

电工电路实验教程

曹雪萍 主编 华永平 主审

DIANGONG DIANLU SHIYAN JIAOCHENG

全国电子信息类
职业教育实训系列教材

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是编者在总结 20 多年的教学与实践经验的基础上所编写的特色性实验教材,内容主要包括:电工测量与直流电路、正弦交流电路、电动机和变压器、交流电路的时域与频域分析、电路实验室的主要仪器和设备及数字万用表的原理、组装与调试。

在编写过程中,注意合理搭配教材内容,结合《电路基础》《电工学》等教材,完成相应的配套实验。同时增加了自行设计实验的分量和综合性实验内容,从而加强了对学生实验故障的诊断能力、理论与实践相结合的能力及探索创新能力的培养。

本书可作为高职高专及本科院校的电工、电子、通信、自控和机电类专业的实验教材,同时也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电路实验教程/曹雪萍主编. —南京:东南大学出版社,2005.10

ISBN 7-5641-0168-7

I. 电... II. 曹... III. ① 电工学—实验—高等学校—教材 ② 电路—实验—高等学校—教材
IV. TN1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 110967 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 常州市武进第三印刷有限公司印刷
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.25 字数:356 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—4 000 册 定价:21.00 元

(凡有印装质量问题,可直接向读者服务部调换。电话:025—83792328)

出版说明

全国电子信息类职业教育教学改革与教材建设第二次研讨会于2004年4月17日在山西省电子工业学校召开,历时4天。

本次会议总结了2003年教材建设的经验,并提出了第二批教材建设的四项原则:一是求实的原则:编写的教材必须结合职业教育的特点,高质量、高标准;二是协作的原则:编委会打造了一个平台,各校通过参与教材建设,能够提高本校的教学质量,培养一批优秀的教师;三是民主的原则:编委会是一个民间组织,坚持民主的原则,通过协商共同开展教材建设;四是联系的原则:编委会每年至少召开一次会议,组织学校开展教学交流和教材建设。为了更好地开展教材建设,编委会建议将原来的“全国电子信息类职业教育实训教材编委会”更名为“全国职业教育电子信息类教材编委会”。

与会代表认真地总结了首批教材建设的经验,提出了教材编写的要求:坚决贯彻职业教育的要求,即基础适度够用、加强实践环节、突出职能教育,把握职业教育电子信息类专业课程建设的特点;立足当前学生现状,面向用人单位(市场),打破条条框框,少一些理论,多一些技能教育;采取逆向思维的方式编写,即从市场需要什么技能来决定学生需要什么知识结构,并由此决定编写什么教材。

参加教材编写的单位有:

山东信息职业技术学院

福建省电子工业学校

扬州电子信息学校

河南信息工程学校

大连电子工业学校

黑龙江信息技术职业学院

本溪财贸学校

湖北三峡职业技术学院

四川省电子工业学校

本溪电子工业学校

内蒙古电子信息职业技术学院

南京信息职业技术学院

长沙市电子工业学校

山西综合职业技术学院

北京信息职业技术学院

锦州铁路运输学校

山西省邮电学校

新疆机械电子职业技术学院

山西工程职业技术学院

哈尔滨机电工程学校

上海机电工业学校

贵州省电子工业学校

全国职业教育电子信息类教材编委会

2005年8月

前 言

知识有两种,一种是理论知识,另一种是实践知识。

理论知识是重要的,它能指导实践,为社会创造巨大财富。然而理论一旦离开了实践,那将是空洞的理论,没有丝毫实际价值,只有经过实践才能丰富理论知识,才能发展理论知识,因而理论与实践是相辅相成的,缺一不可。

随着科学技术的进步和高等职业技术教育的发展,实验教学已不仅仅是作为验证知识和探索未来的一种手段,而且也是培养学生多种能力和创新意识的重要手段。

为了更好地增强高等职业技术学院学生的科学实验能力和解决生产实际问题的能力,我们在原教材的基础上进行了修改和调整,着重加强实验教学体系的科学性、严密性,注重理论和实践并重。

