

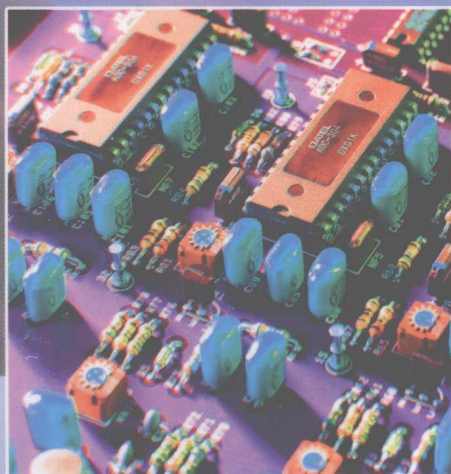
● 高等学校教材

电路原理实践教程

太原理工大学电子技术实验中心 编

主 编 李彩萍

副主编 郭爱莲



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

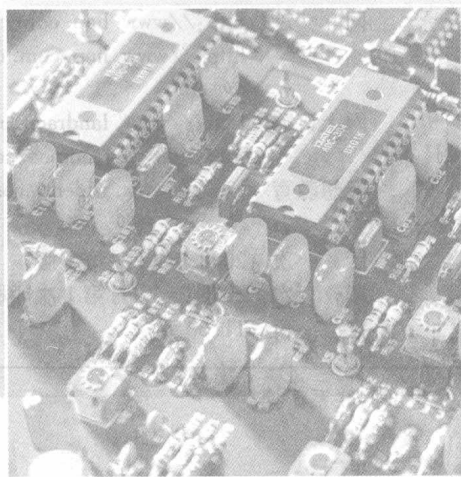
● 高等学校教材

电路原理实践教程

太原理工大学电子技术实验中心 编

主 编 李彩萍

副主编 郭爱莲



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是根据教育部面向 21 世纪课程改革的要求,结合近年来电路课程及其实验教学改革的发展和编者及同仁对实验教学的多年心得编写而成的。

全书共分 4 章。第 1 章是电路实验绪论,包括实验的基本要求、基本技能、测量方法和安全知识等,是要求学生必须掌握的基础知识。第 2 章是实验项目及其指导,也是全书的重点,列出了全部的实验项目。在编排上分为 4 个模块:直流电路、交流电路、动态电路和多端网络电路,从类型上分为 4 个层面:基础实验、综合实验、设计性实验和仿真实验,体现了由浅入深、循序渐进的原则。第 3 章是常用电工仪器与仪表,主要介绍其基本工作原理、一般性能和正确的使用方法。第 4 章是仿真软件 Multisim 2001 简介。

本书对传统实验内容和方法进行了较大改革,注重培养学生的综合实践能力和计算机应用能力,可作为高等院校电气信息类或相近各专业的本科生“电路原理”和“电路分析”等课程的实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

电路原理实践教程/李彩萍主编;太原理工大学电子技术实验中心编. —北京:高等教育出版社,2008.12

ISBN 978-7-04-024936-1

I. 电… II. ①李… ②太… III. 电路理论—高等学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149421 号

策划编辑	金春英	责任编辑	唐笑慧	封面设计	于文燕	责任绘图	吴文信
版式设计	范晓红	责任校对	杨雪莲	责任印制	朱学忠		

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 100120
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 河北省财政厅票证文印中心

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 8.75
字 数 210 000

版 次 2008 年 12 月第 1 版
印 次 2008 年 12 月第 1 次印刷
定 价 11.60 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

物料号 24936-00

前言

本书作为“电路原理”等课程的实验教学的指导,力求突出学生对基础知识的强化和基本技能的训练,注重本课程知识及其相关知识的综合运用能力,同时还注重学生应用计算机进行辅助分析和工程设计能力的培养。

全书共分4章。第1章是电路实验绪论,主要目的是为了使使学生通过该部分内容的学习,掌握电路实验必备的知识和技能,提高实验的效果和效率,更好地完成实验任务。除一些常规的、实验中必须掌握的知识外,还包含了有关测量原理、测量技术以及测量误差等方面的内容,同时为了使使学生能更好地掌握实验的设计过程,还给出了实验设计的指导思想、主要内容、基本步骤及设计实例。通过对本部分的学习,学生能规范、准确和系统地完成实验的操作,并能对实验结果进行分析归纳,得出相应的结论。

