例 1-1** 用一电流表测得电流为 101mA，用标准电流表测得该电流为 100mA(看作真实值)，求被测电流的绝对误差。

**解：**  $\Delta = A_x - A_0 = 101 - 100 = +1\text{mA}$

### 2. 相对误差

用绝对误差无法比较两次测量结果的准确性，例如在例 1-1 中电流表测量 100mA 的电流时，绝对误差为 +1mA，而若另一电流表测量 10mA 电流时，绝对误差为 +0.25mA，虽然绝对误差是前者大于后者，但并不能说明后者的测量比前者准确，要使两次测量能够进行比较，必须采用相对误差。

绝对误差  $\Delta$  与被测量的真实值  $A_0$  之比，叫相对误差。用  $r$  表示，常写成百分数。

$$r = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

因为测量值  $A_x$  与真实值  $A_0$  相差不大，故相对误差也可近似表示为

$$r \approx \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

**例 1-2** 测量真实值为 100mA 的电流时，绝对误差为 +1mA，测量真实值为 10mA 电流时的绝对误差为 +0.25mA，求这两次测量的相对误差。

**解：** 第一次测量中，被测电流的相对误差为

$$r_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\%$$

第二次测量中，被测电流的相对误差为

$$r_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{+0.25}{10} \times 100\% = +2.5\%$$

从计算结果看出，第一次测量的绝对误差虽大，但相对误差较小，所以第一次测量比第二次

测量的结果准确。

(二)理论误差或方法误差：这是指实验本身所依据的理论和公式的近似性，或者对实验条件及测量方法考虑得不周到带来的系统误差。例如，未考虑仪表内阻对被接入电路的影响而造成的系统误差，就是属于这一类。

(三)测量者个人因素带来的误差：例如测量者反应速度的快慢、分辨能力的高低，个人的固有习惯等，致使读数总是偏大或偏小。

## 二、偶然误差

偶然误差是由于某种偶然因素所造成的，其特点是在相同的测量条件下，有时偏大，有时偏小，无规律性。例如温度、外界电磁场、电源频率的偶然变化，即使采用同一仪表去多次测量同一个量，也会得到不同的结果。

## 三、疏忽误差

疏忽误差是指测量结果出现明显的错误。是由于实验者的疏忽造成读错或记错等。

实验中的测量误差虽然是不可避免的，但可以采取某些措施来减少或消除它们，这些措施如下：

(一)从仪表和仪器设备本身考虑

1. 对仪表要经常进行校正。

采用标准表或准确度高于被校正表的仪表进行校正。也可对被校正表的读数引入校正。此外，仪表在使用前要作零点调整，例如大部分仪表在未通电时指针应指在零点，当偏离零点时，可用机械调零装置进行调整。又如用欧姆表测量电阻时，必须先用零欧姆调节旋钮调零后再进行测量。

2. 避免用大量限仪表测量小的被测量。

因为仪表在某一个量限时的最大绝对误差  $\Delta m$  通常是一定的，当被测量的值小时，测量中可能的最大相对误差  $(r = \frac{\Delta m}{A_x} \times 100\%)$  将大大增加。

3. 考虑仪表接入线路，仪表内阻对测量值的影响。例如在负载电阻较小的线路中测量电流时，电流表的内阻  $R_A$  不能太大；（通常要求  $R_A \leq \frac{1}{100} R$ ， $R$  为负载电阻），当用电压表测量大的串联电阻上某一段电压时，电压表的内阻  $R$  不能太小，（通常要求  $R \geq 100R$ ， $R$  为被测电压的电阻），否则引起测量值与电路中的实际值有较大的偏差。

4. 仪表和仪器的安置方法要正确。

水平安置的仪表不能垂直安置，否则仪表的读数误差将增大。安置仪表和仪器的环境应不受外界电磁场的干扰。

5. 要注意仪器设备的额定值。例如电阻箱内电阻元件的额定功率一般为  $0.25W$ ，如果电阻箱由于过载发热，则标准电阻的值会改变，影响旋钮指示的准确性。又如低频信号发生器的输出阻抗和额定功率是一定的，当所接负载阻抗过低，输出功率过大时，输出信号的波

