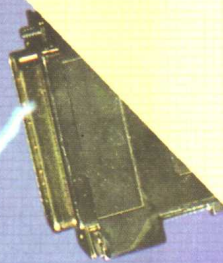




世纪中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

电工基础实验

主编 张玉萍



北京邮电大学出版社



中华人民共和国教育部
中国工程教育学会工程教育国际互认中心

工程教育实践

第 1 期 2018 年 1 月

中国工程教育学会工程教育国际互认中心

中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

电工基础实验

主 编 张玉萍

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电工基础实验/张玉萍主编. —北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1200-4

I. 电... II. 张... III. 电工试验—专业学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 013702 号

书 名 电工基础实验

主 编 张玉萍

责任编辑 周 堃 赵延玲

出版发行 北京邮电大学出版社

社 址 北京市海淀区西土城路 10 号 邮编 100876

经 销 各地新华书店

印 刷 北京市彩虹印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 960 mm 1/16

印 张 8.5

字 数 172 千字

版 次 2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5635-1200-4/TM · 9

定 价 11.00 元

如有印刷问题请与北京邮电大学出版社联系

E-mail: publish@bupt.edu.cn

电话: (010)82551166 (010)62283578

Http://www.buptpress.com

版权所有

侵权必究

出版说明

本书是根据教育部颁发的中等职业学校三、四年制《电工基础实验教学大纲》编写。

电工基础实验是中等职业学校电类专业的一门实践课,其任务是使学生具备从事电气电子工作的高素质劳动者和中初级专门人才所必需的电气测量基本知识、基本方法和基本技能,为形成综合职业能力打下基础。

目前我国职业教育发展迅猛,前景广阔。而近年来,电子技术、通信技术和计算机行业的飞速发展,也迫切需要大量的既有一定的理论基础,又有过硬的实际操作技能的应用型人才。

为满足社会和行业发展的需要,本书在编写过程中注意了以下几点:

1. 每个实验均有针对性地安排一定量的基础理论知识。
2. 让学生在实验前充分预习,以便对所作实验能有充分的准备,且目的明确。
3. 突出本课程的特点,以基本技能的培养和锻炼为重点,并注意培养学生认真、细致、踏实、严谨的工作态度和作风。
4. 为启发学生思维,培养学生的独立分析、思考能力和创新能力,每个实验都安排了一定的思考题,且安排了一定的综合实验和设计性实验。
5. 将电气测量、电路和电工基本技术等实验综合在一起。
6. 注意汲取新技术、新工艺、新方法,教材内容与实际紧密结合,以适应时代的需要和社会的需要。
7. 适度的把握难度、深度和广度,以保证够用的基础上,使教材内容浅显、通俗、易懂、实用。
8. 本书图形符号及文字均采用新国标。

本书在编写过程中,参考了有关行业的职业技能鉴定规范和技术工人等级考核标准。

本书在编写过程中参考了有关文献、资料,在此谨对作者表示衷心的感谢。

书中难免存在一些错误及不妥之处,请广大读者及同行多提宝贵意见。

编 者

目 录

第 1 章 实验基本知识	1
1.1 电气测量的基本知识	1
1.2 数据的读取和处理	3
1.3 实验室规则	5
第 2 章 常用电工仪表	7
2.1 电工仪表的分类	7
2.2 常用电工仪表的组成及工作原理	9
2.3 常用仪表的使用	14
第 3 章 必做实验	43
实验一 认识性实验	43
实验二 电阻、电源的电流与电压关系测试	48
实验三 电阻测量	54
实验四 直流电路电压、电流的测量	59
实验五 叠加定理	62
实验六 有源二端网络等效参数的测定	65
实验七 电阻性电路故障的检查	69
实验八 正弦电路认识实验	72
实验九 示波器、信号发生器的使用	76
实验十 交流元件电压与电流关系的测试	81
实验十一 串联交流电路	86
实验十二 荧光灯电路及功率因数的提高	90
实验十三 三相负载的星形连接	96
实验十四 三相负载的三角形连接及三相电路功率的测量	99

