

电工部分

电工电子技术

实践教程

(第二版)

王至秋 张惠莉 龚丽农 编

武科大图书馆



A0789587

中国石油大学出版社

电工电子技术实践教程

(电工部分)

(第二版)

王至秋 张惠莉 龚丽农 编



(0313098-0420) 张惠莉 龚丽农 王至秋 编
封面设计: 李 幸

出版: 中国石化大学出版社 (山东) 青 0313098-0420
地址: <http://www.uptbook.com.cn>
电子邮箱: yidim8393139@163.com

武科大图书馆



A0789587

中国石化大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实践教程(电工部分)/王至秋等编. —东营:中国
石油大学出版社, 2006. 1 (2007. 9 重印)

ISBN 978-7-5636-2142-2

I. 电… II. 王… III. ①电工技术-实验-高等
学校-教材②电子技术-实验-高等学校-教材
IV. ①TM-33②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 152528 号

(赠二册)

宋秀勇 张惠莉 龚丽农 王至秋

书 名: 电工电子技术实践教程(电工部分)
作 者: 王至秋 张惠莉 龚丽农

责任编辑: 宋秀勇 (电话 0546-8392139)

封面设计: 李 东

出版者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: yibian8392139@163.com

印刷者: 山东省东营市新华印刷厂

发行者: 中国石油大学出版社 (电话 0546-8392139)

开 本: 185×260 印张: 9.875 字数: 253 千字

版 次: 2007 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

定 价: 全套定价 32.00 元, 本册定价 16.00 元

第二版前言

随着国家级、省级基础课实验教学示范中心的建设,实验教学越来越受到高校的重视。实验课程对培养学生的工程实践能力和创新能力具有重要的作用。实验教材是搞好实验教学的关键。为此,我们参考了有关电工电子实验教学示范中心的建设标准,编写了这本《电工电子技术实践教程》。本书把实验教学的理论验证、综合提高及独立设计结合起来,力争使学生在有限的课时内,尽量掌握系统、完善的实验方法,为以后的学习及工作打下坚实的基础。

本书共分 11 章:第 1 至 4 章是实验基础知识及常用仪器仪表的使用;第 5 章是电路基础实验,主要内容有电路元件伏安特性分析、电路定律定理的验证及应用、电阻电路的分析等;第 6 章是动态电路元件分析实验,主要内容有一阶和二阶电路动态响应分析;第 7 章是交流电路分析实验,主要内容有正弦交流电路的阻抗特性分析、参数测量方法、功率分析及测量、谐振电路分析等;第 8 章是三相交流电路分析实验,主要内容包括三相电路的电压与电流关系分析、不同结构三相电路特性分析、三相电路功率分析及测量等;第 9 章是耦合电感电路实验,主要内容有互感现象分析、含有耦合电感电路分析、变压器特性分析等;第 10 章是二端口网络分析实验,主要内容有二端口网络特性分析及参数测试、二端元件回转器与负阻抗变换器特性分析;第 11 章是电动机控制实验,主要内容有电动机启动控制、正反转控制、制动控制及行程形状自动往返控制等。本书比较系统地介绍了电路实验中实验工具及实验仪器的选择使用、电路基础实验方法、电路的基本设计方法与测试方法及基础电气控制线路分析设计方法等。为使读者更好地理解实验内容及现象,每个实验中都有一定数量的思考题。

本书第一版自 2006 年 3 月出版以来,经过 9 个专业、近两年的使用,取得了良好的教学效果。但在使用过程中也发现了一些需要改进的地方。

本次修改主要是将第一版中的一些错误和不恰当的数据做了订正,并根据实际需要对一些实验设备的使用说明做了补充修正。变动较大的地方有:第 3 章中增加了 HH1732C2 直流稳压电源和 SG1651 信号发生器的内容;第 4 章中增加了 COS5020B 双踪示波器的内容。增加的内容均根据实验室的实际配置确定。由于实验设备的调整,将第 4 章 4.2 节 SBL 电工实验台中的内容根据实际情况进行了

