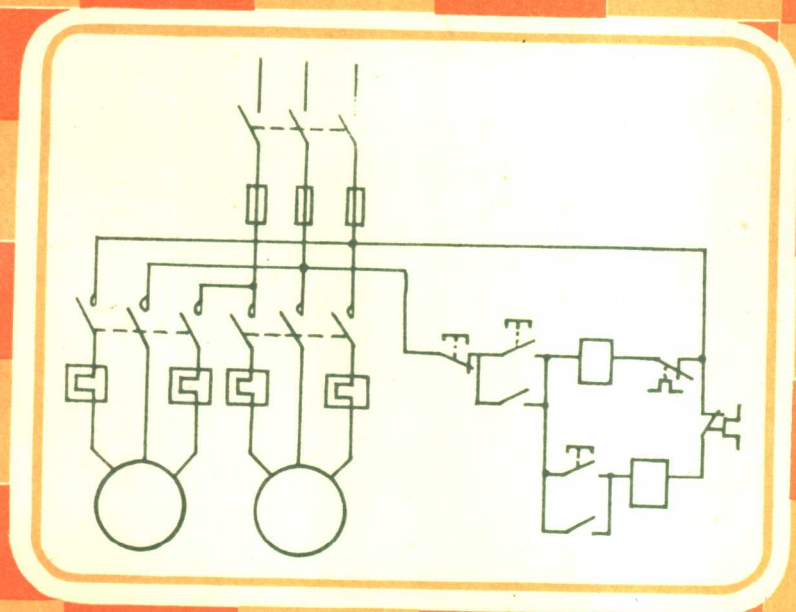


电工与电子技术 实验教程

主编 王紫婷 主审 夏伯英



电工与电子技术实验教程

主编 王紫婷

主审 夏伯英

编委 罗映红 张润敏 逯 迈

西南交通大学出版社

内 容 提 要

本书是参考1985审订的高等学校《电工与电子技术》课程教学基本要求编写的。全书共分二篇：第一篇为实验基本知识与电路测试技术，第二篇为电工与电子技术实验、课程设计与综合型实验，另外附录一与附录二介绍了常用电路元器件及常用集成电路的使用知识。

本书可作为高等工科院校、成人教育等非电类专业的实验教程或实验指导书，也可供有关教师及工程技术人员阅读参考。

电工与电子技术实验教程

王紫婷 主编

西南交通大学出版社出版发行

(成都 二环路北一段 610031)

成都飞机工业公司印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：18.625

字数：453千字 印数：1—4500册

1996年12月第1版 1996年12月第1次印刷

ISBN7-81057-006-4/T·206

定价：19.50元

前 言

电工与电子技术是一门技术性较强的学科,为了适应科学技术发展以及现场工作的需要,要求学生不仅要具有较丰富的理论知识,还应有较强的实际操作能力。

多年来的教学经验告诉我们:本课程既要加强基础知识的学习,又要加强实验技术的训练,实验课应与课堂教学相对独立,相辅相成,互相深化。课堂教学应着重于基础理论和分析方法的系统讲授,而实验课应着重于实验方法和实验技术的训练,通过这些训练,提高学生理论联系实际的能力及思考解决问题的能力。

全书共分二篇。第一篇为实验基本知识与电路测试技术;第二篇为电工与电子技术实验,包括了电路、模拟、数字、电机四部分内容共二十六个实验项目,课题一至四为课程设计与综合型实验,属于加宽、加深和提高型实验。为提高学生基本技能与应用能力,还编写了附录一与附录二,主要介绍了常用电路元器件命名、标称值、主要参数、型号等。

本书在编写上,突出了难易结合,基本型与提高型实验相结合的特点,其内容广泛,便于因材施教。

本书是在兰州铁道学院电工学教研室和基础实验室多年实验教学的基础上,参阅了国内兄弟院校有关指导书编写而成。由王紫婷高级工程师担任主编,夏伯英副教授担任主审。本书第一篇的第一、二、三、五章,第二篇的课题一、二、三、四与附录一、二由王紫婷编写;第一篇的第四章,第二篇的实验一至十二由张润敏编写;第一篇的第六章,第二篇的实验十三至二十一由罗映红编写;第二篇的实验二十二至二十六由逯迈编写。夏伯英副教授负责审稿与定稿,并提出了许多宝贵意见。在编写过程中,温宗应副教授及教研室与实验室的同志给予了多方指导。本书由西南交通大学出版社出版,在此一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1996年3月

