



高等职业教育“十一五”规划教材
高职高专机电类教材系列

邢江勇 / 主 编
蒙树森 / 副主编
洪宗平 / 主 审

电工电子技术

实验与实训



科学出版社
www.sciencep.com

● 高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专机电类教材系列

电工电子技术实验与实训

邢江勇 主 编
蒙树森 副主编
洪宗平 主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据“电工电子技术实验”课程教学基本要求,结合编者多年实践教学的经验编写。全书分两个模块:第一模块为电工电子技术实验准备知识,介绍实验基本要求与常用电工和电子测量仪表原理的使用与测量方法;第二模块为电工电子技术实验与实训,介绍电工、模拟电子技术、数字电子技术的基本实验及设计性实验和技能训练等内容。附录部分编写了常用电路元件简介、半导体分立器件性能简介和管脚判别方法、常用集成电路简介等内容。

本书可作为高等职业院校、专科学校、本科院校的二级职业技术学院、民办高校的机电及工科类各专业电工电子技术课的实验与实训指导书,也可供从事相关技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实验与实训/邢江勇主编. —北京:科学出版社,2007

(高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专机电类教材系列)

ISBN 978-7-03-019642-2

I. 电… II. 邢… III. ①电工技术-高等学校:技术学校-教材
②电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 126248 号

责任编辑:何舒民 任加林 / 责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月 第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 8 月 第一次印刷 印张:13 1/4

印数:1—3 000 字数:297 000

总定价:46.00 元

本册定价:16 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(VT03)

高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专机电类教材系列

编 委 会

主任 李振格

委员 (按拼音排序)

崔州平	杜巧连	高汉华	黄晓红
蒋勇敏	李传军	李正峰	卢恩贵
卢相中	陆全龙	倪兆荣	盛继生
孙庆群	王宏启	王 军	王淑珍
魏增菊	吴东平	吴水萍	谢旭华
邢江勇	徐起贺	徐晓东	续永刚
于小喜	张洪涛	张晓娟	周宗明

前 言

电工电子技术是高职高专机电专业和其他工科专业的重要技术基础课程。电工电子技术实验的主要任务是巩固和加深所学的理论知识,培养学生的实际操作能力和解决实际问题的能力。本书是根据教育部对高职高专电工电子技术实验课程教学基本要求编写的,是与电工电子技术教材配套使用的实验与实训指导书。它结合教学实际,吸收了各校近年来在实验与实训课教学改革的成功经验,解决了过去教材缺配套的实验、实训指导书及实验、实训指导书与教材不配套的问题。为实现高等职业教育的培养目标,各校都加强了实践教学,电工电子技术课程都增加了实验、实训课时,本书为此适当增加了实训内容,强化学生的实训和动手能力训练,突出实践技能的培养,以为培养面向一线的应用型人才打下良好的基础。本书的主要特色之一是把电工电子技术教材中的电工测量内容放到实验课中讲授,边讲边练,加强理论联系实际,体现了改革和创新。

本书分两个模块:第一模块电工电子技术实验准备知识,介绍实验基本要求与常用电工、电子测量仪表原理、使用与测量方法,以方便学生实验前预习与实验时操作和课后学习;第二模块电工电子技术实验与实训包含了电工、模拟电子技术、数字电子技术的基本实验及设计性实验和技能训练等内容。附录部分编写了常用电路元件简介、半导体分立器件性能简介和管脚判别方法、常用集成电路简介等内容。本教材兼顾了机电类各专业和非机电类各专业的基本实验要求,各校可根据不同专业的教学要求选取实验与实训内容。

前言,第1章,第3章的实验须知和实验一、二、三、四,以及第4章实训一、二、六,附录由南京交通职业技术学院邢江勇编写;第2章,第4章实训五、七、八由江苏经贸职业技术学院蒙树森编写;第3章实验十一、第4章实训三、四由沈阳广播电视大学林丽编写;第3章实验九、十、十一由济南铁道职业技术学院陈霞编写;第3章实验五、六、十二由日照职业技术学院成元学编写;第3章实验七、十三、十四、十八由贵州电子信息职业技术学院范泽良编写;第3