修改。第6章以后的实验章节,主要修改了一些不恰当的数据和第一版中遗留的错误,对实验内容基本没做调整。本书中的实验内容是按照电专业大纲编写,由于各专业实验大纲不同,个别实验需根据大纲要求及实际情况对实验内容进行调整。

参加本版修订工作的有王至秋、张惠莉,刘立山教授、龚丽农副教授对本版的修订工作进行了指导。本书在某些方面所作的变动和尝试,以及书中的不足和错误之处,均希望读者予以批评指正。

编者

2007年8月

目 录

第 1 章 电工技术实验基础知识	(1)
1.1 电工技术实验课程的内容与要求	(1)
1.2 电工技术实验的方法	(1)
1.3 电工技术实验安全	(2)
第 2 章 电工测量与仪表基础知识	(5)
2.1 电工测量基础知识	(5)
2.2 测量误差	(7)
2.3 电工测量仪表的基础知识	(9)
2.4 磁电系仪表.....	(12)
2.5 电磁系仪表.....	(16)
2.6 电动系仪表.....	(18)
2.7 常用电工仪表的选择.....	(20)
第 3 章 常用电工仪表	(23)
3.1 万用表.....	(23)
3.2 兆欧表和钳形电流表.....	(30)
3.3 电动系功率表.....	(33)
3.4 电度表.....	(38)
3.5 DA-16 型晶体管毫伏表	(42)
3.6 HH1732C2 直流稳压电源	(44)
3.7 SG1651 函数信号发生器	(46)
第 4 章 电工技术实验常用仪器设备简介	(48)
4.1 示波器.....	(48)
4.2 SBL 电工技术实验台	(59)
第 5 章 电路基础实验	(61)
5.1 元件伏安特性的测量.....	(61)
5.2 电路的等效变换.....	(66)
5.3 电路的基本定律实验(一).....	(70)
5.4 电路的基本定律实验(二).....	(72)
5.5 集成运算放大器.....	(76)
5.6 受控电源.....	(79)
第 6 章 动态电路分析实验	(86)
6.1 一阶电路的动态响应分析.....	(86)
6.2 二阶电路的动态响应分析.....	(90)
第 7 章 交流电路分析实验	(94)
7.1 正弦交流电路中的阻抗频率特性.....	(94)

7.2	谐振电路的研究	(98)
7.3	交流电路参数的测量	(103)
7.4	日光灯电路及功率因数的补偿	(107)
第8章	三相交流电路实验	(111)
8.1	三相交流电路分析	(111)
8.2	三相功率的测量	(114)
第9章	耦合电感电路实验	(118)
9.1	互感及变压器实验	(118)
9.2	判断互感器同名端的方法	(121)
第10章	二端口网络分析实验	(122)
10.1	二端口网络特性测试	(122)
10.2	回转器与负阻抗变换器	(124)
第11章	电动机控制实验	(132)
11.1	电动机单向转动控制	(132)
11.2	电动机正、反转控制	(135)
11.3	行程开关进行自动往返控制	(140)
11.4	电动机星形、三角形减压启动控制	(142)
11.5	电动机反接制动控制	(146)
11.6	电动机能耗制动控制	(149)
参考文献		(152)

第1章 电工技术实验基础知识

电工技术实验是一门重要的实践性技术基础课程。开设本课程目的在于使学生理论联系实际,在老师的指导下完成教学大纲规定的实验任务。通过实验熟悉常用电工仪器、仪表的使用,掌握电路实验基本操作技能,学会正确记录、处理实验数据、绘制曲线、分析实验结果的方法,从而开发学生分析问题与解决问题的能力,培养学生严谨的工作作风、实事求是的科学态度,刻苦钻研、勇于探索和创新的开拓精神以及遵守纪律、团结协作和爱护公物的优良品质,为今后从事专业科研和工程技术工作打下良好的基础。

