



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



# 电路实验教程

张峰 吴月梅 李丹



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 电路实验教程

张 峰 吴月梅 李 丹

高等教育出版社

## 内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。内容符合教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会颁布的关于电路课程实验教学的教学基本要求。

本书分为6章,具体内容为:电路实验基础知识、常用元器件和测量仪器的基础知识、Multisim 电路仿真、MATLAB 电路辅助分析、基本电路实验和研究与综合实验。本书中包括9个仿真实验、16个基本实验、11个研究与实践和4个系统设计与综合。

本书可作为高等学校电气信息类专业电路实验和课程设计教材,也可作为相关科技人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路实验教程 / 张峰, 吴月梅, 李丹. — 北京: 高等教育出版社, 2008. 6

ISBN 978 - 7 - 04 - 023948 - 5

I. 电… II. ①张…②吴…③李… III. 电路 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. TM13 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 070296 号

策划编辑 陈思宇 责任编辑 王莉莉 封面设计 于文燕 责任绘图 尹 莉  
版式设计 陆瑞红 责任校对 王 超 责任印制 毛斯璐

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010 - 58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	国防工业出版社印刷厂		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787 × 960 1/16	版 次	2008 年 6 月第 1 版
印 张	20.5	印 次	2008 年 6 月第 1 次印刷
字 数	380 000	定 价	25.70 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 23948 - 00

# 前 言

当前,电气、电子信息科学技术的迅猛发展,对电气信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新和实践动手能力的提高等提出了更高的要求。在高等学院加强通识教育、素质教育、创新能力培养的大背景下,实践教学在高等教育中不断得到加强。

本教材是针对电气信息类专业本科生电路实验课程编写的教学用书。通过电路实验的动手实践,对学生树立严肃认真的科学作风,形成理论联系实际的观点,培养科学思维能力、分析计算能力、实验研究能力、应用设计能力、现代化工具使用能力和科学归纳能力等方面都有着重要的作用。同时,作为电路理论课程的补充,可使学生掌握电路的基本理论和分析方法,掌握实践操作、仿真分析和系统设计的初步技能,培养学生研究实践和勇于创新意识和精神,并为后续课程准备必要的电路知识和实践技能。

在编写过程中,着力考虑以下几个方面的问题:

1. 本教材内容符合教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会 2004 年制订的“电路理论基础”和“电路分析基础”的实验教学基本要求,包括电路实验基础知识、常用元器件和测量仪器的基础知识、Multisim 电路仿真、MATLAB 电路辅助分析、基本电路实验和研究与综合实验共 6 章。在叙述电路实验的基础知识、常用元器件和测量仪器基础知识的基础上,介绍了两种计算机辅助分析和仿真软件,设计了 9 个仿真实验、16 个基本实验、11 个研究与实践和 4 个系统设计与综合实践环节,力求使学生在实践中掌握实验方法和实践技能,在研究中激发兴趣和提高能力。

教材编写的内容和形式已在近年教学实践中采用,并取得了较好的教学效果。其实,在教学过程中,也可以根据教学实际情况,对实验教学内容和教学安排做相应的变动。

2. 强调电路理论与实践应用的有机结合。电路课程是电气信息类专业的第一门技术基础课程,是电路实验教学的理论依据;电路实验教学是对电路理论课程的补充和丰富,是理论知识在具体实践中的体现。通过电路实验的实践,有

助于学生加深对电路理论的理解和掌握,将理论知识形象化和具体化;同时,在实践的过程中,也需要理论知识的指导,尤其是在研究性和综合设计性实践中,要求学生检索和学习相关应用实例和背景资料,将电路理论知识和其他相关知识融会贯通,将电工基本技能与系统设计有机结合,自主完成实验作品。

3. “创新是中华民族的灵魂”。培养新世纪高素质的创新人才是高等教育义不容辞的责任,也是我们长期坚持的教育方针。在本教材中设计了11个研究与实践和4个系统设计与综合的内容,工程性、功能性和趣味性相结合,以促进学生主动思考、自主学习、自主动手和独立解决工程问题为目的,培养学生研究和创新的意识。

研究型 and 综合设计性电路实验内容的安排,应充分考虑到学生对象的具体情况,遵循由简单到复杂、由局部到系统、循序渐进的原则,因材施教,充分发挥学生的主动性和自主性。

