

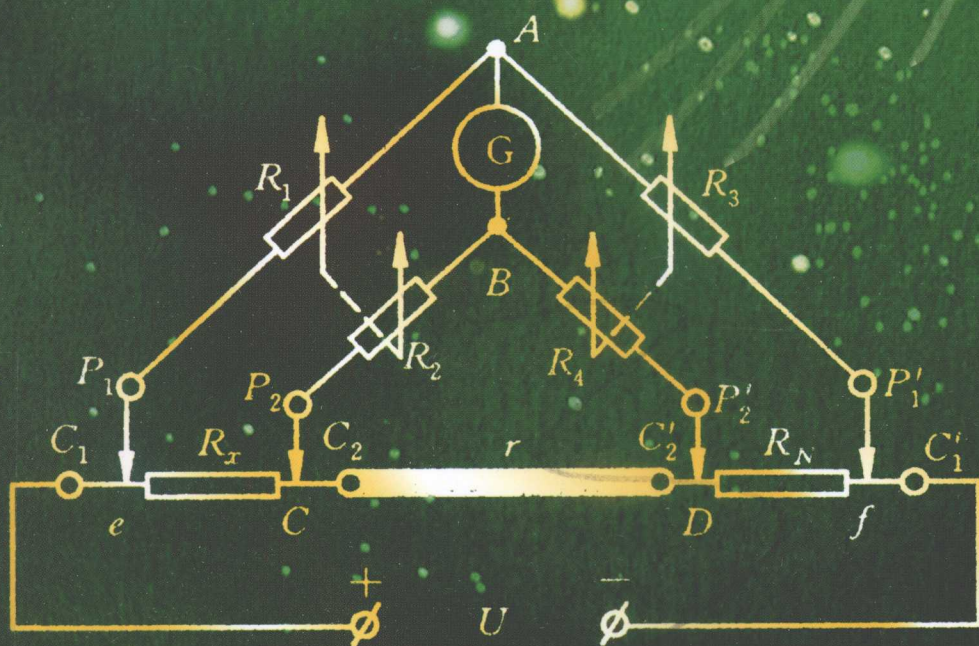
■ 高等学校理工科电子信息类规划教材

电路实验

CIRCUITS LABORATORY

(第二版)

大连理工大学电工电子实验中心 组编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

TM13-33/43

2008

■ 高等学校理工科电

电路实验

CIRCUITS LABORATORY

(第二版)

大连理工大学电工电子实验中心 组编

编著 姜艳红 王丹宁 邸 新



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电路实验/大连理工大学电工电子实验中心组编. —2版.
大连:大连理工大学出版社, 2008. 8
ISBN 978-7-5611-1028-7

I. 电… II. 大… III. 电路—实验 IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 126716 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连天正华延彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm	印张: 11	字数: 254 千字
1999 年 9 月第 1 版		2008 年 8 月第 2 版
2008 年 8 月第 2 次印刷		

责任编辑: 王 伟

责任校对: 婕 琳

封面设计: 宋 蕾

ISBN 978-7-5611-1028-7

定 价: 18.00 元

前 言

《电路实验》一书按照面向 21 世纪高等工程教育和教学内容改革的需要,在使用过多年的实验教材的基础上,改编增新而成。

本书为了加强实验环节,培养学生的综合能力,根据教育部的要求,将实验任务分为验证性实验和设计性实验两个层次,绝大部分实验在介绍了实验原理之后,在实验任务中都有自行设计实验方案这一步,在授课时,可以控制到使设计性实验占总实验量的相当大的比例,而且全部实验都适合开放进行。

根据科技发展的新动向,本书拓宽了数字化仪表的内容与应用。

本书尽量采用国标符号,但在计算机仿真内容中因受软件平台的限制,个别地方还有旧符号出现。

在学习常用电工仪表和附录这两部分时,可以借助于 CAI 课件进行,因课件种类较多、发展较快,这部分内容没直接编入本书,授课时教员自行处理。

在编写本书中,清华大学、北京理工大学、西安交通大学和华中理工大学等兄弟院校向我们提供了他们的实验指导书作参考,在此表示感谢!我们还特别感谢在我校实验室工作过多年的王贻月、赵静泰等老师,他们为本书的出版奠定了一个好基础。

本书共分为三大部分,第一部分由姜艳红编写,第二部分由姜艳红和邸新编写,第三部分由王丹宁和邸新编写,邸新负责全书审阅。由于编者水平有限,难免有许多不足之处,欢迎读者指正。

