



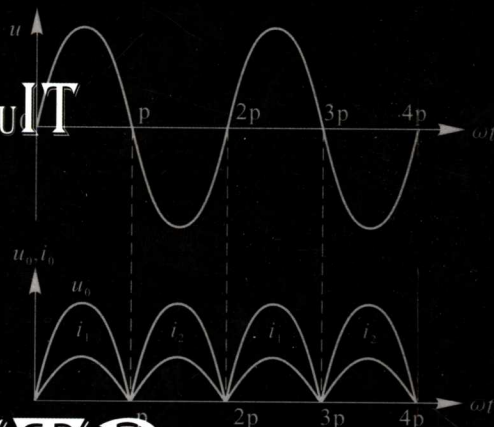
高等院校非电专业电路与电子技术系列教材

电路与电子技术

实验指导

鲁宇宁 王广君 周国平 主编

ELECTRIC CIRCUIT



ELECTRONICS

华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

高等院校非电专业电路与电子技术系列教材

电路与电子技术实验指导

主 编 鲁宇宁 王广君 周国平

副主编 徐元中 王书纯 戚建汉

参 编 吴丹雯 武明虎 常 春 刘晓静 李利荣

陈 珺 陈 玲 陈歌红 曾凡平

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术实验指导/鲁宇宁 王广君 周国平 主编
武汉:华中科技大学出版社,2005年9月
ISBN 7-5609-3476-5

I. 电…

II. ①鲁… ②王… ③周…

III. 电路电子学-高等学校-教学参考资料

IV. TN7

电路与电子技术实验指导

鲁宇宁 王广君 周国平 主编

责任编辑:曾 光 张 毅

封面设计:万卷鸿图

责任校对:胡金贤

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉万卷鸿图科技有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:7.25

字数:125 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:10.50元

ISBN 7-5609-3476-5/TN·91

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书根据“电路与电子技术实验”课程教学的基本要求，结合编者多年教学、科研和生产实践经验而编写。书中实验基础部分包括电工测量的基本知识以及应用等内容，实验部分包括常规基本实验、应用及设计性实验、综合性实验等内容。附录部分收录了常用电路元件，半导体器件的识别、型号命名、简易检测等内容。

本教材内容丰富，具有综合性、实用性等特点，突出了动手能力的训练和工程意识的培养。

本书既可作为高等院校各层次非电类专业“电路与电子技术”课程相配套的实践教材，也可供相关专业工程技术人员参考。

高等院校非电专业电路与电子技术系列教材

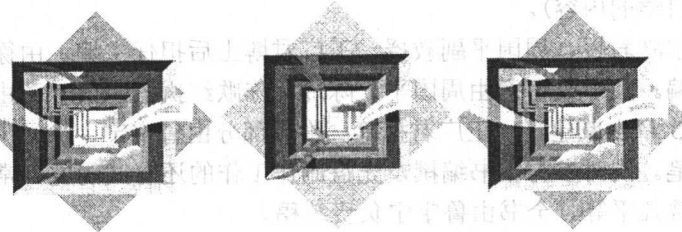
言 前 编委会

委 员

叶敦范 王槐斌 刘建萍 鲁宇宁

刘晓静 李利荣 武明虎 黎秋萍

秘 书 张毅 陈源远



高等院校非电专业电路与电子技术系列教材书目

- 电路与电子技术(含1CD)
- 电路与电子技术实验指导
- 电路与电子技术疑难指导及习题全解

前 言

电路与电子技术课程是高等院校本科非电类专业的一门技术基础课程。实验课是该课程不可缺少的、重要的实践教学环节。随着现代科学技术的飞速发展,电路与电子技术得到越来越广泛的应用,实验教学改革势在必行。编写本书的主要目的不仅是要帮助学生巩固和加深理解所学的基本理论和基本知识,更重要的是要训练他们的实验技能,培养学生的动手能力和应用技能,树立工程实践的观点和严谨的科学作风。本教材总结了多年来我们在实验课教学改革和科研工作中的经验,对实验教学内容和方法进行了较大改革,其目的是在有利于提高学生基本能力的前提下,因材施教,发展个性,培养学生的创新意识和创新能力,为打造 21 世纪的新型人才奠定良好的基础。

