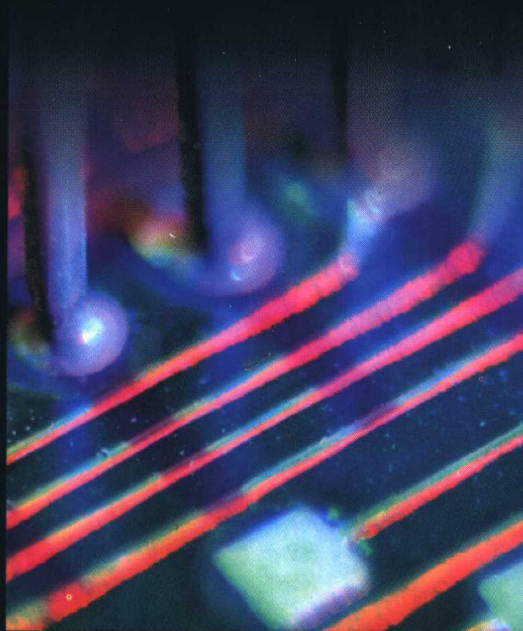


高等学校教材

电工电子技术 实践教程

太原理工大学电工电子实验中心 编

郭爱莲 李桂梅 主编



高等教育出版社

内容简介

本教程是根据国家教育部面向 21 世纪课程改革要求,结合山西省面向 21 世纪电工电子课程模块教学的改革实践与我校(太原理工大学)电工基础教学部新编的《电工电子技术》(上、下册)配套使用的系列教材。

本教程的特点是减少了一些验证性的实验,增加了综合性、设计性实验与实训内容,并与 EDA 教学平台相结合,以提高学生的综合分析能力和设计能力。另外,为了加强学生的工程意识与创新能力,增加了现代电工电子新技术——可编程控制器(PLC)实验与 CPLD 实验和印制电路板的机辅设计等内容。

全书分电气技能基础、电气技术实践和电气技能素质提高 3 章。实践内容 30 项,包括电工技术、模拟电子技术、数字电子技术、电动机与电气控制技术等方面。可作为高等学校理工科非电类专业和计算机专业本科、专科电工电子技术实践教程,也可作为高职高专及成人教育相应专业的实践教程。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实践教程/郭爱莲,李桂梅主编. —北京:高等教育出版社,2004.1

ISBN 7-04-013010-6

I. 电... II. ①郭...②李... 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(2003)第 105285 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899
经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京机工印刷厂

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

开 本 787×1092 1/16
印 张 9.75
字 数 230 000

版 次 2004 年 1 月第 1 版
印 次 2004 年 1 月第 1 次印刷
定 价 12.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

为了使我国培养的新一代大学生能适应 21 世纪,这个科技飞速发展、竞争异常激烈的时代,根据国家教育部面向 21 世纪课程改革要求,结合我校电工电子系列课程建设与近年来的实验教学改革实践,编写了理工科非电类专业、计算机专业本科、专科适用的与我校电工基础教学部新编的《电工电子技术》(上、下册)配套使用的系列教材——《电工电子技术实践教程》。

本教程不仅旨在使学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是训练学生的电气技能,提高学生的动手能力和综合实践能力,同时培养学生严谨的科学作风和电气技能综合素质。

本教程是按 125 学时的教学要求编写的,实践学时不低于总学时的 35 %,全书包括电气技能基础、电气技术实践和电气技能素质提高 3 章。

电气技能基础一章主要介绍了电工电子技术实验的地位与任务、基本要求;测量数据的处理;电工测量及其误差;实验室供电与安全用电等。通过对这些知识的学习,使学生懂得电工电子技术实验的重要性以及如何安全、顺利地每个实验,并在此基础上,训练学生科学地、规范地编写实验报告的能力。

电气技术实践一章共有 30 个实验,其中包括有基础实验、综合性实验、设计性实验和实训内容。基础实验 18 个,主要是与理论教学内容相对应的验证性原理实验,对每个实验的原理作了较精辟的说明,并增加了预习内容,便于学生课前预习。有的实验中介绍了几种不同的实验方法、线路及带“*”内容,可根据具体情况选用,或供学生参考。综合性、设计性实验和实训内容是在教学基本要求的基础上提高和扩展的内容,具有实用性、先进性、趣味性和综合性,可扩大学生知识面,亦可作为第二课堂的学习内容。