1.1 电工技术实验课程的内容与要求

电工技术实验课程主要包括电工测量的基本知识、基本电工仪表使用、电工技术理论定律的验证、电工技术理论知识的应用及常见现象分析等等。本课程实验以《电路》及《电工技术》理论课程为基础,通过本课程学习,使学生在掌握电工测量基本技能的基础上,巩固理论知识,学会应用电路理论分析研究实际现象,为进行实际电路分析设计打下坚实的基础。

通过有计划的训练和培养,实验应达到以下几个方面的要求:

1. 加深学生对课程内容的理解,巩固和运用所学的理论知识。
2. 培养学生掌握一定的实践技能,树立重视实践和严谨认真的工作作风。
3. 能正确使用常用的电工仪器、仪表。
4. 能根据要求独立操作和完成简单实验,提高分析问题和解决问题的能力。
5. 能准确读取实验数据并正确分析实验结果,编写完善而整洁的实验报告。
6. 掌握一般的安全用电知识,并养成严格遵守操作规程的习惯。

1.2 电工技术实验的方法

1.2.1 实验的预习与准备

每次实验前,学生应充分准备,否则实验效果会大打折扣,且有损坏仪器设备和发生人身事故的危险。为了确保能满足预习的要求,每次实验前,教师将对学生进行书面或口头检查,凡没有达到预习要求的学生不能参加实验。实验准备及预习的要求是:

1. 在实验课前应先编好实验小组,实验小组原则上每组2~3人,并指定组长一人。
2. 每次实验课前,应认真阅读实验教材,明确本次实验的目的和要求、实验内容、实验线路、实验步骤;复习与实验有关的理论内容,清楚实验原理、实验操作方法;简要写出预习报告。
3. 根据实验教材计算出实验中所需要用到的理论数据。
4. 熟悉实验中所用仪器设备的使用方法。
5. 要求学生自行设计的实验,预习前必须完成。

1.2.2 实验的进行

认真听取老师对实验的讲解和要求,做好课堂笔记。

实验操作前应先检查仪器设备是否完好,如发现问题应及时反映给指导教师。

为了能在规定的时间内顺利完成实验内容,应掌握正确的接线方法和技巧。完成接线后,同组间应先做检查,然后请老师检查,经老师检查无误后方可通电实验。电路的连接可按以下原则和顺序进行:

连接电路前,先弄清仪器的接线方法和使用方法,明确各段线路中所连接仪表和仪器的规格。

合理地安排仪表的位置,既要考虑到整齐和宜于接线,又要照顾到操作和读数的方便以及操作安全。

电路连线应尽量简单、整齐和清楚。

为了顺利有效地进行实验,实验小组成员之间应有合理分工,一人负责测量和记录数据,其余人员进行操作。担任记录者如对所测数据有疑问,则应重新测量和讨论,分析其原因,直到得到正确结果。另外,为使每个同学都得到训练,在每做完一个实验内容后,记录者与操作者应调换分工。

实验过程中不能只埋头读数和记录,应时刻注意是否出现异常现象。如有异常现象,应先切断电源,然后查找原因,待问题解决后再继续进行实验。

数据测量完毕后,应切断电源,但不要急于拆除线路。首先检查有无遗漏和分析操作是否正确,然后将测量数据送老师检查,经老师检查无误后方可拆除线路进行整理工作。

实验结束,将实验器材按要求摆放,填写好仪器设备使用记录本后放可离开。

1.2.3 实验总结

在实验的基础上,对实验现象和数据进行整理分析,然后写出实验报告。编写实验报告的过程是一个从感性认识到理性认识的过程,也是一个加深理解和巩固理论知识的过程,更是培养严谨科学态度、提高综合素质的不可或缺的过程,因而必须重视并认真撰写实验总结报告。

实验报告的格式和内容如下:

1. 实验名称、实验日期、班级、实验者、同组实验者。
2. 实验目的。
3. 实验器材。
4. 实验步骤及线路。
5. 实验数据与现象,包括根据实验原始数据进行整理和计算后的结果,绘制好的波形与曲线(在坐标纸上绘制),对实验结果和曲线进行的必要的说明。
6. 回答实验教材中或老师在实验课上提出的问题。
7. 实验体会(包括对实验的疑问及改进措施等)。