本书编写时参照了“电路与电子技术实验”教学的基本要求,在继承传统教学内容的基础上,压缩了部分验证性实验,增加了一定比例的应用及设计性实验、综合性实验等实验内容,并且,从电路基本元器件入手,编选了常用电路元器件使用的基本知识,包括对基本电路元件、半导体器件的识别、型号命名、简易检测等内容。本书还编录了电子设计自动化(EDA)的相关内容,介绍了当前较为流行的计算机设计仿真软件 Multisim 2001 的使用方法和仿真实验(由于版面所限,仅在附录中收录了常用电路元器件使用知识的部分内容,详情和仿真实验参见与教材配套的光盘。该部分内容各校可根据不同专业的教学要求,选用或作为学生自学的内容)。

本书由鲁宇宁副教授、周国平副教授、王广君博士后担任主编,由徐元中、王书纯、戚建汉担任副主编。其中第 1 章由周国平、陈玲、陈歌红执笔;第 2 章由王书纯、陈珺、戚建汉执笔;第 3 章由戚建汉、王广君执笔;附录部分由鲁宇宁、徐元中执笔;仿真实验部分由吴丹雯执笔。同时参与本书编撰及光盘制作工作的还有武明虎、常春、刘晓静、李利荣、吴丹雯、曾凡平等。全书由鲁宇宁负责统稿。

由于受时间和编者学识水平的限制,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2005 年 9 月

目 录

第 1 章 电工、电子实验基础.....	(1)
1.1 电工测量的基础知识.....	(1)
1.2 常用仪器、仪表及使用.....	(11)
1.3 电路的调整与故障检测.....	(27)
1.4 电工、电子实验的组织与管理.....	(33)
第 2 章 电路实验.....	(36)
2.1 元件伏安特性的测试.....	(36)
2.2 叠加定理.....	(39)
2.3 戴维南定理.....	(40)
2.4 频率特性及 RLC 串联交流电路.....	(44)
2.5 一阶 RC 电路的矩形脉冲响应.....	(47)
2.6 三相电路.....	(50)
2.7 单管放大电路.....	(53)
2.8 运算放大器.....	(55)
2.9 集成稳压电源.....	(57)
2.10 门电路逻辑功能及其测试.....	(59)
2.11 组合逻辑电路.....	(62)
2.12 触发器.....	(66)
2.13 集成计数器及寄存器.....	(68)
2.14 计数、译码、显示电路.....	(71)
第 3 章 实践与应用(综合性电路实验).....	(75)
3.1 日光灯的安装、测试及功率因数的提高.....	(75)
3.2 电子声光报警装置.....	(79)
附录 常用元器件应用知识.....	(83)
一 电阻器.....	(83)
二 电容器.....	(87)
三 半导体二极管.....	(91)
四 半导体三极管.....	(95)
五 场效应管(FET).....	(98)
六 半导体集成电路.....	(100)
参考文献.....	(109)

第 1 章 电工、电子实验基础

本章主要介绍电工测量的基本知识、仪器仪表及其应用、电路的调试与故障检测，以及实验的组织与管理。旨在为后面的实验环节打下良好的基础。

1.1 电工测量的基础知识

测量是人类认识事物本质最重要的方法和手段之一。人类的一切科研开发、生产生活活动都离不开测量。我们把对各种电量和磁量的测量统称为电工测量。

1.1.1 电工测量方法的分类

对同一电量的测量可使用不同的测量仪器和设备，可采用各种不同的测量方法。测量方法有多种分类方式，下面仅介绍几种常见的分类方法。

1. 按测量的手段分类

(1) 直接测量。它是指从测量仪器上直接得到被测量的测量方法。例如，用电压表测量电压，用安培表测量电流，用功率表测量功率，用欧姆表测量电阻等。其特点是简单、便于操作、节省时间，缺点是不够准确。

(2) 间接测量。它是指通过测量与被测量有函数关系的其他量，经过计算而得到被测量的测量方法。比如，用伏安法测量电阻，就是通过测量出电阻两端的电压降 U 及流过电阻的电流 I 后，再用欧姆定律计算求出电阻值；又例如，测量电阻 R 上消耗的直流功率 P ，可以通过直接测量电阻 R 两端电压 U 及流过电阻的电流 I ，再根据函数关系 $P=UI$ ，“间接”获得功率 P 。

(3) 组合测量。它是指当某被测量值与几个未知量有关，通过改变测量条件进行多次测量，根据被测量与未知量的函数关系列方程组并求解，从而得到未知量的测量方法。这是一种兼用直接测量和间接测量的方法。

2. 按测量的方法分类

(1) 直读测量法。直接根据仪器仪表的读数所得到测量值的方法称为直读法。例如，用电流表测量电流，用功率表测量功率等。直读法的优点是设备简单、操作简便。其缺点是不够准确。

