

DIANGONGJISHUSHIYANZHIDAO

电工技术实验指导

王学忠 主编 宁夏人民出版社



陈育宁 主编

宁夏大学「十一五」教材建设丛书



电工技术实验指导

王学忠

主编

宁夏人民教育出版社



图书在版编目(CIP)数据

电工技术实验指导/王学忠, 汤全武主编. —银川: 宁夏人民教育出版社, 2007.8

ISBN 978-7-80596-971-8

I. 电… II. ①王…②汤… III. 电工技术—实验—高等学校—教材
IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128093 号

电工技术实验指导

王学忠 主编

责任编辑 柳毅伟 杨立国

装帧设计 郭红霞

责任印制 来学军

印 刷 宁夏华地彩色印刷厂

宁夏人民出版社 出版发行

地 址 银川市北京东路 139 号出版大厦

网 址 www.nxcbn.com

电子信箱 nxcbmail@126.com

邮购电话 0951-5044614

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 12

字 数 200 千

印 数 4300 册

版 次 2007 年 8 月第 1 版

印 次 2007 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-80596-971-8/G·918

定 价 18.00 元

版权所有 翻印必究

宁夏大学“十一五”教材建设丛书

编委会

主 编 陈育宁

副主编 王燕昌 赵 明

委 员 (以姓氏笔画为序)

于有志 马春宝 王玉炯 王宏伟

石文典 田军仓 田振夫 刘 明

刘万毅 刘旭东 米文宝 李宁银

李建设 何凤隼 张秉民 张馨兰

周玉忠 俞世伟 郭 琳 樊静波

霍维洮

出 版 人 高 伟

选题策划 巴 岱 杨立国

选题统筹 马红薇 张燕宁

特约审读 导 夫

序

陈育宁

教材建设是高等学校教学基本建设的重要组成部分,选用和编写高质量的教材,是高校不断提高教学水平、保障教学质量的基础。

为了落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和宁夏大学“十一五”教学工作规划及教材建设的主要任务,更新课程体系,提高教学质量,以适应现代化建设和市场经济的需要,适应培养面向 21 世纪新型高素质人才的需要,启动宁夏大学“十一五”教材建设工程,编写、出版“宁夏大学‘十一五’教材建设”丛书,是必要和及时的。

这套丛书的编写和出版,必须坚持为我校的教育教学工作服务,要根据我校专业建设、课程建设、生源状况、教学水平及师资力量等实际情况,充分发挥我校学科优势和专业特长,努力使教材建设不断深化,整体水平不断提高;要逐步建立以国家规划教材的使用为重点,特色鲜明的自编教材为补充的学校教材建设与管理体制;要不断扩大教材种类,提高教材质量,探索教材建设与供应新途径,建立教材编写与选用新机

制,开拓教材使用与管理新局面。

近年来,我校的教育教学工作随着学校规模的不断扩大和办学实力的增强,有了新的发展和提高。2005年,教育部与宁夏回族自治区政府签署协议,共建宁夏大学,为我校加快发展提供了新的机遇。实现学校的发展目标,培养高素质的建设人才,主动服务于国家和地方经济社会发展,是我校面临的重要战略任务。而高层次、高质量的人才培养,必须要求有高水平、高质量的教材建设。为此,本科教育的学科、专业及课程设置,都要作相应的调整。“宁夏大学‘十一五’教材建设”丛书的编写和出版,要适应这一调整,紧紧把握中国高等教育改革与发展的脉搏,与时俱进,面向未来,服务社会;要结合21世纪社会、经济、科技、文化、教育发展的新特点,吸收新成果,解决新问题;要根据素质教育和学分制教学管理的需要,突出适用性和针对性;要在加强基础课、实验课教材编写与出版的同时,不断深化基础理论研究,拓宽教材知识面,努力实现整套教材科学性、系统性、开放性、前瞻性和实践性的有机结合,充分体现起点高、水平高,结构严密、体系科学,观点正确、应用性强的特点。

