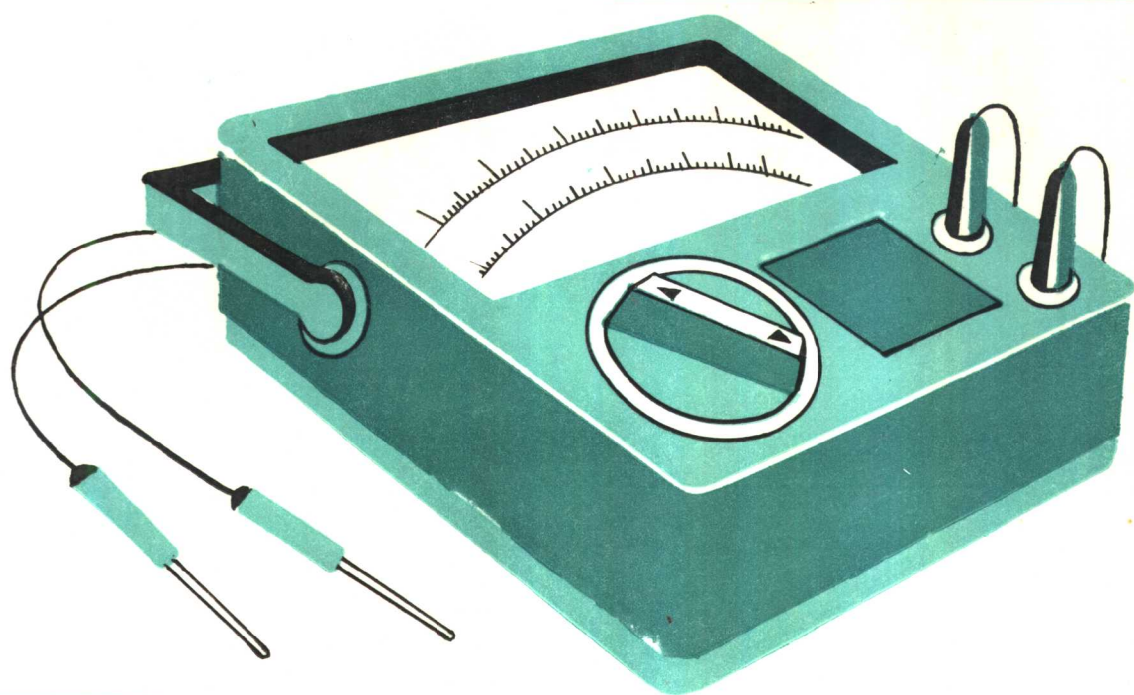


电路测量

DIANLUCELIANG



罗天龄 编著

科学技术文献出版社

电 路 测 量

罗 天 龄 编著
王 继 森 主审

科学技术文献出版社

(京)新登字130号

图书在版编目(CIP)数据

电路测量/罗天龄著.-北京:科学技术文献出版社,
1995

ISBN 7-5023-2465-8

I.电… II.罗… III.电气测量 IV.TM930

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第00048号

科学技术文献出版社出版发行

(北京复兴路15号 邮政编码100038)

中国科学技术信息研究所重庆分所印刷厂印刷

1995年5月第1版 1995年5月第1次印刷

787×1092毫米 1/16开本 10印张 240千字

印数:1—3700册

定价:8.90元

内容简介

本书为电路实验单独设课的理论部分教材,与高等学校电子类技术基础课实验系列教材《电路、信号与系统实验及应用》一书配套使用。

全书分八章。主要内容有:测量误差分析及削弱和消除误差的方法;测量结果的数字处理及图解分析;电工仪表及常用电子仪器的结构、工作原理和使用方法;电路元件、电路特性和信号频谱的测量;电路实验设计方法及举例。