目 录

第一篇 实验基本知识与电路测试技术

第一章 实验导论	(1)
第二章 实验要求	(1)
第一节 电工与电子技术实验课的目的	(1)
第二节 实验规程	(2)
第三节 实验考核与实验报告要求	(3)
第三章 测量误差与有效数据的处理	(3)
第一节 测量误差与仪表精度	(3)
第二节 一次直接测量减小误差的方法	(6)
第三节 测量数据有效数字的处理	(7)
第四章 电工仪表与测量	(9)
第一节 电工仪表概论	(9)
第二节 常用电工仪表的工作原理	(15)
第三节 电工测量与仪表	(28)
第五章 电子测量	(49)
第一节 电压的测量	(49)
第二节 频率的测量	(51)
第三节 相位差的测量	(53)
第六章 电子仪器	(56)
第一节 电子示波器	(56)
第二节 正弦波信号发生器	(67)
第三节 交流毫伏表	(69)
第四节 晶体管特性图示仪	(70)
第五节 数字万用表	(79)

第二篇 电工与电子技术实验、课程设计与综合型实验

电工与电子技术实验

实 验 一 实验基本技能训练	(83)
实 验 二 电路元件伏安特性测试	(87)
实 验 三 叠加原理和戴维南定理	(92)

实 验 四	电感、电容的频率特性	(99)
实 验 五	单相照明电路及功率因数的提高	(103)
实 验 六	三相交流电路	(110)
实 验 七	一阶 RC 电路的研究	(116)
实 验 八	单相变压器特性测试	(122)
实 验 九	三相异步电动机认识实验	(128)
实 验 十	异步电动机的正反转控制	(134)
实 验 十一	电动机的联锁控制	(139)
实 验 十二	直流并励电动机	(143)
实 验 十三	常用电子仪器的使用以及二极管与三极管的测试	(147)
实 验 十四	整流、滤波和稳压电路的研究	(156)
实 验 十五	单管电压放大电路的研究	(164)
实 验 十六	无变压器的功率放大器	(174)
实 验 十七	直流差动放大器	(180)
实 验 十八	集成运算放大器的应用	(188)
实 验 十九	单相可控整流电路的研究	(196)
实 验 二十	单级低频放大器的设计、安装和测试 (选做)	(205)
实验二十一	波形发生器的设计——运放的非线性应用 (选做)	(212)
实验二十二	集成逻辑门的使用	(218)
实验二十三	集成触发器及其应用	(222)
实验二十四	全加器及其应用	(229)
实验二十五	计数器与译码器	(234)
实验二十六	555 定时器原理及应用	(238)

课程设计与综合型实验

课题一	万用表的结构、工作原理、简单设计与组装调试	(243)
课题二	晶体管串联稳压电源的设计、组装与调试	(254)
课题三	超外差式收音机的原理、组装与调整	(263)
课题四	数字电路设计	(270)
附录一	常用电路元器件	(274)
附录二	部分半导体集成电路产品国内外型号对照表	(290)
参考文献		(291)

第一篇 实验基本知识与电路测试技术

第一章 实验导论

实践是人类认识和改造自然的重要手段,是检验理论正确与否的唯一标准。实践的重要方式之一是实验。近代科学技术领域内进行的实验称作科学实验,它是在理论指导下进行的有意识的实践活动。实验的意义,不仅在于验证原有的理论或新的假说,而且还在于用理论来解释实验中的现象和对现象的分析中产生新的理论。实验甚至成为划时代新发现的先导。轰动世界的超导新材料,就是在实验中发现的。赫芝通过实验证实了马克斯威尔的电磁波发射理论后,才有了马克尼等创造人类的第一个无线电台的辉煌成就。欧姆定律、原子裂变、电子显微,以及一系列重大成果,无一不是建立在实验基础上的。傅氏级数早在19世纪初就被提出,但直到一百年之后,人们通过电子实验观察到了频谱的存在,才在科技领域得到应用,并极大地推动了电信理论的发展。高频示波技术的突破,使人们从实验中认清了长期难以分析的脉冲信号,从而使脉冲技术迅速成为一门独立的学科。电路集成化本是为了缩小体积,但结果却使我们在实践中意外地发现可以极大地提高电子系统的可靠性。实验条件好,实验水平高,已是许多国家科技水平雄居世界前列的重要标志,而绝大多数杰出的科技工作者,几乎二分之一的工作时间是在实验室中渡过的。