第2章是实验项目及其指导,共列出23个实验项目。在实验项目的选择上,充分考虑了本课程各个章节所需要的通过实验验证或通过实验研究的主要内容,其中直流电路部分包括6个实验;交流电路部分包括10个实验;动态电路部分包括4个实验;多端网络部分包括3个实验。在类型和层次的选择上,包括基础实验、综合实验、设计性实验和仿真实验。内容除了与理论教学紧密结合、辐射到各主要重点章节以外,还兼顾了工程的实用性。各专业可根据对学生电路实验的不同要求选取适当的实验项目。

第3章为常用电工仪器与仪表,主要讲解常用电工仪器与仪表的工作原理、一般性能以及正确的使用方法。通过学习这部分内容,能对常用的电工仪器与仪表有所了解,并通过在实验过程中的反复使用,强化学生的实际动手能力,培养作为工程技术人员应该具备的最基本的实验技能。

第4章为EDA仿真工具简介,主要介绍了Multisim 2001仿真软件的功能及仿真分析方法,是完成仿真实验必须掌握的知识。

本书在内容的组织和编排上具有以下特点:

(1) 理论与实际相结合,知识与能力相衔接,相互协调,逐步深入。在实验项目的内容上,既有基础性实验项目,也有提高性实验项目,以满足不同层次学生的需求;在实验项目的编排和组合上进行了一定的优化整合,例如,基础内容与设计内容的组合以及仿真软件与各模块的组合等,实验类型和层次多样化,具有新意、注重效果。

(2) 为了使常规实验内容与计算机技术相结合,进一步增强实验的效果。本书将搭建实际电路实验和计算机仿真实验相结合,选用了较先进的仿真软件Multisim 2001,用快捷有效的工具,加快学生对理论结果的认知能力,然后再从“仿真”环境走向“真”环境,既锻炼了学生掌握实验仪器仪表的技能,又可以让学生在有限的课时内高效率地拓展知识。

(3) 设计性实验项目选择的宗旨是:① 基础实验的延伸;② 简单的内容启发开阔的思路;

③ 实验设计方案的多样化,旨在提高学生的实验设计能力和创新能力。

本书由李彩萍、郭爱莲共同编写,其中李彩萍编写了第1章和第2章的15个实验内容,郭爱莲编写了第2章的8个实验内容和第3章、第4章,全书由李彩萍主编并负责全书的统稿、定稿工作。

本书由太原理工大学熊光煜教授主审,在编写的过程中还得到了嘉兴学院曹泰斌教授、太原理工大学李晓明教授和侯锐副教授的精心指导和帮助,谨在此致以衷心的感谢!同时,在编写本教材的过程中,我们参考了一些优秀教材,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有疏漏和不妥之处(特别是在某些方面所做的变动和尝试),恳请读者批评指正,并提出宝贵的意见。

编者

2008年5月

目 录

第 1 章 电路实验绪论	1
1.1 电路实验的重要性、目的及其基本要求	1
1.1.1 实验的重要性	1
1.1.2 实验的目的	1
1.1.3 实验的基本要求	2
1.2 电工测量基础知识	3
1.2.1 测量的概念	3
1.2.2 测量的方法	4
1.2.3 测量的误差	5
1.2.4 电工仪表等级的确定	7
1.2.5 测量数据的处理	8
1.3 电路实验的设计	10
1.3.1 设计的指导思想	10
1.3.2 设计的主要内容	10
1.3.3 设计的基本步骤	11
1.3.4 设计性实验举例	11
1.4 实验室供电与用电安全	13
1.4.1 供电系统	13
1.4.2 安全事项	14
1.5 电工仪表	14
1.5.1 直读式仪表的分类	15
1.5.2 直读式电工测量仪表的表面标记与正确使用	15
思考题	16
第 2 章 实验项目及其指导	18
2.1 直流电路实验	18
实验一 元器件伏安特性的测绘	18
实验二 电流、电压的测量及电路电位图的绘制	23
实验三 叠加定理和基尔霍夫定律	24
实验四 综合性实验——戴维宁(诺顿)定理和最大功率传输定理的研究	27
实验五 受控源的研究	32
实验六 应用 Multisim 2001 进行直流电路仿真	36
2.2 交流电路实验	39
实验七 示波器的使用	39