1.3 电工技术实验安全

实验安全包括人身安全和设备安全,任何疏忽都可能造成人身伤害或设备损坏,因此,关注实验安全是电路实验的基本要求。

1.3.1 人身安全

一、触电及其危害

当人体接触到输电线或电气设备的带电部分时,电流就会流过人体,造成触电。触电对人的伤害分为电击和电伤。

电击为内伤,电流通过人体主要是损伤心脏、呼吸器官和神经系统,轻者会引起针刺、压迫打击感,发生肌肉痉挛、恶心、呼吸困难、血压升高、心律不齐,重者会引起心室颤动、心跳停止、呼吸停止、昏迷,甚至死亡。

电伤为电流通过人体外部发生的烧伤,或是电路放电时,电弧或飞溅物使人体外部被灼伤的现象,主要是由电流的热效应、化学效应及机械效应作用的结果。常见的有电弧烧伤、金属蒸气灼伤、误操作或拉开较大感性负荷的开关以及载流导体长期接触形成的电烙印等,一般危及生命的可能性较小。

触电的危害性与通过人体的电流种类、大小、频率和电击时间有关。一般来讲,直流电对血液有分解作用,交流电则破坏神经系统。通常情况下直流电危害性小于交流电。在工频 50 Hz, 10 mA 以下的交流电流对人体还是安全的,人体可以忍受的电流极限值约为 30 mA; 交流电压在 50 V 以上, 50~100 mA 的交流电流就有可能使人猝然死亡。25~300 Hz 的交流电对人体的伤害最重,当频率增高至 2 000 Hz 以上时,危险性相对降低,当达到 10^5 Hz 时,即使流过电流为 1 A 时也无太大危险。

二、安全电压

流过人体的电流大小与触电的电压及人体的自身电阻有关。人体电阻因人而异,也与皮肤的干湿程度、洁净与否、粗糙与细腻程度有关。当皮肤干燥、洁净、无损时,人体电阻可达 $(4 \sim 5) \times 10^4 \Omega$; 在潮湿的环境中,人体的电阻则只有 600~800 Ω 。根据这个平均数据,国际电工委员会规定了可长期保持接触的电压最大值,对于 15~1 000 Hz 的交流电,在正常的环境下,该电压为 50 V。根据工作场所和环境的不同,我国规定安全电压的标准有 42 V、36 V、24 V、12 V 和 6 V 等规格。一般情况安全电压为 36 V; 在潮湿的环境下,选用 24 V; 在潮湿、多导电尘埃、金属容器内等工作环境下,安全电压为 12 V; 在特别危险的环境下,如人浸在水中工作等情况下,应选用更安全的电压,一般为 6 V。

三、常见的触电方式

常见的触电方式可分为单线触电、双线触电和跨步触电三种。

1. 单线触电

当人体的某一部位碰到相线(俗称火线)或绝缘性能不好的电气设备外壳时,电流由相线经人体流入大地,这种触电方式称为单线触电(或称单相触电)。因现在广泛采用三相四线制供电,且中性线(俗称零线)一般都接地,所以发生单线触电的机会也最多。此时人体承受的电压是相电压,在低压动力线路中为 220 V。

2. 双线触电

当人体的不同部位分别接触到同一电源的两根不同相位的相线,电流由一根相线经人体流到另一根相线的触电方式称为双线触电(或称双相触电)。发生双线触电时,人体承受的电压

压是线电压,在低压动力线路中为 380 V,此时通过人体的电流将更大,而且电流的大部分经过心脏,所以比单线触电更危险。

3. 跨步触电

高压电线接触地面时,电流在接地点周围 1 520 m 的范围内将产生电压降。当人体接近此区域时,两脚之间承受一定的电压,此电压称为跨步电压。由跨步电压引起的触电称为跨步电压触电,简称跨步触电。