本书为高等院校电子类专业实验理论课教材,可供电类和非电类以及电大、职大等有关专业选用。亦可供有关实验技术人员参考。

前 言

根据高等学校工科电工课程教学指导委员会1986年5月在厦门审定的高等工业学校4年制电类专业《电路分析基础》和《信号与系统》两门课程中对实验技能的基本要求,多年来我们对实践性环节进行了改革,实行电路与信号实验单独设课、单独考核。为了提高学生的实验技能,将《电路、信号与系统》实验课分为两大环节:理论讲课与学生实验,前者为后者服务。现将已编写并经过多次使用、多次修改的讲义改编出版,作为与高等学校电子类技术基础课实验系列教材《电路、信号与系统实验及应用》配套使用。编写中参考了国内外有关教材和资料。

本书主要特点是:①加强了实践性设计环节,专设一章(第八章)讲解;②由于课程被安排在电子电路、脉冲数字电路课程之前,在介绍电子仪器结构、工作原理时,不涉及仪器内部具体电路,只从方框图上用物理概念加以说明,便于学生接受;③在测量误差分析中,采用大学物理、高等数学的理论作为基础,以讲清物理概念为主,避免繁琐的数学推导,重点放在对常用公式的理解和具体应用上。

本教材共分八章:电路测量的基本知识;万用表设计;常用电子仪器使用;交流参数测量;电路频率特性测量;动态响应的测量;周期信号频谱的测量;电路实验设计的基本方法。

本书经重庆大学全寿春副教授审阅,并由重庆邮电学院王继森副教授主审。他们提出了许多宝贵意见和建议,编者谨致以衷心的感谢。

本书在编写过程中,重庆邮电学院林国芬副教授、李顺宁老师帮助做了许多工作,同时还得到重庆邮电学院《电路、信号与系统》教研室、教材科及有关单位的支持,特表谢意。

限于编者知识水平,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1994年10月于重庆邮电学院

目 录

绪 论

一、测量的重要性.....	(1)
二、电气测量的特点及其发展方向.....	(1)
三、本课程的任务和要求.....	(1)

第一章 电路测量的基本知识..... (1)

§1—1 电路测量及测量方法分类.....	(1)
一、测量概念.....	(1)
二、测量方法分类.....	(1)
三、测量仪表的分类.....	(1)
§1—2 测量误差.....	(3)
一、测量误差的意义及分类.....	(3)
二、测量误差的表示方法.....	(5)
三、测量的准确度、精密度、精确度的概念.....	(5)
四、电工仪表的等级及其选择.....	(6)
五、修正值.....	(7)
§1—3 测量结果的表示方法.....	(9)
一、测量结果的数字表示.....	(9)
二、测量误差的估计.....	(11)
三、测量结果的图解分析.....	(12)
§1—4 削弱和消除系统误差的典型技术.....	(13)
一、零示法.....	(13)
二、微差法(虚零法).....	(14)
三、代替法.....	(15)
四、交换法.....	(15)
§1—5 测量误差的合成.....	(16)
一、误差合成概念.....	(16)
二、误差传递公式.....	(16)
§1—6 实验室供电与电路实验基本知识.....	(19)
一、实验室供电系统.....	(19)
二、实验室供电设备.....	(20)
三、电路实验基本知识.....	(21)

四、实验故障及一般排除方法	(23)
思考题与习题	(24)

第二章 万用表 (26)

§2—1 磁电式仪表——万用表的表头	(26)
一、磁电式仪表的结构和工作原理	(26)
二、表头灵敏度和表头内阻	(29)
三、技术特性	(30)
§2—2 磁电式安培表——万用表的直流电流测量电路	(30)
一、分流器的计算	(30)
二、多量程电流表	(31)
三、使用电流表应注意的问题	(33)
§2—3 磁电式电压表	(34)
一、万用表的直流电压测量电路	(34)
二、电压灵敏度	(35)
三、MF-30型万用表直流电压测量电路	(35)
四、直流电压表的使用	(36)
§2—4 整流系仪表——交流电压测量电路	(36)
一、整流系仪表	(37)
二、交流电压测量电路的计算	(39)
三、MF-30型万用表交流电压测量电路	(39)
四、整流系仪表的技术特性	(40)
§2—5 磁电式欧姆表——万用表的电阻测量电路	(40)
一、欧姆表的工作原理	(40)
二、多量程欧姆表	(41)
三、欧姆表各元件的计算	(43)
四、欧姆表的准确度	(45)
五、使用欧姆表应注意的问题	(45)
六、MF-30型万用表的电阻测量电路	(46)
七、MF-30型万用表总体电路图	(46)
思考题与习题	(48)