在编写《电工电路实验教程》时,注意合理搭配教材内容,结合《电路基础》《电工学》等教材,完成相应的配套实验。同时增加了自行设计实验的分量和综合性实验内容,从而加强了学生对实验故障的诊断能力、理论与实践相结合的能力及探索创新能力的培养。

南京信息职业技术学院的马永兵老师参加编写了“受控源特性的研究”和“RC 一阶电路的频域分析”实验。

在本书的编写过程中,南京信息职业技术学院的张庭俊、郑自虎、刘家春、金易勤、施泽波等有关同事和领导给予了大力的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

追求科学性、先进性、实用性、启发性是教材建设的永恒主题,我们虽然努力去做,但由于学术水平和教学经验有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2005 年 8 月于南京

目 录

1 电工测量与直流电路	(1)
1.1 实验室安全用电与电工测量的基本知识	(1)
1.2 分压器电路实验	(13)
1.3 万用表的使用	(18)
1.4 直流电阻的测量	(25)
1.5 基尔霍夫定律和叠加定理的验证	(29)
1.6 直流电阻电路故障的检查	(33)
1.7 有源二端网络的研究	(36)
1.8 直流电路综合实验	(41)
1.9 受控源特性的研究	(44)
2 正弦交流电路	(47)
2.1 交流毫伏表及低频信号发生器的使用	(47)
2.2 双踪示波器的使用及正弦信号幅值、周期的测量	(50)
2.3 电感元件和电容元件频率特性的测定	(53)
2.4 正弦稳态下 RL、RC 串联电路的研究	(56)
2.5 日光灯电路及功率因数的提高	(59)
2.6 电容器串联日光灯电路应用	(62)
2.7 三相交流电路	(64)
2.8 交流电路综合实验	(68)
3 电动机和变压器	(70)
3.1 异步电动机实验	(70)
3.2 单相变压器实验	(74)
4 交流电路的时域与频域分析	(78)
4.1 RC 电路的充放电过程	(78)
4.2 RC 一阶电路的频域分析	(85)
4.3 串联谐振电路	(89)
4.4 并联谐振电路	(93)
5 电路实验室的主要仪器和设备	(98)
5.1 电路实验箱	(98)
5.2 电流插座和电流插头	(98)
5.3 可变电阻器	(99)
5.4 磁电式电压表	(100)
5.5 电磁式电流表	(103)
5.6 电动式功率表	(105)

5.7	欧姆表	(110)
5.8	兆欧表	(111)
5.9	模拟万用表	(113)
5.10	数字万用表	(118)
5.11	双路多功能直流稳压电源	(133)
5.12	三路直流稳压稳流电源	(136)
5.13	直流单臂电桥	(140)
5.14	交流毫伏表	(142)
5.15	交流数字毫伏表	(145)
5.16	低频信号发生器	(148)
5.17	函数发生器	(151)
5.18	双踪示波器	(155)
6	数字万用表的原理、组装与调试	(176)
6.1	数字电压表的原理	(176)
6.2	VC61 数字万用表组装	(194)
	参考文献	(218)

1 电工测量与直流电路

1.1 实验室安全用电与电工测量的基本知识

1.1.1 实验室安全用电

由于不慎触及带电体,产生触电事故,能使人体受到各种不同的伤害。电击是指电流通过人体,使内部器官组织受到损伤。如果受害者不能迅速摆脱带电体,则很有可能会造成死亡事故。电伤是指在电弧作用下或熔断丝熔断时,对人体外部的伤害,如烧伤、金属烫伤等。如果通过人体的电流在 0.05 A 以上时,就有生命危险。一般情况下,接触 36 V 以下的电压时,通过人体的电流不会超过 0.05 A ,故把 36 V 的电压称为安全电压。如果在潮湿的场所,安全电压还要规定得低一些,通常是 24 V 或 12 V 。

在实验过程中,为了杜绝人身事故的发生以及防止仪表和仪器设备的损坏,实验者必须严格按照下列安全操作规则进行实验:

(1) 熟悉实验室的总控制电源位置,以及实验室各组配电线路开关。确保实验用电的单相电源与三相电源有良好的保护接地和保护接零。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。

(2) 必须了解仪表和仪器设备的型号、规格,特别要注意它们的具体量程,并熟悉其接线和使用方法。

(3) 实验时,仪表和仪器设备务必安放整齐,接线清晰。线路经指导老师检查合格后,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,若发现有异味或异声等,要立即断开电源进行检查。实验者不得在线路接通电源的情况下离开实验桌。

(4) 实验进行要规范化,按步骤做实验,不准盲目操作;在调节电压、电流或其他电路参数时,要密切注意仪表的偏转情况及电路各部分动向。

(5) 严禁带电改接线路或带电更换仪表量程。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 36 V 的电压时,就有可能引起触电事故。在潮湿的环境中,安全电压更低。一旦发生设备故障或人身事故,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。

(6) 实验完毕后,在拆除线路前,必须先断开电源。若线路中存在电容器,断开电源后,还必须用导线直接将电容器两极短路放电,再拆除线路。

(7) 与本次实验无关的仪表、仪器设备和开关等,实验者不得使用。

1.1.2 实验技术

1) 测量误差的产生及误差分析

在实际测量中,由于测量仪器、工具的不准确,测量方法的不完善以及各种因素的影响,实验中测得的值和它的真实值并不完全相同,这种矛盾在数值上的表现即为误差。随着科学水平的提高和人们的经验、技巧和专业知识的丰富,误差可以被控制得越来越小,但是不能使误差降为0。

(1) 误差的定义

① 绝对误差

绝对误差是一个被测量的测定值与真实值之差。

$$\Delta x = x_c - x_z$$

式中: Δx ——测量的绝对误差;

x_z ——真实值;

x_c ——测量值。

一般来说,除理论真实值和计量学约定真实值外,真实值是未知的,因此绝对误差也是未知的,在实际测量中,常用高一精度的标准器与低一级精度的标准器或普通仪器的误差相比。若比值为1/20~1/3时,则可以认为前者是后者的相对真实值,在计算绝对误差时,就用相对真实值代替真实值。

② 相对误差

由于绝对误差不能确切地反映出测量的准确程度,从而引出了相对误差。

相对误差定义为:绝对误差与被测量的真实值的比值,即

$$r = \frac{\Delta x}{x_z} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x_c} \times 100\%$$

相对误差通常用于衡量测量仪器、测量量具的准确度。相对误差越小,准确度越高。

③ 引用误差

引用误差是一种简化的实用方便的相对误差的表现形式,常在多挡和连续刻度的仪器和仪表中应用。这类仪表的可测范围不是一个点,而是一个量程。

引用误差定义为:绝对误差与测量仪器量程(满刻度值)的百分比称为引用误差,即

$$r_e = \frac{\Delta x}{x_N} \times 100\%$$

式中: r_e ——引用误差;

x_N ——测量仪表的量程。

(2) 测量误差的分类及减小误差的方法

① 误差的分类

误差的分类不是绝对的,按其性质可分为系统误差、偶然误差、过失误差。

系统误差:一般指方式方法计算有近似值,测量工具、仪器、环境所产生的误差。

偶然误差：一般指电源波动、磁场的微变、热起伏、空气气压及温度的变化、测量人员感觉器官的生理变化等一些互不相关的独立因素对测定值的综合影响所产生的误差。

过失误差：一般是指测量者过失造成的误差。

② 消除与减少误差的方法

a. 消除与减小系统误差的方法

系统误差直接影响测量的准确性，为了减小和消除系统误差，通常采用如下方法。

- 校正法。对仪器定期进行检定，并确定校正值的大小，检查各种外界因素，如温度、湿度、电场、磁场、气压等对仪器指示的影响，并作出各种校正公式、校正曲线或图表，用它们对测量结果进行校正，以提高测量结果的准确度。

- 替代法。替代法被广泛应用在测量元件参数上，如用电桥法或谐振法测量电容器的电容量和线圈的电感量。采用这种方法的优点是可以消除对地电容、导线的分布电容、分布电感和电感线圈中固有电容等影响。

