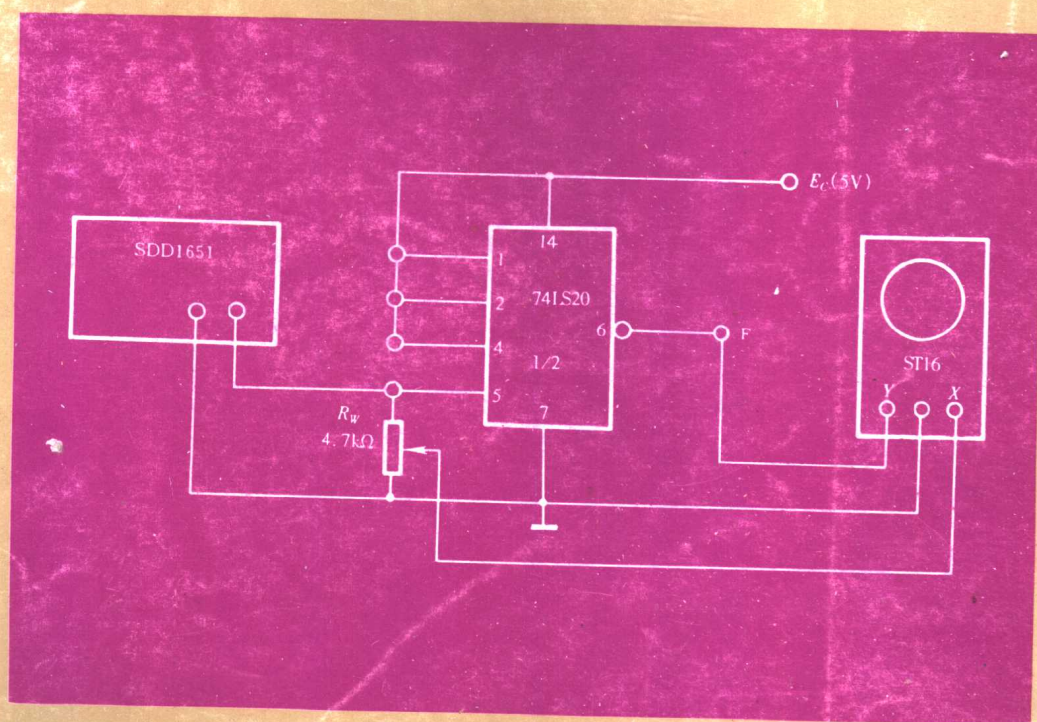


秦杏荣 编著

电工实验基础

中国纺织大学出版社



电 工 实 验 基 础

秦杏荣 编著

中国纺织大学出版社

内 容 提 要

本书是配合“电工学”课程使用的实验教材。全书共分五章,前三章分别介绍了与电工实验有关的仪器仪表知识和测量知识;第四章列入 30 个实验的项目,其中电工技术部分 15 个,电子技术部分 15 个;第五章专门介绍电工、电子元器件。

本书适用于高等工业院校本科非电专业的学生使用,也可供相关专业的高等专科学校、函授大学、业余大学等师生参考。

责任编辑 张 平

封面设计 李志云

电 工 实 验 基 础

秦杏荣 编著

中国纺织大学出版社出版

(上海延安西路 1882 号 邮编 200051)

新华书店上海发行所发行

同济大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:415 千字

1997 年 5 月第 1 版 1997 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—6000 定价:22.00 元

ISBN7-81038-150-4/O·04

前 言

当前,电气工程技术应用十分广泛,发展非常迅速,已日益渗透到其它学科领域,并促进相应学科的发展。在我国社会主义现代化建设中,电气工程技术占有重要的地位。“电工学”(含电工技术、电子技术)是高等工业学校本科非电专业的一门实践性很强的技术基础课;而“电工实验基础”则是本课程中不可缺少的重要实践教学环节。电工学实验的目的不仅是要教会学生用实验的方法来验证其基本理论,以巩固和加深对理论学习的理解,更重要的是培养学生严谨的科学作风,树立理论联系实际的观点,提高科学实验的能力。

基于1993年修订的“高等工业学校电工学课程教学基本要求”,对学生实验的技能训练的具体要求是:

1. 能正确使用常用的电工仪表、电器及电工设备和电子设备;
2. 学会查阅手册,了解常用电路元器件使用的基本知识;
3. 初步学会使用半导体二极管、晶体三极管和集成运算放大器、门电路、触发器、计数器等等中、小规模集成电路;
4. 能按实验电路图正确接线、查线和排除简单的实验电路故障;
5. 能独立进行实验操作、观察实验现象、准确读取实验数据,测绘实验波形和曲线;
6. 能整理、分析实验数据,绘制实验图表并写出条理清楚、内容完整的实验报告。

根据上述要求,本教材实验内容包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、一阶电路的暂态过程、异步电动机及继电器-接触器控制电路,还有单管放大电路、集成运算放大器和组合逻辑电路等。全书共有实验项目30个,其中电工技术部分15个,电子技术部分15个。授课教师可根据各专业的具体情况对书中实验项目进行有选择性的使用。

正确的实验基于准确的测量和正确地选用实验仪器。考虑到目前学生的实际情况,本教材增加了第一、二、三章,这三章可使学生熟悉、掌握与电工实验有关的仪器仪表和测量知识。学生在进入实验室进行电工实验之前,必须通过自学了解上述内容。

为了进一步提高电工实验课的教学质量,本教材在每个实验中增写了与该实验内容有关的“实验预习要求”和“实验预习习题”。实验指导教师则可根据此来检查学生的实验预习情况。为了培养学生独立思考和独立分析问题的能力,本教材在每个实验结束之前都附有一定量的与该实验内容有关的“实验思考题”。

为了使学生能正确选用电工仪器、仪表及电子设备,本教材在附录中编入实验室常用的电工仪器、仪表和电子设备的用途和主要技术指标以及常用电工、电子器材的性能指标,以备学生进行实验预习时查用。

在本书的编写过程中,曾得到同济大学电工电子教研室、实验室教师的大力支持和帮助。其中同济大学陆明达教授、戚火彬副教授严格而又细致地审阅了本书原稿,并提出了许

多极其宝贵的修改意见；邱海祥、邱毅强、倪向红等同志参加了部分编写工作；南方冶金学院黄筱霞老师审校了部分书稿，对本书的内容提出了不少建设性的意见。在此一并致以谢意。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，殷切期望得到读者的批评指正。