我们相信,在我校广大教师和科研骨干的努力下,在出版界同人的支持下,“宁夏大学‘十一五’教材建设”丛书的编写出版,必将提高质量,多出精品,形成特色;必将面向市场,走向社会,服务教学,为宣传宁夏大学,树立宁夏大学学术形象,推动宁夏大学本科教学水平不断提高发挥积极作用。

2007年8月于银川

电工技术实验指导

Contents

目录

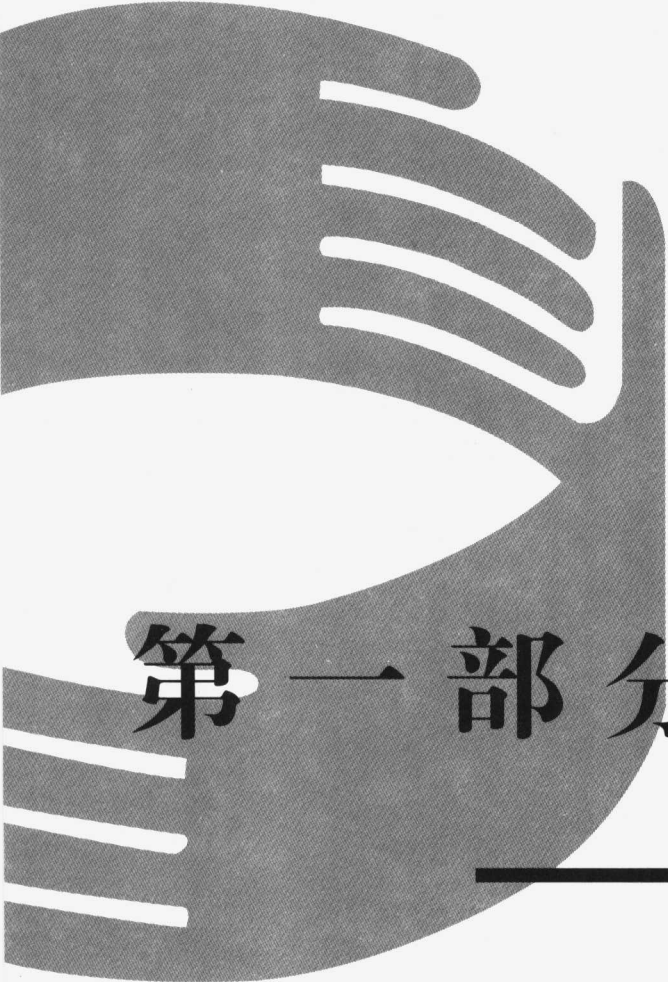
第一部分 电工技术实验的基础知识	001
一、电工技术实验须知	003
二、常用电子测量仪器的正确使用	009
第二部分 电工技术实验指导	047
实验一 基本电工仪表的使用及测量误差的计算	049
实验二 减小仪表测量误差的方法	054
实验三 仪表量程扩展实验	058
实验四 电路元件伏安特性的测绘	062
实验五 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	066
实验六 基尔霍夫定律的验证	068
实验七 叠加原理的验证	070
实验八 电压源与电流源的等效变换	073
实验九 戴维南定理和诺顿定理的验证 ——有源二端网络等效参数的测定	076
实验十 最大功率传输条件测定	081
实验十一 受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的 实验研究	083
实验十二 典型电信号的观察与测量	088
实验十三 RC 一阶电路的响应测试	091
实验十四 二阶动态电路响应的研究	095
实验十五 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	097
实验十六 用三表法测量电路等效参数	100
实验十七 正弦稳态交流电路相量的研究	104
实验十八 RC 选频网络特性测试	108
实验十九 R 、 L 、 C 串联谐振电路的研究	112