4. 随着计算机技术的普及和快速发展,计算机辅助分析技术在工程技术领域的应用越来越广泛。本教材选择了一种仿真软件(Multisim)和一种通用分析软件(MATLAB),结合软件使用方法和仿真实验内容,介绍其在电路分析中的应用,使学生理解电路的计算机辅助分析和电路理论间的内在联系,并掌握电路的计算机辅助分析方法和仿真技术。

本教材是集体合作的结晶,是上海交通大学几十年实践教学改革与教材建设的传承和发展。全书由张峰、吴月梅、李丹和沈其英编写,其中第一章、第二章的2.1节、2.2节、2.3节、第三章和第六章由张峰编写;第二章的2.4节、2.5节、第五章的实验7、8、10、11、12、13、14由吴月梅编写;第四章、第五章的实验2、6、15、16由李丹编写;第五章的实验1、3、4、5、9由沈其英编写。全书由张峰统稿。

本书完稿后承吴锡龙教授仔细地审阅,并提出了许多宝贵的建议。有关研究型实验内容的编写,在与天津大学孙雨耕教授、清华大学陆文娟教授和其他老师的研讨中受益匪浅。在编写过程中,得到陈洪亮教授、朱承高教授级高工和电工与电子技术中心众多教师的悉心帮助。作者在此一并致以谢意。

教材在试用过程中,课程的教师和学生提出了积极的反馈和建议,在此表示感谢。

在编写过程中参考了许多兄弟院校的教材和文献,在此致以谢意。

由于编写时间较为仓促,加上水平所限,缺点和不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

张峰

张峰

第二〇〇八年二月一日  
于上海交通大学

151	.....	介绍 MATLAB	1.4
145	.....	基本 MATLAB	1.4
135	.....	帮助文档 M 库	1.4
121	.....	交叉真值	4.4
111	.....	交叉真值	1.4
101	.....	交叉真值	1.4
91	.....	交叉真值	1.4
81	.....	交叉真值	1.4
71	.....	交叉真值	1.4
61	.....	交叉真值	1.4
51	.....	交叉真值	1.4
41	.....	交叉真值	1.4
31	.....	交叉真值	1.4
21	.....	交叉真值	1.4
11	.....	交叉真值	1.4
1	.....	交叉真值	1.4
<b>目 录</b>			
<b>第一章</b>	<b>电路实验基础知识</b>		<b>1</b>
1.1	电路实验概述		1
1.2	实验的基本要求		2
1.3	测量的基本知识		7
1.4	测量误差与有效数字		10
1.5	实验数据记录与处理		17
1.6	电路实验调试及常见故障分析		20
<b>第二章</b>	<b>常用元器件和测量仪器的基础知识</b>		<b>24</b>
2.1	电阻器和电位器		24
2.2	电容器和电感器		30
2.3	常见半导体器件		34
2.4	指针式仪表		51
2.5	数字式仪表		62
<b>第三章</b>	<b>Multisim 电路仿真</b>		<b>81</b>
3.1	Multisim 简介		81
3.2	电路原理图输入与绘制		84
3.3	仿真实验		93
3.3.1	仿真实验 1 直流电路分析		93
3.3.2	仿真实验 2 RLC 串联电路的动态响应分析		98
3.3.3	仿真实验 3 RC 电路的频率特性		107
3.3.4	仿真实验 4 运算放大器应用电路仿真		115
<b>第四章</b>	<b>MATLAB 电路辅助分析</b>		<b>123</b>