跨步触电一般发生在高压设备附近,人体离接地体越近,跨步电压越大。因此在遇到高压设备时应慎重对待,避免受到电击。

因此,为保证人身安全,实验过程中不允许用手接触没有绝缘的导线和接线端子,连接电路或改变电路时必须先断开电源,电路接通时应通知全组人员。

四、触电急救

触电急救的基本原则是动作迅速、救护得法;切不可惊慌失措、束手无策。当发现有人触电时,必须使触电者迅速脱离电源,然后根据触电者的具体情况,进行相应的现场救护。

1. 脱离电源的方法

- (1) 拉断电源开关或闸刀开关。
- (2) 拔去电源插头或熔断器的插芯。
- (3) 用电工钳或有干燥木柄的斧子、铁锹等切断电源线。
- (4) 用干燥的木棒、竹竿、塑料杆、皮带等不导电的物品拉或挑开导线。
- (5) 救护者可带绝缘手套或站在绝缘物上用手拉触电者,使其脱离电源。

以上通常用于脱离额定电压 500 V 以下的低压电源,可根据实际情况选择。若发生高压触电,应立即告知有关部门停电;紧急时可抛掷裸金属软导线,造成线路短路,迫使保护装置动作以切断电源。

2. 触电急救

触电者脱离电源后,应立即进行现场紧急救护。触电者受伤不太严重时,应保持空气畅通,解开衣服以利呼吸,静卧休息,不要走动,同时请医生或送医院诊治。触电者失去知觉,呼吸和心跳不正常,甚至出现无呼吸、心脏停跳的假死现象时,应立即进行人工呼吸和胸外按压。

1.3.2 设备安全

电工仪器仪表属精密设备,使用或存放不当都会引起损坏或精度下降,因此在每次实验前,必须对所用设备的使用方法进行了解,实验中对所有实验仪器应轻拿轻放,选择合适的量程,如事先不能确定所选量程的大小,应从最高量程开始测量。闭合开关时应迅速而准确,此时应注意各仪表状态。在整个实验过程中,要随时注意有无异常的现象及焦糊气味,发现异常应立即切断电源,查找原因。

第2章 电工测量与仪表基础知识

在自然界中,对于任何被研究的对象,若要定量地进行评价,必须通过测量实现。在电工电子技术领域中,正确的测量更为重要。电工仪表和电工测量是从事电工专业的技术人员必须掌握的一门知识。本章介绍电工测量和电工仪表的基本知识。

2.1 电工测量基础知识

2.1.1 电工测量的意义

电工测量就是借助于测量设备,把未知的电量或磁量与作为测量单位的同类标准电量或磁量进行比较,从而确定未知电量或磁量(包括数值和单位)的过程。

一个完整的测量过程,通常包含如下几个方面:

1. 测量对象

电工测量的对象主要是反映电和磁特征的物理量,如电流(I)、电压(U)、电功率(P)、电能(W)以及磁感应强度(B)等;反映电路特征的物理量,如电阻(R)、电容(C)、电感(L)等;反映电和磁变化规律的非电量,如频率(f)、相位(φ)、功率因数($\cos \varphi$)等。

2. 测量方式和测量方法

测量方法的正确与否直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。根据测量的目的和被测量的性质,可选择不同的测量方式和测量方法(详见2.1.2)。

3. 测量设备

对被测量与标准量进行比较的测量设备,包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量所需的仪器仪表,统称电工仪表。电工仪表是根据被测电量或磁量的性质,按照一定原理构成的。电工测量中使用的标准电量或磁量是电量或磁量测量单位的复制体,称为电学度量器。电学度量器是电气测量设备的重要组成部分,它不仅作为标准量参与测量过程,而且是维持电磁学单位统一,保证量值准确传递的器具。电工测量中常用的电学度量器有标准电池、标准电阻、标准电容和标准电感等。

除以上三个主要方面外,测量过程中还必须建立测量设备所必需的工作条件;慎重地进行操作,认真记录测量数据;并考虑测量条件的实际情况进行数据处理,以确定测量结果和测量误差。

2.1.2 常用电工测量方式和测量方法

一、测量方式的分类

测量方式主要有如下两种:

1. 直接测量

在测量过程中,能够直接将被测量与同类标准量进行比较,或能够直接用事先刻度好的测

量仪器对被测量进行测量,从而直接获得被测量的数值的测量方式称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用电度表测量电能以及用直流电桥测量电阻等都是直接测量。直接测量方式广泛应用于工程测量中。

2. 间接测量

当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻,是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律 $R=U/I$ 计算出被测电阻 R 的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

二、测量方法的分类

1. 直接测量法

在测量过程中,能够直接将测量与同类标准量进行比较,或能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,从而直接获得被测量的数值的测量方式称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用电度表测量电能以及用直流电桥测量电阻等都是直接测量。直接测量方式广泛应用于工程测量中。直接测量法具有简便、读数迅速等优点,但是它的准确度除受到仪表的基本误差的限制外,还由于仪表接入测量电路后,仪表的内阻被引入测量电路中,使电路的工作状态发生了改变,因此,直接测量法准确度较低。

2. 比较测量法

将被测量与度量器在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法称为比较法。例如,用天平测量物体质量时,作为质量度量器的砝码始终都直接参与了测量过程。在电工测量中,比较法具有很高的测量准确度,可以达到 $\pm 0.001\%$,但测量时操作比较麻烦,相应的测量设备也比较昂贵。

根据被测量与度量器进行比较时的不同特点又可将比较法分为零值法、较差法和替代法三种。

(1) 零值法又称平衡法,它是利用被测量对仪器的作用,与标准量对仪器的作用相互抵消,由指零仪表做出判断的方法。即当指零仪表指示为零时,表示两者的作用相等,仪器达到平衡状态;此时按一定的关系可计算出被测量的数值。显然,零值法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和指零仪表的灵敏度。

(2) 较差法是通过测量被测量与标准量的差值,或正比于该差值的量,根据标准量来确定被测量的数值的方法。较差法可以达到较高的测量准确度。

(3) 替代法是分别把被测量和标准量接入同一测量仪器,在标准量替代被测量时,调节标准量,使仪器的工作状态在替代前后保持一致,然后根据标准量来确定被测量的数值。用替代法测量时,由于替代前后仪器的工作状态是一样的,因此仪器本身性能和外界因素对替代前后的影响几乎是相同的,有效地克服了所有外界因素对测量结果的影响。替代法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和仪器的灵敏度。

3. 间接测量法

当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻,是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的

电流,然后根据欧姆定律 $R=U/I$ 计算出被测电阻 R 的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

测量过程中,到底选用哪种测量方法,要由被测量对测量结果准确度的要求及实验条件是否可能等各种因素决定。

2.2 测量误差

在测量过程中,由于受到测量方法、测量设备、试验条件及观测经验等多方面因素的影响,测量结果不可能是被测量的真实数值,而只是它的近似值;即任何测量的结果与被测量的真实值之间总是存在着差别,这种差别称为测量误差。

2.2.1 测量误差的分类

根据产生测量误差的原因,可以将其分为系统误差、偶然误差和疏失误差三大类。

一、系统误差

能够保持恒定不变或按照一定规律变化的测量误差,称为系统误差。系统误差主要是由于测量设备、测量方法的不完善和测量条件的不稳定而引起的。系统误差按照误差来源可分为以下四种:

1. 基本误差

由于测量仪器仪表本身结构和制作上的不完善而产生的误差。

2. 附加误差

由于仪器使用时未能满足其所规定的使用条件而产生的误差,如电压、频率、温度、仪器安装位置等都会引起这种附加误差。

3. 方法误差

方法误差也称理论误差。由于测量方法不完善或测量所依据的理论不完善等原因而造成的误差。

4. 人身误差

人身误差也称个人误差。是由于测量人员感觉不完善而导致的误差,这类误差往往因人而异,并与个人当时的心理和生理状态密切相关。

由于系统误差表示了测量结果偏离其真实值的程度,即反映了测量结果的准确度,所以在误差理论中,经常用准确度来表示系统误差的大小。系统误差越小,测量结果的准确度就越高。