编 者
2008 年 8 月

目 录

第 1 部分	常用电工仪表	1
第 1 章	电气测量和指示仪表的基本知识	1
1.1	测量的基本概念	1
1.2	电气测量仪表	6
第 2 章	磁电系仪表	14
2.1	磁电系仪表的结构	14
2.2	磁电系仪表的工作原理	16
2.3	磁电系电流表和电压表	17
2.4	磁电系检流计	19
2.5	磁电系仪表的技术特性	21
第 3 章	万用表	23
3.1	万用表的结构	23
3.2	万用表线路分析	24
3.3	万用表的技术特性	26
3.4	万用表的正确使用	27
第 4 章	电磁系、电动系仪表	32
4.1	电磁系仪表	32
4.2	电动系仪表	34
4.3	电动系功率表	35
第 5 章	直流电位差计	39
5.1	直流电位差计的原理和结构	39
5.2	直流电位差计的分类	41
5.3	直流电位差计的灵敏度和检流计的选择	42
5.4	直流电位差计的应用	43
第 6 章	电 桥	46
6.1	直流电桥	46
6.2	交流电桥	50
第 7 章	数字仪表	56
7.1	数字频率计	56
7.2	数字万用表	59
第 2 部分	实验	61
	课前必读	61
	实验室规则	64

安全操作规程	65
实验 1 电阻元件伏安特性测定	66
实验 2 独立电源的外特性及其等效变换	68
实验 3 直流线性网络	70
实验 4 受控源的研究	72
实验 5 直流电位差计	74
实验 6 直流单双臂电桥	77
实验 7 交流电桥	79
实验 8 交流电路等效参数测量与功率因数的提高	80
实验 9 串联谐振	83
实验 10 双 T 网络频率特性的研究	85
实验 11 互感电路	87
实验 12 三相交流电路	90
实验 13 一阶电路的响应	93
实验 14 二阶电路的响应	97
实验 15 二阶电路的状态轨迹	99
实验 16 回转器及其应用	101
实验 17 直流磁路	104
实验 18 用示波器观测铁磁材料的动态磁滞回线	107
实验 19 万用表设计及安装	110
实验 20 RC 移相网络设计	119
第 3 部分 附录	121
附录 1 YB4320G 双踪示波器	121
附录 2 SG1005P 直流数字合成信号发生器/计数器	133
附录 3 KHDL-1 电路原理实验箱	144
附录 4 MF47 型万用电表	147
附录 5 SX2172 型交流毫伏表	151
附录 6 ZX21 型直流多值电阻器	154
附录 7 QS18A 万能电桥	156
附录 8 QJ32 型直流单双臂电桥	159
附录 9 功率表	162
附录 10 UJ25 型直流电位差计	164
附录 11 AC15/6 直流辐射式检流计	166
附录 12 标准电池	168
参考文献	169

第 1 部分 常用电工仪表

第 1 章 电气测量和指示 仪表的基本知识

1.1 测量的基本概念

1.1.1 测量的概念

测量是人们借助专门设备,通过实验的方法,将被测量与作为测量单位的已知量相比较的过程。在比较过程中,可以确定被测量是已知测量单位的几倍或者几分之几。测量的结果由两部分组成,一是比较的数量,二是比较的单位。通过测量,我们可以获取所研究对象的各种相关信息,从而总结出客观规律,得出正确的结论。

1.1.2 测量的单位

世界各国曾经使用过不同的制式,如电磁单位制(CGSM)、静电单位制(CGSE)和实用单位制(MKSA)等。目前,我国采用国际单位制。表 1-1 列出了一些电路分析中常用的国际单位制。

表 1-1 常用国际单位

量	单位名称	代号		量	单位名称	代号	
		中文	国际			中文	国际
电流	安培	安	A	电感	亨利	亨	H
电压	伏特	伏	V	电容	法拉	法	F
频率	赫兹	赫	Hz	时间	秒	秒	s
电阻	欧姆	欧	Ω				

在实际使用中,对太大或太小的单位,要在前面加上词头,用以表示这些单位与一个以 10 为底的正次幂或负次幂相乘后所得到的辅助单位。见表 1-2。

表 1-2 词 头

名称	代号		因数	名称	代号		因数
	中文	国际			中文	国际	
吉咖	吉	G	10^9	微	微	μ	10^{-6}
兆	兆	M	10^6	纳诺	纳	n	10^{-9}
千	千	k	10^3	皮可	皮	p	10^{-12}
毫	毫	m	10^{-3}				

1.1.3 测量的方式

根据获得测量结果的方式不同,可以把测量方式分为三大类:

1. 直接测量

将被测量与作为标准的量直接比较,或用事先刻度好的测量仪表进行测量,从而直接测得被测量的数值,这种测量方式称为直接测量。例如,用电流表测量电流,用直流电桥测量电阻等均属于直接测量。直接测量被广泛地应用于工程技术测量中。