章实验十五、十六、十九由淮南职业技术学院李蓉编写;第3章实验十七、二十由南京交通职业技术学院张开驹编写。全书由邢江勇统稿。

受编者学识水平和教学经验的限制,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

目 录

前言

第 1 章 常用电工测量仪表与测量	1
1.1 有效数字与测量误差	1
1.1.1 有效数字	1
1.1.2 仪表误差的表示方法	3
1.2 电工测量仪表的分类与工作原理	4
1.2.1 电工测量仪表的分类	4
1.2.2 电工测量仪表的工作原理	6
1.3 电流表和电压表	10
1.3.1 电流表	10
1.3.2 电压表	12
1.4 万用表	14
1.4.1 磁电式万用表	14
1.4.2 数字式万用表	17
1.5 功率表	20
1.5.1 电动式功率表	20
1.5.2 单相交流和直流功率的测量	21
1.5.3 三相功率的测量	24
1.6 电能表及电能的测量	26
1.6.1 单相交流电能表的结构及接线	26
1.6.2 三相交流电能表的结构及接线	28
1.6.3 电能的测量	29
1.7 兆欧表	30
1.7.1 兆欧表的工作原理	30
1.7.2 绝缘电阻的测量	30
第 2 章 常用电子测量仪器	32
2.1 示波器	32
2.1.1 主要技术指标	32

2.1.2 面板控制键功能	33
2.1.3 基本操作方法	36
2.2 函数信号发生器	37
2.2.1 面板操作键功能	38
2.2.2 基本操作方法	39
2.3 数字交流毫伏表	41
2.3.1 技术指标	41
2.3.2 面板操作键功能	42
2.3.3 基本操作方法	42
第3章 电工电子实验	44
实验须知	44
实验一 基尔霍夫定律的验证	47
实验二 叠加原理的验证	49
实验三 戴维南定理的验证	52
实验四 日光灯电路及功率因数的提高	55
实验五 三相交流电路电压、电流的测量	59
实验六 一阶电路的响应测试	62
实验七 单相铁芯变压器特性的测试	65
实验八 晶体三极管输入、输出特性的研究	68
实验九 晶体管共射极单管放大电路研究	73
实验十 多极阻容耦合放大电路研究	80
实验十一 负反馈放大器	84
实验十二 RC 正弦波振荡器	88
实验十三 集成运算放大器的运用	93
实验十四 直流稳压电源电路	98
实验十五 基本门电路	102
实验十六 触发器	105
实验十七 计数译码和显示电路	108
实验十八 加法器	114
实验十九 555 时基电路及其应用	117
实验二十 D/A 和 A/D 转换器	122
第4章 电工电子实训	129
实训一 电度表的接线、电能的测量	129

实训二	三相电路功率的测量	132
实训三	三相笼型异步电动机的起动与反转	137
实训四	三相异步电动机的正、反转控制	142
实训五	三相鼠笼式异步电动机 Y- Δ 降压起动控制	145
实训六	万用表的安装与校准	150
实训七	S-2000 型直流稳压/充电电源制作	158
实训八	电视伴音发射机与接收机的安装与调试	169
附录一	常用电路元件简介	176
附录二	半导体分立器件性能简介和管脚判别方法	184
附录三	常用集成电路简介	189
参考文献		201

1.1 有效数字与测量误差

1.1.1 有效数字

1. 有效数字的概念

在测量和数字计算中,用几位数字来代表测量或计算结果是很重要的,它涉及有效数字和计算规则问题,不是取得位数越多愈准确。在记录测量数值时,该用几位数字来表示呢?下面通过一个具体例子来说明。如图 1.1 所示一个 $0\sim 50\text{V}$ 的电压表在三种测量情况下指针的指示结果,第一次指针指在 $42\sim 43\text{V}$ 之间,可记作 42.5V 。其中数字“42”是可靠的,称为可靠数字,而最后一位数“5”是估计出来的不可靠数字(欠准数字),两者合称为有效数字。通常只允许保留一位不可靠数字。对于 42.5 这个数字来说,有效数字是三位。第三次指针指在 30V 的地方,应记为 30.0V ,也是三位有效数字。