- 正负误差相消法。这种方法可以消除外磁场对仪表的影响。进行正反两次位置变换的测量，然后将测量结果取平均值，该方法也可以用于消除某些直流仪器接头的热电动势的影响，其方法是改变原来的电流方向，然后取正反两次数据的平均值。

- 注意仪表量程的选择。在仪表准确度已确定的情况下，量程大就意味着仪表偏转很小，从而增大了相对误差。因此，合理地选择量程，并尽可能使仪表读数接近满偏位置。

- 减少人身误差的有效方法是改进读数装置。另外，也可采用不同的测量者对同一被测量对象进行测量，可减少测量者个人习惯和生理因素造成的人身误差。

- 多次测量取其算术平均值。

b. 减小偶然误差的方法

- 采用算术平均值计算。因为偶然误差数值时大时小，时正时负，采用多次测量求算术平均值就可以有效地增多误差相互抵消的机会。若把测量次数 n 增加到足够多，则算术平均值就近似等于欲求结果。即

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

式中： $\bar{x}$ ——测量结果的算术平均值；

n ——测量次数；

x_i ——第 i 次的测量值。

c. 减小过失误差的方法

过失误差是应该避免的。为了减小或排除过失误差，除了测量者认真仔细以外，还应注意做好以下工作：

- 在正式测量之前可以做试探性测量，即进行粗测，以便正式测量时核对。
- 反复对被测量进行测量，从而避免单次失误。
- 改变测量方法或测量仪表后测量同一量值。

2) 实验数据处理

实验中要对所测量的量值进行记录，得到实验数据，这些实验数据需要进行很好的整理、分析和计算，并从中得到实验的最后结果，找出实验的规律，这个过程称为数据处理。

(1) 测量中有效数字的处理

在测量数据的记录和计算中,该用几位数字来表示测量或计算结果是有一定规则的,这就涉及有效数字的表示及其运算规则。

① 有效数字的概念

在测量中我们必须正确地读取数据,即除末位数字欠准确外,其余各位数字都是准确可靠的(末位数字是估计出来的,因而不准确)。例如,用一只 30 V 的电压表(刻度每小格代表 1 V)测量电压时,指针指在 26 V 和 27 V 之间,可读数为 26.6 V,其中数字“26”是可靠的,称为可靠数字。而最后一位“6”是估计出来的不可靠数字,称为欠准数字,两者结合起来称为有效数字。对于“26.6 V”这个数,有效数字是三位。

有效数字位数越多,测量准确度越高。如果测量数字能够读成“26.60”,就不应该记为“26.6”,否则降低了测量准确度。反过来,如果只能读作“26.6”就不应记为“26.60”,后者从表面看好像提高了测量准确度,但实际上小数点后面第一位就是估计出来的欠准确数字,因此第二位就没有意义了。在读取和处理数据时有效数字的位数要合理选择,使所取得的有效数字的位数与实际测量的准确度一致。

② 有效数字的正确表示

a. 记录测量数值时,只允许保留一位欠准数字。

b. 数字“0”可能是有效数字,也可能不是有效数字。例如 0.057 8 kV 前面的两个“0”不是有效数字,它的有效数字是后三位,0.057 8 kV 可以写成 57.8 V,它的有效数字仍然是三位,可见前面的两个“0”仅与所用的单位有关。又如“60.0”的有效数字是三位,后面的两个“0”都是有效数字。必须注意末位“0”不能随意增减,它是由测量仪器的准确度来确定的。

c. 大数值与小数值都要用幂的乘积的形式来表示。例如,测得某电阻的阻值为 15 000 Ω ,有效数字为三位时,则应记为 $1.50 \times 10^4 \Omega$ 、 $15.0 \times 10^3 \Omega$ 或 $150 \times 10^2 \Omega$ 。