2. 间接测量

测量中,通过对与被测量有一定函数关系的几个量进行直接测量,然后再按这个函数关系计算出被测量数值,这种测量方式称为间接测量。例如,当需要测量某种导体的电阻系数 ρ 时,因为导体的电阻系数 ρ 与导体的电阻 R 、截面 S 及长度 L 有一定关系,所以分别测出各有关量,然后根据式 $\rho = R \frac{S}{L}$,就可以计算出 ρ 值了,当某些被测量由于某些原因不便进行直接测量时,就可以考虑采用间接测量。

3. 组合测量

如果被测量有多个,而且能以某些可测量的不同组合形式表示时,可先通过直接或间接地测量这些组合的数值,再通过解联立方程组求得未知的被测量数值,这种测量方式称为组合测量。例如,导体的电阻 r_t 随温度 t 变化而变化,两者之间的函数表达式为

$$r_t = r_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

如果要确定某种导体的电阻与温度之间的关系,则需测定上式中的电阻温度系数 α, β 以及在 20°C 的电阻值 r_{20} ,为此我们可以在不同的温度下进行三次测量即可达到目的。

1.1.4 获得测量值的方法

测量是将被测量与作为测量单位的已知量进行比较,而作为单位复制体的度量器参加到这一比较过程可以是直接的,也可以是间接的。因此,根据是否有度量器直接参与测量过程,可以把获得测量值的方法分为两大类。

1. 直读法

用直接指示被测量数值的指示仪表进行测量,能够直接在仪表上读取数值的方法称为直读法。在直读法的过程中,度量器不直接参与作用。例如,用欧姆表测量电阻时,我们在测量过程中并没有直接使用标准电阻来与被测量的电阻进行比较,而是直接根据欧姆表的指针所指示在欧姆标尺上的位置,来读取被测电阻的数值。在这种测量过程中,标准电阻间接地参与作用,因为欧姆表的标尺是事先“校准”的。此外,用电流表测量电流,用电压表测量电压等均属于用直读法测量。用直读法进行测量,其测量过程简单,操作容易,然而准确度不高。

2. 比较法

将被测量与度量器(如标准电池、标准电阻、标准电容)通过较量仪器进行比较,从而测得被测量数值的方法称为比较法。可见,在比较法中,度量器是直接参与作用的。例如,用电位差计测量电压,用电桥或电位差计测量电阻。用比较法测量可以得到高的测量准确度,但测量时的操作比较麻烦,相应的仪器设备也比较昂贵,这是比较法的不足之处。

在测量中,究竟选用哪种测量方法,要由被测量对测量结果准确度的要求以及试验条件是否可能等多种因素决定。

1.1.5 测量中几个常用的术语

①准确度:说明仪表指示值与真值的偏离程度。

②精密度:说明仪表指示值的分散性,即对某一稳定的被测量由同一测量者使用同一仪表,在相当短的时间内重复测量多次,其测量结果(指示值)分散的程度。精密度越小表示测量越精密。

③精确度:是精密度与准确度的综合反映。精确度越高,意味着精密度和准确度都比较高。在最简单的情况下,可取两者的代数和。精确度常以测量误差的相对值表示。

④灵敏度:是仪器仪表读数的变化量与相应的被测量的变化的比值。

⑤分辨率:是指仪器仪表所能反映的被测量的最小变化值。

⑥误差:是指测量结果对被测量真实值的偏离程度。

⑦量程(量限):是指仪器仪表在规定的准确度下对应于某一测量范围内所能测量的最大值。

1.1.6 测量误差的分类和表示方法

任何一个仪表在测量时都有误差,它说明仪表的指示值和被测量的实际值之间的差异程度,而准确度则说明仪表的指示值与被测量的实际值相符合的程度。误差越小,准确度越高。根据引起误差的原因,可将仪表的误差分为两类:

(1)基本误差——指仪表在规定的正常条件下使用时所具有的误差,它是仪表本身所固有的,是由于仪表在结构上和制作上的不完善而产生的误差。例如,轴承里的摩擦,刻度划分不精密,活动部分不平衡等原因引起的误差都属于基本误差,所谓仪表的正常工作条件是指:

①仪表指针调整到零点;

②仪表按规定的工作位置安放;

③仪表在规定的温度、湿度下工作;

④除地磁场外,没有外来电磁场;

⑤对于交流仪表,电流的波形是正弦波,频率为仪表的正常工作频率。

(2)附加误差——当仪表不是在规定的正常条件下工作时,除基本误差外,还会产生附加的误差,称为附加误差。例如,外磁场的影响,周围环境的温度不符合规定,仪表使用的频率过高等都会引起附加误差。