实验八 交流阻抗参数的测定	41
实验九 综合性实验——日光灯电路及其功率因数改善的研究	45
实验十 RLC 串联电路的谐振	48
实验十一 RC 网络频率特性和选频特性的研究	51
实验十二 设计性实验——交流电路中的互感	55
实验十三 综合性实验——三相交流电路的研究	58
实验十四 设计性实验——三相电路相序的判断	62
实验十五 单相铁心变压器特性的测试	63
实验十六 应用 Multisim 2001 进行交流电路仿真	66
2.3 动态电路实验	76
实验十七 一阶 RC 电路的时域响应	76
实验十八 二阶 RLC 电路瞬态过程的研究	78
实验十九 设计性实验——微分电路和积分电路的应用研究	81
实验二十 应用 Multisim 2001 进行动态电路仿真	83
2.4 多端网络实验	93
实验二十一 二端口网络的研究	93
实验二十二 综合性实验——负阻抗变换器的研究	97
实验二十三 综合性实验——回转器的研究	101
第3章 常用电工仪器与仪表	105
3.1 数字万用表	105
3.2 D51 型单相功率表	108
3.3 GOS-620 型双踪示波器	110
3.4 THGE-1 型电工电子实验台	116
第4章 EDA 仿真工具	117
4.1 Multisim 2001 概述	117
4.1.1 Multisim 2001 的操作界面	117
4.1.2 用 Multisim 创建电路原理图	118
4.1.3 用 Multisim 进行电子电路的仿真	120
4.2 Multisim 2001 元器件与仪器	120
4.2.1 认识元器件库	120
4.2.2 Multisim 2001 实验仪器	122
4.3 Multisim 2001 的仿真分析方法	126
参考文献	131

第 章

电路实验绪论

1.1 电路实验的重要性、目的及其基本要求

1.1.1 实验的重要性

工科院校担负着培养工程技术人员的重任,学生毕业后通常要从事各项科学研究和各种技术工作。相对于人文学科,工程学科更强调理论与实践的紧密结合,实践性更强,这就要求工科院校的学生具备较强的动手能力,具有踏踏实实从事科学实验的作风。

随着工业生产和科学技术的飞跃发展,电能应用技术和电气控制技术在工科各学科之间的交叉、渗透日益深入。随着电子技术和计算机技术的大面积应用,工业自动化程度的迅速提高,机电一体化浪潮的猛烈冲击,管理工作智能化水平的日渐高级,使得各专业对其实践性教学的要求都在不断提高,特别是现代工业对新一代大学生工程素质的要求以及自主择业对他们的严峻考验,越来越显示出了电路实验教学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,它的确是一个不可缺少和不可替代的教学环节。

1.1.2 实验的目的

通常来说,电路实验课的目的就是让学生通过自己动手提高实践能力;引导学生对实验过程中观察到的波形及现象能够分析、理解并应用;对实验获取的数据能够做正确的处理并进行误差分析;对一些实际电路问题,能够自行设计并完成整个实验过程。具体可归纳如下。

① 增加感性认识,巩固和扩展电路理论知识,培养应用基本理论去分析、处理实际问题的能力。

② 训练学生掌握最基本的电量和电路参数的测量方法,掌握常用电工仪器仪表设备的正确选用及测试技术。

③ 提高分析、查找和排除电路故障的能力,学习正确处理实验数据、分析误差的方法。并能写出严谨、有理论分析、实事求是、文理通顺的实验报告。

④ 培养学生独立设计实验的初步能力,学习仿真软件在电路实验中的使用。

⑤ 培养良好的实验习惯及安全用电的操作习惯,培养严肃的工作态度、严格的工作纪律观念及严谨的工作作风。

⑥ 培养创新精神和创新意识。

1.1.3 实验的基本要求

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,尤其是电路实验的预习更为重要,因此要求预习时认真阅读实验教材和其他相关的参考教材,明确实验的目的和任务,了解实验的基本原理以及实验线路、方法、步骤;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;需要事先计算和拟定的内容要尽量做好,编写出真正为实验所需要的预习报告。未完成预习报告的学生不得参加实验,旨在使学生养成良好的预习习惯。