形会严重失真。波形的失真、频率的改变，又会使正常使用在50Hz正弦波形的仪表增大误差。

### (二)从测量线路和测量方法考虑

1. 选择合理的测量线路，例如用伏安法测量电阻，若根据被测电阻和仪表内阻的大小选择合理的测量线路，将使测量误差大为减少，详见本书第二章电阻测量一节。

2. 采用特殊的测量方法，例如用代替法，即用一标准量代替被测量，使仪表的读数仍保持不变，则被测量的值就等于该标准量。这样的测量结果与仪表的误差及外界条件的干扰无关。又例如指针式仪表由于偏转轴的摩擦，指针上升和指针下降时的测量结果不同，具有正、负误差的特点，若取测量结果的平均值，即可消去误差。

此外，对于偶然误差的消除，可以通过多次重复测量，求得测量结果的平均值，获得比较准确的结果。由于疏忽误差较明显，可将此测量结果舍弃。

## 思 考 题

1. 用电压表测量真实值为220V的电压，其测量相对误差为-5%，试求测量的绝对误差和测得的电压值。
2. 当用某一仪表进行测量时，在每一刻度上被测量的绝对误差为恒定值，问其可能的原因有哪些？
3. 在 $10\Omega$ 的电阻上施加2V恒定电压，分别用内阻为 $0.01\Omega$ 和 $0.5\Omega$ 二只毫安表去测量电路中的电流，测得的实际电流各为多少？你认为用哪个毫安表测得的电流更接近于原来电路中的电流？

## § 1-3 有效数字

在测量中，常常需要从仪表指针的指示位置估计读出最后一位数字，这个估计数字称为欠准数字。超过一位的欠准数字是没有意义的，不必记入。例如图1-1(a)，指针指示刻度读为3.5A，小数点后的一位“5”就是估计的欠准数字。图1-1(b)中，指针指示刻度读为3.0A，小数点后一位“0”就是估计的欠准数字。仪表指针指示刻度的读数和最后一位估计数字，称为实验数据的有效数字。在实验记录中的有效数字作如下规定：

(1) 有效数字的位数与小数点无关，例如12.34与1234都是四位有效数字。

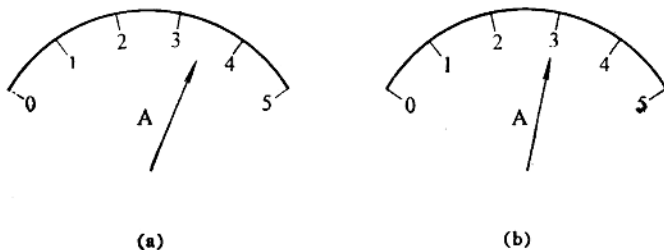


图1-1 欠准数字的读取方法

(2) “0”在数字之间或数字之末，算作有效数字，在数字之前，不算作有效数字。例如 1.04, 80.5, 400 都是三位有效数字，而 0.024, 0.24 都是两位有效数字。注意 5.40 与 5.4 的有效数字位数是不相同的，前者是三位有效数字，其中“4”是准确数字，“0”是欠准数字；而后者是两位有效数字，“4”是欠准数字。所以 5.40 的“0”不能省略，是具有特定含意的。

(3) 遇到大数字或小数字时，有效数字的记法如下： $4.60 \times 10^3$  和  $4.6 \times 10^{-3}$ ，分别表示三位和二位有效数字。电压表的读数为 6.25kV，是三位有效数字，可以写成  $6.25 \times 10^3$ V，但不能写成 6250V，后者变成四位有效数字了。 $3.2 \times 10^3$  和  $3.20 \times 10^3$  分别为二位和三位有效数字，不能认为是相同的准确度。小数字 0.00032，可以写成  $3.2 \times 10^{-4}$  有两位有效数字。

