



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电工仪表及测量

张 斌 主 编
范 宇 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

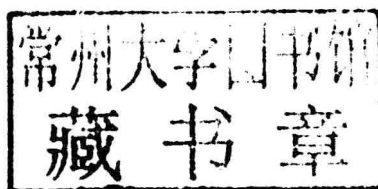




全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电工仪表及测量

主 编 张 斌
副主编 范 宇
编 写 王玉婷 华 章
主 审 姚 伟



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

本书是按照高等职业技术教育的要求,根据现行国家标准和电力行业标准以及生产实际情况而编写的,满足“理论够用,加强实践”要求。本书共9章,主要包括电工仪表与测量的基本知识,直流电流和电压的测量,电阻的测量,万用表,交流电流和电压的测量,功率的测量,电能表的使用与电能的测量,频率表、相位表和功率因数表,测量用互感器。

本书可作为高职高专院校相关专业的教材,也可作为相关专业领域的培训教材,还可作为从事电气测量工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工仪表及测量/张斌主编. —北京:中国电力出版社,2011.3

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 1422 - 1

I. ①电… II. ①张… III. ①电工仪表—高等职业教育—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 033809 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年4月第一版 2011年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 7.75印张 186千字

定价 13.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书是按照高等职业技术教育的要求,根据现行国家标准和电力行业标准以及生产实际情况而编写的。本书在编写上以实际应用为目的,在保证科学性的前提下,从工程学观点考虑,删繁就简,使理论分析重点突出、概念清楚、实用性强,做到“理论够用,加强实践”的要求。在内容安排上,以培养学生的自学和工作能力为目的,将理论知识的讲授、作业与实验有机结合、融为一体,把能力培养贯穿于整个教学过程。

本书叙述了电力系统中常用的电工测量仪器、仪表的原理、特性和使用,以及各种电工量的测量方法,期望学生通过本书的学习,获得正确选用测量方法和使用仪器仪表的知识。希望学生在使用本书的过程中,注意多动手解题并认真总结与归纳,这样才能深刻理解和熟练掌握电工测量的知识与技能。

本书由四川电力职业技术学院张斌老师担任主编,并编写第1、2章及第9章的9.3、9.4节,此外还负责统稿工作;四川电力职业技术学院范宇老师担任副主编,并编写第3、4章;四川电力职业技术学院王玉婷老师编写第5、6章及第9章的9.1、9.2节;四川电力职业技术学院华章老师编写第7、8章。本书由山西电力职业技术学院姚伟老师担任主审。

在编写本书的过程中,编者查阅和参考了较多的文献及资料,受益匪浅,在此向这些文献及资料的作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,教材中可能会有不足和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011年3月

目 录

前言

第1章 电工仪表与测量的基本知识	1
1.1 电工测量仪表的分类及表面标记	1
1.2 测量方式和方法的分类	4
1.3 电工仪表的误差及准确度等级	5
1.4 测量误差及其消除办法	8
1.5 电工测量仪表的正确使用.....	10
习题	11
第2章 直流电流和电压的测量	12
2.1 磁电系测量机构.....	12
2.2 磁电系电流表.....	14
2.3 磁电系电压表.....	16
2.4 磁电系仪表的主要技术特性.....	17
实验1 直流电流表和电压表的检验	17
习题	19
第3章 电阻的测量	21
3.1 电阻的测量概述.....	21
3.2 伏安法测电阻.....	22
3.3 单臂电桥.....	23
3.4 双臂电桥.....	25
3.5 绝缘电阻表.....	26
3.6 接地电阻测试仪.....	29
实验2 伏安法测直流电阻	33
实验3 电桥法测直流电阻	34
习题	35
第4章 万用表	36
4.1 万用表概述.....	37
4.2 直流电流的测量.....	37
4.3 直流电压的测量.....	38
4.4 交流电压的测量.....	39
4.5 直流电阻的测量.....	41