## II 目 录

4.1	MATLAB 简介 .....	123
4.2	MATLAB 基本语法 .....	124
4.3	M 函数和 M 文件的编写 .....	129
4.4	仿真实验 .....	132
	仿真实验 1 节点电压法和改进节点电压法 .....	132
	仿真实验 2 正弦稳态分析中的节点电压法和改进节点电压法 .....	138
	仿真实验 3 网孔电流法和回路电流法 .....	142
	仿真实验 4 电路的瞬态分析和状态变量法 .....	147
	仿真实验 5 拉普拉斯变换和网络函数 .....	152
<b>第五章</b>	<b>基本电路实验 .....</b>	<b>158</b>
1	实验 1 电阻元件的伏安特性 .....	158
2	实验 2 运算放大器和受控电源 .....	162
3	实验 3 叠加定理和戴维宁定理 .....	171
01	实验 4 特勒根定理和互易定理 .....	175
71	实验 5 一阶电路的响应 .....	180
02	实验 6 二阶电路的响应 .....	185
	实验 7 交流参数的测量 .....	191
40	实验 8 提高感性负载的功率因数 .....	197
45	实验 9 RLC 串并联谐振 .....	202
06	实验 10 三相电路的电压与电流测量 .....	208
44	实验 11 三相电路的功率测量 .....	214
12	实验 12 变压器参数的测量 .....	218
50	实验 13 电路的频率特性 .....	221
	实验 14 二端口电路的等效参数和连接 .....	226
18	实验 15 负阻抗变换器 .....	235
18	实验 16 回转器 .....	241
<b>第六章</b>	<b>研究与综合实验 .....</b>	<b>248</b>
20	研究与实践 1 简易电容降压式电源 .....	248
80	研究与实践 2 自动定时汽车闪光灯 .....	253
101	研究与实践 3 高精度电压表、电流表和电阻表的制作 .....	256
111	研究与实践 4 数模转换器 (DAC) .....	263
	研究与实践 5 温度测量与显示电路 .....	271
551	研究与实践 6 温度控制与报警电路 .....	275

系统设计与综合 1 综合温度测量与控制系统 .....	278
系统设计与综合 2 简易电池电压监视与充电控制系统 .....	281
研究与实践 7 波形发生器 .....	283
研究与实践 8 滤波器 .....	291
系统设计与综合 3 波形产生与处理系统 .....	297
研究与实践 9 音响音量调节器 .....	299
研究与实践 10 音响音调调节器 .....	303
研究与实践 11 音响功率放大器 .....	309
系统设计与综合 4 简易音响系统 .....	313
<b>参考文献</b> .....	<b>316</b>



# 第一章

## 电路实验基础知识

### 1.1 电路实验概述

实验课最终的目的是培养兼具基本技能和创新精神的人才,使学生能充分运用所掌握的理论知识,去设法认识尚不清楚的事物,验证自己的设想,实现自己的设计。实验应该是一个将动手与动脑紧密地结合在一起的过程,积极地动手实践与活跃地动脑思维在整个过程中起着相互促进的作用。作为一名大学生,不仅知道应该怎么做,更要思考“为什么这样做?”和“还能做什么?”,在实验的帮助下,将书本中的理论知识与实践有机地结合起来。

电路实验课与相应理论课程均为列入教育部电气信息类本科教学计划规定的必修课程,是电类学生最早接触的专门针对电类实验的课程。通过电路实验课程的实践,可以培养学生良好的实验素养、基本的实验技能、独立的操作能力,以及应用计算机分析设计电路的方法,提高学生用基本理论分析问题与解决问题的能力,为后续的其他电类实验课、生产实践与科学研究等打下扎实的基础。

在电路理论课上,电路元件皆以理想元件的模型代替,这是为了简化电路模型,集中分析引起电路响应的主要原因。然而,有的学生忽视了理论和实践的差异,从而在实践中对元件的选择不加考虑,造成了不良的后果。在实际情况中,每个电路元件都有它正常的工作范围,若电压、电流或功率超出此范围,则电路元件不仅不能正常工作,而且有损坏的危险。例如:电阻元件有功率限制,当加上过高电流或电压,超出其允许的功率值,则电阻会损坏;再如稳压电源,作为理想元件两端电压恒定不变,而实际的电源是在一定负载范围内,方可得到相对而

言的稳定电压输出。因此,实验课也可以使同学认识到理想模型与实际元件的差别,重视电路元件的参数选择,虽然基本实验中的大多数器件已由实验室选择配好,但是同学仍应注意观察元件的各种参数。

为了培养学生的实践兴趣和综合研究设计能力,养成自主学习、主动研究、动手实践的学习习惯,在基本的电路实验之外,适当给出了几个研究与实践的实验内容,让学生根据个人兴趣和能力选做。在研究与实践性实验中,则要求学生根据实验目的和实验室所能提供的器材自己确定方案,并设计电路,选择器件,先通过计算机仿真验证其可行性,进行硬件电路的安装、调试,然后测量结果,完成实验报告。