第 4 章 选做实验	103
实验一 互感	103
实验二 单相变压器	108
实验三 交流元件频率特性的测试	112
实验四 串联谐振电路	114
实验五 单相电度表的使用	118
实验六 数字仪表的使用	120
第 5 章 综合实验	122
实验一 直流电流表、电压表表头内阻的测定	122
实验二 实际电源的两种电路模型	123
实验三 电阻温度计的制作	126
实验四 交流元件参数的测定	128

第1章 实验基本知识

1.1 电气测量的基本知识

电气测量是在电子技术理论的基础上,使用电子测量设备,用标准电量作为测量单位,将未知的物理量(电量或非电量)与之比较,并确定未知量的过程。

1.1.1 电气测量的内容

电气测量的内容主要有:

- (1)电量的测量,如电流、电压、电位、电功率、电能、频率、相位、阻抗等。
- (2)器件参数的测量,如电阻、电感、电容、三极管的放大系数等。
- (3)非电量的测量,如压力、时间、速度、温度等。

测量是一项基本技能,在日常生活和生产实践以及科学实验中都具有很重要的意义。

1.1.2 电气测量的方法

1. 直接测量法

测量时能够直接将**被测量与同类标准量比较或能够从测量仪器上读取被测量数值的方法为直接测量法。如用电流表测量电流、用欧姆表测量电阻等。

2. 间接测量法

被测量不能直接测量时,可先直接测量与被测量有一定关系的物理量,再计算出被测量的数值,这种方法为间接测量法。如用伏安法测量电阻值,就是先测量出电阻两端的电压和流过电阻的电流值,再根据欧姆定律计算出被测电阻值。

1.1.3 测量误差

在测量过程中,由于受到被测对象、测量仪器、环境、条件、方法以及操作经验等各种因素的影响,测量结果与被测量的真实值之间必然存在一定的差异,这个差异就是测量误差。

1. 误差的种类

(1) 系统误差

对同一被测量多次重复测量时,所出现的误差数值、大小和符号都相同或按一定规律变化,这种误差为系统误差。系统误差产生的原因主要是测量仪器本身不完善、测量仪器使用不当和环境条件的变化等。

可以通过对仪器校正、引入修正值等方法来减小系统误差。

(2) 偶然误差

在相同的条件下多次重复测量同一被测量时,误差时大时小,时正时负,其数值大小和符号的变化毫无规律,这种误差称为偶然误差,又称随机误差。

偶然误差具有随机性,既不能预测,也不能用仪器校正的方法来消除,但可以通过大量数据的分析统计,通过数据处理来减小。

(3)粗大误差

粗大误差是由于测量操作不当、读数错误或测量条件有较大变化等原因造成的误差,测量结构明显偏离真实值,其数值不可估计、不能预料,也毫无意义。

2. 误差的表示方法

(1)绝对误差

测量结果 X 与被测量真实值 X_0 之差称为绝对误差,用 ΔX 表示。

$$\Delta X = X - X_0$$

绝对误差不仅表示了误差的数值,也表示了误差的符号,如某电流的真实值为 10 A,而测量值为 10.1 A,则绝对误差为 0.1 A;若测量值为 9.9 A,则绝对误差为 -0.1 A。根据绝对误差的数值大小和符号,可以对测量值进行修正,修正值和绝对误差大小相等,但符号相反。

被测量的真实值一般是不确定的,所以通常用标准表的指示值或多次测量的平均值作为测量结果。对同一被测量来说,绝对误差越小,测量值就越精确。绝对误差不能进行不同被测量之间测量精确度的比较,因此引入了相对误差的概念。

(2)相对误差

绝对误差与被测量的真实值的比值称为相对误差,通常用百分数表示。

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\%$$

式中 γ ——相对误差。

有了相对误差的概念,就可以进行不同被测量之间测量精确度的比较。如某电压的真实值为 10 V,而测量结果为 9.95 V,则其绝对误差 $9.95 - 10 = -0.05$ V,其相对误差为 $-0.05/10 \times 100\% = -0.5\%$;另一电压真实值为 1.5 V,测量结果为 1.45 V,其绝对误差 $1.45 - 1.5 = -0.05$ V,而其相对误差为 $-0.05/1.5 \times 100\% = -3.3\%$,二者的绝对误差是相同的,而相对误差不同。