综上所述,没有科学实验就没有近代的自然科学。

第二章 实验要求

第一节 电工与电子技术实验课的目的

电工学是非电专业一门实践性很强的技术基础课,因此,电工与电子技术实验课在课程中占有相当重要的地位。为了培养学生的实验技能和提高学生分析问题与解决问题的能力,电工与电子技术实验课的目的应包括以下六个方面:

- (1) 验证电工学的基本理论,加深理解和巩固课堂教学的理论知识。
- (2) 培养正确进行科学实验的方法,树立尊重实践以及培养严格和严谨的科学作风。

- (3) 学习常用电工仪表、电子仪器、电机和电气设备的使用方法。
- (4) 能独立操作并完成电工实验，具备简单的工程设计能力和综合实验能力，以及提高在实践中分析问题和解决问题的能力。
- (5) 能正确地读取实验数据，测绘波形曲线，分析误差原因和实验结果，回答问题，编写整洁的实验报告。
- (6) 掌握必要的安全用电常识，严格遵守操作规程。

第二节 实验规程

一、实验前的准备工作

认真做好实验前的准备工作，对实验能否顺利进行，并取得预期效果，起着十分重要的作用。因此，每次实验前必须做到：

- (1) 仔细阅读实验教材，复习有关理论知识，明确实验的目的、内容和原理。
- (2) 明确实验线路的连接方法和实验操作步骤，了解需要测试和记录的实验数据，并画好表格，掌握所用仪器设备，电工仪表的规格及其使用方法，并了解实验中应注意的事项等。
- (3) 完成预习与思考中要求学生计算的数据或自行设计的实验电路，并回答思考题。

二、实验中应注意的事项

- (1) 实验开始前，应检查本组的仪器、仪表是否齐全和完好，规格是否合适。如有短缺或损坏，可提出声明要求补发和更换。
- (2) 接线前应将仪器、仪表合理布置，安放整齐，然后选择长短和粗细合适或专用配套的导线，按照线路图接线。接线时，先从电源的一端开始，依次接入电流表和负载等，最后回到电源的另一端，连成一个串联闭合电路。其次再接入并联支路，如电压表及瓦特表的电压线圈等。如果是三相电路，则从电源开始，将三根线一起向后连接。在电子技术实验中，特别要注意仪器之间以及仪器与实验线路之间应共地连接。
- (3) 接好线路后，必须经教师检查，确认无误后，方可接通电源。合闸前需通知全组同学。
- (4) 实验中不能接触带电的裸露导体，注意人身和设备安全。在实验过程中如发现异常声响、怪味或其它危险迹象时，应立即切断电源，报告指导教师检查处理，切勿惊慌失措。
- (5) 必须认真地测量实验数据，确认正确后再记录于表内，并经教师审核同意后，才能拆除线路，以免因数据错误，又要重新接线，浪费时间。
- (6) 注意接线时应遵循先接负载，后合电源；拆线时要先断开电源，后拆负载的原则，以免造成触电事故。严禁用电流表、万用表的电流档和欧姆档测量电压。
- (7) 实验结束后，应检查和清理所用的仪器、仪表和导线，并将其安放整齐。如发现有损坏的要及时报告教师进行处理。

第三节 实验考核与实验报告要求

一、实验课的考核方法

实验考核方法分为平时实验分项考核与期末考试相结合的方法，各占实验课总成绩的50%。分项考核包括实验纪律、预习报告、方案拟定、仪器操作、数据处理和实验报告。除预习报告与实验报告在课外完成外，其余几项均由教师根据学生实验完成情况当场打分。期末考试一般采用口试与操作相结合的方法，学生抽签决定自己的题目，最后以优、良、中、及格和不及格五档记分。实验课不及格的必须补考。

对于学时少的专业，未单独设课的实验考核，可由教师根据具体情况决定，但实验成绩应占期末总成绩的20%左右。

二、对实验报告的要求

实验结束后，每个学生都应独立写出实验报告，按时交给指导教师批阅。实验报告要简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。