4.6 电子式数字万用表·····	42
4.7 万用表使用实例·····	44
习题·····	48
第5章 交流电流和电压的测量 ·····	49
5.1 电磁系测量机构·····	49
5.2 电磁系电流表和电压表·····	53
5.3 电磁系仪表的主要技术特性、调修及常见故障·····	56
5.4 钳形表·····	58
习题·····	60
第6章 功率的测量 ·····	62
6.1 电动系测量机构·····	62
6.2 电动系仪表·····	64
6.3 电动系仪表的主要技术特性·····	69
6.4 三相有功功率的测量·····	70
6.5 三相无功功率的测量·····	72
实验4 三相电路有功功率的测量·····	75
习题·····	77
第7章 电能表的使用与电能的测量 ·····	78
7.1 电能表的概述·····	78
7.2 单相电能的测量·····	81
7.3 三相有功电能表·····	86
7.4 三相无功电能表·····	91
7.5 电能表常见的几种错误接线分析·····	95
实验5 单相电能表的校验·····	101
习题·····	103
第8章 频率表、相位表和功率因数表 ·····	105
8.1 频率表·····	105
8.2 相位表和功率因数表·····	106
习题·····	110
第9章 测量用互感器 ·····	111
9.1 测量用互感器的构造原理·····	111
9.2 测量用互感器的用途·····	113
9.3 互感器误差及准确度·····	114
9.4 互感器的正确使用·····	116
习题·····	117
参考文献 ·····	118



电工仪表与测量的基本知识

众所周知电力工业的主要产品就是电能，而电能在其生产、传输、分配和使用等各环节中，只有通过各种仪表对电能质量、负荷情况等加以监视，才能保证生产的安全和经济运行。比如，对任何电气设备都有额定值等一些技术指标要求，如果电机和电器中的电流超过其额定电流，其使用期限就会缩短，甚至被烧坏；如果载流导线间绝缘材料的漏电阻小于其规定值，则会发生漏电现象，甚至造成短路故障。可见，使用电气设备时，必须监测其电工量的数量，所以人们常把测量仪表叫做电力工业的“眼睛”。

测量是人们对自然界中的客观事物取得数量的一种认识过程。在这一过程中，人们借助专门的设备经过实验的方法，把被测量的量与其同类的、习惯称为测量单位的量进行比较，以求出被测量的大小。因此，测量的过程实质上是一种比较过程。测量的结果通常可用两部分表示：一部分是数字值，另一部分是测量单位的名称。

所谓电工测量，就是将被测量的电量（如电流、电压、电阻、电功率、电能等）或磁量（磁感应强度、磁通量、磁导率等）与作为测量单位的同类电量或磁量进行比较，以确定被测电量或磁量的大小的过程。用于测量各种电磁量的仪器仪表，统称为电工测量仪表。电工测量仪表具有准确、灵敏、迅速、易操作等优点，所以得到广泛地应用。通过电工测量可以确定电磁现象中各种量的关系，了解电气设备的特性和运行情况，甚至在电气设备的制造和维修过程中，都离不开电工测量。由此可见，正确掌握电工仪表与测量的基本知识和技能是十分重要的。

电工测量要解决的主要问题是测量方法的选择、数据的分析和处理以及测量设备的使用等。本章主要围绕上述问题，讨论电工仪表的基本概念和一般知识以及测量方法、测量误差等。

1.1 电工测量仪表的分类及表面标记

1.1.1 电工测量仪表的分类

电工测量仪表的种类繁多，根据其在进行测量时得到被测量数值的方式不同主要可分为三类，即电测量指示仪表、比较式仪表和数字式仪表。

1. 电测量指示仪表

用来测量电量（如电流、电压、功率、相位、频率、电阻等）的指示仪表，称为电测量指示仪表。它不仅可以用来测量各种电量，经过相应变换器的转换，还可以用来间接测量各种非电量（如温度、湿度、速度、压力等）。又由于电测量指示仪表具有制造简单、成本低廉、稳定性和可靠性高及使用维修方便等优点，所以被广泛应用于科学技术领域和各种工程测量中，它是一种基本的测量工具。