d. 在计算中,常数(如 π , e 等)以及因子的有效数字位数没有限制,需要几位就取几位。

e. 当有效数字位数确定以后,多余的位数应一律按四舍五入的规则,称之为有效数字的修约。

③ 有效数字的运算规则

a. 加减运算:参加运算的各数所保留的位数,一般应与各数小数点后位数最少的相同,例如 13.6, 0.056, 1.666 相加,小数点后最少位数是一位(13.6),所以应将其余两数修约到小数点后一位数,然后再相加,即

$$13.6 + 0.1 + 1.7 = 15.4$$

为了减少计算误差,也可在修约时多保留一位小数计算之后再修约到规定的位数,即

$$13.6 + 0.06 + 1.67 = 15.33$$

其最后结果为 15.3。

b. 乘除运算:乘除运算时,各因子及计算结果所保留的位数以百分误差最大或有效数字位数最少的项为准,不考虑小数点的位置,例如 0.12、1.057 和 23.41 相乘,有效数字最少是“0.12”,则

$$0.12 \times 1.1 \times 23 = 3.036$$

其最后结果为 3.0。

c. 乘方及开方运算: 运算结果比原数多保留一位有效数字。

例如: $(15.4)^2 = 237.2$

$$\sqrt{2.4} = 1.55$$

d. 对数运算: 取对数前后的有效数字位数应相等。

例如: $\ln 230 = 5.40$

(2) 实验数据的处理方法

实验测量所得到的记录, 经过有效数字修约、有效数字运算等处理后, 有时仍不能看出实验规律或结果, 因此, 必须对这些实验数据进行整理、计算和分析, 才能从中找出实验规律, 得出实验结果, 这个过程称为实验数据处理。实验数据处理的方法很多, 下面介绍几种。

① 列表法

列表法就是将实验中直接测量、间接测量和计算过程中的数值依照一定的形式和顺序列表成表格。列表法的优点是结构紧凑, 简单易行, 便于比较分析, 容易发现问题和找出各电量之间的相互关系和变化规律等。

列表时应注意: 表格的设计要便于记录、计算和检查; 表中所用符号、单位要交代清楚; 表中所列数据的有效数字位数要正确。

② 图示法

在一坐标平面内, 用一条曲线表示出两个电量之间的关系, 称为图示法。图示法的优点是, 当两个电量之间的关系不能用一解析函数表示时, 却能容易地用图示法表示出来, 而且图示法比较形象和直观。图示法的关键是要根据所表示的内容及其函数关系选择合适的坐标和比例, 画出坐标轴及其刻度值, 然后再标点描曲线。坐标轴及其刻度值选择得正确, 可以简化作图和数据处理的过程。

③ 图解法

图解法是在用图示法画出两个电量之间的关系曲线的基础上, 进一步利用解析法求出其他未知量的方法。许多电量之间的关系并非是线性的, 但是可以通过适当的函数变换或坐标变换使其成为线性关系, 即把曲线改成直线, 然后再用图解法求出其中的未知量。

3) 实验步骤及实验故障的排除

掌握实验步骤, 正确排除实验中出现的故障, 是实验教学中的一个主要环节, 对培养和锻炼学生的实际工作能力具有重要意义。

(1) 实验步骤

这里讲的实验步骤并非仅指在实验室进行实验操作的步骤, 它包括实验前的预习和准备工作以及进入实验室的具体操作过程和实验后的总结分析等。

① 实验前

a. 必须熟悉实验室的安全用电守则和操作规程。

b. 认真阅读实验教程, 明确实验目的、内容, 对实验原理要从理论上弄清楚。对实验可能出现的现象及结果等要有一个事先的分析和估计, 做到心中有数。

c. 预先阅读所需用仪器设备的使用说明书及操作注意事项, 熟悉各旋钮、按键、开关的功能和作用, 以便进入实验室后能顺利进行实验操作和测试。

d. 写好实验预习报告, 将实验中要测量的数据图表预先画好, 以便节约实验操作时间。

② 实验过程中

a. 仪器设备要合理布局。其原则是：安全、方便、整齐，防止相互影响。一般情况下直读的仪表、仪器放在操作者左侧，示波器、信号发生器等测量仪器放在右侧，严禁仪表歪斜摆放和随意搬动。