编者

1997 年于同济

目 录

前 言

实验基础知识	(1)
--------	-----

实验室规则	(3)
-------	-----

第一章 测量及其测量误差的分析	(4)
-----------------	-----

§ 1-1 测量的概念	(4)
-------------	-----

§ 1-2 电学量具	(5)
------------	-----

§ 1-3 测量方法以及测量仪表的分类	(7)
---------------------	-----

§ 1-4 测量误差与误差的表示方法	(8)
--------------------	-----

§ 1-5 直读式仪表的准确度等级	(12)
-------------------	------

§ 1-6 测量误差的估计	(13)
---------------	------

§ 1-7 最佳测量方案的选择	(17)
-----------------	------

§ 1-8 测量数据处理的基本概念	(18)
-------------------	------

§ 1-9 测量结果图解分析的基本概念	(20)
---------------------	------

第二章 常用电气测量指示仪表	(27)
----------------	------

§ 2-1 电气测量指示仪表概论	(27)
------------------	------

§ 2-2 磁电系测量机构	(32)
---------------	------

§ 2-3 磁电系电流表	(36)
--------------	------

§ 2-4 磁电系电压表	(38)
--------------	------

§ 2-5 万用表	(39)
-----------	------

§ 2-6 电磁系仪表	(44)
-------------	------

§ 2-7 电动系仪表	(48)
-------------	------

第三章 电子射线示波器	(54)
-------------	------

§ 3-1 电子射线示波器的组成和工作原理	(54)
-----------------------	------

§ 3-2 用电子射线示波器测量电压和电流	(60)
-----------------------	------

§ 3-3 用电子射线示波器测量频率和相位	(61)
-----------------------	------

第四章 电工实验指导	(66)
------------	------

实验一 电阻元件伏安特性的测量	(66)
-----------------	------

附录 4-1-1 C31 型直流电表	(69)
--------------------	------

附录 4-1-2 J W-3A 型直流稳压电源	(71)
-------------------------	------

实验二 叠加原理	(73)
----------	------

实验三 戴维南定理	(75)
-----------	------

附录 4-3-1	MF72 型袖珍万用表	(78)
实验四	电阻、电感和电容在正弦交流电路中的伏安特性	(81)
附录 4-4-1	单相自耦调压变压器	(86)
附录 4-4-2	T19 型交流电表	(87)
附录 4-4-3	电流插头与插座板	(88)
实验五	日光灯电路	(90)
附录 4-5-1	低气压汞蒸气放电荧光灯	(92)
附录 4-5-2	D26 型电表	(94)
实验六	交流电路阻抗参数的测量	(97)
实验七	功率因数的提高	(101)
实验八	串联谐振电路	(104)
附录 4-8-1	DF2170B 型双通道交流毫伏表	(107)
附录 4-8-2	XD7 型低频信号发生器	(109)
实验九	三相电路的电压与电流	(111)
实验十	三相电路的功率测量	(116)
实验十一	常用电子仪器的使用	(121)
附录 4-11-1	ST-16 型示波器	(125)
附录 4-11-2	SDD1651 函数信号发生器	(128)
附录 4-11-3	DT-830 型数字式万用表	(131)
实验十二	RC 电路的过渡过程	(133)
实验十三	直流他激电动机	(138)
实验十四	三相异步电动机的继电接触控制	(143)
实验十五	三相异步电动机的顺序启动和自动往返控制	(146)
实验十六	继电器-接触器控制电路设计	(149)
实验十七	整流、滤波和稳压电路	(150)
附录 4-17-1	焊接的基本知识	(154)
实验十八	晶体三极管的特性测试	(156)
附录 4-18-1	JT-1 型晶体管特性图示仪	(159)
实验十九	单管交流放大电路	(167)
实验二十	两级阻容耦合放大电路	(173)
实验二十一	负反馈放大电路	(178)
实验二十二	OTL 互补对称功率放大电路	(185)
实验二十三	差动放大电路	(190)
实验二十四	集成运算放大电路	(197)
实验二十五	LC 正弦波振荡电路	(205)
实验二十六	RC 正弦波振荡电路	(208)

实验二十七 单相可控整流电路·····	(212)
附录 4-27-1 XJ4312 型二踪示波器 ·····	(216)
实验二十八 逻辑门电路·····	(221)
附录 4-28-1 数字逻辑电路实验板 ·····	(227)
实验二十九 触发器·····	(229)
实验三十 计数器·····	(234)
第五章 常用电工、电子元器件 ·····	(238)
§ 5-1 电阻器 ·····	(238)
§ 5-2 电容器 ·····	(243)
§ 5-3 电感器 ·····	(246)
§ 5-4 半导体二极管、三极管及晶闸管·····	(247)
§ 5-5 集成运算放大器 ·····	(256)
§ 5-6 TTL 数字集成电路 ·····	(258)
主要参考文献 ·····	(261)

实验基础知识

理论教学和实验教学是对同一学科进行学习、研究的两种重要的教学环节。即两者任务一致,只是教学手段不同而已。前者是通过理论分析和数学计算对教学内容进行学习、研究;后者则是通过科学实验和测试技术对教学内容进行学习、研究。因此,为了使每堂实验课都能达到其预期的教学效果,每个参加实验的学生都必须十分明确如下事项。

一、实验目的

每个实验项目都有其各自的实验目的,其主要内容可以归纳为:

1. 用实验的方法来验证电路基本理论,以巩固和加深对电路基本理论的学习和理解;
2. 学习并掌握本实验所涉及的各种仪器、仪表的正确使用方法以及其主要的技术性能;
3. 训练实验技能,逐步熟练实验操作,树立工程实践的观点,养成严谨的科学作风。

二、实验预习要求

1. 每次实验前,学生必须明确实验目的,做好实验预习,看懂实验原理,弄清实验步骤,明白注意事项,完成预习习题,并在此基础上写好实验预习报告。
2. 经实验指导教师检查,凡未按要求完成实验预习者,实验指导教师可以暂停其参加实验。

三、实验要求

1. 学生进入实验室后,必须认真听取实验指导教师对本次实验的讲解和说明,并作好必要的记录。
2. 按要求连好实验线路后,先认真自我复查,再请实验指导教师审核,在得到指导教师的同意后,方可接通电源进行实验。
3. 在实验中,必须自觉遵守实验室规则,接受实验指导教师的指导,集中思想,规范操作,耐心细致地观察实验现象,作好实验原始数据的记录,有疑问应及时请教实验指导教师。
4. 实验进行中,严禁用手触摸实验线路中的带电部分,严禁在未切断电源的情况下改接实验线路和测试仪表的量限,以确保人身和实验设备的安全。
5. 实验完毕后,应及时对在实验中所获数据进行初步处理,并报告实验指导教师,经实验指导教师审阅通过后,方可拆除实验线路,整理好实验设备、工具和实验器材,才可离开实验室。