电工测量仪表常见的分类方法有下面几种：

(1) 根据仪表的工作原理可分为磁电系、电磁系、电动系、整流系、感应系、热电系及

电子系等。

(2) 根据被测量的特征可分为电流表、电压表、功率表、欧姆表、电能表、频率表、相位表、绝缘电阻表（兆欧表或摇表）、万用表等。

(3) 根据被测量的性质可分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表等。

(4) 按仪表的使用方法可分为开关板式和可携式仪表。开关板式仪表通常固定在开关板或配电盘上，误差较大；可携式仪表一般误差较小，准确度高。

(5) 按国家标准 GB/T 7676.2—1998《直接作用模拟指示电测量仪表及其附件》规定，电压表和电流表的准确度等级分为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、5.0 十一级；功率表和无功功率表的准确度等级分为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.5 十级；频率表的准确度等级分为 0.05、0.1、0.15、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、5.0 十一级。数字越小，仪表的准确度就越高。

(6) 按仪表对外电磁场的防御能力可分为 I、II、III、IV 四级，其中 I 级的防御能力最好。

(7) 按仪表的使用环境条件可分为 A、B、C 三组。其中 C 组环境最差，A、B 两组用于室内，C 组用于室外或船舰、飞机、车辆上。

(8) 按仪表的外壳的防御性能可分为普通、防溅、防水、防爆等类型。

2. 比较式仪表

比较式仪表是指如电桥、电位差计、标准电阻箱等用比较法进行测量的仪器。其准确度高，但操作复杂、测量速度较慢。

3. 数字式仪表

数字式仪表是指在显示器上用数字直接显示测量值的仪表。它的特点是将被测量以数字方式直接显示出来，速度快、准确度高、读数方便，与微处理器配套使用自动化程度高。

1.1.2 电工仪表的表面标记

在每一电测量指示仪表的表面上都会有许多标记符号，它们表征了该仪表的主要技术特性。只有在识别了它们之后，才能正确地选择和使用仪表。现将常用的电测量指示仪表的部分表面标记符号列于表 1-1 中，供读者使用时参考。

表 1-1 常见电工仪表的表面标记

一、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	
二、作原理的图形符号							
名 称	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			

续表

二、作原理的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
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）	

三、工作位置的符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
标度尺位置为垂直的		标度尺位置为水平的		标度尺位置与水平面倾斜成一角度，例如 60°	

四、端钮、调零器的符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
负端钮	—	公共端钮		与外壳相接的端钮		调零器	
正端钮	+	接地用的端钮		与屏蔽相接的端钮			

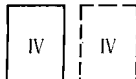
五、准确度等级的符号

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		以指示值百分数表示的准确度等级，例如 1.5 级	

六、绝缘强度的符号

名 称	符 号	名 称	符 号
不进行绝缘强度试验		绝缘强度试验电压为 2kV	

七、按外界条件分组的符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
I 级防外磁场（例如磁电系）		III 级防外磁场及电场		B 组仪表	
I 级防外电场（例如静电系）		IV 级防外磁场及电场		C 组仪表	

续表

七、按外界条件分组的符号					
名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
Ⅱ 级防外磁场及 电场	Ⅱ Ⅱ	A 组仪表	A		

1.1.3 电工仪表的型号

电工仪表的型号同表面标记一样能反映仪表的原理、用途等。

1. 安装式指示仪表型号的编写规则和含义

图 1-1 所示为安装式指示仪表的型号。图中，用途号是表示仪表用于测量什么量，如仪表的用途号是“V”，则表示该仪表用于测量电压；系列代号一般按仪表的工作原理编制，如“C”代表磁电系仪表，“T”代表电磁式仪表。例如一块安装式电工仪表的型号为“44C7-KA”，则说明该表的形状代号为 44，C 表示该表是磁电系仪表，设计序号为 7，用途号为 KA，说明该表是测量电流的电流表。