电气技能素质提高一章除了介绍与实验有关的常用电工、电子测量仪表与仪器的使用方法和注意事项外,还介绍了一些常用元器件(分立元件与集成芯片)的分类、型号和功能引脚图,另外还主要介绍了提高电气技能素质的基本环节和电子线路中故障排查与干扰的排除,使学生在使用电子仪器时更加自如,印制电路板的机辅设计是学生绘制电路图的好帮手。

本教程的特点之一是内容作了精选,减少了一些验证性的实验,增加了综合性、设计性实验和实训内容。如:电工技术部分删去“电路基本测量”;电子技术部分删去“两级放大电路”、“射极输出器”等;增加了“组合逻辑电路设计”、“温度控制电路设计”、“彩灯控制系统”、“出租车自动计费器”、“红外线遥控开关的设计与制作”等;电动机部分删去“变压器”、“三相异步电动机的起动与调速”等;增加了“异步电动机定子绕组的重绕”等,提高了学生的综合实验能力、分析能力和设计能力。

本教程的特点之二是配合 EDA 教学平台,不少实验是在 EDA 仿真的基础上设置的。如:“叠加定理、一阶 RC 电路的时域响应、交流电路频率特性研究、集成运放的线性应用、组合逻辑电路分析、时序逻辑电路分析、基本放大电路的综合分析、555 定时电路及应用、组合逻辑电路设计、红外线遥控开关的设计与制作”等,旨在利用现代化分析手段的基础上,进一步提高学生的电气

技能素质。

另外,为了加强学生的工程意识与创新能力,增加了现代电工电子新技术——可编程控制器(PLC)与 CPLD 实验和印制电路板的机辅设计等内容。

本教程主要是结合理工科非电专业电工电子技术课程的教学要求而编写,故在编写过程中力求做到与课程教学配合,但也兼顾计算机专业以及机电一体化专业,成人教育的函授、自考、电大、夜大、职大及高职等各类非电专业的实践教学要求,可满足不同层次电工电子技术教学大纲的要求。

本教程是编者多年来在电工电子技术实践教学经验的基础上编写的。郭爱莲编写第一章及第二章的电工技术实验、可编程控制器(PLC)和 CPLD 实验以及第三章的第二节(合编),李桂梅编写第二章的电子技术(模拟、数字)实验;综合性、设计性实验;实训内容(合编)及第三章第二节(合编)。

本书稿由太原理工大学李晓明教授主审,电工电子实验中心主任贾秀美、李彩萍高级工程师审阅,并提出了许多宝贵的意见和修改建议,我们根据提出的意见和建议进行了认真的修改。本教程在编写过程中,太原理工大学夏路易教授、渠云田教授以及电工基础教学部的所有教师和实验室老师,给予了极大的关心和支持,在此一并对他们表示衷心的感谢。

同时,编写本教程过程中,我们参考了部分优秀实验教材,在此,谨对这些参考书的作者表示感谢。

由于我们水平有限,书中缺陷和疏漏在所难免,恳请使用本教程的教师和读者批评指正,为提高电工电子技术实践教程的质量而共同努力。

编 者

2003 年 9 月

策划编辑	金春英
责任编辑	张玉海
封面设计	于文燕
责任绘图	吴文信
版式设计	马静如
责任校对	存 怡
责任印制	杨 明

目 录

第一章 电气技能基础	1
第一节 概述	1
第二节 测量数据的处理	4
第三节 电工测量及其误差	6
第四节 实验室供电与安全用电	11
第二章 电气技术实践	14
基础实验	14
实验一 常用电路元件的简易测试	14
实验二 叠加定理	18
实验三 戴维宁定理	21
实验四 一阶 RC 电路的时域响应	24
实验五 交流电路频率特性研究	27
实验六 三相交流电路	30
实验七 常用电子仪器的使用	33
实验八 差分放大器	37
实验九 功率放大器	40
实验十 集成运算放大器的基本应用(一)	42
实验十一 集成运算放大器的基本应用(二)	47
实验十二 单相可控桥式整流电路	49
实验十三 集成门电路逻辑功能测试与变换	51
实验十四 组合逻辑电路分析	54
实验十五 触发器及其应用	56
实验十六 时序逻辑电路分析	60
实验十七 异步电动机的继电 - 接触器控制	62
实验十八 PLC 控制三相异步电动机的 $Y - \Delta$ 启动	66
综合性实验	69
实验十九 单相交流电路的综合测试	69
实验二十 基本放大电路的综合分析	73
实验二十一 直流稳压电源的研究	77
实验二十二 编码、译码及显示电路	80
实验二十三 555 定时器及其应用	84
实验二十四 基于可编程逻辑器件的数字电路实验	87
设计性实验	88
实验二十五 组合逻辑电路设计	88
实验二十六 温度控制电路设计	91