b. 正确连接线路。首先要检查所接线路的元件参数是否符合要求；然后按要求连接线路，严禁带电接线、拆线或改接线路。接好线路后首先要复查，然后请指导老师检查，指导老师同意后方能接通电源进行实验。

c. 安全科学地操作。通电后要眼观全局，先看现象，再读数据。如果发现异常现象，如保险丝烧断，出现冒烟、焦味、异常响声、仪表打表等应立即切断电源，保持现场，请指导老师帮助查出故障，排除故障后方能继续进行实验操作。

d. 科学读取数据。读取数据时，姿势要正确，指针式仪表要做到“眼、针、影一直线”。数据应记录在事先准备好的原始记录数据表格中，要记下所用仪表仪器的倍率，做完实验后要根据实验仪表偏转格数乘以倍率得出读数，同时要根据所选用仪表量程和刻度盘实际情况，合理取舍读数的有效数字，不可增多或删除有效位数。原始数据不得随意修改。

③ 实验后

a. 实验完成后，首先关掉仪器，切断电源，拆掉实验连线，整理好实验台。

b. 整理实验数据，按要求编写实验报告。

(2) 实验故障的排除

① 排除实验故障的一般原则或步骤

a. 出现故障时应立即切断电源，关闭仪器设备，避免故障扩大。

b. 根据故障现象，判断故障性质。实验故障大致可分为两大类：一类是破坏性故障，可使仪器、设备、元件等造成损坏，其现象常常是冒烟、烧焦味、爆炸声、发热等；另一类是非破坏性故障，其现象是无电流、无电压，指示灯不亮，电流、电压波形不正常等。

c. 根据故障性质，确定故障的检查方法。对于破坏性故障，不能采用通电检查的方法，应先切断电源，然后用万用表的欧姆挡检查电路的通断情况，看有无短路、断路或阻值不正常等现象。对于非破坏性故障，也应先切断电源进行检查，认为没有什么问题时再采用通电检查的方法。通电检查主要使用电压表检查电路有关部分的电压是否正常，用示波器观察波形是否正常等。

d. 进行检查时首先应知道正常情况下电路各处的电压、电流、电阻、波形，做到心中有数，然后再用仪表进行检查，逐步缩小产生故障的范围，直到找到故障所在的部位。

② 产生故障的原因

产生故障的原因很多，一般可归纳如下：

a. 电路连接不正确或接触不良，导线或元件引脚短路或断路。

b. 元器件、导线裸露部分相碰造成短路。

c. 测试错误。

d. 元器件参数不合适或引脚错误。

e. 仪器使用、操作不当。

f. 仪器或元器件本身质量差或损坏。

4) 实验报告的编写和要求

实验报告是实验工作的全面总结，要用简明的形式将实验结果完整和真实地表达出

来。因此,实验报告的质量好坏将体现实验者对实验内容的理解能力、动手能力和综合素质水平。

(1) 实验报告的格式

_____实验报告 日期_____

班级_____学生姓名_____学号_____指导老师_____

- ① 实验题目。(根据报告中填写)
- ② 实验目的。
- ③ 实验仪器和设备。(仪器仪表及元器件)
- ④ 实验原理。包括原理说明、电路原理图和实验接线图等。
- ⑤ 实验内容及步骤。可按实验教程步骤写,也可按实际操作步骤写。
- ⑥ 实验数据及处理。根据实验原始记录和实验数据处理要求,画出数据表格,整理实验数据。表中各项数据如是直接测得,要注意有效数字表示;如是计算所得,必须列出所用公式,并以一组数据为例进行计算,其他可直接填入表格。如需绘制曲线图,要按图示法的要求选择合适的坐标和刻度绘图。另外,实验原始数据要附在实验报告后。
- ⑦ 实验结果分析,总结,收获体会,意见和建议。
- ⑧ 完成作业。