2. 正式实验要求

① 集中注意力听取指导教师的简要讲解,因为有些重点、要点及注意事项往往是容易忽略或在书本上根本学不到的。

② 组建小组,合理分工。每次实验以小组为单位进行,每组2~3人。实际操作时同组人必须相互协调、安全操作、准确记录。

③ 熟悉实验仪器设备并合理布局,连接实验线路,经自查无误后,请教师复查同意后方可接通电源。决不允许私自通电,切忌草率行事,盲目操作。

④ 实验人员的操作要胆大心细,一丝不苟。如果遇到异常现象(如,发热、发光、声响、冒烟、焦味等)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、找出原因也可视为成功的实验。

⑤ 实验结束后,先断电源,暂不拆线。待检查实验结果没有遗漏和错误并请指导教师验收签字之后再拆除线路。复归仪器设备,将导线整理成束放入抽屉,清理实验台。

3. 实验技能要求

① 了解常用仪器仪表的结构原理,测试功能。掌握正确的使用方法和安全操作规范。在连接实验电路之前,对所用仪器仪表应进行合理地布局,一般以安全、便于操作和读数为原则。

② 掌握常用电路元器件的简易测试,能正确选用仪表类型、量程和精度等级。

③ 掌握实验布线原则与接线技巧,通常连线时应本着“先串联,后并联;先连主要回路,后连次要回路;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。电路各连接端钮应有足够的紧密,避免接触不良,整个电路的连接导线应避免交叉,并使导线数量最少,有条不紊,令人一目了然。

④ 改接线路时,应使实验线路的改动量尽可能地小,避免拆光重接,即相同处保留,只改拆不同处。

⑤ 能正确采集数据,科学地进行数据处理,能分析误差形成的原因以及减小误差的方法,并具有分析测量结果的能力。

⑥ 能按工程图的要求绘制有关波形、曲线与图表,能按编写技术文件的标准编写实验报告。

⑦ 能通过基础实验的有计划训练,使实验者具备根据实验任务确定实验方案、设计线路和

选择仪器设备的基本能力。

4. 实验报告的编写

实验报告是实验完成后的总结,是实验成果的书面材料。编写实验报告是培养科学研究能力的内容之一。要求有实事求是的态度、一丝不苟的作风和勤于思考的精神,切忌弄虚作假,自欺欺人。每次实验之后,每位学生都应该独立地编写一份实验报告,且需用统一的实验报告格式,内容要文理通顺,简明扼要,字迹端正,图表清晰,结论正确,分析合理,讨论深入。实验报告一般应包括以下几项。

① 班级、组别、姓名、同组者以及实验地点和时间。

② 实验目的。

③ 实验原理(简述)、内容及线路图。

④ 实验数据、计算公式、计算结果及实验曲线等,这是实验报告的主要内容,在实验报告中常用的数据处理方法是列表计算和图解处理,实验中所测得的数据要分门别类地记录在表格中,以便于对数据进行运算和表明所得结果。实验结果也常用作图的方法直观地表示出来。

⑤ 实验结论及误差分析。

⑥ 仪器、设备名称。

⑦ 心得体会、改进意见及遗留问题。

⑧ 问题回答。

1.2 电工测量基础知识

1.2.1 测量的概念

实验是人类认识客观事物的重要手段,而测量又是科学实验的必要手段。通过测量可以获得研究对象的各种有关信息,形成定性或定量的认识,从而总结出客观规律,得出正确的结论,以便在建立科学理论或是应用中提供可靠的依据。

所谓测量,就是将被测的量直接或间接地与另一作为单位的同类量相比较,在比较过程中,可以确定被测量的量是已知测量单位的几倍或几分之几。

目前,我国均采用国际单位制,表 1-2-1 列出了电路分析中常用的国际制单位。

表 1-2-1 常用国际制单位

量		单 位	
中 文	符 号	中 文	符 号
电 流	I	安[培]	A
电 压	U	伏[特]	V
有功功率、无功功率、视在功率	$P、Q、S$	瓦[特]、乏、伏安	W、var、V·A
频 率	f	赫[兹]	Hz
电 阻	R	欧[姆]	Ω