目录

Contents

电工技术实验指导

实验二十	二阶网络状态轨迹的显示	116
实验二十一	二端口网络测试	119
实验二十二	负阻抗变换器	123
实验二十三	回转器	126
实验二十四	互感电路观测	130
实验二十五	单相铁芯变压器特性的测试	134
实验二十六	变压器的连接与测试	136
实验二十七	电流互感器的应用	139
实验二十八	三相交流电路电压、电流的测量	142
实验二十九	三相电路功率的测量	145
实验三十	单相电度表的校验	150
实验三十一	功率因数及相序的测量	153
实验三十二	三相鼠笼式异步电动机	156
实验三十三	三相鼠笼式异步电动机点动和自锁控制	161
实验三十四	三相鼠笼式异步电动机正反转控制	165
实验三十五	三相鼠笼式异步电动机 Y - Δ 降压起动控制	169
实验三十六	三相鼠笼式异步电动机的能耗制动控制	174
实验三十七	工作台往返自动控制	177
实验三十八	三相异步电动机顺序控制	179
实验三十九	C620 车床电气控制	181
实验四十	电动葫芦电气控制	183
参考文献		186
后记		187



第一部分

电工技术实验
的基础知识



一、电工技术实验须知

(一) 电工技术实验的目的和意义

我国著名的科学家张文裕在为《著名物理学实验及其在物理学发展中的作用》一书所写的序言中,精辟论述了科学实验的重要地位:“科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,也是工程技术的基础。”又说:“基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面如果结合的好,经济建设和国防建设势必会兴旺发达。要把上述四个环节紧密贯穿在一起,必须有一条红线,这条红线就是科学实验。”在科学技术飞速发展、广泛应用的今天,实验显得更加重要。此外,实验还有一个重要任务,能养成勤奋、进取、严肃认真、理论联系实际的作风和为科学事业奋斗到底的精神。

电工技术实验,按性质可分为验证性实验、训练性实验、综合性实验和设计性实验四大类。

验证性和训练性实验主要是针对电子技术学科内理论验证和实际技能的培养,着重奠定基础。这类实验除了巩固加深某些重要的基础理论外,主要在于帮助学生认识现象,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

综合性实验属于应用性实验,实验内容侧重于某些理论知识的综合应用,其目的是培养学生综合运用所学理论的能力和解决较复杂的实际问题的能力。

设计性实验对于学生来说既有综合性又有探索性,它主要侧重于某些理论知识的灵活应用。例如,完成特定功能电子电路的设计、安装和调试等。要求学生在教师指导下独立进行查阅资料、设计方案与组织实验等工作,并写出设计报告。这类实验对于提高学生的素质和科学实验能力非常有益。

有电工技术课程设计课的专业,设计性实验可结合课程设计进行。

(二) 电工技术实验的一般要求

尽管电工技术各个实验的目的内容不同,但为了培养良好的学风,充分发挥学生的主动精神,促使其独立思考,独立完成实验并有所创造,我们对电工技术实验的准备阶段、进行阶段、完成阶段和实验报告分别提出下列基本要求。

1. 实验前准备

为避免盲目性,参加实验者应对实验内容进行预习。要明确实验目的要求,掌握有关电路的基本原理,查阅有关资料,拟出实验方法和步骤,设计实验表格,对思考题作出解答,初步估算(或分析)实验结果(包括参数和波形),最后写出预习报告。