实验二十七 彩灯控制系统	94
实验二十八 出租车自动计费器	94
实训内容	96
实验二十九 红外线遥控开关的设计与制作	96
实验三十 三相异步电动机定子绕组的重绕	99
第三章 电气技能素质提高	104
第一节 提高电气技能素质的基本环节	104
第二节 常用电工电子测量仪表及使用	107
第三节 常用分立元件与集成芯片	120
第四节 电子线路中故障排查与干扰的排除	130
第五节 印制电路板的机辅设计	136
参考文献	146

第一章 电气技能基础

第一节 概 述

一、电气技术实践的地位与任务

电气技术实践是其相应课程及工科各非电专业重要的实践性教学环节。随着科学技术的飞速发展,电能应用技术和电气控制技术与工科各学科间的交叉、渗透日益深入。工科各非电专业对电工电子技术实践性环节的要求也随之大大提高。特别是 21 世纪科学技术迅猛发展对新一代工科大学生素质的要求,越来越显示出电工电子技术实验的重要性与其独特的优越性。近年来的教学改革实践也进一步说明,它的确是一个极其重要的教学环节。

电气技术实践环节不仅能够帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,而且能使他们熟练掌握常用实验仪器仪表和实验设备的使用方法,培养和训练他们电气技术的基本实验技能。更重要的是,通过这些电气技术实践,使学生树立工程意识与严谨的科学作风,培养学生的科学研究能力、观察分析与解决电气应用问题的能力,全面提高学生的电工电子技术水平、综合应用能力和开拓进取的精神素质,能为新世纪的工业电气化、自动化事业培养一代高质量高水平的复合型人才。

二、电气技术实践的基本要求

(一) 实践目的

- (1) 基本实验技能的训练。
- (2) 巩固、加深并扩大所学到的理论知识,培养运用基本理论分析、处理实际问题的能力。
- (3) 培养实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和良好的实验习惯。

(二) 对实验技能的要求

- (1) 了解常用电工仪表、电子仪器的结构原理、测试功能。掌握正确的使用方法和安全操作规范。
- (2) 学会常用电路元件的简易测试,会正确选用电工仪表类型、量程、精度等级。
- (3) 掌握实验电路布线规则与接线技巧,具备分析、排除线路故障的能力。熟知安全用电常识。
- (4) 能按工程图要求绘制有关波形、曲线与图表。能编写出标准规范的实验报告。
- (5) 会正确采集数据,科学地进行数据处理。能分析误差成因与减小误差的方法,并具有分析测量结果的能力。

(6) 通过基础实验的有计划训练,学会简单实验电路的设计。

(7) 通过趣味性和应用性综合实验的选择,了解电气控制技术与中规模集成技术的工业应用。学会查阅电子元器件与集成电路功能手册。能自行设计一些简单的应用性电子实验和电子产品。

(8) 通过可编程控制器(PLC)实验,了解现代控制技术。

(三) 对实验课三大环节的要求

认真地完成实验课三大重要环节,即课前预习、正式实验操作和编写实验报告,是基本实验素质训练的三要素,也是每个实验者首要的学习任务。

1. 课前预习要求

课前预习和准备是否充分是实验课能否顺利进行和收到预期效果的重要前提。对全部实验内容做到心中有数,是实验者在实验过程中常立于主动地位的关键。尤其是电气技术实验的预习,更为重要。首先,要求学生认真阅读实验教材和有关仪器仪表的使用参考资料,明确实验的目的、任务,了解实验的基本原理以及实验线路、方法、步骤。其次,清楚实验中要观察哪些现象,记录哪些数据和注意哪些事项,编写好真正为实验所必须的预习报告。未完成预习报告或只有形式上的预习报告,不得参加实验。这些要求,旨在要求学生养成良好的预习习惯。

2. 正式实验要求

良好的工作方法和操作程序是使实验顺利进行的有效保证,一般实验按照下列程序进行:

(1) 熟悉实验仪器设备及其使用方法与步骤,集中注意力听取指导教师的简要讲解。重点、要点及其注意事项往往是容易忽略或在课本上学不到的。

(2) 实验线路的布置与连接是检验学生基本实验技能的首要环节。未经指导教师认可,决不允许私自通电,切忌草率行事,盲目操作。

(3) 实验操作时要求必须持诚实的态度、严谨的科学作风、积极的思考习惯。要求学生具有一定的自鉴能力,切忌弄虚作假,自欺欺人。

(4) 遇到异常现象或发生故障,应立即切断电源,保持现场并与指导教师共同分析事故原因。即使是失败的实验,经分析论证,找出原因也可成为成功的实验。

(5) 采集实验数据要求读数规范,观察实验现象力求准确。实验所得数据未经指导教师签字,不得事先拆去实验线路。

(6) 实验完毕,先拉闸再拆线,作好仪器设备、桌面和环境的清洁整理工作,经指导教师同意后,方可离开实验室。

3. 编写实验报告

实验报告是实验的一个重要环节,也是评定实验质量和实验者科学作风的重要依据。按编写技术文件的标准编写实验报告是对每个实验者的基本训练要求。实验报告要求用统一的报告书格式认真编写,做到及时真实、条理简明、图表清晰、计算准确、分析合理、讨论深入、结论正确。并能认真思考和正确回答“教程”中提出的问题。同时也是考评学生实验成绩的主要依据。一份完整的实验报告一般应包括如下几项:

(1) 班级、姓名、实验地点和时间以及实验题目。

(2) 实验目的。

(3) 实验原理。

(4) 实验仪器与器件。

(5) 实验内容与步骤(包括原理线路图及实验条件、元件参数、输入信号参数等)。

(6) 实验报告要求(包括①实验数据处理、计算示例及图线绘制。②实验结果分析:结论分析讨论、收获体会及意见)。

(7) 思考题。

学生做完实验之后,应及时写好实验报告,不交报告者不得进行下一次实验。

(四) 电气线路的连接与故障的检查

1. 线路的连接

从准备连线到合上电源前要求做好下列工作:

(1) 选择设备与合理布局。注意仪器容量、参数要适当,工作电压、电流不能超过额定值。仪表种类、量程、准确度等级要合适,对于刻度均匀的仪表所选量程应使指针的指示不小于满刻度的30%;对刻度不均匀的仪表则不小于40%。尽可能要求测量仪表对被测电路工作状态影响最小。对所用仪器、仪表应作合理的布局,一般以安全、便于操作、测读为原则。

(2) 正确连线。连接线路的原则是:

① 根据电路的结构特点,选择合理的接线步骤。一般应本着“先串联,后并联;先连主回路,后连其他回路;先连各个局部,后连成整体”的原则。在连主回路时,应由电源的一端开始,顺次而行,再回到电源的另一端。电路各连接端钮接线应牢固。避免接触不良,整个电路的连接导线应尽量避免交叉、要求使用导线数量最少,有条不紊,令人一目了然。

② 接线前先弄清楚电路图上的接点与实验电路中各元件接头的对应关系。

③ 养成良好的接线习惯,走线要合理,导线的长短粗细要合适,防止连线短路,接线片不宜过于集中于某一点,电表接头上尽量不要接两根导线,接线松紧要适当。

(3) 仔细调整。调整的内容有:电路参数要调整到实验所需值,调压器手轮的指针应指零,仪表要调零。

2. 故障的检查

实验中常会遇到因断线、接错线等原因造成的故障,使电路工作不正常,严重时还会损坏设备,甚至危及人身安全。

为了防止接错线路而造成故障,应按照线路图合理布局,认真接线,接完线路后一定要经过仔细检查,包括同学互查和教师复查。确认无误后方可合上电源。

合上电源后,注意仪表指示是否正常,或有无声响、冒烟、焦臭味及设备发烫等异常现象。一旦发现上述异常现象,应立即切断电源,然后根据现象分析原因,查找故障。

处理故障的一般步骤是:

(1) 若电路出现严重短路或其他可能损坏设备的故障时,应立即切断电源查找故障。不属于上述情况者可以用电压表带电检查,一般首先检查接线是否正确。

(2) 根据出现的故障现象和电路的具体结构判断故障的原因,确定可能发生故障的范围。

(3) 逐步缩小故障范围,直到找出故障点为止。

检查电路故障时可以用以下两种方法:

(1) 电压表法。带电(或降低电源电压)用电压表测量可能产生故障的各部分电压。根据电压的大小和有无,判断电路是否正常。若有电压且大小正常,则电路通;若无电压或电压值较小,