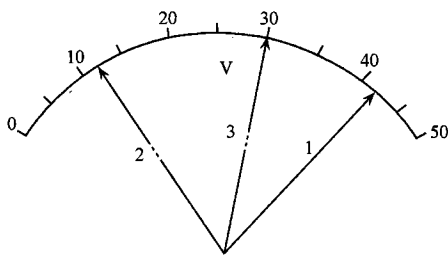


图 1.1 电压表指示情况

数字“0”在数中可能不是有效数字。例如，图 1.1 电压表指示情况 42.5V 还可写成 0.0425kV，这时前面的两个“0”仅与所用单位有关，不是有效数字，该数的有效数字仍为三位。对于读数末位的“0”不能任意增减，它是由测量仪表的准确度来决定的。

2. 有效数字的正确表示

1) 记录测量数值时，只保留 1 位不可靠数字。通常，最后 1 位有效数字可能有 ± 1 个单位或 ± 0.5 个单位的误差。

2) 有效数字的位数应取得与所用仪器的误差（准确度）相一致，并在表示时注意与误差量的单位相配合。大数值和小数值要用幂的乘积形式来表示。

例如，仪器的测量误差为 $\pm 0.01\text{V}$ ，而测量的数据为 3.212V ，其结果应取为 3.21V ，有效数字为三位。

又如，仪器测量误差为 $\pm 2\text{kHz}$ ，而测量数据为 6800kHz ，这里最后一位有效数字与误差单位是配合的，有效数字为四位，也可表示为 6.800MHz 或 $6800 \times 10^3\text{Hz}$ ，但不能表示为 6.8MHz 和 $6\ 800\ 000\text{Hz}$ 。

3) 在所有计算式中，常数（如 π 、 e 等）的有效数字的位数可以没有限制，在计算中需要几位就取几位。

4) 在表示误差时，一般只取一位有效数字，最多取两位有效数字，如 $\pm 1\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 。

3. 有效数字的运算规则

处理数字时，常常要运算一些精度不相等的数值。按照一定运算规则计算，既可以提高计算速度，也不会因数字过少而影响计算结果的精度。常用规则如下：

1) 加减运算时，各数所保留的小数点后的位数，一般取与各数中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，所以应将其余两数修约到小数点后一位，然后相加，即

$$13.6 + 0.1 + 1.7 = 15.4$$

为了减少计算误差，也可以在修约时多保留一位小数，即

$$13.6 + 0.06 + 1.67 = 15.33$$

其结果应为 15.3 。

2) 乘除运算时，各因子及计算结果所保留的位数，一般与小数点位置无关，应以有效数字位数最少的项为准。例如 0.12 、 1.057 和 23.41 相乘，有效数字位数最少的是二位的 0.12 ，则

$$0.12 \times 1.06 \times 23.41 = 2.98$$

1.1.2 仪表误差的表示方法

仪表误差表达形式有绝对误差、相对误差和引用误差三种。

1. 绝对误差

测量值即仪表值 A_x 与被测量真实值（简称真值） A_0 之差称为绝对误差，用 Δ 表示，即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1.1)$$

一般将高精度标准仪表所测量的数据视为真值 A_0 。用绝对误差表示仪表误差的大小比较直观。

2. 相对误差

相对误差是绝对误差 Δ 与真值 A_0 之比的百分数，相对误差用 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

在实际工作中，常用仪表指示值 A_x 近似代替 A_0 ，则

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1.3)$$

【例 1.1】用甲、乙两块电流表分别测量两条支路电流，甲表的测量值为 200mA，绝对误差为 +2mA，乙表的测量值为 20mA，绝对误差为 +1mA。求两块电流表的相对误差。