实验报告一般应包括以下内容：

1. 实验前写预习报告 预习报告必须写清实验目的，画出原理图（或接线图），选用仪器设备，简要写清实验步骤，列出所要记录的数据表格，曲线与波形的坐标，并回答预习要求中的有关思考题。

2. 实验后编写实验报告 认真填写与整理测试数据，描绘实验测得的曲线和波形，回答问题与纠正错误，总结实验结果，并写出心得体会（遇到问题是如何解决的），还可对本次实验提出改进意见。

第三章 测量误差与有效数据的处理

第一节 测量误差与仪表精度

一、测量误差的基本概念

一个被测量，其本身所具有的真实大小，称为该被测量的真值。被测量的真值是客观存在的，然而在实际测量过程中，由于人们认识的局限性，测量手段不完善，测量工具不准确等因素的影响，真值是得不到的。测量结果与被测量真值的差别叫作测量误差。

二、误差的分类

测量误差根据它们的性质和特征可分为三大类，即系统误差、偶然误差和过失误差。

(一) 系统误差

在规定的测量条件下对同一量进行多次测量时，如果测得的误差数据保持恒定或按某种确定的规律变化，则称这种误差为系统误差。例如：电表零点不准、温度、湿度、仪器安装位置不正确、错误的测量计算公式等等，都造成此种误差。系统误差有一定的规律性，故可通过适当的措施，找出原因，可设法减小或消除。

(二) 偶然误差（或随机误差）

在规定的条件下，对同一量进行多次测量，所得到的每个误差的测量结果各不相同，无规律性，亦无重复性，称为偶然误差或随机误差。偶然误差可能由热骚动或外界干扰等原因引起。但如果测量次数足够多，这种误差的极限值乃会趋于零，所以，将多次测量值取其算术平均值时，则近于真值。

(三) 过失误差（或称粗大误差）

在一定的条件下，测量值显著地偏离真实值时的误差，就属于过失误差。它的发生可能是测试者的粗心，也可能是强大的外界干扰，它较之相同条件下测得的随机误差有明显的差别，其对应的测量数据为坏值，应予剔除。

上述三种误差同时存在的情况，可用图 1—3—1 表示。图中 A_0 表示真值，小黑点表示各次测量值， X_i ， E_x 表示测量值的数学期望。

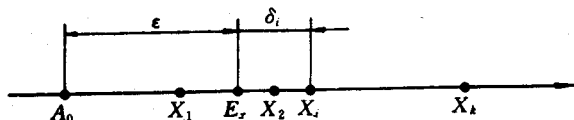


图 1—3—1 三种误差同时存在的情况

由图可知：

(1) X_k 严重偏离真值 A_0 ，使测量值的平均值失去意义，故 X_k 可以称作坏值。因此，首先应将 X_k 剔除，如不及时剔除，则测量结果出现的误差即为粗大误差。

(2) 随机误差： $\delta_i = X_i - E_x$ 。

(3) 系统误差： $\epsilon = E_x - A_0$ ，当 $\epsilon = 0$ 时，期望值 E_x 应等于真值 A_0 ，即 ϵ 愈小，表示测量越准确。

综上所述，对于含有粗大误差的测量值，一经确认后，应当首先予以剔除；对于随机误差采用统计学求平均值的方法来削弱其影响；系统误差难以发现，是测量中影响准确度的最大危险，所以须在测量工作前采取一定的技术措施来减小它的影响。

三、测量误差的表示方法

(一) 绝对误差

1. 定义 由测量所得到的被测量的值 A_x 与其真值 A_0 的差称为绝对误差，可用下式表示

原书缺页

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m}$$

$$K = \pm \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100 \quad (1-3-9)$$

常用电工仪表准确度等级 K 分为 $\pm 0.1, \pm 0.2, \pm 0.5, \pm 1.0, \pm 1.5, \pm 2.5, \pm 3.0$ 和 ± 5.0 八个等级。由于仪表制造业的发展, 又出现了准确度等级为 0.05 级的仪表。凡准确度在两个等级之间时, 属于后一级。例如 γ_m 在 $\pm 0.5\%$ 到 $\pm 1\%$ 之间的仪表为 1.0 级仪表。

例如: 一只量限 $A_m = 300V$ 的电压表, 其最大绝对误差 $\Delta_m = 1.5V$, 则该电压表的最大引用误差为

$$\gamma_m = \frac{1.5}{300} \times 100\% = 0.5\%$$

$$K = \frac{1.5}{300} \times 100 = 0.5$$

因此, 该仪表的准确度为 0.5%, 而准确度等级为 0.5 级。

第二节 一次直接测量减小误差的方法

在工程测量中, 往往会碰到一次直接测量取得测量结果的情况。这时, 如何从测量仪器的准确度等级来确定测量误差和减小测量误差呢?