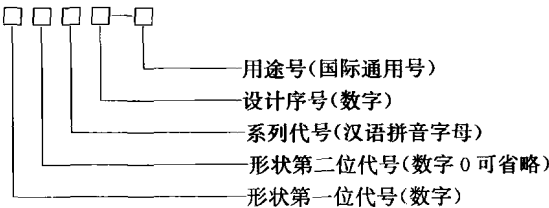


图 1-1 安装式指示仪表的型号

2. 携带式指示仪表型号的编写规则和含义

图 1-2 所示为携带式指示仪表的型号。例如一块携带式电工仪表的型号为 T19-V，则说明该表是一只设计序号为 19 的用于测量电压的电压表。

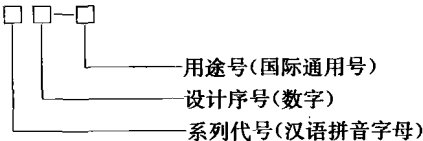


图 1-2 携带式指示仪表的型号

1.2 测量方式和方法的分类

1.2.1 测量方式的分类

根据测量结果的获得方式不同，测量方式可分为直接测量法和间接测量法。

1. 直接测量法

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。

直接测量法的特点是简单、快捷,但测量的准确度要受测量仪器仪表准确度、仪表的内阻、测量电路的连接方式等因素的影响。

2. 间接测量法

测量中,通过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法。例如,测量电阻时,可用电压表测出该电阻两端的电压,用电流表测出流过它的电流,然后根据欧姆定律 $R=U/I$, 求出被测量电阻 R 的值。

间接测量法的特点是测量方法灵活、多样,但测量结果误差较大,而且要经过计算才能得到被测量的数值。

1.2.2 测量方法的分类

根据测量过程的特点可将测量方法分为直读法和比较法两类。

1. 直读法

用直接指示被测量的数值的指示仪表进行测量,能够直接在仪表上读取读数的测量方法称为直读法。在直读法的测量过程中,度量器不直接参与作用。例如用欧姆表测量电阻时,没有直接使用标准电阻与被测量的电阻进行比较,而是直接根据欧姆表指针在欧姆标尺上的位置读取被测电阻数值。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经过“标准”的。此外,用电流表测量电流、用电压表测量电压等都是直读法测量的例子。用直读法进行测量,过程简单、操作容易,然而准确度不可能太高。

2. 比较法

将被测量与度量器通过较量仪器进行比较,从而测量被测量数值的方法称为比较法。在比较法中,度量器是直接参与作用的。例如,用天平测量物体质量的方法就是一种比较法,在测量过程中,做质量度量器的砝码始终参与作用;又如,用电桥测量电阻所采用的方法也是比较法。用比较法测量可以得到较高的测量准确度,但前提是有较准确的仪器设备和较严格的实验条件(如湿度、温度等),此外测量操作比较麻烦。

1.3 电工仪表的误差及准确度等级

1.3.1 电工仪表的误差及仪表误差的分类

在电工测量过程中,不论采用哪一种仪表,仪表的指示值(测量结果)与被测量的实际值(真值)之间总会有一定的偏差,这个偏差就叫电工仪表的误差。不同的仪表由于结构和原理以及制造工艺的不同,测量结果与真值的接近程度不尽相同,于是人们把仪表的测量结果与实际值的接近程度称为仪表的准确度。仪表的准确度越高,仪表的指示值与真值之间的偏差就越小,说明仪表的误差越小;反之,仪表的准确度越低,仪表的指示值与真值之间的偏差就越大,说明仪表的误差越大。

根据仪表误差产生的原因,将仪表误差分为基本误差和附加误差两类。

1. 基本误差

基本误差,是指仪表在正常的工作条件(即规定的温度、湿度、电压、频率和放置方式

等)下进行测量时所产生的误差。这种误差是由于仪表本身结构和工艺方面不够完善等原因造成的,是仪表本身固有的,是不可能完全消除的。例如仪表机械部分存在的摩擦、仪表标尺刻度划分不准等所引起的误差都属于基本误差。

2. 附加误差

附加误差是指仪表工作的外在环境条件没有达到正常条件所规定的温度、湿度、电压、频率和放置方式等情况下所产生的误差。例如仪表所处环境温度湿度过低或过高、仪表放置方式不正确等原因所带来的误差就属于附加误差。附加误差是仪表基本误差之外的一种额外误差。