第三章 常用电子仪器的使用 (50)

§3—1 信号发生器	(50)
一、概述	(50)
二、正弦号发生器	(50)
三、对信号发生器的要求	(51)
四、NF1642数字式函数发生器	(52)

§3—2 电子电压表	(52)
一、电子电压表的主要技术特性	(52)
二、电子电压表的组成原理	(52)
三、放大——检波式电压表的刻度特性	(53)
四、电平及其测量	(55)
五、DA-16型晶体管毫伏表	(57)
六、数字式仪表	(58)
§3—3 电子示波器及其测量技术	(59)
一、一般示波器的基本结构和工作原理	(59)
二、通用示波器的一般结构	(65)
三、双踪示波器	(66)
四、示波器的基本测量方法	(67)
五、示波器的正确使用	(72)
思考题与习题	(74)
 第四章 交流参数的测量	 (78)
§4—1 实际元件的等效电路	(78)
一、电阻器	(78)
二、电容器	(79)
三、电感线圈	(80)
§4—2 电表法——间接测量法	(81)
一、伏安法	(81)
二、三表法(电压表、电流表、功率表)	(82)
三、三电压表法	(83)
§4—3 电桥法	(84)
一、交流电桥的基本原理	(84)
二、交流电桥的收敛性	(85)
三、常用交流电桥电路	(86)
四、交流电桥的技术性能	(89)
五、使用交流电桥应注意的问题	(90)
§4—4 谐振法(Q表法)	(90)
一、Q表的工作原理	(90)
二、电感线圈参数的测量	(92)
三、电容元件参数的测量	(94)
四、Q表的技术性能	(97)
五、使用高频Q表测试的注意事项	(98)
思考题与习题	(98)

第五章 电路频率特性的测量.....(100)

§5—1 频率特性.....(100)

一、频率特性的概念.....(100)

二、RC网络频率特性举例.....(101)

§5—2 幅频特性的测量.....(105)

一、点频法.....(105)

二、扫频法.....(107)

§5—3 相频特性的测量.....(108)

思考题与习题.....(108)

第六章 动态系统响应的测量.....(109)

§6—1 动态系统的响应.....(109)

一、动态系统响应的概念.....(109)

二、一阶动态系统的响应.....(109)

§6—2 动态系统响应的观测.....(111)

一、动态系统响应的特点.....(111)

二、瞬态过程观测的方法.....(111)

§6—3 二阶系统响应的观测.....(113)

一、二阶电路的响应.....(113)

二、二阶电路脉冲响应的观测.....(116)

§6—4 二阶电路的状态轨迹.....(117)

一、状态轨迹.....(117)

二、状态轨迹的观测方法.....(118)

思考题与习题.....(119)

第七章 信号频谱的测量.....(120)

§7—1 信号的频谱分析.....(120)

一、概述.....(120)

二、周期信号的频谱.....(121)

§7—2 几个典型周期信号的频谱.....(122)

一、对称方波的频谱.....(122)

二、对称三角波的频谱.....(123)

三、矩形脉冲信号的频谱.....(123)

§7—3 周期信号频谱的测量.....(126)

一、测量原理及方法.....(126)

二、选频电平表和波形分析仪的工作原理.....(127)

三、频谱分析仪的测量原理·····	(127)
思考题与习题·····	(128)

第八章 电路实验设计的基本方法·····(129)