概括地说,实验教学有以下几个目的:

- ① 配合课堂教学内容,巩固和加深所学电路理论知识。
- ② 实践以理论知识为基础,同时实践又是理论知识的补充和完善。
- ③ 掌握常见的实验仪器工作原理、使用方法。
- ④ 掌握测量方法和对实验数据的正确处理和分析。
- ⑤ 学习和掌握计算机软件仿真和分析的方法。
- ⑥ 锻炼发现问题、解决问题的能力,提高思维能力与实践能力。
- ⑦ 培养良好的实验习惯,树立实事求是的严谨科学作风,为未来从事的专业技术工作奠定基础。
- ⑧ 将新的技术运用到实验中,使学生能了解当前电子科技发展的方向。
- ⑨ 形成自主学习、主动研究、动手实践的学习风尚。

## 1.2 实验的基本要求

### 1.2.1 实验课教学要求

实验课是以实际动手为主的实践教学环节,根据实验课程学时数分单元进行,把若干个实验内容联系紧密、所用仪器设备相近的实验组成相应的教学单元。在各教学单元的若干实验中,含必做内容、选做内容和研究设计性内容。必做内容在实验课堂中完成;选做内容和研究设计性内容可在实验课中完成,也可在实验室开放时间中自主完成。按照循序渐进的原则,逐渐培养学生的动手能力和实验技能。

通过电路实验课,学生在实验技能方面应达到下列基本要求。

#### 1. 实验仪器和仪表的使用

正确使用电流表、电压表、万用表、功率表以及常用的一些电路实验设备。

学会使用普通示波器、数字存储示波器、信号发生器、直流稳压电源、晶体管毫伏表等电子仪器、仪表及电子设备。

## 2. 测试方法

掌握应用直接测量、间接测量、比较测量等方法测量电压、电流、功率等电路参数,掌握电阻、电感、电容、互感等元件参数和网络端口特性的测量方法,掌握电信号波形的观察和测量,学会应用电路实验验证定理和定律。

## 3. 实验操作

① 按实验电路图正确连接实验线路,选择恰当的测量仪表,元件和仪表在实验桌上合理布局,仪器摆放操作方便,仪表读数容易。

② 根据实验原理和实验所得的数据,初步判断结果是否正确。如果数据不正确,判断分析故障点,排除断路、短路等故障。

③ 研究与实践性实验锻炼学生对所学知识的综合能力、灵活运用能力和设计能力。

## 4. 上机实践

能根据电路实验的要求,掌握计算机仿真分析软件,完成电路仿真分析,验证电路理论,分析电路元件参数、电路变量、电路现象和电路功能。

## 5. 实验报告

能写出合乎规格的实验报告,正确绘制实验曲线,做出初步的分析和解释,正确回答思考题。

## 6. 研究与创新意识培养

通过实践动手环节,除了完成基本电路实验、增设的研究性和综合性实验内容外,还可以为学生提供开放的实验环境和实验条件,目的是培养学生对实践动手环节的兴趣,使学生在熟练掌握基本技能的基础上,能自主完成研究性实验和综合设计性实验内容,增强学习的兴趣和信心,提高他们发现问题和解决问题的能力,培养创新意识和研究的主动性,拓宽知识面,学会理论知识与实践的融会贯通,循序渐进地成长为电工电子技术人才。

实验课程学习成绩的评定由平时成绩、实验操作和笔试成绩三部分组成:平时成绩的评定依据是各次实验完成情况和实验报告;实验操作和笔试成绩依据实验考试中的具体实验操作和实验测量结果及分析,实验考试内容为给定的某个实验任务,由学生独立自主在规定时间内完成。实验课程评分同时也要兼顾

学生动手研究和实践能力。

### 1.2.2 实验课教学方式

实验课程包括三个阶段,依次为实验课前预习、实验操作、撰写实验报告,各阶段的要求明确。

#### 1. 实验前的预习

不同于理论课教学内容的循序渐进和环环相扣的特点,实验课内容大多是跳跃式的,因此,在实验进行前的预习就显得异常重要。通过实验前的预习,认真阅读实验指导书,复习和认清实验中涉及的知识点,掌握实验中涉及的电路理论和关键,了解实验设备、实验条件和实验步骤等,对实验过程中要观察的现象、要记录的数据、应注意的事项等做到心中有数。准备充分的实验预习,才能保证实验的顺利进行,在实验中做到有条不紊,主动观察实验现象,发现并分析问题,取得最佳实验效果,减少实验中的误操作,避免不必要的仪器设备损坏。