(2) 实验报告要求

实验报告的要求: 简明扼要,文句通顺,字迹端正,图表清晰,结论正确,分析合理,讨论力求深入。

实验报告书写用规范的实验报告纸,绘制曲线的坐标纸切忌大小不一。曲线必须注明坐标、量纲、比例。数据计算必须用国际标准单位。

为了便于保存,最好用蓝黑墨水钢笔书写,避免用圆珠笔书写造成油污或数据字迹模糊。

1.1.3 电工仪表的准确度等级

设仪表的准确度等级为 K ,则

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \tag{1-1-1}$$

仪表的最大绝对误差 Δ_m 与仪表的量程 A_m 的比值的百分比(有时称为最大引用误差),表示仪表的准确度。

根据国家标准 GB 776—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表 1-1-1 所规定的值。

表 1-1-1 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%

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

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) \quad (1-1-2)$$

测量值的最大相对误差为:

$$r_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{A_m \times (\pm K\%)}{A_x} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

式中: A_x ——仪表的测量值。

例 1-1 用一只量程为 250 mA、准确度为 0.5 级的电流表,测量 180 mA 的电流,求其可能的最大绝对误差和最大相对误差。

解: 量程为 250 mA,其最大绝对误差为:

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) = 250 \times (\pm 0.5\%) = \pm 1.25(\text{mA})$$

测量 180 mA 电流,其最大相对误差为:

$$r_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 1.25}{180} \times 100\% = \pm 0.694\%$$

1.1.4 电工仪表的正确选择

由于测量中的误差不能完全消除,因此要对测量结果的准确度进行评定。工程上通常采用最大相对误差来表明测量结果的准确度。

问题: K 值高,误差就一定小吗?

直接测量时,仪表在正常工作条件下,根据仪表的准确度等级,可以用式(1-1-3)计算出测量结果的最大相对误差,以此来评定测量结果的准确度。仪表在非正常工作条件下的附加误差,可以按国家标准的规定进行估算。

例 1-2 用准确度为 1.5 级,量程为 250 V 的电压表,分别测量 220 V 和 50 V 的电压,试比较它们在测量中的最大相对误差。

解: 量程为 250 V,最大相对误差为:

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) = 250 \times (\pm 1.5\%) = \pm 3.75(\text{V})$$

当测量 220 V 的电压时,其可能的最大相对误差为:

$$r_{m1} = \frac{\Delta_m}{220} \times 100\% = \frac{\pm 3.75}{220} \times 100\% = \pm 1.71\%$$

当测量 50 V 的电压时,其可能的最大相对误差为:

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

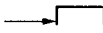
从此例可见,用 250 V 量程的电压表测量 50 V 电压时,比测量 220 V 电压时的相对误差要大。这就说明用大量程仪表去测量很小的被测量,测量准确度不高(注意测量准确度是以测量结果的相对误差表示,与仪表准确度不同,只有当测量值等于仪表的量程时,两者才相等)。在仪表的同一量程中,指针偏转越大,相对误差越小,测量准确度越高。所以在选择仪表量程时,一般应使指针偏转在仪表量程的 2/3 以上为佳。

1.1.5 电工仪表的分类、标记和型号

1) 电工仪表的分类

电工仪表的分类如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 电工仪表的分类

种类	符号	符号意义	种类	符号	符号意义
电流种类	—	直流	安置方式		水平放置
	~	交流(单相)			垂直放置
	~ ~	交直流两用			倾斜 60°放置
	3~	三相交流	绝缘试验		试验电压 2 kV
仪表用途		安培表			试验电压 2 kV
		毫安表	防御电磁场能力		允许读数改变±0.5%
		伏特表			允许读数改变±1.0%
		毫伏表			允许读数改变±2.5%
		瓦特表			允许读数改变±5.0%
		兆欧表	使用环境	不标注(A)	温度 0℃~+40℃ +25℃时相对湿度 95%
		电度表			温度-20℃~+50℃ +25℃时相对湿度 95%
仪表工作原理		磁电系(C)			温度-40℃~+60℃ +60℃时相对湿度 95%
		电磁系(T)	端钮符号	—	负端钮
		电动系(D)		+	正端钮
		磁电系比率计			公共端钮
		感应系(G)			接地端钮
		带整流器的磁电系			与外壳相连接的端钮
准确度等级	1.5	以标尺量程的百分数表示,例如准确度为 1.5 级			与屏蔽相连接的端钮
		以标尺长度的百分数表示,例如准确度为 1.5 级	调零器		调整零位
		以指示值的百分数表示,例如准确度为 1.5 级			