(2) 比较测量法。被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法称为比较法。例如，用直流电位差计测量电压，就是将被测电压与标准电池的电动势相比较；又如，用电桥测量电阻等。该方法的特征是标准量直接参与测量过程。它的特点是准确度高、灵敏度高，但测量时需要标准元件，操作复杂，一般用于精密测量。

3. 按被测量的性质分类

(1) 时域测量。时域测量是指测量以时间为函数的量。(例如, 随时间变化的电压、电流等) 这些量的稳态值、有效值多用仪器仪表直接测量; 它们的瞬态值可通过示波器等仪器显示其波形, 以便观测其随时间变化的规律。

(2) 频域测量。频域测量是指测量以频率为函数的量(例如, 随频率变化的电路的增益、相位移等)。这些量可通过分析电路的频率特性或频谱特性等方法进行测量。

(3) 数据域测量。数据域测量是指测量数字量。例如, 用具有多个输入通道的逻辑分析仪, 可以同时观测许多单次并行的数据; 对于微处理器地址线、数据线上的信号, 既可显示时序波形, 也可用 1、0 显示其逻辑状态。

(4) 随机测量。这是目前较新的测量技术, 例如, 对各类噪声、干扰信号等的测量均属于随机测量。

除了上述几种常见分类方法外, 电子测量技术还有许多其他的分类方法, 比如, 动态与静态测量技术、模拟与数字测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术、点频和扫频与多频测量技术等。

1.1.2 测量误差及其消除方法

一个量本身所具有的真实数值, 称为这个量的真值。使用测量仪器进行测量时, 无论采用什么测量仪器和测量方法, 测量结果与被测量的真值总会有所不同, 这个差异称为测量误差。测量误差有多种分类方式。

1. 按误差表示方法可分为两类

(1) 绝对误差。被测量的测量值 x 与其真值 A_0 之差, 称为绝对误差, 用 Δx 表示, 即

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

绝对误差是误差的代数值, 量纲与测量值相同。真值是一个理想的概念, 实际应用中(工程上)通常用实际值 A 来代替真值 A_0 。实际值是根据测量误差的要求, 用更高一级的标准器具测量所得之值。因此绝对误差一般按下式计算

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

与绝对误差的大小相等, 但符号相反的量值, 称为修正值, 用 C 表示, 即

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-3)$$

对测量仪器进行鉴定时, 要用标准仪器与受检仪器对比, 以表格、曲线或公式的形式给出受检仪器的修正值。日常测量中, 用下面的公式修正测量值, 以求得被测量的实际值, 即

$$A = x + C \quad (1-4)$$

(2) 相对误差。它是指测量值的绝对误差与被测量真值之比, 即 $\gamma = \Delta x / x_0 \times 100\%$ 。式中, x_0 为额定相对误差。

绝对误差只能说明测量结果偏离实际值的情况, 但不能确切反映测量的准确度。因此另外给出相对误差的概念。绝对误差与被测量的真值之比, 称为相对误差(或称为相对真值误差), 用 γ_{A_0} 表示, 即

$$\gamma_{A_0} = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

在实际应用中, 常用实际值 A 代替真值 A_0 来表示相对误差, 称为实际值相对误差, 用 γ_A 表示, 即

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-6)$$

在误差较小、要求不太严格的场合, 也可用测量值 x 代替实际值 A , 由此得出指示值相对误差, 用 γ_x 表示, 即

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-7)$$

当 Δx 很小时, $x \approx A$, 有 $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

也常用绝对误差与仪器的满刻度值 x_m 之比来表示相对误差, 称为引用相对误差(或称满度相对误差), 用 γ_m 表示, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

测量仪器使用最大引用相对误差来表示它的准确度, 即

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta x_{\max}}{x_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中, $\Delta x_{\max}$ 表示仪器在该量程范围内出现的最大绝对误差, γ_{mm} 是仪器在工作条件下不应超过的最大相对误差, 它反映了该仪表的综合误差大小。电工仪表按 γ_{mm} 值分为: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共 7 级。例如, 1.0 级的电表, 也称准确度等级为 1.0 级, 常用符号 S 表示, 表明 $\gamma_{mm} \leq \pm 1.0\%$ 。