1.3.2 电工仪表误差的表示方法

电测量指示仪表的误差通常用绝对误差 Δ 、相对误差 γ 和引用误差 γ_n 三种方式表示。

1. 绝对误差

绝对误差 Δ 是被测量的测量值 A_x 与被测量实际值 A_0 的差值。绝对误差 Δ 可表示为

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

在实际工程测量中,通常是把用高准确度的标准表测量的结果或是理论计算的结果作为测量的真值 A_0 。

例如,某一被测电压的实际值为 $U=220\text{V}$,用甲电压表测量的读数为 $U_1=220.5\text{V}$;用乙电压表测量的读数为 $U_2=218.5\text{V}$,则甲乙两表的绝对误差分别为

$$\Delta_1 = U_1 - U = 220.5 - 220 = +0.5(\text{V})$$

$$\Delta_2 = U_2 - U = 218.5 - 220 = -1.5(\text{V})$$

显然,用甲电压表比乙电压表测量更准确,即对一个被测量来说、绝对误差的绝对值越小,表示测量值与真实值的差异越小,因而测量的准确度越高。

除了上述的绝对误差以外,实际工程测量中常用到修正值 C 这一概念,它的概念是与绝对值误差等值反号,即

$$C = A_0 - A_x \quad \text{或} \quad C = -\Delta \quad (1-2)$$

【例 1-1】 某电流表测量电流时,其读数为 10mA ,该表在检定时给出 10mA 刻度处的修正值为 $+0.04\text{mA}$,求被测电流的实际值为多少?

解 由式 (1-2) 可知,被测电流的实际值为

$$A_0 = A_x + C = 10 + 0.04 = 10.04(\text{mA})$$

2. 相对误差

相对误差 γ 是指绝对误差与实际值之比的百分数,即

$$\pm \gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

用绝对误差所占被测量的百分比来表示误差的大小,比用绝对误差表示误差的大小更科学、更准确。比如,用一只电流表测量 5A 的电流时,绝对误差 $\Delta_1 = -0.5\text{A}$,相对误差 $\gamma_1 = -10\%$;用另一只电流表测量 200A 的电流时,绝对误差 $\Delta_2 = 5\text{A}$,相对误差 $\gamma_2 = 2.5\%$ 。显然,在测量不同量时, Δ_1 小于 Δ_2 ,但 γ_1 却大于 γ_2 ,这说明用第二只电流表测量的误差更小。

在一般的工程测量中,常常用绝对误差与测量仪表的指示值之比的百分数来表示相对误差,即

$$\pm \gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

【例 1-2】 已知甲表测 100V 电压时, $\Delta_1 = +1\text{V}$; 乙表测 10V 电压时, $\Delta_2 = +0.5\text{V}$ 。试求它们的相对误差。

解 甲表的相对误差

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_0} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\%$$

乙表的相对误差

$$\gamma_2 = \frac{+0.5}{10} \times 100\% = +5\%$$

结果表明, 乙表的相对误差较大。

3. 引用误差

相对误差可以表示测量结果的准确程度, 但却不足以说明仪表本身的准确性能。同一只仪表在测量不同的被测量时, 由于摩擦等原因造成的绝对误差 Δ 变化不大, 但随着被测量的变化, A_x 却可在仪表的整个刻度范围内变化。因此, 在根据式 (1-4) 计算相对误差时, 对应于不同大小的被测量就有不同的相对误差, 这样, 就以用相对误差去全面衡量一只仪表的准确性能。例如, 一只测量范围为 0~250V 的电压表, 在测量 200V 电压时, 绝对误差为 1V, 则其相对误差 $\gamma_1 = \frac{1}{200} = 0.5\%$, 同一只电压表用来测量 10V 电压时, 绝对误差为 0.9V, 其相对误差则为 $\gamma_2 = \frac{0.9}{10} = 9\%$ 。可见在被测量变化时, 相对误差也随着改变了, 所以又引入了引用误差的概念。

仪表的引用误差 γ_n 是指仪表的绝对误差 Δ 与仪表的满度值 A_m 的百分比值, 即

$$\pm \gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

1.3.3 电工仪表的准确度

电工仪表的准确度是指仪表在正常工作条件下进行测量时, 可能产生的最大绝对误差与仪表的满刻度量程之比的百分数, 即用最大引用误差表示准确度, 其表达式为

$$\pm \gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 γ_m ——最大引用误差;

Δ_m ——最大绝对误差;