解 甲电流表的相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% = \frac{2}{200} \times 100\% = +1\%$$

乙电流表的相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% = \frac{1}{20} \times 100\% = +5\%$$

可见，虽然甲表的绝对误差大于乙表，但甲表的相对误差却比乙表小。这说明甲表的测量准确度要高些。因此，在测量不同大小的被测量时，通常采用相对误差来比较测量结果的准确程度，它较绝对误差更能确切地说明测量质量。

3. 引用误差

相对误差可用以反映某次测量的准确程度，但不能表示仪表在整个量程内的准确程度，即仪表的准确度。为划分仪表准确度等级，引入了引用误差的概念。引用误差是绝对误差 Δ 与仪表量程上限（简称量程） A_m 之比的百分数，引用误差用 γ_n 表示，即

$$\gamma_{\text{nw}} = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1.4)$$

由于仪表的各指示值的绝对误差不等,因此国家标准中仪表的准确度等级。是以用最大绝对误差 Δ_m 计算的最大引用误差 γ_m 来确定的。最大引用误差 γ_m 为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1.5)$$

根据国家标准 GB 776—1976 规定,常用电工仪表的准确度 a 分为七个等级,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0,分别表示指示仪表的最大引用误差不许超过该仪表准确度等级的百分数。如准确度为 0.5 级的仪表,其最大引用误差 γ_m 在 0.2%~0.5% 之间,但不超过 0.5%。最大引用误差越小,基本误差就越小,仪表的准确度也就越高。测量中 γ_m 对误差的最大值越小越准确。

【例 1.2】用量限为 200V 的电压表,准确度为 0.5 级的电压表去测量 150V 和 50V 两个电压,求测量相对误差。

解 测量 150V 电压时所产生的最大基本误差为

$$\Delta_m = \pm a\% \times A_m = \pm 0.5\% \times 200 = 1 \text{ (V)}$$

其最大相对误差为

$$\gamma = \pm \frac{1}{150} \times 100\% = \pm 0.67\%$$

测量 50V 电压时

$$\Delta_m = \pm a\% \times A_m = \pm 0.5\% \times 200 = 1 \text{ (V)}$$

$$\gamma = \pm \frac{1}{50} \times 100\% = \pm 2\%$$

显然,最大相对误差不仅与仪表的准确度等级 a 有关,而且与量限和被测值的比值有关,当仪表选定后,被测值越接近 A_m ,测量值就越准确。因此,在使用仪表时,一般应使被测量的值达到仪表满刻度 A_m 的 2/3 以上,否则所选仪表准确度等级虽高,但测量的准确度可能较低,其测量结果的误差可能会超过仪表的准确度等级(如例 1.2 中测 50V 时)。因此,在测量中要兼顾仪表的量限和准确度等级,合理选择仪表。

1.2 电工测量仪表的分类与工作原理

1.2.1 电工测量仪表的分类

电工测量就是利用电工测量仪表对电路中各个物理量,如电压、电流、功率、电

能量等参数的大小进行实验测量。随着电气化、自动化程度的提高，电工测量的地位越来越重要。电工测量由电工测量仪表和电工测量技术共同完成。电工测量仪表是电工测量中的参数读取的依据，电工测量技术则是保证这些参数的准确性和可靠性。

常用的电工测量仪表有很多种，通常按下列方法分类。

1. 根据被测量的性质分类

电工测量仪表按被测量的性质分类，见表 1.1。

表 1.1 电工测量仪表按被测量的性质分类

被测量	仪表名称	符号	测量单位
电 流	电流表	$\textcircled{\text{A}}$	安培
	毫安表	$\textcircled{\text{mA}}$	毫安
	微安表	$\textcircled{\mu\text{A}}$	微安
电 压	电压表	$\textcircled{\text{V}}$	伏特
	千伏表	$\textcircled{\text{kV}}$	千伏
电 功 率	功率表	$\textcircled{\text{W}}$	瓦
	千瓦表	$\textcircled{\text{kW}}$	千瓦
电 阻	欧姆表	$\textcircled{\Omega}$	欧姆
	兆欧表	$\textcircled{\text{M}\Omega}$	兆欧
电 能	电度表	$\boxed{\text{kW} \cdot \text{h}}$	千瓦时