准确度公式(1-9)表明, 当仪表的准确度等级选定后, 被测量 x 越接近满刻度值 x_m , 测量的相对误差就越小。

2. 按测量误差的性质可分为三类

(1) 系统误差。若在同种条件下多次测量同一量时, 误差的绝对值和符号保持不变; 或在测量条件改变时, 误差按某一确定的规律变化, 则这样的误差称为系统误差。

产生系统误差的主要原因有以下几种。

① 测量方法或测量所依据的理论不完善, 也称因这种原因引起的系统误差为方法误差或理论误差。

② 测量仪器仪表本身结构和制作上欠完善, 也称因这种原因引起的系统误差为基本误差。

③ 使用仪器仪表时, 未能满足所规定的使用条件。例如, 仪器仪表的放置位置、温度、电压、频率、外磁场等不满足使用要求, 也称因这种原因引起的系统误差为附加误差。

④ 测量人员的不良测量习惯或感觉器官不完善, 也称因这种原因引起的系统误差为人为误差。

• 系统误差有以下三个基本特点。

① 系统误差为非随机变量，即系统误差的出现不服从统计规律，而是满足某种确定的函数关系。

② 系统误差具有重现性，即若测量条件不变，则重复测量时，系统误差可以重现。

③ 系统误差具有可修正性。由于系统误差可以重现，因此可加以修正。

(2) 偶然误差。它是指在相同条件下，多次测量同一量时，误差的大小和方向均发生变化，且无确定的变化规律，这种误差即为偶然误差，也叫随机误差。随机误差对个体而言是不确定的，但就其总体来说(即大量测量结果的总和)，用统计学观点看，随机误差的分布接近正态分布，只有少数服从均匀分布或其他分布。

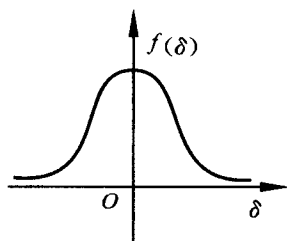


图1-1 随机误差的正态分布曲线

在许多情况下，偶然误差服从于正态分布规律。

误差 δ 的分布密度函数 $f(\delta)$ 的曲线如图1-1所示。这种偶然误差有以下特性。

① 有界性——在一定的测量条件下，随机误差的绝对值不会超过一定的界限。

② 单峰性——绝对值小的误差出现的概率大，而绝对值大的误差出现的概率小。

③ 对称性——绝对值相等的正误差和负误差出现的概率相同。

④ 抵偿性——将全部的误差相加时可相互抵消。

根据偶然误差的抵偿性，在实际测量中可采用多次测量后取算术平均值的方法消除随机误差。一般情况下随机误差较小，工程测量中可以不考虑。

(3) 粗大误差。明显超过规定条件下预期数值的误差称为粗大误差，也称疏忽误差。这是由于测量过程中操作、读数、记录和计算等方面的错误而引起的误差。例如，使用了有缺陷的计量器具或仪器仪表等。含有粗大误差的实验数据是不可靠的，应予舍弃。

1.1.3 电工仪表的基础知识

测量电气参数，如电压、电流、功率、电阻、相位角及频率等的指示仪表称为电气测量指示仪表，也叫电工仪表。除了能直接测量电量以外，它还可以间接测量多种非电量，如磁通、温度、湿度、压力、流量等。

1. 电工仪表的分类

电工测量仪表的种类很多，分类的方法也很多。常见的分类方法有以下几种。

① 按工作原理可分为：磁电式、电磁式、电动式、感应式、整流式、静电式、热电式、电子式、数字式。

② 按被测量的单位可分为：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)、欧姆表、电度表(瓦特表)、相位表(功率因数表)、频率表，以及多种用途的仪表万用表(复用表)等。

③ 按使用方式可分为：开关板与便携式。

④ 按仪表的工作电流可分为：直流式、交流式、交直流两用式。

此外，仪表还可按准确度等级、对电磁场的防御能力及使用条件等分类。

2. 电工仪表的一般结构和工作原理

电工仪表的种类繁多,但它们的基本结构和工作原理大体相同,掌握了其共性就可以比较好地了解各种不同仪表各自的特点。

(1) 仪表的组成。电测量仪表通常由测量机构和测量线路两部分组成。如图 1-2 所示。测量线路的作用是将被测量 x (如电压、电流、功率等) 转换成测量机构可以直接测量的中间量 y (如电磁量), 如电压表的附加电阻、电流表的分流器电路等都是测量线路。测量机构是指示仪表的核心部分, 它把中间量的能量转换成机械能, 使指针偏转 α 角, α 角的大小反映被测量的大小。