§8—1 实验设计的基本方法·····	(129)
一、实验题目的确定·····	(129)
二、实验方案的确定·····	(129)
三、实验的进行·····	(130)
四、对实验结果的分析·····	(130)
§8—2 实验设计举例·····	(130)
一、波形变换器的设计·····	(130)
二、移相器的设计·····	(133)
三、实验结果分析·····	(136)
§8—3 MF27-2型万用表的设计、安装和校准·····	(138)
一、已知技术参数和指标·····	(138)
二、计算各测量电路元件参数及元件选择·····	(138)
三、绘总体线路图,设计制作印刷电路板及绘制装配图·····	(144)
四、万用表的校准·····	(145)
思考题及习题·····	(148)
主要参考文献·····	(148)

第一章 电路测量的基本知识

§1—1 电路测量及测量方法分类

一、测量概念

测量是人们借助于专门的设备,通过实验的方法对客观事物取得数量观念的认识过程。从日常生活和实验中可以举出很多浅显的事例,如用尺子量布的长度,用电压表测量市电的电压。所以测量可以定义为:用实验的方法将被测量直接或间接地与作为测量单位的标准量相比较的过程。在比较过程中确定被测量是这个标准量的多少倍,从而确定被测量值的大小。若测得市电的电压为220伏,即“1伏”是标准量(比较单位),被测量(市电)是1伏的220倍。测量结果是由比较的倍数和用作比较的单位两部分组成。电气测量单位如表1-1-1所示。

二、测量方法分类

测量方法分类的形式很多,根据测量仪器不同,将测量方法分为:

1. 直接测量。即被测量的数字大小能直接在测量仪器上显示出来。例如用电压表测量电压,用电桥测量电阻,用数字式频率计测量频率等。直接测量简单易行,所需测量时间短,并有可能达到很高的精度。

2. 间接测量。当被测量的大小不便于直接测量时,可以利用被测量与某种中间量之间的函数关系先测出中间量,然后通过计算公式算出被测量。例如,用伏安法测电阻,即先用直接测量方法测出电阻中通过的电流 I 及端电压 U ,然后根据欧姆定律 $R = \frac{U}{I}$,便可计算出 R 的数值。仅在直接测量不方便、误差大或缺乏直接测量仪器等时,方采用此法。

3. 组合测量。测量中改变测量条件,使各未知数以不同的组合形式出现,根据直接测量和间接测量所得数据,通过解一组联立方程而求出未知量的数值。例如,为了测量导体电阻的温度系数 α 、 β 之值,须利用电阻与温度的关系式:

$$R_{t_1} = R_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$R_{t_2} = R_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2]$$

式中 R_{t_1} 、 R_{t_2} 分别为温度 t_1 、 t_2 时的电阻值。联立解以上方程组即可求得未知量 α 、 β 。

三、测量仪表的分类

按测量方式不同,测量仪表可分为直读式仪表和比较式仪表两大类。

1. 直读式仪表:测量结果可以直接由仪表的指示机构中读出。直读仪表测量迅速、使用方便,是电气测量中使用最多的仪表,如伏特表、安培表、万用表、瓦特表、数字式频率

表 1-1-1

(1) 测量单位的符号					
名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
千 安	kA	瓦 特	W	毫 欧	mΩ
安 培	A	兆 乏	Mvar	微 欧	μΩ
毫 安	mA	千 乏	kvar	相 位 角	φ
微 安	μA	乏 尔	var	功率因素	cosφ
千 伏	kV	兆 赫	MHz	无功功率因素	sinφ
伏 [特]	V	千 赫	kHz	法 [拉]	F
毫 伏	mV	赫 芝	Hz	微 法	μF
微 伏	μV	兆 欧	MΩ	微 微 法	pF
兆 瓦	MW	千 欧	kΩ	亨	H
千 瓦	kW	欧 姆	Ω	毫 亨	mH
				微 亨	μH