2. 根据电工测量仪表的动作原理分类

电工测量仪表按动作原理分类，可分为磁电式、电磁式、电动式、整流式、感应式等类型。磁电式电工仪表，一般用来测量直流、电压、电阻。电磁式、整流式仪表一般测量交流电压、电流。电动式仪表可以测量电流、电压、电功率、功率因素、电能量等。

3. 根据电工测量仪表测量电流的种类分类

电工测量仪表根据测量电流的种类不同可分为直流仪表（用—或 DC 表示）、交流仪表（用~或 AC 表示）、交直流两用仪表（用⌒表示）。

4. 根据电工测量仪表的准确度等级分类

电工仪表测量的准确度级别不同分为 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1 级、1.5 级、2.5

级、4.0级七种，数字越小准确度越高。一般0.1级和0.2级仪表用来作标准仪器，以校准其他工作仪表，而实验中多用0.5级到2.5级仪表。

1.2.2 电工测量仪表的工作原理

对于直读式电工测量仪表，根据其工作原理可分为磁电式仪表、电磁式仪表、电动式仪表等。它们的主要作用都是将被测电量转换成仪表活动部分的偏转角位移。为了将被测电量转换成角位移，电工仪表通常由测量机构和测量线路两部分组成。测量机构是电工仪表的核心部分，仪表的偏转角位移是靠它实现的。下面将常用的磁电式、电磁式、电动式电工仪表的结构和工作原理作一简要介绍。

1. 磁电式仪表

(1) 磁电式仪表的结构

磁电式仪表也称动圈式仪表，其测量机构包括固定部分和活动部分，如图1.2所示。固定部分由马蹄形磁铁、极掌及圆柱形铁芯组成。活动部分由活动线圈、半轴、指针、螺旋弹簧组成。

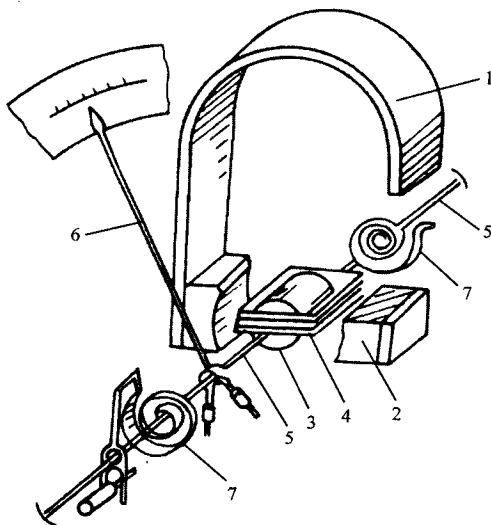


图 1.2 磁电式测量机构

1. 永久磁铁；2. 极掌；3. 柱形铁心；4. 活动线圈；5. 半轴；6. 指针；7. 螺旋弹簧

(2) 磁电式仪表的工作原理

当被测参数的电流流过活动线圈时，由于载流线圈与空气隙中的磁场相互作用，磁感线方向与圆柱面垂直，使得电磁力 F 的方向与线圈平面垂直，从而使线圈获得电

磁转矩，带动指针旋转，如图 1.3 所示。其电磁转矩为

$$M = 2Fr = 2BlINr \quad (1.6)$$

式中， B ——工作气隙中的磁感应强度；

l ——线圈有效边长；

I ——通过线圈的电流；

N ——线圈的匝数；

r ——转轴中心到有效边长的距离。

由于线圈平面的面积 $S = 2lr$ ，所以式 (1.6) 可改写成

$$M = BSIN = KI \quad (1.7)$$

式中， K ——与气隙中磁感应强度、线圈尺寸及匝数有关的常数。

由于气隙中磁感应强度是均匀辐射状的，不管线圈转到什么位置，磁感应强度 B 均不变；对于已制成的仪表，线圈的面积 S 、线圈匝数 N 都是一定的，所以转矩的大小与被测电流成正比，其方向决定于电流流进线圈的方向。