预习报告的内容为:实验目的、实验任务、实验器材、实验原理、实验步骤、测试



方法和实验记录表格等。实验前,教师要检查学生的预习情况,预习不合格者不准进行实验。

2. 实验进行

(1) 参加实验者要自觉遵守实验室规则。

(2) 根据实验内容合理布置实验现场。仪器设备和实验装置安放要适当。按实验方案搭接实验电路和测试电路。

(3) 要认真记录实验条件和所得数据、波形(并进行分析判断所得数据、波形是否正确)。发生故障应独立思考,耐心排除,并记下排除故障的过程和方法。

(4) 发生事故应立即切断电源,并报告指导教师和实验室有关人员,等候处理。

3. 实验完成

实验完成后,可将记录送指导教师审阅签字,经教师同意后才能拆除线路,清理现场。

4. 实验报告

作为一个工程技术人员必须具有撰写实验报告这种技术文件的能力。

(1) 实验报告内容

① 列出实验条件,包括何日何时与何人共同完成什么实验,当时的环境条件、使用仪器名称及编号等。

② 认真整理和处理测试的数据和用坐标纸描绘的波形,并列出表格或用坐标纸画出曲线。

③ 对测试结果进行理论分析,作出简明扼要结论。找出产生误差的原因,提出减少实验误差的措施。

④ 记录产生故障情况,说明排除故障的过程和方法。

⑤ 简要写出本次实验的心得体会以及改进实验的建议。

(2) 实验报告要求

文字通顺,书写简洁,符号标准,图表齐全,讨论深入,结论简明。

(三) 电工技术实验的操作规程

电工技术实验中经常接触到各种电气设备,因此安全用电显得尤其重要。为了做好实验,确保人身和设备的安全,在实验中必须严格遵守以下操作规程。

1. 安全操作

(1) 接线、改装、拆线都必须在切断电源的情况下进行,即先接线后通电,先断电再拆线。

(2) 在电路通电的情况下,人体严禁接触电路中不绝缘的金属导线或连接点等带电部位。万一遇到触电事故,应立即切断电源,进行必要的处理。



(3) 实验中,特别是设备刚投入运行时,要随时注意仪器设备的运行情况,如发现超量程、过热、异味、异声、冒烟、火花等,应立即切断电源,并请老师检查。

(4) 实验时应集中精力,同组者必须密切配合,接通电源前须通知同组其他同学,以防止触电事故。

(5) 电机转动时,防止导线、发辫、围巾等物品卷入。

(6) 了解有关电器设备的规格、性能及使用方法,严格按额定值使用。注意仪表的种类、量程和连接使用方法,例如不得用电流表或万用表的电阻、电流档去测量电压;功率表的电流线圈不能并联在电路中等等。

2. 爱护设备

(1) 实验前检查所用的仪器、工具等是否与实验指导书所指相同,如有差错找指导老师核查。

(2) 实验前要按估算负荷选用保险丝,使之确能起短路保护作用。若通电后保险丝迅速熔断,应找出故障并排除。更换保险丝时,不要随意加粗。要注意保护仪表及电器的安全。

(3) 每次测量前和改接线路后,都要考虑仪表的量程,使实际测量值不超过仪表的量程,也不要使仪表示数太小,一般应使测量指示为仪表满刻度的 $1/2$ 以上。

(4) 为防止电动机启动时强大的冲击电流损害电流表或功率表的游丝或打弯指针,要给电流表或功率表设短路保护闸刀,具体见实验电路。

(5) 一旦发生线路中冒烟或有烧焦气味时,应立即切断电源,找出故障并排除。

(6) 接线时接线柱不宜拧得过紧,只要保证接触良好即可,否则接线柱下的螺母会被拧松,浪费修复时间。

(7) 若损坏仪表、工具、电机和电器应报告指导老师。实验器材和工具不得擅自拿出实验室。

(8) 实验完毕后应清点工具和仪表,经指导老师验收后方能离开实验室。

(四) 测量误差

在科学实验与生产实践的过程中,为了获取表征被研究对象的特征的定量信息,必须准确地进行测量。而为了准确地测量某个参数大小,首先要先用合适的仪器设备,并借助一定的实验方法,以获得必要的实验数据;其次是对这些实验数据进行误差分析与数据处理,但人们往往重视前者忽视后者。

1. 选择测量方法的原则

在选择测量方法时,应首先研究被测量本身的特性,所需要的精确程度、环境条件及所具有的测量设备等因素,综合考虑后,再确定用哪种测量方法和选择哪些测量设备。



正确的测量方法,可以得到精确的测量结果,否则就会出现:

- (1) 得到的测量数据是错误的,不可信赖。
- (2) 损坏测量仪器、仪表。
- (3) 损坏被测设备或元器件等。

在实际测量中,由于受测量仪器精确度、测量方法、测量人员的生理原因及环境等综合因素的影响,测量结果总是偏离真值(真值:在一定的时间及空间条件下,某物理量的真实数值,一般是利用理想无误差引入的量具或测量仪器而获得的。),这种偏离就称为测量误差。