无论我们用什么方法测量,无论我们怎样仔细地进行测量,由于测量仪器不准确,测量方法不完善,使得测量的结果与被测量的真实值之间总是存在着差别,这种差别叫测量误差。

1. 误差的分类

(1)系统误差

在测量过程中所产生的一些误差,假如它们的值是固定不变的,或者遵循一定的规律变化,那么就称这种误差为系统误差。系统误差是由于仪器不完善,使用不恰当,或测量

方法采用了近似公式以及外界因素(如温度、电场、磁场等)等原因所引起的。这种误差有的可以用试验方法检查出来并消除掉,有的可以计算出来。

系统误差决定了测量的准确度,系统误差越小,测量结果越准确。

(2) 随机误差

随机误差也称为偶然误差。但在同一条件下对同一对象重复进行测量时,在极力消除一切明显的系统误差之后,每次测量结果仍会出现一些无规律的随机性变化,如果测量仪器的灵敏度或分辨能力足够高,那么就可以观察到这种变化。这种误差是由于周围环境对测量结果的影响,如电磁场的微变、热起伏、空气扰动、大地微震等所引起的。由于存在随机误差,即使在相同条件下,多次重复测量同一个量所得到的结果也是不相同的。随机误差就个体而言,是没有确定的规律的,是难以估计的。然而,如果在同一条件下对同一个量进行多次重复测量时(即进行一系列等精度测量),可以发现这一系列测量中出现的随机误差,总体来说服从统计规律。随着测量次数的增加,随机误差的算术平均值将逐渐趋近于零。因此,可以通过取各次测量值的算术平均值来减小随机误差对测量结果的影响。

随机误差决定了测量的精密度,随机误差越小,测量结果的精密度就越高。

(3) 疏失误差

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称为疏失误差。很显然,凡是含有疏失误差的试验数据是不可靠的,应当舍去。为避免这类误差,要求实验者细心操作,认真读取和记录试验数据。在可能的情况下,最好由不同的观测者对同一测量值多次读数。

2. 误差的表示形式

(1) 绝对误差

绝对误差等于测量值与被测量实际值之差,即

$$\Delta = A_x - A_0$$

式中, A_x 表示测量值(仪表指示值), A_0 表示被测量的实际值, Δ 为绝对误差。

绝对误差是具有确定的大小、符号及单位的一个量。其数值的大小表明了测量值偏离实际值的程度,偏离越大误差也越大;符号说明了测量值偏离实际值的方向,即测量值比实际值大还是小;而单位与被测量的单位相同。

但绝对误差的表示方法不能确切地反映出测量的准确度。例如,测量两个电阻,其中一个电阻 $R_1 = 100 \Omega$,误差 $\Delta R_1 = 1 \Omega$;另一个电阻 $R_2 = 10\,000 \Omega$,误差 $\Delta R_2 = 10 \Omega$ 。从例中可以看出,虽然 R_2 的绝对误差比 R_1 的绝对误差大 10 倍,但是 R_2 的误差 10Ω 相对于 $10\,000 \Omega$ 来说仅占 0.1%,而 R_1 的误差 1Ω 相对 100Ω 来说却占 1%,显然,测量 R_2 的准确度反而比测量 R_1 的准确度高。所以测量不同大小的被测量的值时,用绝对误差难以比较测量结果的准确度,这时要用相对误差来表示。

(2) 相对误差

相对误差等于绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A_0 之比,通常用百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-1)$$

在实际计算中,式中 A_0 可近似地用 A_x 代替。例如,一只量程为 $0\sim 10\text{A}$ 的 0.5 级电流表,当指针在 5A 刻度时,若该刻度的实际值为 5.02A ,则该刻度的相对误差为

$$\gamma = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\% = \frac{5 - 5.02}{5.02} \times 100\% = -0.398\%$$

或

$$\gamma = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\% = \frac{5 - 5.02}{5} \times 100\% = -0.4\%$$

相对误差通常用来衡量测量的准确度,相对误差越小,准确度越高。在工程上凡是要求测量结果的误差或是估计测量结果的准确度时,一般都用相对误差来表示。

但是用相对误差来表示指示仪表的准确度时,有许多不便之处。因为指示仪表是用来测量某一规定范围(通常称为量程)内的被测量,而不是只测量某一固定大小的被测量。这样一来,被测量的数值不同时,由于式(1-1)分母的改变,则其测量的相对误差也随着改变。因此,在实际工作中,为了命名、计算和划分指示仪表的准确度等级方便起见,通常选取仪表的测量上限作为分母,由此又引出了引用误差的概念。