则电路断。

(2) 欧姆表法(数字万用表)。断开电源,检查各支路是否连通,元件是否良好。若蜂鸣器响,则电路通;若显示器显示“1”,则电路断。

第二节 测量数据的处理

一、测量技术中的两个重要概念

(1) 准确度。指测量结果与被测量真值的接近程度,反映系统误差的影响程度。也即下文所述的相对误差。

(2) 精密度。指在重复测量同一系统时所得结果相互一致的程度,它反映了随机误差的影响。

例如:用一块电压表测真值为 10 V 的电压,三次测得的结果分别为 8.950 V、8.951 V、8.949 V。用另一块电压表测同一电压,所得结果分别为 9.90 V、9.85 V、9.95 V。从测量结果上看,虽然第一块表测得结果与真值差异比第二块表的差异大。但三次结果之间的差异小,故第一块表比第二块表精密度高。

二、测量数据的读取、记录

数据读取、记录应注意以下几点:

- (1) 仪表应先进行预热(需要时)和调零。
- (2) 眼观全局,先看现象,再读数据。
- (3) 读数前要弄清仪表的量程及刻度,读数时注意姿势正确,要求“眼、针、像”成一线。
- (4) 当仪表指针与刻度线不重合时,应凭目测估读一位欠准数字。
- (5) 记录要求完整清晰,力求表格化,并类别清楚,注明各物理量的单位。
- (6) 数据必须记在规定格式的原始记录纸上,经指导教师签字方可承认,如有错误须重测。

三、有效数字

在测量中,该用几位数字来代表测量结果是很重要的,它涉及有效数字的问题。

1. 简单概念

如用 100 mA 量程的电流表测量某支路中的电流,读数为 82.5 mA,则前面两位数“82”是可靠读数,称“可靠数字”;而最后一位数字“5”是估读的,称“欠准数字”,估读数字应是指针式仪表最小刻度的下一位,或数字式仪表可显示的最后一位。两者合起来称“有效数字”,其有效数字为三位。

当按照测试要求确定了有效数字的位数后,每一测量数据只能有一位欠准数字,即最后一位是欠准数字,而它前面的各位数字必须是“可靠数字”。

有效数字的位数与小数点的位置无关。例如:368、36.8、3.68 均为三位有效数字。“0”在数字中间和末尾都算有效数字,而在数字的前头,则不算有效数字。例如:102、4.50、0.0235 和

0.126 等,它们都是三位有效数字。对于读数末尾的“0”不能任意增减,它是由测量设备的准确度来决定的。

2. 有效数字的正确表示

(1) 记录测量数值时,只保留一位欠准数字。通常,最后一位有效数字最少有 ± 0.5 个单位的误差。

(2) 在所有计算式中,常数(如 π 、 e 等)及乘子(如 $\sqrt{2}$ 、 $\frac{1}{3}$)的有效数字的位数可以没有限制,在计算中需要几位就取几位。

(3) 大数值与小数值要用幂的乘积形式来表示,例如,测得某电阻的阻值是一万五千欧,有效数字为三位,则应记为 $1.50 \times 10^4 \Omega$, 不能记为 $15\,000\,\Omega$ 。

(4) 表示误差时,一般只取一位有效数字,最多取两位,如 $\pm 1\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 。

四、测量数据表示法

1. 数据表格法

数据表格法是将测量结果填写在一个表格中,让读者能清楚地从表格中得知实验中的各种数据。例如表 1-2-1 所示的是某一电路输出端电压值与负载的对应关系。

表 1-2-1 输出端电压值与负载的对应关系

R_L/Ω	100	200	300	500	700	1000
U_L/V	2.00	1.33	1.00	0.67	0.50	0.36

2. 图解表示法

测量结果除用数据表格表示外,还经常用各种曲线表示。在研究几个物理量之间的关系时,用曲线表示测量结果,可以形象直观、清晰地反应它们之间的关系。

图解表示法就是根据实验数据画出一条或几条反映真实情况的曲线,从曲线上找出被测量的数值。采用图解法要注意:

(1) 选择坐标系。坐标系有直角坐标系、极坐标系和对数坐标系。

(2) 标明坐标的名称与单位,标好坐标分度。分度的大小要根据测得的数据合理选择。如图 1-2-1 所示。

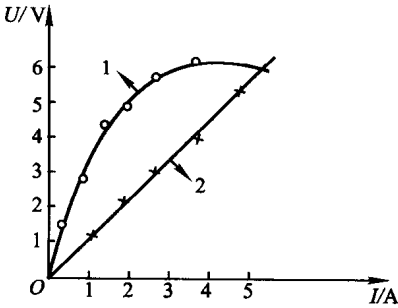


图 1-2-1 测量的曲线图
1—非线性电阻的伏安特性
2—线性电阻的伏安特性

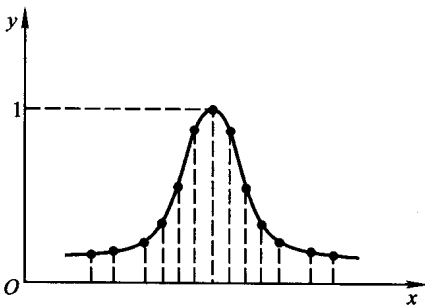


图 1-2-2 测量点标识图

(3) 合理选取测量点。在测量中被测量的最大值和最小值必须测出,另外,在曲线变化陡峭部分要多取几个点,在曲线变化平缓部分可少取一些点。如图 1-2-2 所示。

(4) 标明测试点。根据测量数据,在坐标图中标明测试点,测试点的符号可用“·”、“。”、“×”、“Δ”等表示,同一条曲线测试点符号要相同,而不同类别的数据,则应以不同的记号加以区别,如图 1-2-1 所示。

(5) 连线。把坐标图上各测试点符号用线连起来。

(6) 修匀曲线。测量结果一般应是一条光滑的曲线,而不是折线。由于测量过程中有随机误差的影响,测试点的值有时产生正误差,有时产生负误差,所以在绘曲线时,应消除随机误差的影响,使曲线变得光滑。

第三节 电工测量及其误差

工程测量是人们在生产活动与科学试验中认识客观事物所不可缺少的过程。任何科技成果又总是先经过实验阶段,然后才逐步应用到生产、科研中去。在当代工程测量技术中,几乎任何一个工程技术领域都离不开电气测量。因此,全面准确地认识电世界,并借助电工测量仪表来掌握它的规律性是电工测量的首要目的。

一、电测量指示仪表的分类及基本原理

能直接指示被测量大小的仪表叫指示仪表。测量电压、电流、功率、电阻、功率因数、频率等电量的指示仪表叫电测量指示仪表,简称电工仪表。由于电测量指示仪表具有结构简单、稳定可靠、价格低廉和维修方便等一系列优点,所以在生产实际和教学、科研中得到广泛的应用。

1. 电测量指示仪表的分类

电测量指示仪表的种类很多。分类方法各异,但主要有以下几种:

(1) 按仪表的工作原理分。有磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系等。

(2) 按被测电量的名称(或单位)分。有电流表(安培表、毫安表和微安表)、电压表(伏特表、毫伏表)、功率计(瓦特表)、电能表、相位表(或功率因数表)、频率计、兆欧表以及其他多种用途的仪表,如万用表等。

(3) 按被测电流的种类分。有直流表、交流表、交直流两用表。

(4) 按使用方式分。有开关板式与便携式仪表。开关板式仪表(又称板式表)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) 按仪表板面显示方式分。有机械式和数字式。

(6) 按仪表的准确度分。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、B、C 三种。

2. 电测量指示仪表的组成与基本工作原理

电测量指示仪表的种类虽然繁多,但其基本原理都是将被测电量转换成测量机构的机械转

角或数字显示,用来测量被测量的大小。其组成结构可用下面的框图表示:



因此,电测量指示仪表主要由测量线路和测量机构组成。测量线路的作用是将被测量(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。如电压表的分压电阻、电流表的分流器电路等都属于测量线路。测量机构是仪表的核心部分,仪表的机械转角或数字显示就是靠它实现的。机械转角式仪表将电能转换为机械能驱动仪表指针,数字式仪表则将模拟电信号转换为数字信号,指示出被测量的数值。

二、电测量指示仪表的误差及准确度

1. 仪表误差的分类

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,可将误差分为两种:

(1) 基本误差。指示仪表在规定的正常条件下进行测量时所具有的误差。它是仪表本身所固有的,即由于结构上和制作上不完善而产生的。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。当仪表不是在正常工作条件下工作时,除了上述基本误差外所出现的误差。例如温度、外磁场等不符合仪表正常工作条件时,都会引起附加误差。