误差存在于测量过程的始终,在实际测量中,应正确分析误差产生的原因,合理选用仪器和测量方法,正确处理数据,使测量结果尽可能逼近真值。

2. 测量误差的来源和分类

(1) 测量误差的来源

① 仪器、仪表的误差:此误差为所用测量仪器、仪表等不准确所引起的基本误差。

② 环境误差:此误差为所用测量仪器、仪表未按规定的条件使用,因环境温度、电源、频率、波形、外界电磁场等外界因素的影响所产生的附加误差。

③ 方法误差:此误差为测量方法不完善或理论不严密所产生的,即凡是在测量结果的表达式中没有得到反映的因素,而实际上这些因素又起作用所引起的误差。

④ 人员误差:此误差属于实验者本身原因所引起的误差。例如,估计读数始终偏大偏小等。

(2) 测量误差的分类

① 系统误差:这是一种在同一条件下,对同一量进行多次测量时,其误差保持不变或按一定规律变化的误差。一般包括测量仪器的误差、测量条件的误差。

② 随机误差:此误差是在相同条件下多次重复测量同一量时,其误差的大小和符号均发生变化,且无变化规律。为了消除随机误差,可采用增加重复测量次数,然后取其算术平均值的方法来达到目的。

③ 过失误差:此误差是在一定测量条件下,测量值显著偏离实际值的误差,也称粗大误差或差错。这种误差主要是操作者粗心大意造成操作失误或读错数字等引起。

3. 误差的表示方法

为了定量研究误差,按误差表示方法可分为绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差

设被测量的真值为 A_0 , 测量仪器的示值为 X , 则绝对误差 ΔX 为:

$$\Delta X = X - A_0$$



在某一时间及环境下,被测量的真值是客观存在的,但无法获得;因此,在实际测量中常以高一极标准的示值 A 来代替真值 A_0 , A 称为实际值。即:

$$\Delta X = X - A$$

上式是以代数差的形式表示了误差的绝对值大小和符号,所以称为绝对误差。

测量仪器在使用前都经过高一极标准仪器的校正,校正量用修正值 C 表示,即:

$$C = -\Delta X = A - X$$

例如:用电流表测量电流,电流表的示值 $X=2.46$ mA,同时已知修正值 $C=-0.02$ mA,则被测电流的电流值为:

$$A = X + C = 2.46 - 0.02 = 2.44 \text{ mA}$$

值得注意的是,仪器的读数与示值是有区别的。读数是指从仪器的刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数字,示值是指该读数所代表的被测量的数值。读数有时就等于示值,但有时必须经过简单的计算、查曲线和数表才能转换成示值。

例如:一只线性刻度为 $0 \sim 50$,量程为 250 V 的电压表,若表针指在 45 分度处;则读数为 45 ,而示值为(电压值):

$$V = \frac{45}{50} \times 250 = 225 \text{ V}$$

(2) 相对误差

由于绝对误差不能表明测量精确度,不能对不同的测量结果的误差进行比较分析,因此常采用相对误差来表示测量精确度。

① 实际相对误差:绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 之间的百分比值,表示为:

$$\gamma_a = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

② 示值相对误差:绝对误差 ΔX 与仪器的示值 X 之间的百分比值,表示为:

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

在实际测量中,常用 γ_x 来表示相对误差。

例:第一次用修正值为 -2 Hz 的频率计去测频率,示值为 20 kHz;第二次用修正值为 -0.2 Hz 的频率计去测频率,示值为 200 Hz;试比较测量精确度。

解:第一次测量的示值相对误差为:

$$\gamma_{x1} = \frac{2}{20 \times 1\,000} \times 100\% = 0.01\%$$

第二次测量的示值相对误差为:

$$\gamma_{x2} = \frac{0.2}{200} \times 100\% = 0.1\%$$

所以, $\gamma_{x1} < \gamma_{x2}$, 即第一次测量精度高。



③ 满度相对误差,绝对误差 ΔX 与仪器满度值 X_m 之间的百分比值,表示为:

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级就是由 γ_m 值来划分的。如 1.0 级的仪表,就表示:

$$\gamma_m \leq \pm 1.0\%$$

④ 分贝(dB)表示相对误差:在电子测量仪器中,常用分贝(dB)来表示相对误差。当误差不大时,它与其他相对误差有以下关系。

对电流、电压类参量,有:

$$\gamma_{dB} \approx 8.69\gamma_x \text{ dB}$$

$$\gamma_x \approx 0.115\gamma_{dB}$$

对功率类参量,有:

$$\gamma_{dB} \approx 4.3\gamma_x \text{ dB}$$

$$\gamma_x \approx 0.23\gamma_{dB}$$

(3) 允许误差

允许误差是指某一类仪器不应超出的误差最大范围。它是根据国家计量机关所制定的鉴定规程来确定的,一般仪器的技术说明书上所标明的误差就是指允许误差,如某型 Q 表,其说明书上所标误差为 $\pm 10\%$ 。

4. 测量结果的数据处理

(1) 有效数字

由于存在误差,所以测量数据总是近似值,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成,例如,由电流表测得电流为 12.6 mA,这是个近似数,12 是可靠数字,而末位 6 为欠准数字,即 12.6 为三位有效数字。

对有效数字的正确表示,应注意以下几点:

① 有效数字是指从左边第一个非零的数字开始,直到右边最后一个数字为止的所有数字。例如,测得的频率为 0.024 6 MHz,它是由 2、4、6 三个有效数字组成的频率值,而左边的两个 0 不是有效数字,因而它可以通过单位变换写成 24.6 kHz,这时有有效数字仍为三位,6 是欠准数字未变,但不能将 0.024 6 MHz 写成 24 600 Hz,因为后者的有效数字变为五位,最右边的“0”为欠准数字,两者意义完全不同。

② 如已知误差,则有效数字的位数应与误差相一致。例如:

设仪表误差为 $\pm 0.01 \text{ V}$,测得电压为 11.373 5 V,其结果就写作 11.37 V。

③ 当给出误差有单位时,测量数据的写法应与其一致。

(2) 数据舍入规则

为使正、负舍入误差出现的机会大致相等,现已广泛采用“小于 5 舍,大于 5 入,等于 5 时取偶数”的舍入规则。即:



① 若保留 n 位有效数字,当后面的数值小于第 n 位的 0.5 单位就舍去。

② 若保留 n 位有效数字,当后面的数值大于第 n 位的 0.5 单位就在第 n 位数字上加 1。

③ 若保留 n 位有效数字,当后面的数值恰为第 n 位的 0.5 单位,则当第 n 位数字为偶数(0,2,4,6,8)时应舍去后面的数字(即末位不变),当第 n 位数字为奇数(1,3,5,7,9)时,第 n 位数字应加 1(即将末位凑成为偶数)。这样,由于舍入概率相同,当舍入次数足够多时,舍入的误差就会抵消。同时,这种舍入规则,使有效数字的尾数为偶数的机会增多,能被除尽的机会比奇数多,有利于准确计算。

(3) 有效数字的运算规则

当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的取舍,原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般应遵循以下规则:

① 当几个近似值进行加、减运算时,在各数中(采用同一计量单位),以小数点后位数最少的那一个数(如无小数点,则为有效位数的最少者)为准,其余各数均舍入至比该数多一位,而计算结果所保留的小数点后的位数,应与各数中小数点后位数最少者的位数相同。

② 进行乘除运算时,在各数中,以有效数字位数最少的那一个数为准,其余各数及积(或商)均舍入至比该因子多一位,而与小数点位置无关。

③ 将数平方或开方后,结果可比原数多保留一位。

④ 用对数进行运算时, n 位有效数字的数应该用 n 位对数表。

⑤ 若计算式中出现如 e 、 π 、 $\sqrt{3}$ 等常数时,可根据具体情况来决定它们应取的位数。

二、常用电子测量仪器的正确使用

(一) 电子测量仪器概述

测量仪器(仪表),是指将被测的量转换成可直接观测的指示值或等效信息的器具。包括各种指示仪器(仪表)、比较式仪器(仪表)、记录式仪器(仪表)及传感器等。