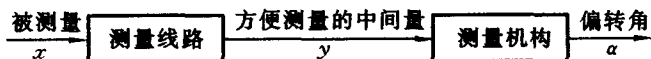


图1-2 仪表的组成

(2) 仪表测量机构的结构及工作原理。仪表的测量机构可分为两个部分, 即活动部分及固定部分。用以指示被测量数值的指针或光标指示器就安装在活动部分上。

测量机构工作时产生三个主要力矩。

第一, 作用力矩 M ——要使仪表的指针偏转, 在测量机构内必须有作用力矩作用在仪表的活动部件上。作用力矩一般是由磁场和电流线圈 (或铁磁材料) 的相互作用产生的 (静电式仪表则由电场形成), 而磁场的建立可用永久磁铁或用带电线圈。作用力矩与被测量 x 及偏转角 α 有一个完全确定的关系, 即 $M=f_1(x, \alpha)$ 。

第二, 反作用力矩 M_r ——若一仪表只有作用力矩而无反作用力矩, 则无论被测量大小如何, 指针都会偏转到满刻度位置, 无法指示被测量的大小。反作用力矩也作用于仪表的活动部件上, 其方向与作用力矩方向相反, 其大小是仪表活动部分偏转角 α 的函数, 即 $M_r=f_2(\alpha)$ 。当反作用力矩与作用力矩相平衡时, 指针达平衡状态, 其指示值就是被测量。反作用力矩可由机械力, 如游丝、张丝及吊丝等的扭力产生, 也可以用电磁力产生, 还可由处于磁场中的导体的涡流作用产生。

第三, 阻尼力矩 ——当反作用力矩与作用力矩达平衡状态时, 仪表指针应停在某一平衡位置不动, 但实际中由于惯性, 指针会在这一平衡位置来回摆动较长时间, 导致读数困难并造成误差。为了减小指针在平衡位置的摆动次数和摆动幅度, 必须使仪表的活动部件在运动的过程中受到一个与运动方向相反的作用力矩, 通常叫阻尼力矩。一旦指针停止不动, 阻尼力矩也就消失。常用的阻尼器有空气阻尼器和磁感应阻尼器。

目前, 电工仪器和仪表向数字化方向发展很快, 其结构有了较大的变化, 不需要测量偏转机构, 它能把模拟量直接转换成数字量显示出来, 测量速度加快, 便于读数, 且精度提高。

3. 电工仪表的误差

我国国标 GB7676—87《电气测量指示仪表通用技术条例》规定: 电压表和电流表在规定的条件下、有效量程范围内测量时的准确度等级有 11 个级别。与之对应的基本误差如表 1-1 所示。

表1-1 电压表、电流表的准确度及其基本误差

准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3	5
基本误差 %	± 0.05	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.0	± 2.5	± 3	± 5

仪表的准确度等级指数愈小,使用该仪表时导致的引用误差就愈小,基本误差也愈小。

例如,用量程为 A_m 、准确度为 a 级的仪表测量时,可能产生的最大绝对误差为 $\Delta A_m \leq A_m \cdot (\pm a\%)$; 若该仪表的读数为 A_x , 则测量可能导致的最大相对误差为 $\gamma = \Delta A/A_x \times 100\% \leq A_m \cdot (\pm a\%)/A_x \times 100\%$ 。从此式可以看出,仪表读数愈大则相对误差愈小,故使用时应尽可能使读数超过 $2/3$ 倍的满量程,这样,仪表导致的误差较小。

GB7676-87 中还规定:电阻表有 12 个准确度等级;功率表、相位表、功率因数表等都只有 10 个准确度等级。如表 1-2 所示。

表1-2 常用仪表的准确度等级

准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	5	10	20
电流、电压表	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
功率、无功功率表	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
相位、功率因数表		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
电阻表	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓

1.1.4 数据处理

在电工测量中,要解决的问题是测量方法的选择、测量数据的分析处理及测量仪器和仪表的正确使用。测量方法的选择,一般要根据被测量的特性、现有的测量条件以及对测量准确度的要求等来决定。前面已经介绍了测量方法。一般情况下使用直接测量、直接读数法。