(2) 仪表工作原理的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		电动系仪表		感应系仪表	
磁电系比率表		电动系比率表		静电系仪表	
电磁系仪表		铁磁电动系仪表		整流系仪表 (带 半导体整流器和磁 电系测量机构)	
电磁系比率表		铁磁电动系比率表		热电系仪表 (带 接触式热变'换器 和磁电系测量机构)	

(3) 电 流 种 类 的 符 号

名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号
直流	—	交流 (单相)	~	直流和交流	⎵	具有单元件的 三相平衡负载交 流	≡

(4) 准 确 度 等 级 的 符 号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
以标度尺量限百 分数表示的准确度 等级, 例如1.5级	1.5	以标度尺长度百 分数表示的准确度 等级, 例如1.5级	1.5 ✓	以指示值百分数 表示的准确度等 级, 例如1.5级	1.5

计、电子示波器等都属于直读式仪表。其缺点是准确度较低。直读式仪表面板标记符号及意义如表1-1-1所示。

2. 比较式仪表：将被测量与标准的测量单位进行直接比较而测出其数值。如电桥、电位差计等都属于此类。应用比较式仪表测量较复杂，花费时间长，仪表价格较贵，但准确度高，因而常用于精确测量。

§1—2 测量误差

一、测量误差的意义及分类

1. 测量误差的意义

测量是定量认识客观事物的过程。我们把被测量具有的真实大小称为真值（也称实际值）。但在测量中，人们通过实验方法求被测量的真值时，由于测量仪器不准确，测量方法不完善，测量条件不稳定及测量人员操作技术差别等原因，都会使测量值与被测量真值不一致。真值的近似值（测量值）与真值（实际值）之差，称为测量误差。

由于测量误差的产生，它限制了测量结果的精确程度。当测量误差超过一定限度，使测量结果不但变得毫无意义，甚至会给工作带来很大危险。因此我们研究误差理论的目的就是要根据误差的规律，在一定条件下尽力设法排除、削弱与估计这些误差；并根据误差理论合理地设计和组织实验；正确选用仪表和测量方法，并进行测量，以获得尽可能接近真值的测量结果。

2. 测量误差的分类

误差按其性质可分为系统误差、偶然误差（或称随机误差）和过失误差三种，只要了解它们产生的原因和特点，就能设法避免或尽量减小之，从而提高测量的精确度。

(1) 系统误差

系统误差（简称系差）又称有规律误差或经常误差。它是在相同条件下多次测量同一量时，误差的绝对值和符号保持恒定，或在条件改变时，按某种确定规律而变化的误差。

产生系统误差的原因有：

①测量仪器本身不准确造成的。如仪器存在基本误差，它是在仪表规定的正常条件下进行测量时具有的误差，是仪表本身所固有的。刻度不精密和仪器制作上的不完善都会引起这种误差，称仪表的基本误差。仪表还存在附加误差，是因为仪表使用的工作条件与正常条件不同，如温度、湿度、外界电磁场变化时引起的误差，仪器安放不当、零点未经调准也会造成指示偏高或偏低而引起误差。

②测量方法不当引起的误差。如电表的接入，由于电表具有内阻，有时会对测量电路发生较大影响而造成误差；或者使用了近似的计算公式进行计算也会引起误差。

③测量人员本身的习惯和偏向，以及由于人的感觉器官不完善所造成的误差。如操作人员总是过高地估计读数，或者因人耳听不到低于16赫以下的声音，用差拍法测量频率时就会产生±16赫范围内的误差。

④测量环境周期性变化而引起的误差。如24小时连续测试时，由于白天和夜晚气温变化所引起的误差是周期性变化的。

因为系统误差具有一定规律，可以通过实验和研究来发现它的规律，从而设法消除和减

小。找出原因后可以通过改进测量方法、改变测量环境以及找出修正值来加以修正。

由系统误差的性质可知，系统误差的大小实质上反映了测量结果偏离被测量真值的程度。系统误差越小，测量结果越准确。

(2) 随机误差

随机误差又称偶然误差或无规误差。它是在相同条件下多次测量同一量时，误差的数值和符号是不断变化的，其值时大时小，其符号时正时负，出现的时间和变化规律都是未知的误差。