(3)引用误差

我国电工专业标准规定,指示仪表的精确度用最大引用误差来表示。测量仪表全量程范围内可能出现的最大误差与其量程上限的比值称为最大引用误差,又称为满度相对误差。

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X_m}$$

式中 γ_m ——最大引用误差;

ΔX_m ——最大绝对误差；

X_m ——量程上限值。

最大引用误差可以表示仪表测量的精确度。我国的指示仪表精确度等级分为 7 级，如表 1-1 所列。精确度等级的含义是：若某仪表的精度等级为 0.5 级，则它的最大绝对误差不超过满刻度值的 0.5%。

可知，仪表的量程越大，其绝对误差的最大值也越大，因此，不要用大量程的仪表去测量小电量，以减小测量误差，且被测量的数值与仪表量程越接近，测量误差越小，一般应使指针的位置在满刻度的 2/3 处时读数。

表 1-1 仪表的精确度等级

精确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5
引用误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5

1.2 数据的读取和处理

数据就是从各种仪表中获得的各种参数或波形，是得出实验结论的重要依据。测量时，正确读取数据，就可以减小误差，提高实验结论的准确性。

1. 数据的读取

(1) 模拟式仪表的读数

模拟式仪表即传统的指针显示类仪表，根据其指针在仪表刻度盘上的指示位置可以读取被测量的数值。

模拟式仪表读数时应注意的问题主要有以下几个：

① 首先应清楚仪表的量程和对应的刻度线。有些仪表有多种量程，可以测量多种电量，在其刻度盘上标有多条刻度线，每条刻度线对应一种电量和一种量程。如图 1-1 所示为万用表的刻度盘，其上的几条刻度线分别对应被测电阻值、直流电压值、交流电压值和分贝值，读数时应正确地确定所使用的刻度线和各分度线所对应的刻度值。

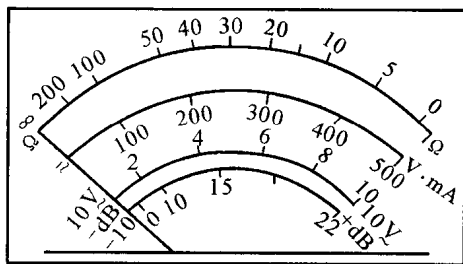


图 1-1 万用表刻度盘

② 模拟式仪表的刻度线有线性和非线性两种，线性刻度线刻度间隔相等，每格所表示的数值相等，读取数值也比较方便；而在读取非线性刻度线仪表的读数时，则应首先清楚各刻度线所表示的刻度值和每个分格所表示的数值。

③读取数据时要采用正确的姿势。读数时视线应垂直并正对指针所在位置的刻度盘表面,以减小可能出现的视差。有些仪表在刻度盘上加装了反光镜,使用时,应将指针和镜中的针影对齐,并且同时位于视线方向。

④根据测量精度的需要确定估读分刻度的数值。

⑤如果仪表指针抖动或左右漂移,首先应找出原因,排除后待仪表指针稳定时再读数。

(2) 数字式仪表的读数

数字式仪表可以显示出被测量的数值,有些还可直接显示被测量的单位,因此读数十分方便、准确,使用时应注意以下几点:

①首先应注意小数点的位置。使用前应调整好量程,使读数正确地显示有效数字的位数,以保证精确度。

②数字式仪表的最后一位数字有时不稳定,且不断变化,读数时应根据其变化范围估读。如最后一位数在 4 和 6 之间变化,可取为 5。

(3) 波形显示仪表的读数

波形显示仪表将被测量的波形直接显示在仪表的荧光屏上,根据被测量的波形可以读取有关数据。

波形显示仪表荧光屏上的坐标格是固定的,而每一个坐标格所表示的数值是变化的,所以,读数时应首先确定仪表的坐标轴(横轴、纵轴)上每一个坐标格所表示的数值,再根据波形在坐标轴上占有的格数读数。