一、正向刻度仪表

正向刻度仪表是指随着被测量数量增大而指针偏转角度也增大的一类仪表。一般的电压、电流表均属于此类仪表。

式 (1-3-7) 给出了示值相对误差的一般表达式

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$$

当采用仪表测量某一被测量出现最大绝对误差时, 则最大的示值相对误差为

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% \quad (1-3-10)$$

式 (1-3-10) 可作如下变化

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta_m}{A_x} \times \frac{A_m}{A_m} \times 100\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \times \frac{A_m}{A_x} \quad (1-3-11)$$

将式 (1-3-9) 所表示的准确度公式代入 (1-3-11) 得

$$\gamma_{xm} = \pm K\% \times \frac{A_m}{A_x} \quad (1-3-12)$$

式 (1-3-12) 就是根据仪器仪表准确度等级来确定测量误差的基本公式。

不难看出: 当仪表等级 K 确定后, 示值 A_x 离满度值 A_m 愈远, 相对误差就愈大。示值 A_x 愈接近满度值 A_m , 相对误差就愈接近准确度等级规定的相对误差值。当示值 A_x 等于满度值 A_m 时, $\gamma_{xm} = \pm K\%$ 。可见仪器仪表给出的准确度 $\pm K\%$ 是相对误差的最小值。所以, 当使用正向刻度仪表时, 应尽可能使指针偏转位置在靠近满刻度的 $1/3$ 区域内。示值愈接近满度值, 示值的准确度愈高; 否则, 测量误差将大大超过准确度等级规定的误差值。

二、反向刻度仪表

反向刻度仪表是指随着被测量数值增大而指针偏转角度小的一类仪表，例如万用表的欧姆档。

图 1—3—2 是欧姆表测量电阻时的简化电路，当被测电阻 $R_x = \infty$ 时，回路电流 $I = 0$ ，指针不能偏转；当 $R_x = 0$ 时（即 A、B 两端短路）， $I = I_{\max} = E/R_i$ （ R_i 是欧姆表的内部总电阻），指针偏转角度最大。可见被测电阻 R_x 愈大指针偏转角度愈小，所以是反向刻度仪表具有无限测量范围，其指针的偏转角度正比于电流的大小，即

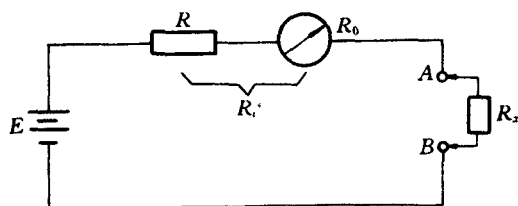


图 1—3—2 欧姆表测电阻原理图

$$a_x = S_I I = S_I \frac{E}{R_i + R_x} \quad (1-3-13)$$

式中 S_I ——仪表的灵敏度。

当被测电阻 $R_x = R_i$ 时

$$a_x = \frac{1}{2} S_I \frac{E}{R_i} = \frac{1}{2} S_I I_{\max} = \frac{1}{2} a_{\max}$$

式中， $a_{\max} = S_I I_{\max}$ 即满度偏转角度，这时指针偏转于刻度线的中心位置，被测电阻 R_x 等于欧姆表在该量程时内部的总电阻，称为中心电阻，在设计或检定欧姆表时均以中心电阻为基准（此部分内容详看第二篇课题一万用表的工作原理部分）。