由磁场力产生的转矩使动圈顺时针转动时，螺旋弹簧将产生一反抗转矩，其数值随动圈转动角度的增大而增大。其反抗转矩为

$$M_t = D\theta \quad (1.8)$$

当反抗转矩增至与电磁转矩相等时，线圈处于稳定的平衡状态，指针也就指在某一对应位置，其关系为

$$\left. \begin{aligned} KI &= D\theta \\ \theta &= \frac{D}{K}I \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

由于磁电式仪表指针偏转角 θ 与通过动圈的电流 I 成正比，因此其表盘刻度是均匀的。指针的偏转方向由动圈中电流的方向决定，仪表接入测量电路时，要注意极性，否则指针反打会损坏电表。通常磁电式仪表的接线柱旁均标有“+”、“-”记号，以防接错。

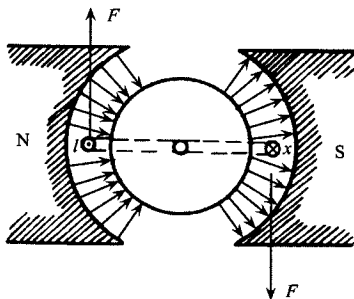


图 1.3 磁电式仪表的转矩

(3) 磁电式仪表的优缺点

磁电式仪表的优点有灵敏度、准确度高、刻度均匀、阻尼良好、构造精细、消耗功率小。

磁电式仪表的缺点有：只能测量直流，不能直接测量交流。由于动圈导线很细，故载流量小，同时结构较复杂，成本较高。

2. 电磁式仪表

(1) 电磁式仪表的结构

电磁式仪表又称动铁式仪表，它是利用动铁片与通有电流的固定线圈之间或被此线圈磁化的静铁片之间的作用力而制成的。一般有排斥型（又称圆线圈型）和吸引型（又称扁线圈型）两种结构。下面就常用的排斥型电磁仪表的结构作一介绍，其结构如图 1.4 所示。它由固定部分和可动部分两部分组成。其中，固定部分由固定线圈和线圈内侧的固定铁片组成；可动部分由固定在转轴上的可动铁片、游丝、指针和阻尼片、平衡锤组成。

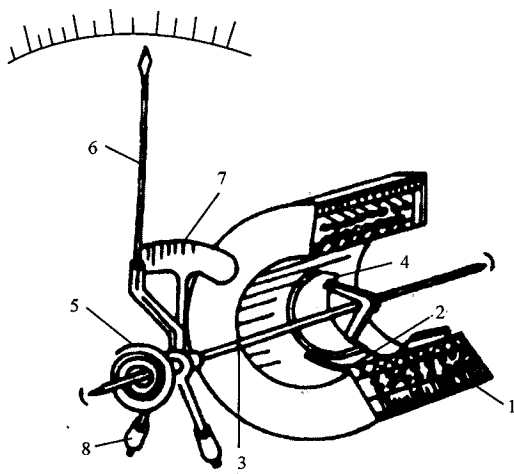


图 1.4 排斥型电磁仪表的结构

1. 固定线圈；2. 固定铁片；3. 转轴；4. 可动铁片；5. 游丝；6. 指针；7. 阻尼片；8. 平衡锤

(2) 排斥型电磁式仪表的工作原理

在排斥型电磁式仪表的结构中，当固定线圈通过电流时，电流产生的磁场使得固定铁片和可动铁片同时磁化，这两个铁片的同一侧是同极性的磁极。同极性的磁极间相互排斥，使可动部分转动。当转动力矩与游丝产生的反作用力矩相等时，指针就取得某一平衡位置，从而指示被测量的数值。当通过固定线圈的电流方向改变时，它所