波形显示仪表每一个坐标格所表示的数值称为其灵敏度,被测量的波形在坐标轴方向所占的格数乘以相应坐标轴的灵敏度,即为被测量参数的具体数值。

读数时要注意,被测量在荧光屏上的波形要有合适的位置、大小和亮度,读取参数的位置应比较明显。

2. 数据的处理

测量数据的处理,就是从测量所得的原始数据中求得被测量的最佳值,并计算其精确度,有时还需将测量数据绘制成曲线,以得出正确结论。

(1) 有效数字

测量中获取的数据不仅反映了被测量的大小,也包含了测量精确度。如 2 和 2.0,两个数值大小相等,但精确度却差了一个数量级。所以,在处理数据时应使同一项测量保持相同的精确度,也就是说小数点后面的数字位数应当相同。

通过测量或计算所得的数据,通常只是一个近似值,这些近似值一般用有效数字来表示。从数值左边第一个不是零的数字开始,直到右边最后一个数字(包括零)为止,均为有效数字。

数字末尾的零很重要,如测量结果为 8.5,则表示测量精确到十分位,最大绝对误差不大于 0.05,若测量结果为 8.50,则表示测量精确到百分位,最大绝对误差不大于 0.005。末位

是欠准确的估计数字,称为欠准数字。

(2)有效数字的处理

对测量结果的数值,可按“四舍五入”的规则处理。

若对测量结果的要求较高,为减小误差,可按“小于5舍,大于5入,等于5取偶数”的规则处理。如数值6.65,5的前面为偶数6,则取偶数为6.6;数值8.35,5前面是奇数3,则舍5入1为8.4。

(3)有效数字的运算

对多个测量数据进行运算时,需要考虑所保留的有效数字的位数,以便正确的反映测量精确度而又不使运算过于烦琐。保留的位数一般以精确度最低的数值为准。

参与运算的数据必须是相同单位的物理量。

①加减运算

以小数点后数字最少的一项为准,无小数点时以有效数字位数最少的一项为准。运算前应将各数据小数点后保留的位数处理成与精确度最低的数据相同,再进行运算。

如: $18.6828+12.04+9.438\approx 18.68+12.04+9.44=40.16$

②乘除运算

以有效数字位数最少的为准,运算结果保留相同位数的有效数字。

如: $458.26\times 0.56\approx 460\times 0.56=257.6\approx 258$

1.3 实验室规则

电工实验要用到电子仪器,所以实验室中配有380 V的动力电,实验中一定要确保人身和实验设备的安全,做到“安全第一”。

电工实验室一般采用三相四线制供电,有些新建实验室采用三相五线制供电,其中的用电设备常采用星形连接。有些实验室,教师的讲台附近配有小型配电控制柜,可以控制每个学生实验台上的电源。

实验前,应仔细阅读实验规程,按规程操作,实验过程中,还应注意爱护实验设备。

主要操作规程有:

(1)仔细阅读实验教材,了解实验目的和实验内容,熟悉实验仪器、实验步骤和实验注意事项等。

(2)了解实验原理。

(3)首次上实验课时,应熟悉实验台上的电源配置,区分电源电压220 V、380 V插座。

(4)熟悉总控制台上和实验台上配置的漏电保护器和应急开关的位置和使用方法,以便在发生事故时及时切断电源。

(5)检查实验仪器和设备是否齐全、完好,规格是否合适。

(6)养成断电操作的好习惯。在断电的情况下连接实验线路,并请指导老师检查无误后再接通电源。实验完毕,先切断电源,再拆除线路。接通和断开电源前,均应和本组同学打好招呼,并且由一名同学操作。