四、实验报告

1. 实验报告应包括的内容
(1)实验名称;

- (2)实验者姓名、班级、学号、组别及同组者姓名；
- (3)实验目的；
- (4)实验预习习题；
- (5)实验内容、实验电路和实验步骤；
- (6)实验原始数据记录、数据处理、计算结果和曲线绘制；
- (7)摘录实验设备的名称、规格及编号；
- (8)实验现象的分析和结论；
- (9)回答实验思考题；
- (10)对改进本次实验的建设性意见。

2. 实验报告的要求

记载清晰、结论明确、条理清楚、文字简练、书写整洁。

实验室规则

实验室是学校教师、学生进行实践教学和科学研究的重要场所。为保证学校的教学、科研活动的正常进行,学生到实验室进行实验时必须遵守如下规则:

1. 学生应在课表规定的时间内到实验室进行实验,不得无故缺席迟到。若确需变动实验时间,须事先征得实验指导教师的同意。
2. 实验开始前,实验者要认真、仔细地检查实验桌上的仪器、设备及器材是否齐全完好,若发现问题,应及时向实验指导教师报告,不得随意移动或调换其他实验桌上的仪器、设备和器材。
3. 不得随意动用与本实验无关的仪器、设备。
4. 严格按照实验方法、步骤进行实验操作,注意人身和实验设备的安全。
5. 实验中如果发生意外事故或者发现异常现象,应首先设法切断实验电源,然后及时报告实验指导教师,由实验指导教师负责处理,学生不得随意破坏事故现场。
6. 凡因违反实验要求造成的实验设备的损坏,一概追究其责任,并照章赔偿。
7. 保持实验室的安静整洁。实验室内不准吸烟、不可随意谈笑、大声喧哗。
8. 实验结束,离开实验室之前,要做好实验设备的整理和室内清洁卫生工作。

第一章 测量及其测量误差的分析

§ 1-1 测量的概念

在自然科学的研究中,如果要从数量上对其研究对象进行评价,则都是通过测量代表其物理特性的物理量来实现的。譬如,用砝码便可确定天平上某物体的重量。因此,测量可被定义为:用实验的方法,将被测量与同性质的作为测量单位的标准量相比较,并确定被测量对标准量的倍数。上述定义,可用数学公式表示为

$$g = \frac{x}{v} \quad (1-1)$$

式中 x ——被测物理量;

v ——与被测物理量同一性质的标准量;

g ——比值(无量纲量)。

由上式可知,测量的结果可由两部分组成:一部分是比值;另一部分则是用作比较的单位。

从测量的定义可以看出,为了正确的测量,首先必须具有统一的各种物理量的单位。因为单位制的类型很多,各国所采用的也不尽相同,这样给测量技术的进一步发展带来了许多困难,所以测量单位的确定和统一便显得十分重要了。只有这样,对同一物理量在不同时间、不同地点等不同条件下进行测量时,才能得到相同的结果。为此,每个国家都有计量机关以专门的“法律”来规定这些物理量的单位。在国际范围内,单位制的确定,则是通过各成员国的协商加以调整的。

由物理学知道,有些物理量可以彼此无关地被确定,这些物理量的单位便被称作为基本单位。

根据中华人民共和国国务院 1984 年 2 月 27 日《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》中规定,“决定在采用先进的国际单位制的基础上,进一步统一我国的计算单位。”因此,本书全部采用法定计量单位。

在国际单位制中,包括了整个自然科学的全部物理学的单位。根据 1971 年第十四届国际权度大会的规定,它有 7 个基本单位,现介绍如下:

1. 长度单位——米(m)

1 米约等于通过巴黎子午线长的四千万分之一。1960 年 10 月在第十一届国际计量大会上通过一项决议,规定 1 米等于氪 86 在真空中(在 $2P_{10}$ 和 $5d_5$ 二能级之间跃迁时)所发射的橙色光波波长的 1650763.73 倍。

2. 质量单位——千克(kg)

当初规定 1 千克等于 3.98°C 时 1000cm^3 水的质量,以后发现当时水中溶解的空气未去掉,经重新测定, 1000cm^3 不含溶解空气的纯水在真空中的重量为 0.999974kg 。现以保存在