实验前的预习还包括写预习报告,将完成的预习报告在实验前交指导教师检查。没有进行实验预习或实验预习报告不合格者不得进行实验。预习报告应包含:实验题目、实验目的、实验内容、实验原理、实验仪器和器件、实验电路、实验操作步骤、注意事项、记录表格和仿真结果等内容。

通过撰写预习报告,可以有以下作用:

- ① 明确实验目的、任务与要求,制订出合理的实验方案,估算实验结果。
- ② 复习有关理论知识,弄清实验原理、方法,熟悉实验电路。
- ③ 了解所需实验元器件、仪器设备及其使用方法介绍。
- ④ 编制实验记录表格,记录实验中的问题、现象和实验数据,为实验后的总结提供原始资料。

⑤ 对于设计性实验,预先完成计算机仿真,将仿真结果和调试好的参数写入报告。

编写预习报告时不能流于形式,不要写对实验操作无指导意义的内容,也不要内容写得太笼统、太简单,要具体、完整。每位学生都应严肃地对待每一项内容,在认真考虑实验每个环节、步骤后,编写出可行的、有实用价值的预习报告。

#### 2. 实验操作

对于基本实验,学生需在规定的时间内在指定的实验室内完成,实验过程中应遵守实验室规定和实验操作规程,注意人身安全,避免实验设备、仪器和元器件的损坏。

实验一般操作程序如下:

① 学生在指定的位置就座,提交实验预习报告,教师在实验前检查预习报告。此时注意不要随意拨动仪器设备的开关。

② 教师讲授实验内容、要求和注意事项等。注意事项中所提到的一般是同学们非常容易犯的错误,很多情况下关系人身安全和设备安全,务必认真对待。

③ 进行实验前的准备工作,按实验清单清点设备、仪器、元器件等,熟悉实验仪器和设备的使用方法。

④ 接好实验线路,通电,按实验步骤进行实验。

⑤ 操作、观察现象、读数、记录实验结果。完成实验内容后,先不要急于拆除线路,首先核查数据,确保实验数据无遗漏和不合理情况。

⑥ 请教师对所得数据核查,获得确认无误后,由教师在原始表格上签字。其目的在于:其一,实验中有重大错误时,能及时纠正问题或重做;其二,确认同学进行了该项实验。

⑦ 收尾工作。拆线、整理和清洁实验台、摆好椅子后,经教师同意后,离开实验室。

### 3. 撰写实验报告

撰写实验报告是全面总结实验工作的过程,也是工程技术报告的模拟训练,实验报告的要求是简明、完整、真实。简明是用精炼的语言进行叙述;完整是要求具备充分的原始数据;真实是要求不可伪造实验数据,尊重原始测量结果,并对实验结果进行合理的分析。

实验报告在课后规定时间内完成,一份好的实验报告应该是内容具体、完整,观点明确,叙述条理清晰,层次布局合理,书写工整,实验结果的表达方式简明、有效(采用数据表格方式表示,或采用图形、曲线表示),可读性强,可信度高等。不要把实验报告写成空洞的、宏观的总结,或是一些电路图、数据表格、图形、曲线等材料的罗列。

实验报告的内容一般应包括:班级,姓名,日期,实验题目,实验内容,实验原理,实验电路和参数,实验步骤,注意事项,各种实测数据与曲线,整理后的实验结果,对实验结果的分析结论,误差分析,思考题,实验后的体会、经验与教训,以及对实验的建议等。

为了使实验报告可读性强、具有保存价值,除了内容丰富、语句流畅外,还应注意以下几方面:

- ① 书写格式规范,字体工整,排列整齐,不得涂抹、删改等。
- ② 报告中的表格、坐标系等线条要用尺画,图形、曲线最好不用铅笔,以便于保留。一份报告要用同一种颜色的笔来完成。