续表

量		单 位	
中 文	符 号	中 文	符 号
电感	L	亨[利]	H
电容	C	法[拉]	F
时间	t	秒	s

但在实际应用中有时会感到这些单位太大或太小,使用不便,因此在这些单位前加上了一些辅助单位,见表1-2-2,用来表示这些单位与一个以10为底的正次幂或负次幂相乘后所得到的辅助单位。

表1-2-2 常用词冠

词冠	名称		因数
	中文	符号	
giga	吉	G	10^9
mega	兆	M	10^6
kilo	千	k	10^3
milli	毫	m	10^{-3}
micro	微	μ	10^{-6}
nano	纳	n	10^{-9}
pico	皮	p	10^{-12}

1.2.2 测量的方法

由于客观存在的事物和现象是多种多样的,测量仪器种类繁多,因而所采取的方法也不一样,例如,在电路实验中测量一个电阻器的阻值,可以用万用表测量,也可用电桥法测量,还可以用伏安法测量,概括起来,测量的方法可分为四种。

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,例如用电流表测电流,用电压表测电压,均可用下式表示

$$x = y$$

式中, y 为被测量, x 为测量结果。这是最简单易行的电路测量方法。

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),通常用下式表示

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

式中, y 为被测量, $x_1, x_2, \dots, x_m$ 为与被测量有关的量,它们可通过直接测量而获取。

3. 比较测量

根据测量精度的要求,有时用前述测量方法是不能达到目的的,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,例如用电桥法测电阻、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 with 间接测量的组合,除了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,是一种较为复杂的测量方法。

1.2.3 测量的误差

测量就是一个比较的过程,把被测量与已知的标准量,即真值进行比较。它们之间的差别称为测量误差,测量误差按表示法可以分为绝对误差和相对误差,按误差的性质和特点可以分为系统误差、随机误差和过失误差。

1. 误差的表示

(1) 绝对误差

被测量的测量值 x 与被测量的实际值 A (即真值)之差称绝对误差,用 Δ 表示,即

$$\Delta = x - A \quad (1-2-1)$$

从式(1-2-1)可以看出,绝对误差 Δ 值可正可负,如果测量值 x 比真值 A 大,则 Δ 为正值,否则为负值,切记 Δ 的正负是以真值为参考决定的。

(2) 相对误差

绝对误差与被测量真值之比的百分数称为相对误差,用 β_a 表示,即

$$\beta_a = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (1-2-2)$$

如果说绝对误差表示了被测量误差的大小,那么相对误差所表示的就是被测量的准确度。例如,测量某一电压的真值为 5 V,绝对误差为 0.1 V,则相对误差为 2%,另一被测电压的真值为 50 V,绝对误差为 0.1 V,而相对误差减小为 0.2%。可见,两个被测电压的绝对误差相同,但相对误差不同,后者较前者的相对误差小,说明准确度比前者高。

2. 误差的种类

(1) 系统误差

系统误差指在测量过程中,条件相同时,多次测量同一量时误差的绝对值和符号保持不变,或条件改变时按一定规律而变化的误差。

就电路实验而言,系统误差来源于以下几个方面。

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,以及未按规定正常工作条件测试带来的附加误差。

② 测量方法或理论误差。这种误差是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,而使测量结果产生的误差,它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,特别是电压测试时仪表的选择与仪表在电路中的接法对系统误差的影响最大,而且是电路测试中较普遍存在的问题,有时其误差值甚至大得惊人。