(3) 引用误差

引用误差就是绝对误差 Δ 与仪表的测量上限 A_m 的比值,通常用百分数表示,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

根据国家标准(电测量指示仪表通用技术条例)规定,引用误差用来表示仪表的基本误差,它表示仪表的准确度的等级。

1.1.7 有效数字

在测量和数字计算中,确定用几位数字来代表测量或计算的结果是很重要的。如果认为在一个数值中小数点后面的数字愈多,准确度就愈高,这种想法是错误的,因为小数点的位置并不是决定准确度的标准,小数点的位置仅与所用单位的大小有关。如,电压为 34.4V 与 0.0344kV ,准确度完全相同。

如果认为在计算结果中,保留的位数愈多,准确度便愈高,这种想法也是错误的,因为准确度的高低决定于实际测量的准确度,而数字的位数应与测量的准确度相一致。

例如,用 50V 的电压表测量电压时,读数为 34.4V ,前面两位数“34”是准确可靠的,称为可靠数字,而最后一位数字“4”是估计读出来的,称为可疑数字或欠准数字,两者合起来称为有效数字。对于 34.4V 这个数字来说,有效数字的位数是三位。

通常做测量记录时,每一数据都只应保留一位欠准数字,即最后一位前的各位数字都必须是准确的。

1. 关于数字“0”,要特别注意,它在数码中所处的位置决定了“0”是否是有效数字。

(1) 中间零是有效数字,如 30.04Ω 有四位有效数字。

(2) 开头零不是有效数字,例如, 0.0344kV ,其中前面两个零就不是有效数字,因为它们仅与所选取的测量单位有关,只要将测量单位改变后,这些开头零也就随之消失了。这是因为 $0.0344\text{kV} = 34.4\text{V}$,可见有效数字只有三位。

(3) 至于数字末尾上的零,是否为有效数字其意义是不明确的。例如,电阻

480 000 Ω , 其后四个零中究竟有几个有效数字呢? 如认为此电阻在 479 999 Ω 和 480 001 Ω 之间, 则共有六位有效数字。可是, 如认为此电阻在 470 000 Ω 和 490 000 Ω 之间, 则只有两位有效数字, 后面的四个零都不是有效数字。为了消除这种不确定性, 在书写时要根据具体情况写成 10 的乘幂形式。例如, 写成 $4.8 \times 10^5 \Omega$ 表示有两位有效数字, 而写成 $4.80 \times 10^5 \Omega$, 则表示有三位有效数字, 末一个零为可疑数字, 其余类推。

2. 有效数字的运算法则

(1) 加减运算

例: $13.65 + 0.00823 + 1.633 = ?$

首先对加减中的各项修约, 使各数修约到比小数点后位数最少的那个数多保留一位小数。其中 13.65 为小数点后有两位。修约 0.008 23 为 0.008, 1.633 不变。则 $13.65 + 0.008 + 1.633 = 15.291$, 对计算结果进行修约, 使其小数点后的位数与原各项中小数点后位数最少的那个数相同。所以上述计算结果应取 15.29。

若仅有两个数的加减时, 应把小数点后位数多的那个修约到与小数点后位数少的那个数的位数相同。

例: $15.436 - 10.2 = ?$

将 15.436 修约到保留一位小数, 得 15.4。故 $15.4 - 10.2 = 5.2$

(2) 乘除运算

例: $0.0121 \times 25.64 \times 1.05782 = ?$

首先对乘除中的各项进行修约, 使各数修约到比有效数字位数最少的那个数多保留一位有效数字。其中 0.012 1 为三位有效数字。修约 1.057 82 为 1.058, 25.64 不变。则 $0.0121 \times 25.64 \times 1.058 = 0.3282$, 对计算结果进行修约, 使其有效数字的位数与有效数字位数最少的那个相同。所以上述计算结果应取 0.328。

若有效数字最少的数据中的第一位为“8”或“9”, 则在计算结果中有效数字的位数可比它多取一位。

例: $0.9 \times 1.2 \times 36.1 = ?$

其中 0.9 的有效数字最少, 故计算结果的有效数字可比它多一位, 即有效数字位数为 2, 故有 $0.9 \times 1.2 \times 36.1 = 39$ 。

1.2 电气测量仪表

1.2.1 电气测量仪表的分类

1. 度量器

度量器是测量单位的实物复制体, 是复制和保存测量单位用的。根据度量器在量值传递上的作用和准确度的高低, 分为基准器、标准器和工作度量器三类。

基准器是现行最高准确度的度量器, 是用现代科学技术所能达到的最高准确度来复制和保存测量单位的度量器。主要的基准器有电压基准器、电阻基准器及计算电容基准器。存放在专门的计量部门。