2. 仪表误差的几种表示形式

仪表误差的大小可用绝对误差、相对误差和引用误差来表示。

(1) 绝对误差。仪表指示的数值(以下简称“示值”) A 和被测量的实际值 A_0 之间的差值称为仪表的绝对误差,用 Δ 表示

$$\Delta = |A - A_0| \quad (1-3-1)$$

被测量的实际值可由标准表(用来检定工作仪表的高精度仪表)指示。

绝对误差的单位和被测量的单位相同。

(2) 相对误差。测量不同大小的被测量时,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。

相对误差是绝对误差与被测量的实际值之间的比值,通常用百分数来表示,即

$$E_r = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (1-3-2)$$

例如,用同一只电压表测量实际值为 100 V 的电压时,指示 101 V,测量实际值为 20 V 的电压时,指示 19.2 V,则相对误差分别为

$$E_r = \frac{101 - 100}{100} \times 100\% = +1\%$$

$$E_r = \frac{19.2 - 20}{20} \times 100\% = -4\%$$

可见,虽然测量 20 V 电压时的绝对误差小些,但它对测量结果的影响却大了些,占了测量结果的 4%。在工程上,凡是要求计算测量结果时,一般都用相对误差来表示。

(3) 引用误差。相对误差虽然可以说明测量结果的准确度,衡量测量结果和被测量实际值之间的差异程度,但还不足以用来评价指示仪表的准确度。这是因为同一个仪表的绝对误差在刻度的范围内变化不大,近似于常数,这样就使得在仪表标度尺的各个不同的部位,相对误差不是一个常数,而且变化很大。因此引入引用误差。

引用误差是绝对误差与仪表使用量程比值的百分数,即

$$E_N = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-3-3)$$

A_m 为仪表使用量程的满度值。取被测值的 Δ 中的最大误差 Δ_m 与 A_m 之比称为仪表的最大引用误差。即

$$E_{Nm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-3-4)$$

此值又称为仪表的允许误差,它是仪表准确度优劣的评定标准。

3. 仪表的基本误差与准确度等级

根据国家标准《电测量指示仪表通用技术条件》规定,用最大引用误差来表示仪表的基本误差,亦即仪表的准确度等级。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。各等级准确度的指示仪表在规定条件下使用时的基本误差不许超过仪表准确度等级的数值,如表 1-3-1 所示。

表 1-3-1 仪表准确度等级表

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

由表 1-3-1 可见,准确度等级的数值越小,允许的基本误差越小,表示仪表的准确度越高。

从表达式(1.3.4)不难看出,在只有基本误差的情况下,仪表准确度等级的数值 a 与最大引用误差的关系是

$$a\% \geq \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100\%$$

已知量程的最大绝对误差 Δ_m 为

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

由此可以求出某一被测量 A 的最大相对误差为

$$E_m = \frac{\Delta_m}{A} \times 100\% = \pm a\% \frac{A_m}{A} \quad (1-3-5)$$

由此不难看出,为了提高测试结果的准确性,将取决于两个方面的因素,一是仪表的基本误差;二是选择合适的量程。测试值愈趋向于满量程,测试结果 A 愈准确。切不可盲目地单方面追求仪表的准确度等级。

例如,某被测电压为 110 V,用 0.5 级 0~500 V 和 1.0 级 0~127 V 的两个电压表分别测试,

其中最大相对误差为：

$$\textcircled{1} \quad E_{m1} = \pm 0.5\% \frac{500}{110} = \pm 2.27\%$$

$$\textcircled{2} \quad E_{m2} = \pm 1.0\% \frac{127}{110} = \pm 1.15\%$$

显见,使用低精度仪表不见得误差一定也大。一般情况下,指针在 2/3 满度以上时才有较好的测试结果。因此,使用者应依据测试估计值的大小合理选择仪表量程,方可得到较小的最大相对误差。当然,相同量程时,追求高精度才是有意义的。若用高精度仪表鉴定低精度仪表时,两种仪表的量程也应选得尽可能相等。

4. 电测量指示仪表的表面标记与正确使用

正确使用电测量指示仪表,首先应了解仪表的技术性能,诸如仪表型式、型号、测量对象、量程、使用条件、准确度等级等。这些性能标志一般均在仪表盘上以规定符号标记。熟悉这些标记的含义是能否正确使用电工仪表的先决条件。

以图 1-3-1 的表盘为例,熟悉其各种标记符号的意义。

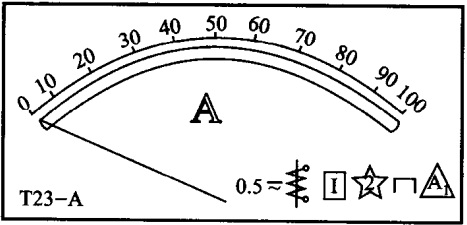
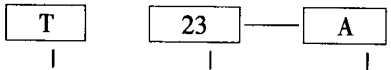