类似于正向刻度仪表，在使用反向刻度仪表时，应尽可能使表针指在中心位置附近区域而不是满偏转位置。

综上所述，仪表准确度的级别对测量结果的影响很大，但所用仪表的准确度 K 选择合适后，更应注意测量过程中合理地选择仪器仪表的量程。正向刻度仪表，一般应使被测量 $A_x > A_m/2$ ，最好使 $A_x \geq 2A_m/3$ 。反向刻度仪表（如万用表欧姆档）应使被测电阻值尽量接近仪表的中心电阻值。

第三节 测量数据有效数字的处理

在测量中该用几位数字表示测量与计算结果对减小测量过程中的误差及测量精确度非常重要，在实验时要特别引起注意。

一、有效数字的概念

在记录和记算数据时，必须注意数字的正确取舍。不能认为一个数据中小数点后面的位数越多，这个数据就越准确；也不能认为计算测量结果中保留的位数越多，准确度就越高。因为测量所得结果都是近似值，所以测量值通常都用有效数字来表示。

一个数据，从左边第一个非零数字起至右边欠准数字的一位为止，其间的所有数码均为有效数字。欠准数字是测量时估算出来的，通常在指示仪表中指针指在两个刻度之间，是一位不准确数字。例如：用一块 50V 的电压表（每小格为 1V，测量电压时，指针指在 34V 和 35V 之间，可读为 34.5V，其中数字“34”是准确可靠的，称为可靠数字，而最后一位“5”是估计出来的不可靠数字，即欠准数字，两者结合起来称为有效数字。对于“34.5V”这个数字，有效数字是二位。

有效数字位数越多，测量准确度越高。有效数字的位数与小数点无关。“0”在数字之间与末尾时均为有效数字，例如 0.078，0.78 均为两位有效数字，又如 506，220 均为三位有效数字。在测量中，如果仪表指针刚好停留在分度线上，记录读数时应在小数点后的末尾加一位零。如指针停在 1.2A 的分度线上，则应记为 1.20A，因为数据中 2 是准确数字，而不是估计的欠准数字。通常在有效数字中只需估一位欠准数字，更多位的估计数字没有什么意义。

二、有效数字的正确表示

(1) 有效数字中只应保留一位欠准数字，因此在记录测量数据时，只有最后一位有效数字是欠准数字。这样记录的数据，表明被测量可能在最后一位数字上变化 ± 1 单位。

(2) 在欠准数字中，要特别注意 0 的情况。例如：测量某电阻的阻值结果是 13.600k Ω ，表明前面四个位数 1, 3, 6, 0 是准确数，最后一位数 0 是欠准数字。其误差范围为 $\pm 0.001\text{k}\Omega$ 。如改写为 13.6k Ω ，则表明前面两位数字 1 和 3 是准确数值，最后一位 6 是欠准数字，其误差范围为 $\pm 0.1\text{k}\Omega$ 。这两种写法，虽然表示同一数值，但却反映了不同的测量准确度。

(3) 当测量误差已知时，测量结果的有效数字应取得与该误差的位数相一致。例如：某电压测量结果为 4.471V，若测量误差为 $\pm 0.05\text{V}$ ，则该结果应改为 4.47V。

(4) π ， $\sqrt{2}$ 等常数，具有无限位数的有效数字，在运算时可根据需要取适当的位数。

三、有效数字的舍入规则

当需要 n 位有效数字时，对超过 n 位的数字就要根据舍入规则进行处理。古典的“四舍五入”法则在数据处理中已不适用。由于 5 是 1~9 的中间数字，按照随机误差的抵偿性应该有舍有入，所以在测量技术中广泛采用如下的舍入规则：

- (1) 当保留 n 位有效数字，若后面的数字小于第 n 位单位数字的 0.5 就舍掉。
- (2) 当保留 n 位有效数字，若后面的数字大于第 n 位单位数字的 0.5，则第 n 位数字进 1。
- (3) 当保留 n 位有效数字，若后面的数字恰为第 n 位单位数字的 0.5，则第 n 位数字若为偶数时就舍掉后面的数字；若第 n 位数字为奇数，则第 n 位数字加 1。

例 1 将下列数字保留 3 位有效数字：

45.77, 36.251, 43.035, 38050, 47.15

解 将各数字列于箭头左面, 保留的有效数字列于右面:

45.77→45.8 (因 $0.07 > 0.05$, 所以末位进 1)

36.251→36.3 (因 $0.051 > 0.05$, 所以末位进 1)