例如,用低内阻的普通万用表测量高阻电路的电压时,由于万用表内阻的分流影响,显示值

将严重降低,误差将很大,如图1-2-1所示的电路,若将电源电压与电阻值看做是准确的,则a、b两端的电压为4 V。

用内阻为10 MΩ的数字式万用表测量,则

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

$$U'_{ab} = 6 \times \frac{118.58}{60 + 118.58} \text{ V} = 3.984 \text{ V}$$

$$\beta_a = \frac{|3.984 - 4|}{4} = 0.4\%$$

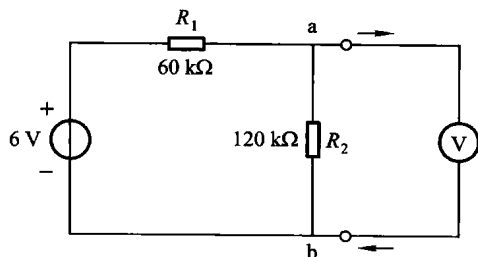


图1-2-1 万用表的分流影响

用内阻为20 kΩ/V的普通万用表测量,若用5 V量程时,内阻为100 kΩ,则

$$R'_{ab} = \frac{120 \times 100}{120 + 100} \text{ k}\Omega = 54.55 \text{ k}\Omega$$

$$U'_{ab} = 6 \times \frac{54.55}{60 + 54.55} \text{ V} = 2.857 \text{ V}$$

$$\beta_a = \frac{|54.55 - 4|}{4} = 28.6\%$$

可见,这个误差大得确实惊人。若不能正确地选择仪表,或者不对测试结果加以修正,实际上已经失去了测量的意义。

③ 人员误差。

该误差是由于实验者生理上的分辨能力、感觉器官的差异、反应速度的快慢或固有习惯引起的误差。

(2) 随机误差(偶然误差)

在相同条件下,对同一量进行测量时,在极力消除或减小一切明显的系统误差后,测量结果仍会出现或大、或小、或正、或负等无规律的随机变化,这种事先不能预测的误差称为随机误差。

随机误差也称为偶然误差,主要由一些偶然的因素产生,如,电源电压的波动、电磁场的干扰、电源频率的变化及地面振动、热起伏等,经多次测量后,取其算术平均值,误差将会趋于零,其结果更趋近于实际值。

(3) 过失误差(粗大误差)

该误差是指由于明显偏离测量结果造成的应予以剔除的误差,如,测量方法不当、测量时电源突然跳动、仪器中某元器件打火、测量人员操作错误、读数错误以及记录错误等。

综上所述,电工测量误差主要分为系统误差与偶然误差两部分。系统误差具有固定的规律性,呈一边倒的趋势,可设法减小;偶然误差虽具有随机性,但符合统计规律,随测量次数的增多其不确定度会减小,因此,系统误差愈小的测量愈正确,偶然误差愈小的测量愈精密。一个精密的测量,只有消除了系统误差的影响,精确测量才有意义。

3. 测量的准确度、精密度及精确度

(1) 准确度

准确度是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,即前文所述的相对误差 ($\beta_a = \frac{\Delta}{A} \times 100\%$)。如在电路测量中,电路的连接方式、仪表等级、依据的理论等都将影

响测量的准确度。要想提高测量的准确度,就必须在克服系统误差上下工夫。

(2) 精密度

精密度是指在重复测量同一系统中所得结果相互一致的程度,它反映了随机误差的影响。例如,用一只电压表测真值为 10 V 的电压,三次测得的结果分别为 8.95 V、8.96 V、8.94 V,用另一只电压表测同一电压,所得结果分别为 9.90 V、9.85 V、9.95 V。从测量结果上看,虽然第一只电压表测得结果与真值差异比第二块电压表的差异大,但三次结果之间的差异小,故第一只电压表比第二只电压表精密度高。

精密度高表示测量系统抗干扰能力强,也可以说精密度是用来表示随机误差大小的。

(3) 精确度

精密度和准确度总称为精确度,通常说某仪器精确度高,就是说它既精密又准确。但必须注意,精密度与准确度是两个不同的概念,精密度高不等于准确度高,同样准确度高的不一定精密度高。

1.2.4 电工仪表等级的确定

1. 电工仪表的准确度

以仪表的满度相对误差 β_m 表示电工仪表的准确度。仪表的满度相对误差是仪表各指示值中最大绝对误差值 Δ_m 与仪表满度值(即满量程值) A_m 之比的百分数。

$$\beta_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-2-3)$$

根据我国标准的规定,仪表准确度等级共分 7 级,分别是 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0。如, $\beta_m = \pm 0.1\%$ 的仪表为 0.1 级表, $\beta_m = \pm 1.0\%$ 的仪表为 1.0 级表。