随机误差主要是由那些对测量值影响较小，又互不相干的多种因素共同造成的。例如热骚动、噪声干扰、电磁场的微变、空气扰动、大地微振、测量人员感觉器官的各种微小变化等等。由于上面这些影响，尽管从宏观上看测量条件没有变，例如使用的仪器准确程度相同、周围环境相同、测量人员同样地细心进行工作等，但是只要测量装置的灵敏度足够高，就会发现测量结果有上下起伏的变化，这种变化就是随机误差造成的。

任何一次测量的随机误差都没有规律，不可预定、不可能控制，也不能用实验的方法加以消除，但是在足够多次测量的总体上随机误差服从统计规律，也就是说在相同条件下，足够多次测量同一量时，从统计观点看随机误差服从正态统计分布规律，如图1-2-1所示。即有以下几个特点：

第一，在多次测量中随机误差的绝对值不会超过一定界限，这是随机误差的有界性。

第二，绝对值相等的正、负误差出现的机会（概率）相同，即随机误差的对称性。

第三，随机误差的算术平均值随着测量次数的无限增加而趋近于零。就是说在多次测量中随机误差有互相抵消的作用，即具有抵偿性。

由于随机误差具有抵偿性，所以我们可以通过多次测量取平均值的办法来削弱随机误差对测量结果的影响，例如在相同条件下多次测量同一被测量，其测量值分别为 x_1 、 x_2 、 x_3 ……，各次测量的绝对误差为 Δx_1 、 Δx_2 、 Δx_3 ……，则绝对误差的平均值为：

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \quad (1-2-1)$$

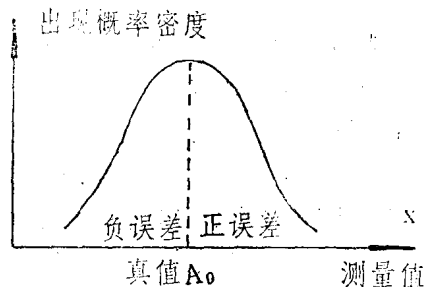


图1-2-1 随机误差的正态分布

当测量次数 n 趋近于无穷，若系统误差已经用各种方法消除，此时有：

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0 \quad (1-2-2)$$

上式说明，如果测量次数 n 足够多（实际中），由于随机误差的抵偿性使足够多次测量的正负误差之和在总体上互相抵消，从而减弱或消除了随机误差。

随机误差反映测量数据的密集程度，随机误差越大，对同一量多次测量的数据分散程度越大，反之测量数据越集中。

(3) 粗大误差

粗大误差又称疏失误差，简称粗差或巨差。这是一种严重歪曲测量结果的误差，例如读数误差，记录错误所引起的误差都是属于疏失误差，测量中包含疏失误差的数据是不可信的，发现后必须加以剔除。

二、测量误差的表示方法

测量误差就是被测量的测量值与实际值（真值）的差别。测量误差的表示方法有绝对误差与相对误差。

1. 绝对误差

绝对误差 Δx 为被测量的测量值(示值) x 与实际值(真值) A 之差，可表示为：

$$\Delta x = x - A \quad (1-2-3)$$

从(1-2-3)式不难看出，测量值大于真值时，绝对误差为正，测量值小于真值时则为负。真值是被测量的真实大小，例如三角形的三个内角之和为 180° ，此理论值便是测量三个角之和的真值。但是，有的被测量有理论值作为真值，而绝大多数（几乎是所有的）被测量的理论值是无法获得的，常常将更高一级精度的标准仪器所测的值称实际值，用它来替代真值。