A_m ——仪表量限。

由于式 (1-6) 中分子、分母均由仪表本身性能所决定, 所以最大引用误差可以表示仪表基本误差的大小, 用以评价仪表的准确程度。也就是此仪表的准确度等级 K 的百分数就是由最大绝对误差 Δ_m 所决定的最大引用误差, 即

$$\pm K_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

前已提及, 我国生产的指示仪表按准确度分为十三级。准确度分级的含义为: 当 $|\gamma_m| \leq 0.1\%$ 时, 该表便属 $K=0.1$ 级表, 表示仪表的基本误差在标度尺工作部分的所有分度线上不超过 $\pm 0.1\%$, 以此类推。它反映了当仪表在规定条件下工作时, 由于仪表本身工

艺结构等原因,可能出现的最大基本误差的百分数,即仪表本身所能保证的准确程度。显然 γ_m 数字越小,仪表的基本误差越小,准确度越高。

仪表的准确度等级标志符号一般都标注在仪表的盘面上。不同准确度等级的仪表通常用于不同的测量场所。比如,0.1级和0.2级仪表作标准表使用,并可进行精密测量;0.5~1.5级仪表一般用于实验室及一般测量;2.5~5.0级一般用于工程测量。

【例 1-3】 某电压表的量程为 100V,该表在全量程范围内的最大绝对误差为 $\pm 0.95\text{V}$,请问,该表的准确度等级是多少?

解 由式(1-6)可知,该表的最大引用误差

$$\pm \gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \frac{0.95}{100} \times 100\% = 0.95\%$$

由结果分析可知,该表的最大引用误差是 0.95%,大于 0.5%,小于 1.0%,说明其准确度等级为 1.0 级。

【例 1-4】 计算 0.5 级,单向标度尺电压表的容许绝对误差,仪表上限为 250V。

解

$$\pm \Delta_m = \frac{\pm K A_m}{100} = \pm \frac{0.5 \times 250}{100} = \pm 1.25 \text{ (V)}$$

顺便指出,在仪表说明中有时会提到仪表“灵敏度(S)”一词,不要将其与本节所述的仪表的准确度相混淆。灵敏度的含义为:在测量中,若被测量变化一个很小的 Δx 值,会引起仪表活动部分偏转角改变个 $\Delta \alpha$,则 $\Delta \alpha$ 与 Δx 的比值称为该表的灵敏度,即

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta x} \quad (1-8)$$

灵敏度是电工仪表的重要技术特性之一,S 值越大、仪表的灵敏度越高,满偏电流越小。

1.4 测量误差及其消除办法

任何测量都要力求准确,但是在实际的测量中,由于测量方法、仪表仪器、试验条件和观测经验等方面因素的影响,使得测量结果不可能是被测量的实际值,而只是它的近似值。我们把测量值和被测量的实际值之间的差值称为测量误差。

1.4.1 测量误差的分类和来源

根据性质的不同,测量误差一般分为系统误差、偶然误差和疏失误差三类。

1. 系统误差

系统误差是一种在测量过程中,或者遵循一定的规律变化,或者保持不变的误差。造成系统误差的原因主要有以下几个方面:

(1) 测量设备的误差。由于标准度量、仪器仪表本身具有误差(如刻度不准),结果在测量中就会造成系统误差。

(2) 测量方法的误差。由于测量方法的不够完善而引起。例如引用近似公式,以及未足够估计漏电、热电势、接触电阻、仪表内阻等影响都会造成系统误差。

此外由于测量装置的安装或配线不当、周围环境条件的变化及测量人员经验不足、反应不准等因素都会在测量中造成系统误差。

2. 偶然误差

偶然误差是一种大小和符号都不固定的具有偶然性的误差。产生偶然误差的原因很多,如温度、湿度、磁场、电场、电源频率等的偶然变化,都会引起偶然误差。所以,在完全相同的条件下,以同样的仔细程度重复进行同一个量的测量时,测量结果往往不完全相同。

3. 疏失误差

疏失误差由测量中的疏失所引起,是一种明显地歪曲测量结果的误差。例如对测量仪表的不正确读数、对观察结果的不正确记录等。

1.4.2 测量误差的消除方法

1. 系统误差的消除

对于系统误差的消除,一般有以下几种方法:

(1) 对度量器及测量仪器进行校正。在测量中为提高测量结果的准确度常引入其更正值,以消除误差。

(2) 消除误差的根源。例如,选择合理的测量方法,配置适当的测量仪器,改善仪表安装质量和配线方式,测量前检查调整仪表方位,采取屏蔽措施来消除外部磁场及电场的影响等。

(3) 采用特殊的测量方法。

1) 替代法。在保持仪表读数状态不变的条件下,用等值的已知量去替代被测量。这样的测量结果就与测量仪表的误差及外界条件的影响无关从而消除了系统误差。例如用电桥测电阻时用标准电阻替代被测电阻,并调整标准电阻使电桥达到原来的平衡状态,则被测电阻值就等于这个标准电阻值这就排除了电桥本身和外界因素的影响,消除了由它们所引起的系统误差。

2) 正负消去法。如果第一次测量时误差为正,第二次测量时误差为负,则可对同一量反复测量两次然后取两次测量的平均值,便可消除这种系统误差。例如指针式仪表,由于活动部分的摩擦作用,结果对同一大小的被测量,在其数值上升或下降情况下进行测量时,就会有不同的读数。为了消除这种系统误差,可使该测量由小增大到某一点,再从大减小到同一点,然后再取两次测量的平均值,就可消除摩擦所引起的系统误差。

3) 换位法。当系统误差恒定不变时,在两次测量中使它从相反的方向影响测量结果,然后取其平均值,从而使这种系统误差得到消除。例如,用等比率臂电桥进行测量时,为了消除比率臂电阻值不准造成的误差,可以采取换臂措施,即将两个比率臂电阻的位置调换一下,再进行一次测量然后取两次测量的平均值即可。

2. 偶然误差的消除

与系统误差不同,对于偶然误差,不能用试验的方法加以检查和消除,只能根据多次测量中各种偶然误差出现的情况然后用统计学的方法加以处理。理论和实践证明,在足够多次的测量中,绝对值相等的正误差和负误差出现的机会(次数)是相同的,而且小误差比大误差出现的机会总是更多。在足够多次的测量中,偶然误差的算术平均值必然趋近于零。这是因为在一系列测量的偶然误差总和中,正、负误差互相抵消的结果。由此可知,为了消除偶然误差对测量结果的影响,可以采用增加重复测量次数的方法来达到。测量次数越多,测量结果的算术平均值则越趋近于实际值。

在工程测量中,由于偶然误差较小,通常可以不予考虑。至于疏失误差由于它是显然的

错误,并且常常严重地歪曲了测量的结果,因此,含有疏失误差的测量结果是不可信的,应于抛弃。

1.5 电工测量仪表的正确使用

正确使用仪表,包括仪表的选择、保证仪表的正常工作条件、正确读数等。

1.5.1 选择仪表应注意的几个问题

(1) 根据被测量的性质选择仪表类型。被测量是直流量时应选直流表。被测量是交流量时,应注意其波形与频率。若为正弦波,只需测出有效值即可换算为其他值(最大值、平均值等),采用任一种交流表均可。

(2) 根据工程实际要求,合理选择仪表的准确度等级。通常情况,仪表的准确度越高,价格越贵,维修也较难。而且,若其他条件配合不当,高准确度表也未必能得到好的测量结果。因此,在用准确度较低的仪表可满足测量要求的情况下,就不要选用高准确度的仪表。

(3) 根据被测量的大小选择合适的仪表量程。一般选量限时,应根据电源电压、电路连接方式、电路参数等情况,估计可能出现的最大被测值,量限选为该值的 1.2~1.5 倍,或使指针偏转在仪表量限的一半以上。

(4) 根据测量线路及被测对象的阻抗大小选择仪表内阻。在图 1-3 所示电路中,当需测 R 两端电压时,若电压表的内阻 R_V 与 R 的阻值较接近时,电压表的接入将严重改变电路的工作状态,造成很大的测量误差。

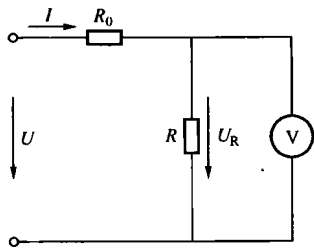


图 1-3 [例 1-5] 图

【例 1-5】 用一只内阻 R_V 为 $2\text{k}\Omega$ 、量限为 100V 的电压表测量图 1-3 中 R 两端的电压。设电源电压 $U=180\text{V}$, $R=R_0=2\text{k}\Omega$, 求电压表接入前后 R 两端的电压。若另换一块内阻为 $200\text{k}\Omega$ 电压表,情况又如何?