(1) 根据仪表的工作原理,分为磁电系、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),分为电流表(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)、电度表(千瓦·小时表)及万用表等。

(3) 根据仪表使用的方式,分为开关板式和便携式。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,准确度较前者高。

(4) 根据被测电流的种类,分为直流、交流和交直流两用仪表。

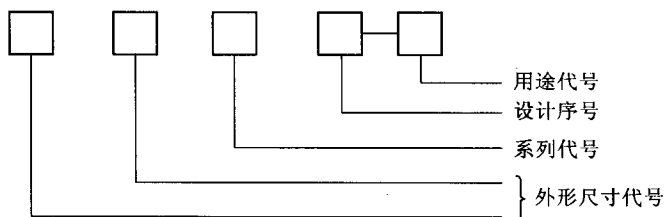
(5) 根据仪表取得读数的方法,分为指针式、数字式和记录式仪表等。

2) 电工仪表的标记

电工仪表盘上的各种标记,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 1-1-2,表中说明了各种标记符号的意义。

3) 电工仪表的型号

(1) 开关板式指示仪表



用途号: A——测电流

W——测功率

V——测电压

系列代号: C——磁电系

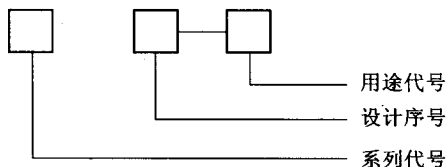
T——电磁系

D——电动系

G——感应系

例如: 42C3—A, 表示磁电系电流表, 42 表示外形尺寸代号, 3 表示设计序号。

(2) 便携式指示仪表



用途代号和系列代号的含义同开关板式仪表。

例如: T19—V, 表示电磁系电压表, 19 表示设计序号。电工仪表的型号也示于仪表的表盘上。

1.1.6 实验内容

(1) 由指导老师介绍实验室电源。

(2) 分别观察交、直流电压表, 交、直流电流表和万用表的表盘标记与型号, 并将它们记录在表 1-1-3 中。

(3) 直流电压表测定直流稳压电源的输出电压。将电压表接上表笔,选定一个量程,调节稳压电源输出的电压值,使电压表指针分别偏转在 1/3 量程以下和 2/3 量程以上,各读取两个不同的电压值,填入表 1-1-4,同时将电压表的准确度等级和选定的量程也记录下来。

(4) 按电路图 1-1-1 接线,测量电流,记入表 1-1-5。

(5) 按电路图 1-1-2 接线,测量电流,记入表 1-1-5。

表 1-1-3

仪表名称	表面标记和型号	标记和型号的意义

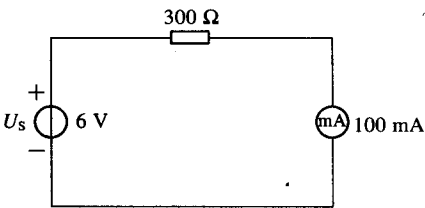


图 1-1-1

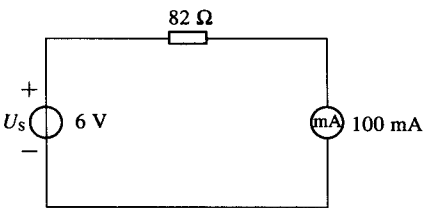


图 1-1-2

表 1-1-4 电压表量程 _____, 电压表准确度等级 _____。

	1/3 量程以下的读数		2/3 量程以上的读数	
测量次数	1	2	1	2
被测电压值				

表 1-1-5 电流表量程 _____, 电流表准确度等级 _____。

	1/3 量程以下的读数		2/3 量程以上的读数	
测量次数	1	2	1	2
被测电流值				