2. 确定仪表等级的方法

确定仪表等级的方法是将待定等级的表与标准表去测量同一个量,认为标准表的读数是真值,待定表的读数与标准表的读数之差是绝对误差。在全量程上找出最大绝对误差 Δ_m 代入式(1-2-3)中,算出满度相对误差值,根据该值再确定待定仪表的等级,见表 1-2-3。

例 1-2-1 有一量程为 100 mA 的电流表,用一只标准表校验它,测得的结果见表 1-2-4,试确定该电流表应属于哪一等级。

解 从表 1-2-4 中看出,被定级表读数为 80 mA 处的绝对误差最大, $\Delta_m = x - A = (80 - 78) \text{ mA} = 2 \text{ mA}$, 表的最大量程 $A_m = 100 \text{ mA}$, 所以该表的满度相对误差为

$$\beta_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \frac{2 \text{ mA}}{100 \text{ mA}} \times 100\% = 2\%$$

根据 β_m 值的大小,可以确定该表为 2.5 级。

表 1-2-3 电工仪表准确度等级

仪表等级	满度相对误差/%	仪表等级	满度相对误差/%
0.1	± 0.1	1.5	± 1.5
0.2	± 0.2	2.5	± 2.5
0.5	± 0.5	5.0	± 5.0
1.0	± 1.0		

表 1-2-4 测量记录

被测定表读数 x/mA	0	20	40	60	80	100
标准表读数 A/mA	0	20.3	39.5	59	78	99
绝对误差	0	-0.3	+0.5	+1	+2	+1

3. 测量中如何选择仪表

在测量中为了得到准确的结果,初学者通常会认为使用仪表的等级越高,测量的结果越准确,但实际上测量的结果是否准确,不仅仅取决于仪表的等级,还与量程有关。不同等级的仪表由于量程不同,可得到同样效果。

在实际中选择测量仪表的原则是:① 满足测量结果准确度的要求;② 从经济效益的角度出发,能用低等级的仪表来做的实验,就不用高等级的仪表。在同样等级仪表中量程越小,测得结果就越准确,选用指针式仪表量程时,测量值应大于仪表量程的 $1/2$ 。

例 1-2-2 用两只电压表测量同一真值为 40 V 的电压,一只电压表为 0.5 级,量程为 100 V ,另一只电压表为 1.0 级,量程为 50 V ,求两只电压表测量结果中最大可能的相对误差。

解 用 0.5 级量程为 100 V 的电压表测量时可能产生的最大绝对误差为

$$\Delta_{m1} = \beta_{m1} \times A_{m1} = \pm 0.5\% \times 100\text{ V} = \pm 0.5\text{ V}$$

用该表测 40 V 电压时产生的最大相对误差为

$$\beta_1 = \frac{\Delta_{m1}}{A} \times 100\% = \frac{\pm 0.5\text{ V}}{40\text{ V}} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

用 1.0 级表,量程为 50 V 的电压表测量时产生的最大绝对误差为

$$\Delta_{m2} = \beta_{m2} \times A_{m2} = \pm 1.0\% \times 50\text{ V} = \pm 0.5\text{ V}$$

用该表测真值为 40 V 电压产生的最大可能相对误差为

$$\beta_2 = \frac{\Delta_{m2}}{A} \times 100\% = \frac{\pm 0.5\text{ V}}{40\text{ V}} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

此例说明,用级别不同、量程不同的仪表测得的相对误差可能会相同。其原因是测量结果的相对误差 $\Delta_m = \beta_m \times A_m$,即绝对误差与满度相对误差成正比,与仪表的量程成正比。

1.2.5 测量数据的处理

1. 有效数字

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 ,则前面两个数“82”是准确的可靠读数,称为“可靠数字”;而最后一位数字“5”是估读的,称为“欠准数字”,两者合起来称为“有效数字”,其有效数字为 3 位。

② 有效数字的正确表示:当按照测试要求确定了有效数字的位数后,每一测量数据只应有一位欠准数字,即最后一位是欠准数字,而它前面的各位数字必须是准确的“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 3 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;102、4.50、0.0235 和 0.126 等,它们都是 3 位有效数字。