图 1-3-1 T23-A 型电流表的表面标记

表盘中央的大写字母 A 表示电流表,指针偏角划作 100 个分度。但不一定是 100 A,表盘左下角的“T23-A”是仪表的型号,对于便携式仪表各字母代号的意義如下:



| | |

仪表系列代号 设计代号 用途代号

其中: T—电磁系仪表 23—设计代号 A—电流表

表盘右下角的一系列符号表示仪表的性能和使用条件。“0.5”是仪表的准确度等级;“≈”表示交直流;“ $\sim$ ”表示工作原理为电磁系;“I”表示防御外磁场能力为 I 级;“☆”表示绝缘强度试验电压为 2 kV;“□”表示水平放置使用;“△A”表示使用条件为 A₁ 组。

为了得到满意的测量结果,必须正确地使用仪表,充分发挥其准确度性能。仪表本身的误差是设计、制造等因素决定的,是使用者改变不了的先天性因素。但是可以人为地减少附加误差。这就必须注意使用时使仪表有正常的工作条件,即具备正常的温度和湿度条件、正确的安放位置、远离干扰源、定期校验、使用前校零等。例如,该水平放置读数的仪表而错误地垂直放置,结果使指针重力平衡改变,就会导致大的附加误差。

由上文的误差分析可知,仪表量程的选择与测试结果的误差大小相关。因此,对于多量程仪表,务必注意量程的变换与读数的换算;对于多功能的仪表,使用时一定要注意功能挡位的转换与测试方法的对应关系。操作不慎将直接危及仪表的性能与“性命”。

三、电工测量及其误差

电工测量方面的误差,包括测量方式、误差类别等。

1. 电工测量方式

测量过程就是把被测量(未知量)与已知的标准量进行比较,以求得被测量数值的过程。与其他工程测量一样,电工测量时首先应明确被测量的性质和测量所要达到的目的,然后选定测量方式,最后选用相应的仪器设备。电工测量方式概括起来可分为四类:

(1) 直接测量。凡测量结果可由仪表测量机构直接显示的测量方法均属此类,也是最简捷的电工测量方法。

(2) 间接测量。如果几个电学量间有确切的函数关系,可以首先直接测量几个相关量,最后用函数式计算出未知的被测量,此法称为间接测量。如用伏安法测电阻便属此类测量,先直接测得 U_R 和 I_R ,再利用欧姆定律 $R = \frac{U_R}{I_R}$,即可间接求得 R_x 的值。

(3) 比较测量。根据测量精度的要求,有时用前述测量方法不能达到目的,需要用准确度较高的测量仪器与度量器比较测量才能满足要求。如用电桥法测电阻、用电位差计测量电动势或电压等。

(4) 组合测量。组合测量是直接测量与间接测量的组合。除需要直接测量几组相关量外,还要通过解联立方程,才能求出被测量,是较复杂的一种测量方法。

2. 电工测量的误差

不管用什么方式进行测量,测量的结果与被测量的实际数值之间总存在差别,这种差别称为测量误差。测量误差可以分为三种:

(1) 系统误差。电工测量仪表接入被测电路后,仪表与被测电路共同组成一个测试系统,此时仪表所承受的被测量不仅仅取决于原电路本身,而且由系统的诸多因素决定,包括仪表本身的因素在内,由此引出的误差称为系统误差。这种误差是可以准确计算出来的,其具有恒定性和变化时的固定规律性。

系统误差来源于下述几个方面:

① 仪表本身与环境条件的误差。这种误差来源于电工测量仪器、仪表和辅助设备的基本误差以及未按规定的工作条件测试带来的附加误差。

② 测量方法或理论误差。由于测量方法原理的不完善或测量工具选择不当,或采用了近似公式使测量结果产生的误差属于此类。其与仪表本身的误差无关,是电工测量系统误差中不容忽视的主要误差来源。特别是电压测试时的仪表选择与仪表在电路中的接法对系统误差的影响最大,而且是电路测试中极普遍地存在的一个大问题,有时其误差甚至大得惊人。

例如,用低内阻的普通万用表测量高阻电路的电压时,由于电压表内阻的分流影响,示值将严重降低,误差将很大。如图 1-3-2 的电路,若将电源电压与电阻值看作是准确的,则 ab 两端的电压应为 4 V。

(a) 用内阻为 $10\text{ M}\Omega$ 的数字式万用表测量,则

$$R_{ab}' = \frac{120 \times 10\,000}{120 + 10\,000} \text{ k}\Omega = 118.58 \text{ k}\Omega$$