③ 数据表格、图形、曲线的大小要适中,并和相关的文字放在一起,不要制成附页夹在中间或放在最后。

④ 报告可以重复预习报告中的内容,但不应出现“见预习报告”、“见教材”这样的文字。

⑤ 在研究设计性实验报告中,应详细总结实验设计和调试过程中成功和失败的经验,以及在实验中的心得体会。

应当认识到,认真撰写实验报告和完成实验,是锻炼同学们实践动手能力,提高分析问题和解决问题能力不可缺少的环节,也是培养同学们撰写科技论文的初步实践,必须高度重视和认真。不交实验报告者不得参加下一次实验。

### 1.2.3 实验注意事项

电路实验课自始至终都要与电打交道,违规的线路连接和仪器设备操作会对实验电路元件和仪器设备造成损坏。一般情况下,80~90 V 的交流或直流电压就会对人体造成直接的伤害,甚至产生生命危险。因此,在电路实验课程中,尤其要注意仪器设备的使用和安全操作两大方面的问题。

#### 1. 仪器设备的使用

① 做好预习,使用仪器设备前,要仔细阅读使用说明书,掌握操作方法。

② 看清仪器设备的种类和用途,注意仪器设备使用的测量范围,以及测量参数是交流还是直流。选择合适的量程,并且量程的改变应由大到小。

③ 仪器、设备和元件的工作电压、电流、功率等不能超过额定值。当被测量大小未知时,应从仪器仪表的最大量程开始测试,根据情况逐渐减小量程。

④ 注意仪器、设备接入端的正、负极。电源绝对不能短接。

⑤ 高度重视通电瞬间电路的工作状态,若有异常应立即断开电源,检查原因。

⑥ 仪表的放置方式应符合要求,仪表读数应注意仪表的精度。

⑦ 设计性实验中选定的仪器、设备、元器件等要请指导教师确认。

#### 2. 安全操作

实验过程中应随时注意安全,包括人身安全与设备安全。在做实验时,必须严格遵守下列实验室安全用电操作规则:

① 不得擅自接通电源。接通电源应该在指导教师检查线路后允许通电时进行,电路改接后亦应经过指导教师的同意后才能通电。

② 慎防触电。在电路通电时,手不能触及电路中的带电部位,如不绝缘的金属导线或连接点。万一发生触电事故,应立即切断电源,进行处理。

③ 不带电操作。实验中遵循“先接线,后通电;先断电,后拆线”的操作原则。大容量电解电容在断电后仍然存在有电荷,应先放电后才可拆线。

④ 发生异常现象(打火花、冒烟、声响、异味等)时,应立即切断主电源,并保持现场,报告指导教师处理。

⑤ 不了解的仪器设备不可擅自使用;造成设备、仪器或元器件损坏的情况,应主动汇报,并填写事故报告,按实验室有关规定处理。

## 1.3 测量的基本知识

### 1. 测量的概念

测量是以确定被测对象的量值为目的的全部操作。在这一操作过程中,将被测对象与测量单位的标准量进行比较,并以被测量与单位量的比值及其准确度表达测量结果。任何测量过程都包含:测量对象、计量单位、测量方法和测量误差四个要素。

科学实验离不开测量。测量技术是一门具有自身专业体系、涵盖多种学科、理论性和实践性都非常强的前沿科学。测量技术是一门综合性技术,其理论与技术涉及面很广,测试仪器也层出不穷。电路实验中应用到的测量技术主要是电子测量技术。

被测量的量值一般由两个部分组成,即数值(包括大小和符号)和相应的单位。例如,测得某元件两端的电流为 1.32 A,则测量值的数值为 1.32, A(安[培])为其计量单位。

测量的实质是将被测量与标准量的同类单位量进行比较。如电压的测量值为 5.6 V,这表明被测量是电压单位量 V(伏[特])的 5.6 倍。

### 2. 测量的单位制

测量时采用国际单位制(也称为 SI 制),这是我国法定的计量单位。SI 制包括七大基本单位、两个辅助单位和其他导出单位。

七大基本单位是:米(m)、千克(kg)、秒(s)、安培(A)、开尔文(K)、摩尔(mol)、坎德拉(cd)。

两个辅助单位是:弧度(rad)和球面度(sr)。

其他所有物理量的单位均可由七大基本单位导出,称之为导出单位。例如电磁量单位可由前四个基本单位导出。常用的电磁学单位有:牛顿(N)、焦耳(J)、瓦特(W)、库仑(C)、伏特(V)、法拉(F)、欧姆( $\Omega$ )、西门子(S)、韦伯