(7)严禁带电改线或更换仪表量程。

(8)为确保安全,实验过程中不能触摸任何导线的裸露部分。一旦发现设备异常或发生人身事故,应先切断电源。

(9)实验前应分好小组,小组成员应做好分工,如操作、记录数据等,并应随机地调换,以保证每个同学都能得到锻炼。

(10)实验过程中应注意是否有异常现象。如有异常,应立即断电检查,

(11)实验完毕,应将实验结果交指导老师检查无误后方可结束实验。

第 2 章 常用电工仪表

2.1 电工仪表的分类

在电工实验和电工技术的实际应用中,电工仪表被广泛应用。电工仪表种类繁多,常见的是测量基本电量的仪表。表 2-1 所列为几种常用电工仪表的符号。

表 2-1 几种常用电工仪表的符号

类别	符号	名 称	类别	符号	名 称
测量单位符号	A	安培	绝缘强度的符号		绝缘强度试验电压为 500 V
	mA	毫安			绝缘强度试验电压为 2 kV
	V	伏特			
	mV	毫伏			
	W	瓦特			
	cos φ	功率因数			
准确度符号	1.5	准确度 1.5 级	外界条件分组符号		Ⅱ级防外磁场及电场
					Ⅲ级防外磁场及电场
外界条件分组符号		A 组仪表	电流种类符号		交流
		B 组仪表			直流和交流
工作原理符号		磁电式仪表	工作位置的符号		标度尺位置为垂直
		电磁式仪表			标度尺位置为水平
		电动式仪表			标度尺位置与水平倾斜 60°
	电流种类符号		整流式仪表	端钮和调零器符号	
		直流			正端钮
					公共端钮
					调零器

电工仪表的分类方法有以下几种：

1. 按被测量分类

电工仪表按被测量分类见表 2-2。

表 2-2 电工仪表按被测量分类

被测量	仪表名称	测量单位
电流	电流表	安培
	毫安表	毫安
	微安表	微安
电压	电压表	伏特
	千伏表	千伏
功率	功率表	瓦
	千瓦表	千瓦
电阻	欧姆表	欧姆
	兆欧表	兆欧
电能	电能表	千瓦时

2. 按电工仪表的工作原理分类

电工仪表按工作原理分类见表 2-3。

表 2-3 电工仪表按工作原理分类

分类	工作原理	实例
磁电系	通电导体在永久磁铁中产生电磁力	万用表
电磁系	铁磁性物质在磁场中被磁化后产生电磁力	交流电流表
电动系	两个通电线圈之间产生电力	功率表
感应系	交变磁场中导体感应涡流与磁场产生电磁力	电能表

3. 按精确度分类

电工仪表按测量的精确度级别可分为 7 种：0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级和 5 级。其中，0.1 级和 0.2 级常用作标准仪表；0.5 级和 1 级常用于实验测量；而 1.5 级、2.5 级和 5 级常用于工程测量。

4. 按测量的电流种类分类

电工仪表按所测量的电流种类可分为直流仪表、交流仪表和交直流仪表等。

2.2 常用电工仪表的组成及工作原理

电工测量仪表一般由测量机构和测量线路组成,测量机构是仪表的核心部分,它接受输入电量并将其转换为指针的偏转。

2.2.1 磁电系仪表

1. 结构

磁电系仪表也称动圈式仪表,其测量机构包括固定的磁路系统和可动部分,如图 2-1 所示。固定的磁路系统由永久磁铁、圆柱铁心、面板等组成,可动部分由可动线圈、转轴、平衡弹簧、指针等组成。

可动线圈是用很细的漆包线绕制在铝框上制成,放置在产生恒定磁场的永久磁铁和圆柱铁心之间的空气隙中,其框架的上下端分别固定在仪表的转轴上;转轴分成前后两部分,每个半轴的一端固定在可动线圈的框架上,另一端通过轴尖支承于轴承中;圆柱铁心用支架固定在磁极中间;仪表的指针固定在前面的转轴上;平衡弹簧产生反作用力矩,使可动线圈及指针停转。