对有效数字进行运算时，运算结果的有效数字，记法规则如下：

(1) 只保留一位欠准数字。

(2) 去掉第二位欠准数字时，近似地可用四舍五入法。

(3) 当几个数相加或相减时，其得数在小数点后的位数，应取与运算数中小数点后位数最少的一个位数相同。例如  $10.5 + 6.22 = 16.7$ 。当几个数相乘或相除时，其得数的位数，应取与运算数中位数最少的一个位数相同，有时也可根据需要多保留一位。例如  $1.243 \times 4.2 = 5.2$ ，又如  $3.2 \times 6.22 = 19.9$ 。保留更多的位数，反而会使人错误地认为实验结果的准确度很高，因此是不必要的。

## 思考题

1. 在电流测量中，用电流表测得两个电流值分别为 12.5mA 和 6.08mA，求这两个电流之差。
2. 在电阻测量中，电压表读数为 5.12V，电流表读数为 3.0mA，求被测电阻的值。

## § 1-4 电工仪表的基本知识

### 一、仪表的准确度等级

仪表的最大绝对误差  $\Delta_m$  与仪表量程  $A_m$  比值的百分数(有时称为最大引用误差)，表示仪表的准确度。设仪表的准确度等级为 K，则

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

根据国家标准 GB776-76《电气测量指示仪表通用技术条件》规定，仪表的准确度等级有七个，即 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 和 5.0 级，仪表在正常工作条件下应用时，各等级仪表的基本误差不超过下面表 1-1 所规定的值。

从表 1-1 可知，0.1 级的仪表，基本误差最小，准确度最高。从式(1-4)可得，仪表的最大绝对误差为

表1-1 仪表的准确度等级和基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差%	±0.1%	±0.2%	±0.5%	±1.0%	±1.5%	±2.5%	±5.0%

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%)$$

**例 1-3** 准确度为 1.5 级, 量程为 250V 的电压表, 在测量中其可能的最大绝对误差为多少?

**解:**  $\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) = 250 \times (\pm 1.5\%) = \pm 3.75V$

当用此仪表测量 220V 的电压时, 其可能的最大相对误差为

$$r_{m1} = \frac{\Delta_m}{220} \times 100\% = \frac{\pm 3.75}{220} \times 100\% = \pm 1.705\%$$

当用此仪表测量 50V 的电压时, 其可能的最大相对误差为

$$r_{m2} = \frac{\Delta_m}{50} \times 100\% = \frac{\pm 3.75}{50} \times 100\% = \pm 7.5\%$$

可见用 250V 量程的电压表测量 50V 电压时, 比测量 220V 电压时的相对误差为大, 这就证实了用大量程仪表去测量很小的被测量, 测量准确度不高(注意测量准确度是以测量结果的相对误差表示, 与仪表准确度不同), 在同一量程中指针偏转越大, 相对误差越小, 测量准确度越高, 所以选择仪表量程时, 一般应使指针偏转在仪表量程的 2/3 以上为佳。

## 二、仪表的主要技术要求

为了保证测量结果的准确和可靠, 对电工测量仪表的要求如下:

### (一) 要有足够的准确度

对于某一准确度等级的仪表, 在其整个量程内, 基本误差不应超过表 1-1 所列各值。在非正常工作条件下, 仪表的附加误差应符合国家标准所规定的值。由于仪表指针上升与下降所引起的读数差值(称变差), 也不应超过基本误差的绝对值。