法国巴黎附近的色弗尔国际度量衡标准局内的国际公斤原器铂铱合金圆柱体的质量为标准。

3. 时间单位——秒(s)

1秒规定为格林尼治1899年12月31日正午时算起的回归年的 $1/31556925.9747$ 。目前使用的是,铯133原子基态的两个超精细能级之间跃迁时所吸收或放出的电磁波周期的9192631770倍。

4. 电流单位——安培(A)

在圆截面很小的两根平行的无限长直导体中通以强度相同的恒稳电流,如果两根导体相距1m,且处于真空中时,在每米长度上所受到的作用力为 $2 \times 10^{-7} \text{N}$,则此恒稳电流的强度为1A。

5. 热力学温度单位——开尔文(K)

以水的三相点温度为273.16K。开尔文一度等于水的三相点,热力学温度的 $1/273.16$ 。热力学温度 T 和摄氏温度 t (单位为摄氏温度,符号为 $^{\circ}\text{C}$)之间的关系为: $T=t+273.15$ 。

6. 物质的量单位——摩尔(mol)

是一物质系统的物质的量,该物质系统中所包含的结构粒子数目与0.012kg碳12的原子数相同;结构粒子可以是原子、分子、离子、电子、光子等,或是这些粒子的指定组合体;在使用该单位时必须指明结构粒子的种类。

7. 光强度单位——坎德拉(cd)

等于面积为 1cm^2 的绝对黑体在纯铂凝固温度(2045K)时,沿垂直方向发光强度的 $1/60$ 。

由上述7个基本单位,可以导出自然界中所有物理量的单位。后者被称为导出单位。

在电磁测量技术领域中,只需用上述7个基本单位中的前四个(即,米、千克、秒和安培)即可导出所有电磁物理量的单位。以此制定出的单位,被称为国际单位制(SI)的电磁学单位。

§ 1-2 电学量具

在进行电工测量时,就是将被测量与同性质的作为测量单位的标准量进行比较,以确定被测量的大小。因此,在测量过程中,必须有一个体现测量单位的标准量,根据测量单位的理论定义复制出的实物被称为度量器,简称量具。

• 一、量具种类

在电学计量中,根据量具在量值传递上的作用和不同的准确度,量具可分为基准量具(基准器),标准量具(标准器)和工作量具三大类。

1. 基准量具

以一个国家最高技术水平所能达到的最高准确度来复现和保存测量单位的量具被称为基准器,它由政府的法定机关保存,并作为国家处理测量事务的法定基础和测量科学基础。

2. 标准量具

标准量具的准确度低于基准量具,供计量中心对工作量具进行检定或标定时使用。按其

用途又可分为一等标准量具和二等标准量具。

3. 工作量具

工作量具供日常测量时使用。按其准确度(或年变化率)分为若干个等级。在电工测量中经常使用的标准电池、标准电阻、标准电容和标准电感都属于这一类。

在电工测量中,主要的基准器有:电压基准器、电阻基准器和电容基准器等,它们共同构成了电工测量的基础。

二、标准电池

标准电池是电动势单位的复制物。它可以作为计量工作、工业测量和实验室中电动势和电压的标准。这种特制的原电池是采用化学性能稳定、成分纯净的材料,经过精确配方制成的,所以这类电池的电动势能够保证在长时间内具有相当高的稳定性。

在精心制造和正确使用下,这种电池能够保证其电动势的极度稳定;电动势与温度间的关系可以准确的掌握;不产生化学副反应;几乎没有极化作用;它的内阻在相当大的程度上不随时间而变。

三、标准电阻

标准电阻是电阻单位的复制物。它是欧姆量值正确传递的特殊电阻。对标准电阻的要求是:结构简单、便于使用;热效应^①、残余电感和电容极其微小;电阻值随时间变化极其微小。

标准电阻的名义值(额定值)一般为 $10^n \Omega$, 其中 n 通常是一3至+5之间的整数,有的可达-4至+8。

四、标准电感

标准电感是电感单位的复制物。标准电感是用铜线绕在胶木、大理石或瓷质的支架上。经过固定和浸蜡以防变形,保证电感值的稳定。线圈多采用多股绝缘导线并联绕制,以减小涡流和分布电容。一般标准电感的标准频率为1kHz,最高工作频率一般不超过10kHz。