标准器的准确度低于基准器,供计量部门对工作度量器进行检定或标定使用。

工作度量器是专供日常测量中使用的度量器。按其准确度(或年稳定度)分为若干等级,其级别通常标在标牌上。在我们的试验工作中用的标准电池、标准电阻、标准电容、标准电感及标准互感等均属此类。

2. 电测量指示仪表

在测量过程中能直接指示被测量大小的仪表。为了指示数值准确,在制造这类仪表时要与度量器作比较进行分度,在测量过程中不再需要度量器直接参与工作就可以直接获得测量结果。属于这类仪表的有电流表、电压表、功率表等指示仪表。这类仪表也称为模拟式电表或机电式指示电表。它分为安装式和便携式仪表。

3. 较量仪器

此类仪器是将被测量与度量器进行比较后才能确定被测量大小的一种仪器,如果不与度量器共同使用,就无法达到测量目的。例如,用直流电桥测量电阻就必须要有电阻的度量器(标准电阻)的配合使用。常用的较量仪器有直流电桥、交流电桥、直流电位差计等。

在实验课中,我们主要介绍几种最常用的电测量指示仪表和较量仪器。对于度量器不做专门介绍,将通过实验了解其性能和使用方法。为了保证测量结果的准确度,对度量器有下列共同要求:

- (1)准确度高,即其实际值与它标明的额定值应尽量接近。
- (2)稳定性好,即它的实际值随时间变化很小。
- (3)可靠性高,即它受外界因素(如温度、湿度)的影响小。

随着科学技术的发展,特别是电子技术、计算技术及大规模集成电路的发展,出现了一些新型的仪器和仪表,如数字仪表、电流比较仪式电桥和电位差计等等,这些仪器仪表的准确度和灵敏度都很高,测量速度快,而且数字仪表能以数码输出和打印,便于和计算机或自动测试系统联合使用,从而成为现代电工测量技术的一个新的领域和重要的发展方向。

由于常用的电气测量指示仪表和较量仪器的结构简单,性能稳定可靠,价格低廉,目前在工农业生产和科学试验中仍然广泛应用,因此,了解它们的工作原理、性能及应用是十分必要的。

1.2.2 电测量指示仪表的分类

电测量指示仪表是用来测量电压、电流、功率、频率、相位、电阻等的直读仪表,简称电工仪表。它的特点是直接将被测量转换为仪表的偏转角位移,并通过指示器在仪表标尺上指示出被测量的数值,因此可以直接地读取被测量的大小。指示表不仅能直接测量电磁量,而且还可以与各种传感器相配合测量非电量,如温度、压力、流量等。

指示仪表具有结构简单、稳定可靠、成本低、使用维修方便等一系列优点,因此在工矿企业、学校和科研部门中被大量使用,是工农业生产和科学试验中的一种基本的测量仪表。

电测量指示仪表的种类繁多,分类方法也很多。下面介绍几种常见的电测量指示仪表的分类方法。

1. 按仪表的工作原理

有磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系、整流系等。

2. 按被测电量的名称(或单位)

有电流表(安培表、毫安表和微安表)、电压表(伏特表、毫伏表)、功率表(瓦特表)、电度表、相位表(或功率因数表)、频率表、兆欧表以及其他多种用途的仪表,如万用表等。

3. 按仪表的工作电流的种类

有直流表、交流表、交直流两用表。

4. 按使用方式

有安装式与便携式仪表。安装式仪表(又称开关板式表)通常固定安装在开关板或某一装置上,一般误差较大(即准确度较低),价格也较低,适用于一般工业测量。便携式仪表误差较小(即准确度较高),价格较贵,适于实验室使用。

5. 按仪表的准确度

有0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5,5.0共七个等级。

此外,按仪表对电磁场的防御能力可分为Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ四级;按仪表的使用条件可分为A, A₁, B, B₁四组。

1.2.3 电测量指示仪表的组成及工作原理

1. 仪表的组成

电测量指示仪表的种类很多,但是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。为了将被测量转换成指针的角位移,电测量指示仪表通常由测量机构和测量线路两部分组成。其方框图如图1-1所示。

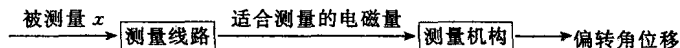


图 1-1 电测量指示仪表的组成方框图

测量线路的作用是将被测量 x (如电压、电流、功率等) 变换成为测量机构可以直接测量的电磁量。如电压表的附加电阻、电流表的分流器等都属于测量线路。

测量机构是仪表的核心部分,仪表的偏转角位移就是靠这部分实现的。

2. 仪表的测量机构的结构及组成原理

仪表的测量机构可分为活动部分及固定部分。用以测量被测量数值的指针或光标指示器就装在活动部分上。

测量机构的主要作用是产生下述各种力矩:

(1) 产生转动力矩

要使仪表的指针转动,在测量机构内必须有转动力矩作用在仪表的活动部分上。转动力矩一般是由电磁场和电流(或铁磁材料)的相互作用产生的(静电系仪表则由电场力产生)。而磁场的建立可以利用永久磁铁,也可以利用通有电流的线圈。

常用的几种电测量指示仪表的转动力矩产生的方式如下:

①磁电系仪表中,固定的永久磁铁的磁场与通有直流电流的可动线圈之间的相互作用产生转动力矩。

②电磁系仪表中,通有电流的固定线圈的磁场与铁片的相互作用(或处在磁场中的两

个铁片的相互作用)产生转动力矩。

③电动系仪表中,通有电流的固定线圈的磁场与通有电流的可动线圈的相互作用产生转动力矩。

④感应系仪表中,通有交流电的固定线圈的磁场与可动铝盘中所感应的电流的相互作用产生转动力矩。

转动力矩 M 的大小通常是被测量 x 与偏转位移 α 的函数,即 $M=F_1(x, \alpha)$ 。

(2)产生反作用力矩

如果一个仪表仅有转动力矩作用在活动部分上,则不管被测量为何值,活动部分都会偏转到满刻度位置,直到不能再转动为止,因而无法分辨出被测量的大小。因此,在指示仪表的活动部分上必须施加“反作用力矩”。反作用力矩 M_a 的方向与转动力矩 M 的方向相反,而大小是仪表活动部分偏转角位移 α 的函数,即 $M_a=F_2(\alpha)$ 。测量时,转动力矩作用于仪表的活动部分上,使它发生偏转,同时反作用力矩也作用在活动部分上,且随着偏转角度的增大而增大。但转动力矩与反作用力矩相互平衡时,指针就停止下来,指示出被测量的数值,这时 $M=M_a$ 。

在电测量指示仪表中产生反作用力矩的方法有以下两种:

①利用机械力

利用“游丝”在变形后具有的恢复原状的弹力产生反作用力矩,这种方法在仪表中用得很多。此外,可以利用悬丝或张丝的扭力产生反作用力矩。仪表的活动部分在使用悬丝或张丝支撑后,可以不再需要转轴和轴承,消除了其中的摩擦影响,使仪表测量机构的性能得到很大的改善,目前这种方法得到了广泛的应用。

②利用电磁力

和利用电磁力产生转动力矩的方法一样,可以利用电磁力产生反作用力矩,这就构成了“比率表”(或称流比计)一类仪表,如磁电系比率表构成了兆欧表,电动系比率表构成了相位表及频率表等。此外,可以利用磁场中导体的涡流作用产生反作用力矩(如感应系仪表)。

(3)产生阻尼力矩

从理论上讲,在指示仪表中,当转动力矩和反作用力矩相平衡时,仪表指针应静止在某一平衡位置。但是,由于仪表活动部分具有惯性,它不能立刻静止下来,而是在这个平衡位置左右摆动,这种情况将造成读数的困难。为了缩短这个摆动时间,必须使仪表的活动部分在运动过程中受到一个与运动方向相反的力矩的作用,以便更快地静止下来,这种力矩通常称为阻尼力矩,阻尼力矩只在运动过程中产生,当活动部分静止时,便自动消失。因此它不影响测量的结果。产生阻尼力矩的装置称为阻尼器。

电测量指示仪表常用的阻尼器有下列三种:

①空气阻尼器

空气阻尼器是利用仪表活动部分在运动过程中带动阻尼箱内的阻尼叶片运动时所受到的空气阻力作用来产生阻尼力矩的。

②磁感应阻尼器

磁感应阻尼器是利用仪表的活动部分在运动过程中带动金属阻尼叶片切割永久磁铁

的磁力线而产生阻尼力矩的。

③油阻尼

油阻尼是利用一定浓度的中性矿物油(如硅油)对仪表活动部分的运动产生阻尼作用,在检流计中就有采用油阻尼的。

总的来说,转动力矩和反作用力矩是仪表内部的一对主要力矩,两者的相互作用决定了仪表的稳定偏转位置。由于产生转动力矩的方法和机械各有不同,从而构成了各种不同类型的仪表。

1.2.4 电测量指示仪表的准确度与测量误差的估计

1. 仪表的准确度

仪表的准确度是用来表示基本误差大小的。仪表的准确度越高,则其基本误差越小。仪表在规定条件下工作时,在它的标度尺工作部分的所有分度线上,可能出现的基本误差的百分数值,称为仪表的准确度等级。