实验数据分析、处理方法常用的有列表法、作图法、函数法等。

1. 误差位确定法

数据测量前,首先确定测量结果应为几位小数、哪一位是可靠的、从哪位开始是不准确数字。由前面提到的仪表的最大绝对误差决定。通常记录下来的数据中应只保留一位不准确的数字。如选用一块准确度级别为 0.3 的电压表测量电压,用 10 V 量程挡时,读数在 8.43 V 左右。这时的测量数据应取多少? 这时可能产生的最大绝对误差为 $\Delta A_m = 10 \times (\pm 0.3\%) = \pm 0.03$ V, 则记录数据的小数点后应保留两位小数,数据就是 8.43 V, 小数点后的第一位数字是可靠的。若选用级别是 5 级的电压表,则这时的最大绝对误差 $\Delta A_m = 10 \times (\pm 5\%) = \pm 0.5$ V, 则记录数据的小数点后只保留一位小数,数据应为 8.4 V, 小数点后的第二位再保留就没有意义了。

2. 有效数字表示法

为了减小误差的积累,广泛采用舍入规则保留有效数字。即:小于 5 则舍,大于 5 则入;等于 5 时,若高一位是偶数时则舍,是奇数时则入。与四舍五入法不同的是,等于 5

时有舍也有入。这种规则,使有效数字的尾数为偶数的机会变多,作被除数时,被除尽的机会多些,可减少计算带来的误差。如,下列几个数字是按保留三位有效数字舍入得到的结果: $5.7649 \approx 5.76$; $128.501 \approx 129$; $2.875 \approx 2.88$; $2.885 \approx 2.89$ 。同一有效数字可有不同的表示方法,如: 0.045 V 与 45 mV , 它们都表示具有两位有效数字。而 45.0 mV , 其数值大小虽没变,但属三位有效数字。又如: $5\ 100 \text{ k}\Omega = 5.100 \text{ M}\Omega = 5\ 100 \times 10^3 \Omega$ 都表示具有四位有效数字。若写成 $5.1 \text{ M}\Omega$ 或 $5\ 100\ 000 \Omega$, 则分别为两位与七位有效数字,是不一样的。

3. 列表法

测量获得的实验数据,首先都是以表格的形式记录下来。当然,表格往往需要整理。若测量结果是线性关系,则从表格中就能看出被测量的变化规律来。不过通常都要把测量数据用一条连续光滑曲线表示出来,这样,看起来被测量的变化规律就更直观明了。

4. 作图法

适当选择纵坐标和横坐标的比例关系与比例尺得到平面坐标系,把实验数据用点标在坐标系中,然后用平滑法或分组平均法以尽可能小的误差绘制出连续光滑的曲线。

① 平滑法——将坐标系中各点依次用虚线连线,然后在这些连线的中间作一条连续光滑的曲线,尽量使曲线两边的虚线与曲线所围成的面积相等。如图 1-3(a) 所示。

② 分组平均法——将坐标系中各点按相邻分组,偏离曲线较多者三点一组构成三角形找其重心,偏离曲线较少者也可两点一组,找其连线的中点。然后连接重心或中点成一条光滑连续的曲线。如图 1-3(b) 所示。

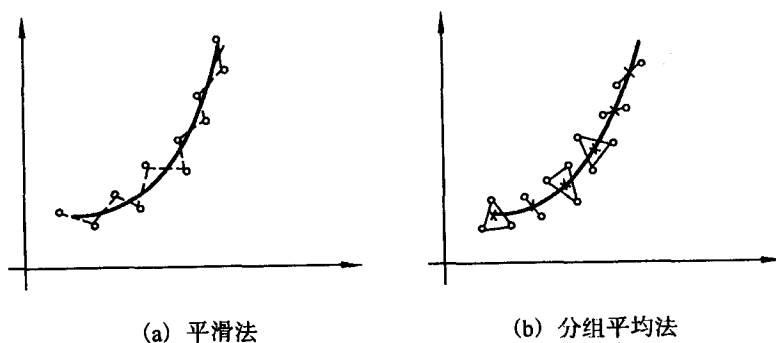


图1-3 作图法

5. 函数法

将实验数据用函数式表示,称为实验数据的函数表示法,又称回归分析法。观察作图法所得到的曲线的变化规律,最接近哪种常见函数的变化规律,确定函数的类型,得到函数的一般表达式。再由实验数据确定函数式中的常系数和常数。若作图法所得图形是直线,则函数式为直线方程,可选斜截式 $y=f(x)=a+bx$, 其中 a 、 b 为待定系数。可由最小二乘法原理得到的回归方程组 (1-10) 求得。式中 n 为测量次数。

$$\left\{ \begin{aligned} a &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ b &= (\sum_{i=1}^n y_i / n) - (\sum_{i=1}^n x_i / n) a = \bar{y} - \bar{x} a \end{aligned} \right. \quad (1-10)$$