43.035→43.0 (因 $0.035 < 0.05$, 所以舍掉)

38050→ 380×10^2 (因第四位为 5, 第三位为偶数, 所以舍掉)

47.15→47.2 (因第四位为 5, 第三位为奇数, 因此第三位进 1)

第四章 电工仪表与测量

第一节 电工仪表概论

在电工技术的测试中, 经常要用到电工仪表。电工仪表是利用电工技术测量电气参数(如电压、电流、功率、电阻、相位和功率因数等)的仪表。按测量的方式不同可分为直读式仪表和比较式仪表两种类型。直读式仪表有指针式和数字式两种, 本章主要介绍指针式仪表。指针式仪表又分机电式仪表和电子式仪表两大类。机电式仪表就是通常所说的电工测量仪表(如电压表、电流表和功率表等); 电子式仪表一般是由磁电系仪表和电子线路所构成。电工测量仪表由于具有结构简单、稳定可靠、价格低廉和维修方便等一系列优点, 所以在生产、教学和科研中得到广泛的应用。

一、电测量指示仪表的组成和基本原理

常用电工仪表有电压表、电流表、万用表和功率表等等。尽管它们测量的电量不同, 工作原理也不一样, 但在结构上都由测量机构和测量线路两部分组成, 如图 1—4—1 所示。

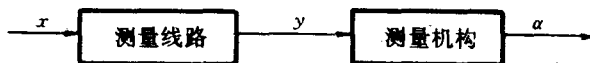


图 1—4—1 电测量指示仪表的组成

(一) 测量电路

测量电路是由电阻、电容和电感等元件组合成的电路。其作用是将被测量 x 转换成仪表的测量机构可以接受的过渡量 y 。如电压表的附加电阻、电流表的分流器电路等都是测量电路。

(二) 测量机构

测量机构是电工测量仪表的核心, 它由固定部分及活动部分组成。其作用是将接收到的

电量 y 变换为仪表可动部分的偏转角 α ，并以此偏转角位移的大小，刻度出与之对应的被测量值。

为使测量机构的活动部分，按接收到的被测量大小，偏转到某一相应稳定位置。电测量指示仪表测量机构工作时都具有转动力矩、反作用力矩和阻尼力矩。电工测量指示仪表种类很多，结构各不相同，但大多数指示仪表的主要组成部件和原理基本相同。

1. 驱动装置 驱动装置产生转动力矩，使活动部分偏转。转动力矩用 M 表示，它可以由电磁力、电动力、电场力或其它力产生，产生转动力矩的方式或原理不同，就构成不同系列的电测量指示仪表。例如：

磁电系仪表是利用可动线圈内电流与固定的永久磁铁磁场之间相互作用的电磁力产生转动力矩。

电磁系仪表是利用动铁心与载流的固定线圈之间，或动铁心与被此载流线圈磁化的静铁心之间的电磁力产生转动力矩。

电动系仪表是利用载流的动圈与载流的固定线圈之间的电动力产生转动力矩。

感应系仪表是由通有交流电流的固定线圈产生的交流磁场与由该磁场在可动铝盘中所感应的涡流之间的作用力产生转动力矩。

静电系仪表是利用可动电极与固定电极之间的静电场作用力产生转动力矩。

不论哪种系列的仪表，其转动力矩 M 的大小都与被测量成一定的比例关系。

2. 控制装置 控制装置产生反作用力矩与转动力矩相平衡，使活动部分偏转到一定位置。

在转动力矩的作用下，仪表活动部分发生偏转。如果没有反作用力矩与之平衡，则不论被测量多大，都要偏转到极限位置。这样一来，只能反映出有无被测量，而不能测出被测量的数值。为了使仪表能测量出被测量的数值，活动部分偏转角的大小应与被测量大小有确定的关系。为此，需要一个方向总是和转动力矩相反、大小随活动部分的偏转角大小变化的力矩，这个力矩称反作用力矩，用 M_r 表示。