应用绝对误差来表示测量的准确程度是不完善的，例如对两个电压进行测量，其实际值和绝对误差如下：

$$\begin{array}{ll} U_1 = 1000\text{V} & \Delta U_1 = 1\text{V} \\ U_2 = 10\text{V} & \Delta U_2 = 1\text{V} \end{array}$$

从绝对误差看 ΔU_2 和 ΔU_1 相等，似乎认为 U_1 、 U_2 两次的测量准确度相同，其实不然。为了客观地反映测量的准确度常采用相对误差表示方法。

2. 相对误差

绝对误差不能表示被测量的准确程度，因此提出相对误差的概念。

(1) 真值相对误差：绝对误差 Δx 与被测量的真值(实际值) A 之比的百分数 β_A ，即

$$\beta_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% = \frac{x - A}{A} \times 100\% \quad (1-2-4)$$

(2) 示值相对误差：绝对误差 Δx 与被测量的测量示值 x 之比的百分 β_x ，即

$$\beta_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% = \frac{x - A}{x} \times 100\% \quad (1-2-5)$$

绝对误差表示被测量的误差大小，而相对误差表示了被测量的准确程度。如上例中两次电压的测量， U_1 、 U_2 测量的相对误差分别为：

$$\beta_{A1} = \frac{\Delta U_1}{U_1} \times 100\% = \frac{1}{1000} \times 100\% = 0.1\%$$

$$\beta_{A2} = \frac{\Delta U_2}{U_2} \times 100\% = \frac{1}{10} \times 100\% = 10\%$$

由此看出，两个不同大小的测量值的绝对误差相同，但他们的相对误差不同，相对误差小的测量准确度高。上例中 U_1 比 U_2 测量准确度高。

三、测量的准确度、精密度、精确度的概念

在工程上因为偶然误差较小，常常忽略不计，主要考虑系统误差。只有在精密测量或精密实验中需要按随机误差的理论，对实验数据进行处理。因此在测量误差理论中系统误差和随机误差是分别表示和衡量的。

1. 准确度

准确度是表示测量仪器的测量值接近被测量真值的相对程度。准确度表示系统误差的大

小, 测量仪器的准确度越高, 表示系统误差越小。

2. 精密度

对同一个量进行重复多次测量时, 测量数据互相接近的程度叫精密度。多次重复测量数据越集中, 说明随机误差越小、精密度越高。精密度表征随机误差的大小。在误差理论中随机误差大小是用测量值的均方根差 $\sigma(X)$ 来衡量。 $\sigma(X)$ 越小测量值越集中, 测量的精密度越高, 随机误差越小。 $\sigma(X)$ 概念在§1-3中讲述。

3. 精确度

对任何物理量的测量, 若既考虑准确度又考虑精密度, 二者合起来称为精确度。一个准确度高的测量未必精密; 而一个精密度的测量未必准确。只有精密度高 (即随机误差小), 准确度也高 (即系统误差小), 才能说测量的精确度高。精确度高的测量称为精确测量。

四、电工仪表的等级及其选择

电工仪表的等级表示仪表测量准确程度。如果用相对误差来表示在整个量程中仪表测量的准确程度, 那是很困难的, 因为连续刻度的仪表, 每个量程内有很多不同测量值, 对应有很多不同的相对误差。用哪一个相对误差来表示仪表的准确程度呢? 于是我们定义出满度相对误差。

1. 满度相对误差

满度相对误差又称引用误差或相对额定误差, 表示仪表在此量限范围内测量值的最大绝对误差 Δx_m 与仪表满量程 A_n 之比的百分数, 即

$$\beta_s = \frac{\Delta x_m}{A_n} \times 100\%$$
 (1-2-6)

2. 电工仪表的精度(等级)

在直读的电工仪表中, 常用满度相对误差来表示仪表在正常工作条件下仪表测量的准确度等级, 又称仪表的精度。根据满度相对误差的大小, 将直读式仪表的准确度分成7个等级: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0级。仪表的等级就是满度相对误差所不超过的值, 见表1-2-1。