解 电压表未接前 R 上电压为 90V ; 电压表并入后,相当于在 R 两端并联了电阻 R_V , 二者的等效电阻为 $1\text{k}\Omega$ 。因此并入后 R 两端的电压 U_R 仅为 $U/3=60\text{V}$ 。此时,即使电压表的基本误差为零,读数也仅为 60V ,与实际电压 90V 相差甚远,这样的测量没有意义。若选择内阻为 $200\text{k}\Omega$,量限

为 100V 的电压表,仍仅考虑仪表内阻对测量的影响,读数将为 89.55V 。

由此可见,电压表的内阻越大越好。一般当电压表内阻 $R_V \geq 100R$ (R 为与电压表并联的总电阻)时,可以忽略电压表内阻的影响。

电流表测量时串联接入被测电路,因此其内阻越小越好。一般当电流表内阻 $R_A \leq \frac{1}{100}R$ (R 为与电流表串联的总电阻)时,可以忽略其内阻的影响。

1.5.2 保证仪表有正常的工作条件

为了保证测量结果的准确、可靠,对电工仪表有以下几点要求:

- (1) 准确度高、误差小,其数值应符合所属准确度的要求;
- (2) 误差不应随时间、温度、湿度、外磁场等外界环境条件的影响而变化;

- (3) 仪表本身消耗功率应越小越好, 否则在测量小的功率时, 会引起较大的误差;
- (4) 仪表应有足够高的绝缘强度和耐压能力, 还应有承受短时间过载的能力, 以保证使用安全;
- (5) 应有良好的读数装置, 被测量的数值应能直接读出。

1.5.3 正确读数

读数前要注意仪表的量限。仪表刻度不均匀时, 尤应注意每格所表示的读数。若不易直接读出数据, 可以先读出格数, 记下量限或仪表的分格系数, 等测量完毕再行换算。读取仪表指示值时, 应使视线与仪表标尺平面垂直。

习 题

- 1-1 什么叫电工测量? 电工测量有哪些方法? 这些方法各有什么特点?
- 1-2 测量误差分哪几类? 各是怎样产生的? 怎样减小或消除这些误差?
- 1-3 仪表误差有哪几类? 各是怎样产生的?
- 1-4 仪表误差有哪几种表达方式? 为什么仪表准确度要用最大引用误差来表示?
- 1-5 对电工仪表有哪些主要技术要求? 为什么?
- 1-6 解释下列名词: 绝对误差、修正值、相对误差、引用误差、准确度、灵敏度。
- 1-7 用上量限为 10A 的电流表测量一实际值为 9A 的电流, 仪表的指示为 9.05A, 求测量结果的绝对误差和更正值。
- 1-8 用 0.5 级上量限 250V 的电压表测 220V 和 200V 电压, 试计算其最大相对误差。本题对选择仪表量限有何启发?
- 1-9 测量 110V 电压, 要求测量结果的相对误差不大于 $\pm 1.0\%$, 问应选用上量限为 250V 的哪一种准确度级别的仪表?
- 1-10 常用仪表中有哪些标志符号? 各表示什么意思? 试解释 13T1-A 型号仪表各数字和字母的意义。
- 1-11 用一只电流表测量实际值为 20A 的电流, 指示值为 19A。问电流表的相对误差和修正值为多少?
- 1-12 用一普通电压表测量某一电压时, 指示值为 220V, 而改用高准确度电压表测量时, 指示值为 218V。求用普通电压表测量时的相对误差。
- 1-13 电工仪表的准确度等级与仪表的误差有什么关系?
- 1-14 用量限为 10A、1.0 级的电流表测量 5A 和 10A 的电流, 可能出现的最大相对误差是多少?
- 1-15 测量 220V 的电压, 现有两只表: ①量限 600V、0.5 级; ②量限 250V、1.0 级。为了减小测量误差, 试问应选用哪只表?