反作用力矩通常由游丝（即螺旋弹簧）的弹力产生，如图 1—4—2 所示。测量微小电量的仪表，因转动力矩很小，为使单位被测量所引起的偏转角度大，其反作用力矩用吊丝或张丝的扭力产生，如图 1—4—3 所示。此时，反作用力矩 M_r 与仪表活动部分的偏转角成正比，即

$$M_r = D\alpha \quad (1-4-1)$$

式中 α ——偏转角；

D ——常数，取决于游丝、吊丝或张丝的物理性质。

在转动力矩作用下，活动部分开始偏转，使游丝扭紧，随之反作用力矩增加，当转动力矩和反作用力矩相等时，活动部分将处于力矩平衡状态，偏转角可达一稳定数值。这时

$$M = M_r$$

则
$$\alpha = \frac{M}{D} \quad (1-4-2)$$

可见，由于转动力矩 M 与被测量成一定的比例关系，偏转角 α 就与被测量成一定的比例，所以偏转角的大小可表示被测量的大小。

3. 轴和轴承 轴和轴承用来支持活动部分转动。为减小摩擦，轴尖通常用高碳钢制成。

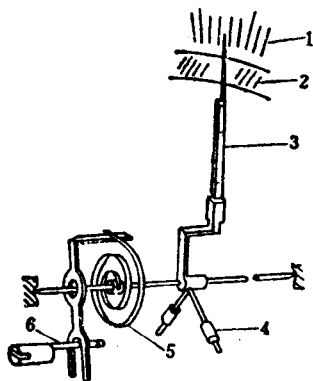


图 1-4-2 仪表指示装置

1—分度；2—镜面；3—指针；4—平衡锤；
5—游丝；6—机械零位调节装置

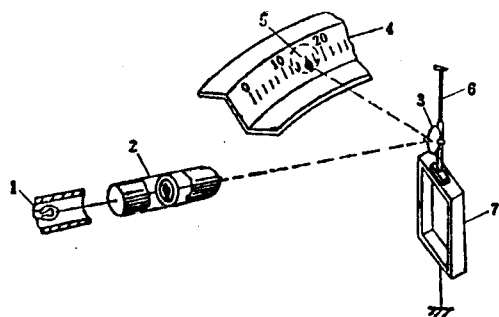


图 1-4-3 光标指示装置

1—灯；2—光学系统；3—小镜；4—半透明标度尺；
5—光标影像指针；6—张丝；7—线圈

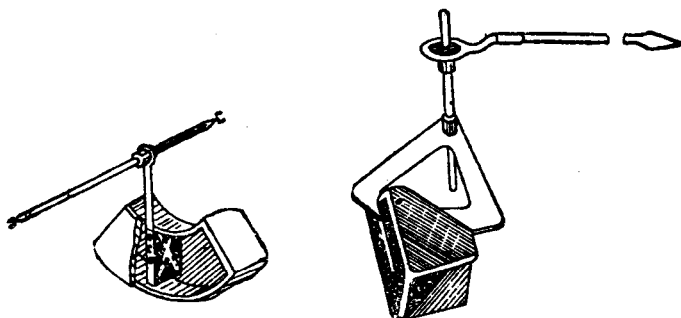
轴承材料有多种，如青铜、玻璃、蓝宝石等。有的电度表为了减少磨损，采用磁推轴承。

4. 阻尼装置 阻尼装置产生阻尼力矩，在可动部分运动过程中，消耗其动能，缩短其摆动时间。

仪表通电后，活动部分就要偏转。由于惯性的作用，偏转到平衡位置不会马上停下来，而是在其最终平衡位置左右来回作减幅摆动，经过较长时间才稳定在平衡位置上。因此，不能尽快地读数。为了缩短摆动时间，通常都装有产生阻尼力矩的装置，用以吸收摆动能量，使活动部分能迅速在平衡位置稳定下来。

阻尼力矩只在活动部分运动时才产生，其方向总是和活动部分的运动方向相反，大小与活动部分的运动速度成正比。当活动部分静止时，阻尼力矩为零。因而，阻尼装置的存在对仪表的指示值没有任何影响。

常用的阻尼器有空气式和电磁感应式两种，如图 1-4-4 所示。空气阻尼器是利用一个与转轴相连的薄片在封闭的扇形阻尼盒内运动，薄片受到空气的阻力而产生阻尼力矩。电磁感应式阻尼器是利用一个与转轴相连的铝片在永久磁铁气隙内运动，铝片中产生涡流，涡流与磁场作用而产生阻尼力矩。



(a) 空气式

(b) 电磁感应式

图 1-4-4 阻尼器