若作图法获得的曲线不是直线，而是非线性曲线，则先将非线性关系的函数式转换成线性关系(如非线性关系的指数曲线关系可通过取对数转换成线性关系)，然后再用回归方程组求常系数和常数。

1.1.5 电压、电流、功率的测量

1. 电流的测量

电流的测量过程首先要保证电路的工作状态不受影响。电流表的内阻很小(精确度愈高其内阻愈小)，直接测量法是将电流表串入被测量支路，读数就是该支路的电流。如图 1-4(a) 所示。图 1-4(b) 和 1-4(c) 是间接测量法。其中图 1-4(b) 是在被测量支路中串入阻值较小的已知电阻，用高内阻电压表测出已知电阻的端电压 U ，再用欧姆定律算出电流。图 1-4(c) 是仅对测量交流大电流而言，不用断开电路，通过电流互感器，可用小电流表测出较大的电流。

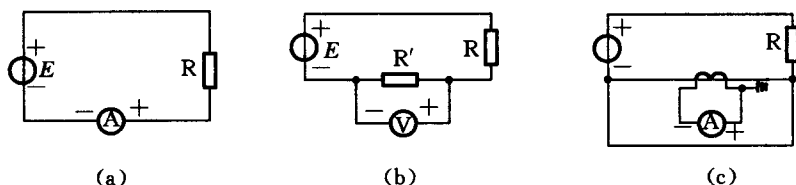


图1-4 测量电流

注意：电流互感器的次级绕组和铁芯都要有良好接地，且次级绕组决不允许断开。

2. 电压的测量

如图 1-5 所示，其中图 1-5(a) 是直接测量法，电压表内阻高(越高越好)与被测量电路并联对电路工作无影响，故读数就是电阻 R 两端的电压。图 1-5(b) 是间接测量法，用于高电压交流。通过电压互感器实现测量。

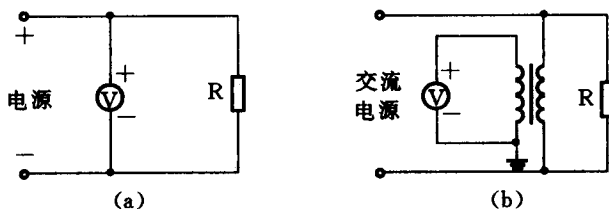


图 1-5 测量电压

注意：电压互感器的初级绕组和次级绕组中都应串联保险装置，以防短路；次级绕组、外壳和铁芯都要有良好接地，万一绝缘件损坏时，次级绕组、外壳和铁芯对地的电压也不会升高，确保人身和设备安全。

测量精度要求较高时可采用补偿测量法，如图 1-6 所示。图中， R 和 E 是标准元件， R_P 是可变电阻， G 是灵敏度较高的检流计。若要测量 a 、 b 两端的电压，测量电路如图 1-6 接好后，调节 R_P 使检流计电流为零，则

$$U_{ab} = U_{cd} = \frac{R_P}{R + R_P} E = KE$$

由于测量过程对被测量电路没有任何影响，且式中有两个标准元件，故测量精度较高。

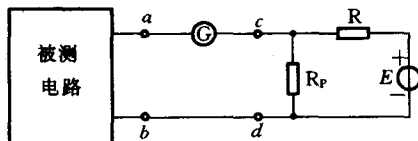


图1-6 补偿法测量电压

3. 功率的测量

利用功率表（瓦特表）直接测量功率。功率表有单相和三相之分。单相功率表用于测量单相交流电路和直流电路的功率。三相功率表可一次测得三相电路的总功率。功率表有两个线圈，一个是电压线圈，其匝数很多，呈现高阻，常用电阻和线圈串联表示，测量时并联在被测量负载两端；另一个是电流线圈，匝数较少，测量时串联在被测量负载所在支路之中。两个线圈有一个公共端，常用“*”表示，测量时应连接在一起接入电路，否则可能出现功率表指针反向偏转。

① 直流或单相交流电路功率的测量。测量电路如图 1-7 所示。加在电压线圈上的电压为 U ，通过电流线圈的电流为 I ，带“*”的端子是公共端连接在一起。若为直流电路，则读数为 $P=UI$ ；若为交流电路，则读数为 $P=UI\cos\varphi$ 。