二、随机误差

随机误差又称偶然误差,是一种大小和符号都不确定的误差,即在同一条件下对同一被测量重复测量时,各次测量结果服从某种统计分布;这种误差的处理依据概率统计方法。产生随机误差的原因很多,如温度、磁场、电源频率等的偶然变化等都可能引起这种误差;另一方面观测者本身感官分辨能力的限制,也是随机误差的一个来源。随机误差具有如下几个特点:

1. 有界性

在一定测量条件下,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机会多于绝对值大的误差。

3. 对称性

当测量次数足够多时,正负误差出现的机会相等。

系统误差和随机误差是两类性质完全不同的误差。系统误差反映在一定条件下误差出现的必然性;而随机误差则反映在一定条件下误差出现的可能性。

三、疏失误差

疏失误差又称过失误差,是测量过程中操作、读数、记录和计算等方面的错误所引起的误差。显然,凡是含有疏失误差的测量结果都是应该摒弃的。

2.2.2 测量误差的消除方法

测量误差是不可能绝对消除的,但要尽可能减小误差对测量结果的影响,使其减小到允许的范围之内。

消除测量误差,应根据误差的来源和性质,采取相应的措施和方法。必须指出,一个测量结果中既存在系统误差,又存在偶然误差,要截然区分两者是不容易的。所以应根据测量的要求和两者对测量结果的影响程度,选择消除方法。一般情况下,在对精密度要求不高的工程测量中,主要考虑对系统误差的消除;而在科研、计量等对测量准确度和精密度要求较高的测量中,必须同时考虑消除上述两种误差。

一、系统误差的消除

1. 对测量仪表进行校正。在测量之前,对测量中所使用的仪器仪表用更高准确度的仪器仪表进行校准,做出它们的校正曲线或表格。在测量时,根据这些曲线或表格可以对测试所得的数据引入校正值,这样由仪表基本误差引起的系统误差就能减小到可以忽略的程度。

2. 消除产生误差的根源。即正确选择测量方法和测量仪器,尽量使测量仪表在规定的使用条件下工作,消除各种外界因素造成的影响。

3. 采用特殊的测量方法。如正负误差补偿法、替代法等。例如,用电流表测量电流时,考虑到外磁场对读数的影响,可以把电流表转动 180° ,进行两次测量。在两次测量中,必然出现一次读数偏大,而另一次读数偏小,取两次读数的平均值作为测量结果,其正负误差抵消,可以有效地消除外磁场对测量的影响。

二、随机误差的消除

消除随机误差可采用在同一条件下,对被测量进行足够多次的重复测量,取其平均值作为测量结果的方法。根据统计学原理可知,在足够多次的重复测量中,正误差和负误差出现的可能性几乎相同,因此偶然误差的平均值几乎为零。所以,在测量仪器仪表选定以后,测量次数是保证测量精密度的前提。

三、疏失误差的消除

疏失误差完全是人为因素造成的。因此,为了消除疏失误差,必须提高操作人员的测试技能和工作责任心。对于疏失所得的测量结果应予舍弃。

2.2.3 测量误差的表示方法

测量误差通常有绝对误差、相对误差、引用误差和容许误差四种表示方法。

1. 绝对误差

测量结果的数值与被测量的真实值的差值称为绝对误差。由于被测量的真实值往往是很难确定的,所以实际测量中,通常用标准表的指示值或多次测量的平均值作为被测量的真实值。

2. 相对误差

测量的绝对误差与被测量真实值之比,称为相对误差。实际测量中通常用标准表的指示值或多次重复测量的平均值作为被测量的真实值,即

$$r = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$$

或用百分误差表示为

$$r = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\%$$

百分误差也称为相对误差。显然,相对误差越小准确度越高。

3. 引用误差

引用误差定义为绝对误差与测量仪表量程之比,用百分数表示。

4. 容许误差

容许误差是指测量仪器在使用条件下可能产生的最大误差范围,它是衡量测量仪器质量的最重要的指标。测量仪器的准确度、稳定度等指标都可用容许误差来表征。

2.3 电工测量仪表的基础知识

电工仪表是实现电磁测量过程所需技术工具的总称。它不仅可以用来测量各种电量,还可以利用相应变换器的转换来间接测量各种非电量,如温度、压力等。电工测量仪表的发展大致经历了如下四个阶段:模拟仪表、数字仪表、智能仪表和虚拟仪表四个阶段。在电工技术实验中,经常接触的是模拟仪表和数字仪表两种。模拟仪表又称直读式仪表或指示仪表,是应用最为广泛的一种。