### (二) 要有合适的灵敏度

仪表可动部分偏转角的变化量  $\Delta\alpha$  与被测量的变化量  $\Delta x$  之比称为灵敏度, 用  $s$  表示

$$s = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

对于均匀刻度的仪表, 灵敏度为常数

$$s = \frac{\alpha}{x}$$

灵敏度越高, 说明仪表反映的最小被测量越小, 但它的指示值却不易稳定。

### (三) 要便于读数

仪表的标尺刻度力求均匀, 不均匀标尺应标明工作范围, 有些仪表的标尺上附有镜面, 读数时应使指针的影象与指针重合, 可以减少读数视差。

### (四) 要有良好的阻尼

仪表从接入被测量开始, 到指针左右摆动幅度不超过标尺全长  $\pm 1\%$  的时间, 叫阻尼时间。一般要求不大于 4 秒。

此外, 要求仪表有较高的过负载能力, 有较好的绝缘强度, 有较小的功率损耗等。

### 三、电工仪表的分类、标记和型号

#### (一) 电工仪表的分类

电工仪表的分类如下:

(1) 根据仪表的工作原理分有:磁电系,电磁系,电动系,感应系,整流系等。

(2) 根据仪表测量对象的名称(或单位)分有:

电流表(安培表,毫安表,微安表),电压表(伏特表、毫伏表),功率表(瓦特表),高阻表(兆欧表),欧姆表,电度表(千瓦·小时表)及万用表等。

(3) 根据仪表使用的方式分有:

开关板式和便携式。前者安装于开关板上或仪器的外壳上,准确度较低;后者便于携带,常在实验室使用,准确度较前者为高。

(4) 根据被测电流的种类分有:直流,交流和交直流两用仪表。

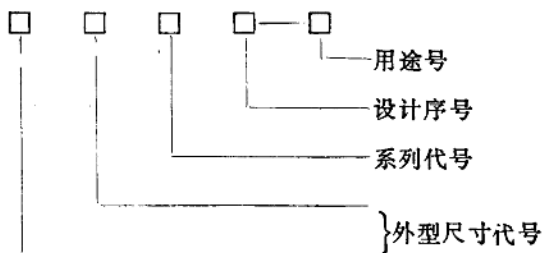
(5) 根据仪表取得读数的方法分有:指针式、数字式和记录式仪表等。

#### (二) 电工仪表的标记

电工仪表表盘上的各种标记,说明仪表的种类,准确度等级和使用方法等。常见电工仪表的表盘标记见表1-2,在表中说明了各种标记符号的意义。

#### (三) 电工仪表的型号

##### (1) 开关板式指示仪表



用途号 A——测电流

V——测电压

系列代号 C——磁电系

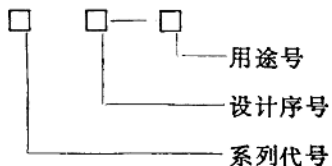
D——电动系

T——电磁系

G——感应系

例如: 42C3-A, 表示磁电系电流表。

##### (2) 便携式指示仪表



用途号和系列代号的意义上同开关板式仪表。

例如: T19-V, 表示电磁系电压表。电工仪表的型号也示于仪表的表盘上。



表 1-2 电工仪表的标记

种类	符号	符号意义	种类	符号	符号意义
电 流 种 类	—	直 流	准 确 度		1.0级准确度
	~	交 流(单相)	安 置		水 平
		交直流两用	方 式		垂 直
	3~f	三相交流	绝 缘 试 验		试验电流2kV
仪 表 用 途		安 培 表	防 御 电 磁 场 能 力		同 上
		毫 安 表			允许读数改变±0.5%
		微 安 表			允许读数改变±1.0%
		伏 特 表			允许读数改变±2.5%
		毫 伏 表		允许读数改变±5.0%	
		瓦 特 表	使 用 环 境		温度0—+40℃ +25℃时相对湿度95%
		功率因数表			温度-20℃—+50℃ +25℃时相对湿度95%
		频 率 表			温度-40℃—+60℃ +60℃时相对湿度95%
		磁 通 表			
		电 度 表			
仪 表 工 作 原 理		磁 电 系	端 钮 符 号		负 端 钮
		电 磁 系			正 端 钮
		电 动 系			公共端钮
		磁电系比率计		接地端钮	
		感 应 系	调 零 器		调整零位
		带整流器的磁电系			调整零位