仪表的准确度分为七级,即0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5,5.0级。各级准确度的指示仪表在规定条件下使用时的基本误差不应超出表1-3所规定的值。

表 1-3 仪表的准确度等级和对应的基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

设仪表的准确度等级为 K , 则其基本误差可表示为 $\pm K\%$ 。如1.0级仪表, 即 $K=1.0$, 故其基本误差为 $\pm 1.0\%$ 。

对我们常用的单向标度尺的指示仪表来说, 仪表的准确度等级的百分数(即 $\pm K\%$)也就是该仪表在规定条件下使用时允许的最大引用误差 γ_m 的数值, 即

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \gamma_m \quad (1-2)$$

式(1-2)中 Δ_m 是以绝对误差表示的最大基本误差, A_m 是测量上限。

【例1】 检定某电压表, 其量程为 $0 \sim 250\text{V}$, 该仪表指示值为 100V 处误差最大, 其值为 $\Delta U_m = 3\text{V}$, 试确定该表属于哪一级?

解 根据式(1-2)可求出该表的最大引用误差

$$\gamma_m = \frac{\Delta U_m}{U_m} \times 100\% = \frac{3}{250} \times 100\% = 1.2\%$$

因 $1.0 < 1.2 < 1.5$, 故该表的准确度等级属于1.5级。

2. 测量误差的估计

在应用仪表进行测量时, 可根据仪表的准确度等级来估计测量结果的误差。由式(1-2)可知, 在应用仪表进行测量时可能产生的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm K\% \times A_m$$

由此可求出应用该表测量时, 若读数为 A_x , 则测量结果可能出现的最大相对误差为

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

【例2】 用量限为 $0 \sim 10\text{A}$, 准确度为0.5级的电流表, 分别测量 10A 和 5A 电流, 求

测量结果的最大相对误差为多少?

解 由式(1-3)得

$$\text{测量 } 10\text{A 时: } \gamma_1 = \pm \frac{0.5\% \times 10}{10} \times 100\% = \pm 0.5\%$$

$$\text{测量 } 5\text{A 时: } \gamma_2 = \pm \frac{0.5\% \times 10}{5} \times 100\% = \pm 1.0\%$$

由此可知,当仪表的准确度等级给定时,所选仪表的量限越接近被测量值,则测量结果误差越小。当仪表使用在满刻度时,测量结果的准确度才等于仪表的准确度。如果所选仪表的量限比被测量大许多,就会使测量结果产生很大的误差。一般来说,为充分发挥仪表的准确度,被测量值应大于仪表测量上限的三分之二。也就是说,仪表在使用时,应工作在标度尺的三分之二以上部分。

1.2.5 电测量指示仪表的主要技术要求

要保证测量结果的准确、可靠,就必须对测量仪表提出一定的质量要求。为了衡量电气测量指示仪表的质量,我国制定了国家标准 GB776—76《电测量指示仪表通用技术条例》,对仪表质量提出了全面的要求。对于一般电气测量指示仪表来说,主要有以下几个方面的要求。

1. 有足够的准确度

仪表的基本误差与该仪表所标明的准确度等级相符,也就是说,在仪表标度尺“工作部分”的所有分度上,仪表的基本误差都不应超过表 1-3 的规定。

2. 变差小

在外界条件不变的情况下,进行重复测量时,对应于仪表同一个示值的被测量值与实际值之间的差值称为“示值的变差”,用符号 Δ_s 表示。对于指示仪表,当被测量由零值向上限方向平稳增加与由上限向零值方向平稳减小时,对应于同一个分度线的两次读数的被测量实际值之差称为“示值的升降变差”,简称“变差”,即 $\Delta_s = |A''_0 - A'_0|$ 。其中, A''_0 为平稳增加时测得的实际值, A'_0 为平稳减小时测得的实际值。

对一般电测量指示仪表,升降变差不应超过基本误差的绝对值。

3. 受外界因素影响小

当外界因素如温度、外磁场等影响量变化超过仪表规定的条件时,所引起的仪表示值的变化越小越好。

4. 仪表本身所消耗的功率小

在测量过程中,仪表本身必然要消耗一部分功率。当被测电路功率很小时,若仪表所消耗的功率太大,将使电路工作情况改变,从而引起误差。

5. 要具有适合于被测量的灵敏度

高灵敏度的要求,对于各项精密电磁测量工作是非常重要的,它反映仪表能够测量的最小被测量。

6. 要有良好的读数装置

在测量工作中,一般要求标尺分度均匀,便于读数。对于不均匀的标度尺上,应标有黑圆点,表示从该黑圆点起,才是该标度尺的“工作部分”。按规定,标度尺工作部分的长