② 三相交流电路功率的测量。若为对称三相电路，则可用单相功率表如上述测得某一相的功率，再乘以 3 便是三相电路的总功率。若为不对称三相电路，则可用一块单相功率表分三次分别测量各相功率求和得总功率。也可用三块表一次性测量，三块表读数之和就是总功率。还可采用两瓦特表法如图 1-8 所示一次性测量，两块表读数之和就是三相电路的总功率。由图 1-8 可知，瞬时值电流的关系是 $i_A + i_B + i_C = 0$ ，即

$$i_C = -(i_A + i_B)$$

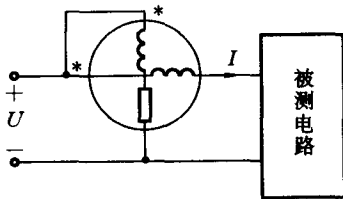


图1-7 测量直流或单相交流电路的功率

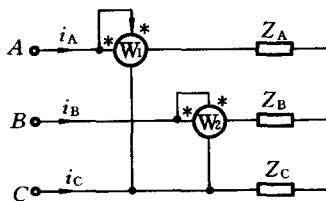


图1-8 两瓦特计法测量三相电路的功率

此三相电路的瞬时功率为 $p = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C = u_A i_A + u_B i_B - u_C (i_A + i_B) = u_{AC} i_A + u_{BC} i_B = p_1 + p_2$ ，其平均（有功）功率为

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u_{AC} i_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T u_{BC} i_B dt$$

$$= U_{AC} I_A \cos \varphi_1 + U_{BC} I_B \cos \varphi_2 = P_1 + P_2 \quad (1-11)$$

在式(1-11)中, P_1 、 P_2 分别为图 1-8 中两瓦特表 W_1 和 W_2 的读数; φ_1 为 u_{AC} 与 i_A 的相位差角; φ_2 为 u_{BC} 与 i_B 的相位差角。所以此两瓦特表的读数就是三相电路的总功率, 且不论三相负载是否对称, 不管负载是星形还是三角形都一样。

注意: 两瓦特表法在实际测量中, 可能会出现某一块表的指针反向偏转的情况, 这时说明此表测量的线电压与线电流的相位差角大于 90° , 应对调瓦特表的电流线圈的两个接线端才能读出结果, 此表的读数为负值, 它与另一表的读数之和为三相电路的总功率(实为两表之差)。另外, 选取功率表时, 不仅要考虑功率量程, 还要分别考虑电流和电压线圈的测量范围。

4. 电能的测量

电能的测量仪表称为电能表(瓦时表), 有直流、交流之分, 交流电能表也称为电度表, 又有单相和三相两类。与功率表不同, 它不可能是指针式。电能与时间有关, 电度表不仅要测量功率的大小, 还要测量用电时间的长短, 故电度表是一种累加计算型仪表。不过电度表的接线方法与功率表完全相同。家用电度表是单相的, 其接线方法与单相功率表相同。

1.1.6 电阻、电感、电容的测量

1. 电阻的测量

电阻值的范围很大, 约为 $(10^{-6} \sim 10^{17}) \Omega$ 。所以应采用不同的测量方法。

① 直接测量。用欧姆表或复(万)用表的电阻挡, 可直接测量电阻的阻值。测量时要选择合适的量程, 使指针的偏转角度稍大些, 不要两手同时接触两表笔的金属部分。

② 间接测量。间接测量法也称为外加电压法。对于正处于工作状态的非线性元件的电阻用欧姆表是无法测量的, 而用间接法则可测量。如图 1-9 所示。

一般情况下, 电压表的读数与电流表读数之比就是被测量电阻之值。若要考虑测量仪表的影响, 则要分不同接法分别考虑。

图 1-9(a) 中, 电压表的读数包含了电流表的压降 U_A , 电流表的内阻给测量带来误差, 应去除电流表的内阻 R_A , 被测电阻为

$$R = \frac{U_V}{I_R} - R_A$$

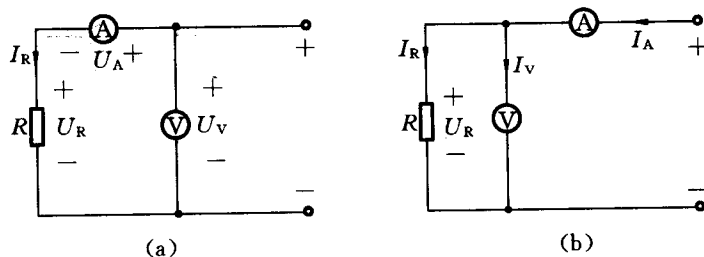


图 1-9 间接法测量电阻