2.3.1 电工指示仪表的基本原理与组成

电工指示仪表的基本原理是把被测电量或非电量变换成仪表指针的偏转角。因此它也称为机电式仪表,即用仪表指针的机械运动来反映被测电量的大小。电工指示仪表通常由测量线路和测量机构两部分组成。测量机构是实现电量转换为指针偏转角,并使两者保持一定关系的机构;它是电工指示仪表的核心部分。测量线路将被测电量或非电量转换为测量机构能够直接测量的电量,测量线路的构成必须根据测量机构能够直接测量的电量与被测量的关系来确定;它一般由电阻、电容、电感或其他电子元件构成。

2.3.2 电工指示仪表的分类、标志和型号

一、电工指示仪表的分类

电工指示仪表可以根据原理、结构、测量对象、使用条件等进行分类。

1. 根据测量机构的工作原理分类,可以把仪表分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系、整流系等。

2. 根据测量对象分类,可以分为电流表(安培表、毫安表、微安表)、电压表(伏特表、毫伏表、微伏表以及千伏表)、功率表(又称瓦特表)、电度表、欧姆表、相位表等。

3. 根据仪表工作电流的性质分类,可以分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

4. 按仪表使用方式分类,可以分为安装式仪表和可携式仪表。

5. 按照仪表的防御外磁场和电场的性能分为 I、II、III、IV 四个等级。I 级仪表在外磁场或外电场的影响下,允许其指示值改变 $\pm 0.5\%$; II 级仪表允许改变 $\pm 1.0\%$; III 级仪表允许改变 $\pm 2.5\%$; IV 级仪表允许改变 $\pm 5.0\%$ 。

6. 按仪表的使用条件分类,可以分为 A、A₁、B、B₁ 和 C 五组。有关各组的规定可以查阅国家标准 GB76—76《电测量指示仪表通用技术条件》。

7. 按仪表的准确度分类,电流表、电压表的准确度有 11 个等级,如表 2-1 所示。

表 2-1 电压、电流表的准确度等级及其对应的基本误差

准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0
基本误差/%	± 0.05	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.0	± 2.5	± 3.0	± 5.0

有功功率表和无功功率表分为 10 个等级,分别为 0.05 级、0.1 级、0.2 级、0.3 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.0 级、2.5 级和 3.5 级。

相位表和功率因数表分为 10 个等级,分别为 0.1 级、0.2 级、0.3 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.0 级、2.5 级、3.0 级和 5.0 级。

电阻表有 12 个等级,分别为 0.05 级、0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.0 级、2.5 级、3.0 级、5.0 级、10 级和 20 级。

根据被测量的名称分类,有电流表(安培表 A、毫安表 mA、微安表 μA),电压表(伏特表 V、毫伏表 mV),功率表(瓦特表 W),高阻表(兆欧表 $M\Omega$),欧姆表 Ω ,电度表 $kW \cdot h$,相位表 φ ,频率表 Hz。

按仪表的工作位置可分为水平使用和垂直使用两种。

上面所说的电工仪表的分类方法,实际上是通过不同的角度来反映仪表的技术性能。通常,在直读式电工仪表的标度盘上都标有一些符号来说明上述各种技术性能。

二、电工指示仪表的标志

电工指示仪表的表盘上有许多表示其技术特性的标志符号。根据国家标准的规定,每一个仪表必须有表示测量对象的单位、准确度等级、工作电流的种类、相数、测量机构的类别、使用条件级别、工作位置、绝缘强度试验电压的大小、仪表型号和各种额定值等标志符号。可参见表 2-2、表 2-3 和表 2-4。