对标准电感的要求是:电感值稳定,电阻值要小^②,且随电流和频率变化影响尽量小;涡流损耗要小;分布电容要小;线圈本身和支架都不能用铁磁物质制成且结构坚固,不易变形。

①当温度改变时,标准电阻的阻值也将随之改变。在标准电阻铭牌上给出的一般是+20℃时的名义值。若在其它规定的温度范围内使用时,在某一温度 t ℃下的电阻值,可采用下式进行计算:

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

式中 R_t ——温度为 t ℃时的电阻值;

R_{20} ——温度为+20℃时的电阻值;

α ——该标准电阻的一次项温度系数;

β ——该标准电阻的二次项温度系数。

②电感的品质因数为

$$Q \triangleq \frac{\omega L}{r}$$

式中 ω ——工作电源频率;

L ——电感值;

r ——电感电阻,包括直流电阻与交流电阻。

五、标准电容

标准电容是电容单位的复制物。常用于交流电路的测量和仪表的校准。以空气为介质的标准电容介质损耗^①小,电容值稳定,温度系数小。但由于空气的介电系数小,所以这种电容的容量小,一般只制成 $0.01\mu\text{F}$ 以下。以云母为介质的标准电容的容量较大,其体积也小,但其损耗和温度系数都较大,准确度也略低。标准电容器的最大耐压约为 500V 左右,工作频率达 10kHz 。损耗因素约为 10^{-4} 。

对标准电容的要求是:电容值稳定;温度系数小;介质损耗小;电容值与频率无关;绝缘电阻和绝缘强度要高。

§ 1-3 测量方法以及测量仪表的分类

一、测量方法

一个物理量的测量,可以用不同的方法来实现。不同物理量的测量则需用不同的测量方法来实现。因此,测量方法分类的形式很多。例如,根据在测量过程中,被测量是否随时间变化而分为静态测量和动态测量;根据测量结果要求获得的必需数据,又可分为必要测量和多余测量。但对电工实验涉及到的电工测量技术来说,更重要的是按测量方法分为直接测量、间接测量和组合测量。

1. 直接测量

直接测量时,测量结果是从一次测量的实验数据中得到的。在这种测量中,可以使用量具直接与被测量比较而得出被测量数值的大小;也可以使用按相应单位刻度的仪表测出。属于直接测量的有:用尺测量长度;用安培表测量电流;用数字频率计测量频率等。

2. 间接测量

被测量是与其有确切函数关系的几个物理量进行直接测量,然后再通过代入函数关系式或曲线求出被测量。这种测量方法被称为间接测量。例如,当测量导体的电阻系数 ρ 时,由于已知导体的电阻 R 与其长度 l 和截面积 S 之间有以下关系。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

所以可以通过直接测量出该导体的电阻 R 、长度 l 以及截面积 S 之后,根据公式算出其电阻系数 ρ 。间接测量比较麻烦,但在被测量不可直接测量、直接测量很复杂、直接测量误差较大、缺少直接测量仪器时,可采用间接测量。

3. 组合测量

这种测量是在直接测量具有一定函数关系的某些量的基础上,通过联立求解各函数关

① 电容的损耗角为

$$\delta \triangleq \tan \delta = \omega RC$$

式中 ω ——电源工作频率;

C ——电容量;

R ——电容器的漏电阻。

系式来确定被测量的大小。例如,测量某标准电阻的一次项温度系数 α 和二次项温度系数 β 的值,便可作为组合测量的一个例子。标准电阻的电阻值与温度之间满足下述关系式

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

因此,在测得该标准电阻在 20°C , t_1 及 t_2 三个温度下的电阻阻值 R_{20} 、 R_{t_1} 及 R_{t_2} ,就可列出下列两个方程

$$\begin{cases} R_{t_1} = R_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2] \\ R_{t_2} = R_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2] \end{cases} \quad (1-3)$$

求解上述联立方程组,便可确定该标准电阻的一次项温度系数 α 和二次项温度系数 β 的值。

二、测量仪表的分类

测量仪表(仪器)按其测量方式的不同可分为直读式仪表和比较式仪表两大类。

1. 直读式仪表

测量结果可以从仪表的指示(读数)机构中直接读出的测量仪表被称为直读式仪表,应用直读式仪表进行测量时,方便、迅速。直读式仪表是电工学实验中使用得最多的仪表,如电压表、电流表、功率表、万用表以及电子示波器等都属于直读式仪表(仪器)。