表 1-2-1 仪 表 准 确 度 等 级

仪表等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
满度相对误差 β_s 不超过的值	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 5.0\%$

3. 仪表等级的确定

仪表等级的确定方法是, 首先求出仪表测量的满度相对误差 β_s 的大小, 然后按表1-2-1规定确定仪表的等级。具体作法是将被确定仪表与标准表一起去测量同一个量, 标准表的读数被认为是实际A值, 被确定表的读数x与标准表之差为绝对误差 Δx , 然后在全量程上找出最大绝对误差 Δx_m , 从而计算出满度相对误差 β_s 。则可确定被确定表属于哪一准确度等级。

表1-2-2

被确定表读数 x(mA)	0	20	40	60	80	100
标准表读数 A(mA)	0	20.3	39.5	59	78	99
绝对误差 Δx (mA)	0	-0.3	+0.5	+1	+2	+1

例1-2-10 有一量程为100mA的电流表,用一标准表进行校验。测量结果如上表,试确定该电流表属于哪一准确度等级?

解 从表中看出在80mA处的绝对误差最大,于是

$$\Delta x_m = 80 - 78 = 2\text{mA}$$

满度相对误差为

$$\beta_s = \frac{\Delta x_m}{A_s} \times 100\% = \frac{2}{100} \times 100\% = 2.0\%$$

由 β_s 值,根据表1-2-1可知,这只表准确度应为2.5级。

4. 仪表的选择

选择仪表等级时要求与测量的准确度相适应。通常用0.1级和0.2级仪表作为标准表以校正其它仪表,实验室多用0.5~1.5级仪表,作监视生产过程的仪表及配电盘用仪表一般为1.0~2.5级仪表。在科研和教学实验中使用仪表,经常按以下原则进行选择。

选择仪表的原则:希望仪表测量的最大相对误差越小越好,仪表的最大相对误差可以用下式表示为:

$$\beta_m = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% \times \frac{A_s}{A_s} = \beta_s \frac{A_s}{x} \quad (1-2-7)$$

注意上式中, β_s 为仪表精度, A_s 为仪表的满量程值, x 为测量示值。

由上式看出,测量仪表的最大示值相对误差与仪表的量程 A_s 、精度 β_s 及测量值 x 有关。分析上式可以得出:

第一,当仪表精度已定,测量值 x 越接近仪表量程 A_s ,测量的最大相对误差越小。实际中一般选择测量值超过满量程2/3以上的仪表(即测量值使指针偏转到2/3以上的满量程)。

第二,测量值 x 已定,最大相对误差 β_m 决定于仪表精度 β_s 和量程 A_s 的乘积, $\beta_s A_s$ 越小,相对误差 β_m 越小,即选择仪表时,应选精度和量程乘积最小的表。

例1-2-2 现需要测量40伏电压,有两支电压表,一支精度为0.5级、量程200伏,另一支精度1.0级、量程为50伏,问应选哪一支电表进行测量?

解 0.5级、量程为200伏的表最大相对误差为:

$$\beta_{m1} = \beta_{s1} \frac{A_{s1}}{x} = \pm 0.5\% \frac{200}{40} \times 100\% = \pm 2.50\%$$

1.0级、量程为50伏的表,最大相对误差为:

$$\beta_{m2} = \beta_{s2} \frac{A_{s2}}{x} = \pm 1\% \frac{50}{40} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

从上例看出第二个表的相对误差小,应选第二个表,而第二个表的精度却比第一个精度低,说明实际测量中不能片面追求高精度(等级)的仪表,而应根据被测量的大小,兼顾仪表的量程和级别合理地进行选择。

五、修正值

由式(1-2-4)可知,真值 A 等于测量值 x 与绝对误差 Δx 之差,如下式:

$$A = x - \Delta x = x + (-\Delta x)$$

令 $-\Delta x = \lambda$,叫修正值(又称更正值)

则有

$$A = x + \lambda$$

(1-2-8)