2. 测量数据的读取

数据读取应注意以下几点。

- ① 仪表应先进行预热(需要时)和调零。
- ② 在合理选择仪表的同时,要合理地选择量程。
- ③ 注意读取数据的正确姿势。
- 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(欠准数字一般为仪器最小刻度的下一位)。

3. 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 1-2-5 是某一电路输出端电压与负载的对应关系。

表 1-2-5 负载电压与负载的对应关系

R_L/Ω	100	200	300	500	700	1 000
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,用曲线表示的测量结果比较形象直观,可以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。采用图解法要注意以下几点。

- 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来合理地选择,如图 1-2-2 所示。
- ③ 合理地选取测量点。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测几个点,在曲线变化平缓部分可少取一些点,如图 1-2-3 所示。

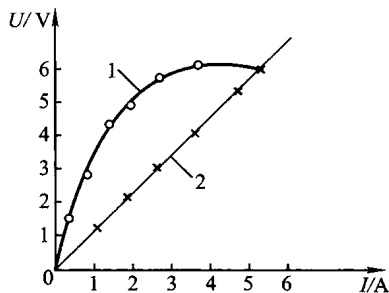


图 1-2-2 测量值的曲线图

1—非线性电阻的伏安特性;2—线性电阻的伏安特性

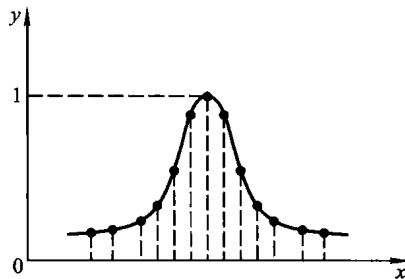


图 1-2-3 测量点标识图

- 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“·”、“。”、“×”、“△”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1-2-2所示。

⑤ 连线。把坐标图上各测试点符号用线连接起来。

⑥ 修匀曲线。测量结果应是一条光滑的曲线,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,所以在作曲线时,应消除随机误差的影响,使曲线变得光滑。

1.3 电路实验的设计

1.3.1 设计的指导思想

为“电路原理”课程开设设计性实验的目的是进一步强化学生的分析问题和解决问题的能力,培养学生对所学知识和所掌握技能的综合运用能力和创新意识。与常规的教学实验相比,设计性实验更加注重实验知识、方法和技能的灵活应用,更加注重对于所求证问题的实验方案的制订、实验过程的安排、实验数据的处理、实验结果的分析等方面的能力。另外,通过设计性实验的训练,可以使学生获得一定的工程实践能力和科学研究能力,为将来的工作奠定良好的基础。

1.3.2 设计的主要内容

电路原理课程开设设计性实验,其基本特征是实验要由学生自己设计,即老师提出实验命题或要探索求证问题的思路,学生根据自己所学的有关知识和查阅相关资料,拟定实验方案,在实验室完成实验,对实验结果进行分析,得出实验结论。

1. 实验方案的确定

实验方案是实验设计的核心,直接决定着实验的成败。在有些情况下,一个实验命题的实验方案并不是唯一的,可采用几种不同的方案进行对比试验。具体地说,就是要根据研究对象以及测量精度的要求,列出各种可能的实验原理和计算公式,分析它们的适用条件、优缺点和局限性,最后选定合适的实验原理、实验仪器和最优的实验方案。确定实验方案,不仅要考虑理论依据,还要考虑到现有的仪器设备等实验环境条件。

2. 实验线路的设计

实验线路设计是指实验所用的电路设计,包括确定电路原理图、确定电源和信号源参数、确定实验元器件参数和校核元器件容量等。

3. 实验设备的选择

主要考虑仪器仪表的标称值、量程、容量和准确度,以满足实验的要求。还要考虑输入阻抗和输出阻抗对测量的影响,实验电路的频率特性和稳定性等。

4. 实验元器件的选择

在实际应用中,各种元器件(电阻、电感、电容等)通常要给出不同的额定值,所以在选取时,应该首先核算出电路在各种特殊情况时各元器件所承受的不同电压、电流,注意不能超过其额定值,否则将会烧坏元器件。

5. 测量方法的选择

实验方案确定后,需要进一步对实验中可能产生误差的来源、性质、大小做出初步的估算,选