2. 比较式仪表

测量结果是从被测量与标准量进行直接比较后读出的测量仪表被称为比较式仪表。用比较式仪表进行测量要比用直读式仪表进行测量复杂些。一般比较式仪表的价格要比同级别的直读式仪表贵些,但其准确度要高些,因而常用于较精确的测量。如电桥、电位差计均属此类。

§ 1-4 测量误差与误差的表示方法

在电工实验中,由于实验用的测量仪器的不准确、测量方法的不完善、实验条件的不稳定以及实验者操作技术等方面的原因,可使测量值与被测量的实际值不完全一致,实验测得值只是实际值的近似值。这个测量所得的近似值与被测量的实际值之间的差值被称为测量误差,简称误差。

在实验中,由于测量误差的存在,它限制了实验的准确程度。因此,在实验中应该尽量设法排除、削弱和估计出这些测量误差,以获得尽可能接近实际的值。下面介绍误差的分类、产生的原因及其表示方法。

一、误差的分类

误差分类的方法很多,有按误差出现的规律分类;有按被测量随时间变化的速度分类;有按使用条件分类;有按误差与被测量的关系分类;也有按误差出现的原因分类。就电工实验涉及的测量误差以按误差出现的规律分类为妥。根据误差的性质,可以将其分为三类:即系统误差、随机误差和疏失误差。

1. 系统误差

凡在相同条件下对同一量进行多次重复测量时,其误差的数值固定或在条件改变时按某一确定规律变化的误差称为系统误差。引起系统误差的原因有下列几种:

(1) 仪表误差

任何一个测量仪表在测量时都存在误差,其指示值均为被测量的近似值。仪表误差是由于仪表结构上的不完善而产生的误差,为仪表所固有。

(2) 方法误差

方法误差也称理论误差。方法误差是由于测量方法本身所形成的误差,或是由于测量所依据的理论本身不严谨等原因所引起的误差。

(3) 外界误差

外界误差是使用仪器时受到外界环境温度、湿度、气压、电磁场、机械震动、声音、光照、放射性物质等的影响所产生的误差。

(4) 操作误差

操作误差是在使用仪表过程中,由于安装、调试、布局和使用不当所产生的误差。如把应该水平放置的仪表垂直使用、测量连线太长、接地不良或未按仪器使用要求进行预热、校准等都会产生操作误差。操作误差均由使用不规范所引起,故操作误差有时也被称为使用误差。

(5) 人身误差

人身误差是由于测量人员的感觉器官和运动器官不完善而产生的误差,如对于某些测量需借助于人耳、人眼来判断其结果以及需要进行人工调谐的测量工作均会产生人身误差。这类误差往往因人而异,并与测量人员当时的生理和心理状况密切相关。人身误差又称个人误差或简称人差。

2. 随机误差

随机误差亦称偶然误差。是在测量过程中由于大量偶然因素的影响而引起的测量误差,误差的数值与符号均不一定,出现的时间和变化规律都不固定并难以估计,但其总体上服从一定的统计规律。

3. 粗大误差

粗大误差又称疏失误差,简称粗差或巨差。粗大误差是在一定条件下测量结果明显地偏离其实际值时所对应的误差。如测量方法不当、测量时电源突然跳动、仪器中某个元件突然打火、测量人员读差了仪表的示值、测量前未对测量仪器进行校准或调零以及记录错误等产生的误差。

上述误差的分类方法并不很严谨。有时一个具体的误差往往既可以归入这一类,又有可能归于另一类。重要的是:

(1) 系统误差在测量中出现一般是有规律的,其产生的原因往往是可知的或可以掌握的,所以应尽可能想方设法预见到各种系统误差的具体来源,并极力采取措施消除其影响;其次是设法确定或估计出未能消除的系统误差之值,在测量结果中加以修正或说明。关于系统误差的处理,一般是属于技术上的问题。

(2) 随机误差一般是在重复测量的情况下出现的。即使使用同样的方法和设备对同一被测量进行多次重复测量,所测得的结果也总有差别,有几次稍大、几次偏小。从表面上看,它们的出现好像没有什么规律可循,对误差产生的原因难以分析。但将多次测量结果综合起来,便可发现其中规律。由统计学理论可知,大量的随机误差是服从正态分布规律的,可从多次重复测量的数据中来估计随机误差的影响。随机误差虽不能用校正的方法加以消除,但其