(Wb)、亨利(H)、特斯拉(T)等。

### 3. 测量方式的分类

从如何得到最终测量结果的角度分类,有三种测量方式。

#### (1) 直接测量

从测量仪器仪表的读数装置上直接得到被测量的数值或对标准值的偏差的方法称为直接测量。在这种方式下,测量结果是将被测量与标准的量直接比较,或者通过使用事先刻好刻度的仪器仪表获得。例如,用直流电桥测量电阻,用电压表测量电压等均属于直接测量。

直接测量具有操作简便、测量时间短等优点,广泛应用于工程测量中。

#### (2) 间接测量

通过测量与被测量有一定函数关系的量,根据已知的函数关系式求得被测量的测量称为间接测量。例如,电热器通电后释放的热量为

$$Q = 0.24RI^2t$$

式中:  $R$ ——电热器的电阻;

$I$ ——通过电热器的电流;

$t$ ——通电时间。

因此,要测量热量  $Q$ ,先要测量电流  $I$ 、电阻值  $R$  和通电时间  $t$ ,然后按上式计算  $Q$  值。这一测量就属于间接测量。间接测量时,测量的目的与测量对象不一致。

间接测量用于以下三种情况:被测量不能直接测得;直接测量较复杂;间接测量能获得更高的精度。

#### (3) 组合测量

当有多个被测量,且它们与几个直接或间接测量的物理量之间满足某种函数关系时,可通过联立求解函数关系式(方程组)获得被测量的数值,这种测量方式称为组合测量方式。方程组应根据所求未知量性质,可按照测试条件不同,或者可按照这些未知量不同组合列出。

### 4. 测量方法的分类

从如何获得测量值的角度分类,测量方法有两种。

#### (1) 直读测量法

直接根据仪器仪表的读数得到测量值的方法称为直读法。例如,用电流表测量电流、用功率表测量功率等。直读法的特征是度量器(标准量)不直接参与测量过程。



直读法的优点是设备简单、操作简便;缺点是测量的精度不高。

### (2) 比较测量法

将被测量与标准器(或称度量器)直接进行比较而获得测量结果的方法称为比较测量法。例如,用电位差计测量电压,用电桥测量电阻等。该方法的特征是度量器(标准量)直接参与测量过程。

比较测量法具有测量准确、灵活度高的优点,适合精密测量。缺点是测量操作过程比较麻烦,仪器设备的价格较高。

应注意测量方式和测量方法概念上的区别。例如,用功率表测量功率既是直接测量方式,又属于直读法;而用电桥测量电阻则是直接测量方式,属于比较测量法。

## 5. 测量的主要技术性能指标

### (1) 量具的标称值

标注在量具上用以表明其特性或指导其使用的量值。

### (2) 刻度

在测量仪器刻度盘上指示出不同量值的刻线标记的组合称为刻度。

### (3) 刻度间距

沿着刻度盘标尺方向所测得的两个相邻刻线标记中心之间的距离称为刻度间距。

### (4) 分度值

两相邻刻线所代表的量值之差称为仪器的分度值。它是一台仪器所能读出的最小单位量值。一般来说,分度值越小,测量仪器的精度越高。

数字式测量仪器没有标尺或度盘,与其相对应的为分辨率。分辨率是仪器显示的最末位数字间隔所代表的被测量值。

### (5) 示值范围

测量仪器所显示或指示的最低值到最高值的范围称为示值范围。

### (6) 测量不确定度

测量不确定度是在测量结果中表达被测量值分散性的参数。由于测量过程的不完善,测得值对真值总是有所偏离,这种偏离又是不确定的,表达这种不确定程度的参数,就称为不确定度。

### (7) 测量范围

在允许不确定度内,测量仪器所能测量的被测量值的下限值至上限值的范围。测量范围与示值范围的区别在于:测量范围既包括示值范围,又包括仪器某些部件的调整范围。

### (8) 量程