磁电系仪表面板上的刻度是均匀的,因此,读数时十分方便。

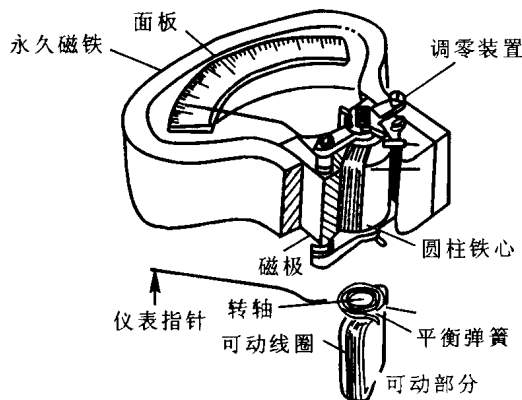


图 2-1 磁电系仪表测量机构

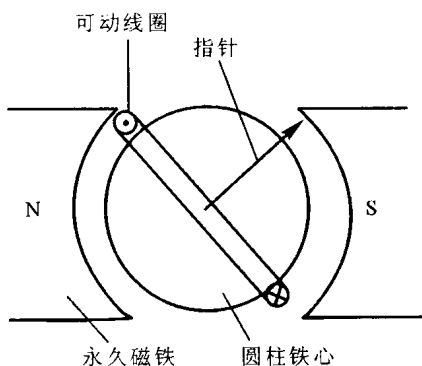


图 2-2 磁电系仪表工作原理

2. 工作原理

磁电系仪表的工作原理如图 2-2 所示,当有被测信号电流流过可动线圈时,载流线圈与永久磁铁的磁场相互作用,线圈受到磁场力的作用,获得转矩,带动指针偏转,指针偏转的角度与流过线圈的电流的大小成正比,偏转的方向取决于流过可动线圈的被测信号电流的方向。

3. 特点

磁电系仪表灵敏度高,精确度高;仪表面板上的刻度是均匀的,因此,读数十分方便;且

构造精细,消耗功率小。但因永久磁铁产生的磁场方向不能改变,只有通入直流电流才能产生稳定的偏转,所以只能测量直流量,不能测量交流量;又因动圈很细,所以载流量小,且结构复杂,价格较贵。

4. 磁电系电流表

磁电系仪表可以直接用来测量直流电流,但因其允许直接通过的电流很小,所以,测量较大电流时,须采用电阻并联分流的方法,使被测电流大部分从分流电阻通过,如图 2-3 所示。

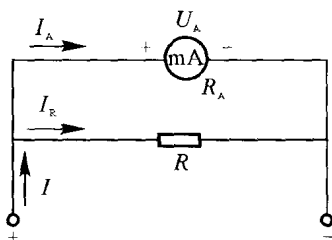


图 2-3 磁电系电流表原理

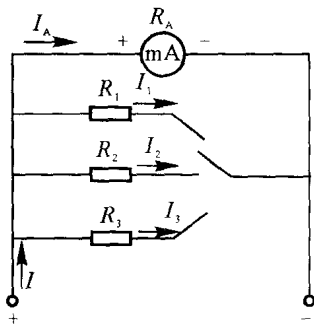


图 2-4 电流表转换开关改变量程

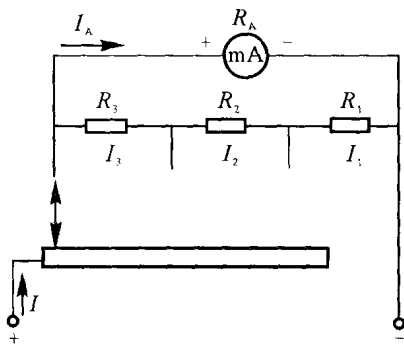


图 2-5 环形分流器

若要制成多量程仪表,则需接入不同的分流电阻。分流电阻的连接方式有两种,一种是开路连接,即用转换开关换接不同的分流电阻改变电流表量程,如图 2-4 所示;另一种是闭合连接,就是用多个分流电阻组成环形分流器,图 2-5 所示。其中,分流电阻的开路连接方式测量误差较大,且易使表头烧毁,所以较少使用。

5. 磁电系电压表

磁电系仪表可以直接用来测量直流电压,但因其允许直接通过的电流很小,所以,测量较大电压时,须采用电阻串联分压的方法,使被测电压大部分落在分压电阻上,如图 2-6 所示。

图 2-7 所示为多量程电压表原理。

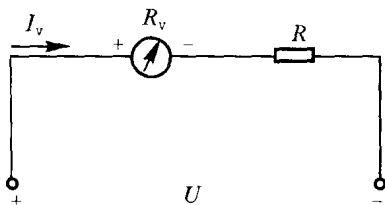


图 2-6 磁电系电压表原理

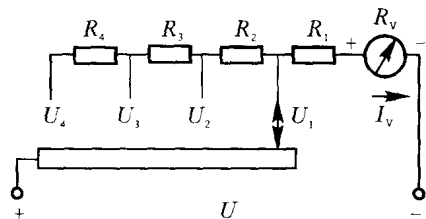


图 2-7 多量程电压表原理