



高等院校精品课程系列教材 ● 国家级

JINGPIN
KECHENG

电路实验 与Multisim仿真设计

主编 陈晓平 李长杰



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校精品课程系列教材·国家级

电路实验与Multisim仿真设计

主 编 陈晓平 李长杰
参 编 傅海军 温军玲
殷春芳 朱爱国



机械工业出版社

电路实验与 Multisim 仿真设计是电路课程必要的实践教学环节。本书共分 5 章。第 1 章为电路实验须知, 主要介绍电路实验前学生所必须了解的预备知识。第 2 章为实际操作实验, 主要是利用实际的元器件进行电路实验。通过这部分内容使学生掌握常用的电子仪器、仪表的使用方法以及基本电路的搭建与测量。第 3 章为 Multisim 13 软件基础, 主要介绍了 Multisim 13 软件的菜单命令、元件库、基本仿真分析功能以及基本使用方法, 为后续章节的电路图绘制、电路分析、电路仿真、仿真仪器测试等多种应用打下基础。第 4 章为虚拟仿真实验, 主要是利用 Multisim 13 软件进行电路仿真实验。通过这部分内容使学生学会 Multisim 13 软件的使用方法, 掌握利用计算机分析电路和解决电路问题的基本技能。第 5 章是电路设计, 通过这部分内容的训练使学生能够利用所学得到的电路理论知识设计出实际应用的电路, 并掌握将理论应用于实际的基本方法与技巧。

本书是根据《电路教学大纲》以及由陈晓平、李长杰主编的《电路原理第 2 版》(机械工业出版社, 2011 年)一书的内容和体系编写的, 适合普通高等学校电类(强、弱电)专业师生使用, 也可供专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验与 Multisim 仿真设计/陈晓平, 李长杰主编. —北京: 机械工业出版社, 2015. 7

高等院校精品课程系列教材

ISBN 978-7-111-50910-3

I. ①电… II. ①陈… ②李… III. ①电路—实验—高等学校—教材
②电子电路—计算机仿真—应用软件—高等学校—教材 IV. ①TM13-33
②TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 164778 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 时 静 责任编辑: 时 静 尚 晨

责任校对: 张艳霞

责任印制: 李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2015 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·14.75 印张·360 千字

0001-3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-50910-3

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010)88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010)88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前言

培养实验能力和实际操作技能是高等工科学教育的重要内容之一。实验教学是帮助学生学习和运用理论处理实际问题,验证、消化和巩固基本理论,获得实验技能和科学研究方法训练的重要环节。为了加强电路实验教学,根据《电路教学大纲》以及由陈晓平、李长杰主编的《电路原理第2版》(机械工业出版社,2011年)一书的内容和体系,编写了《电路实验与 Multisim 仿真设计》一书。

本书主要内容有电路实验须知、实际操作实验、Multisim 13 软件基础、虚拟仿真实验及电路设计5大部分。电路实验须知内容包括:实验目的和实验要求;实验的步骤;实验中的几个问题等有关进入实验前所需要了解的基本知识。实际操作实验内容涉及:元件特性的伏安测量法;集成运算放大器外特性的研究;运算放大器和受控源;叠加定理的验证;戴维宁定理;特勒根定理的验证;一阶电路的响应;二阶电路的响应与状态轨迹;交流参数的测量; LC 网络正弦频率特性的分析与研究; RLC 串联谐振电路;并联交流电路的谐振及功率因数的提高;常用 RC 网络的设计与测试;交流电路中的互感;三相电路的电压、电流及功率;非正弦周期电流电路;二端口网络参数的测定;负阻抗变换器及其应用;回转器特性及并联谐振电路的研究共19个实际操作实验内容。Multisim 13 软件基础内容包括:Multisim 13 的主界面及菜单;Multisim 13 的元件库与基本操作;Multisim 13 的虚拟仪器;Multisim 13 的仿真分析与实例共4个方面对 Multisim 13 给予了详细的说明。虚拟仿真实验内容包括:电压源与电流源外特性的研究及等效变换;直流电路的结点电压分析;互易定理的验证; RLC 串联电路的动态过程分析;谐振电路的分析;无源滤波器特性分析;有源滤波器特性分析;整流滤波电路的分析;稳压电路的分析;非正弦交流电路的分析;二端口网络的分析;负阻抗变换器的应用与分析共12个虚拟仿真实验内容。电路设计实验内容包括:电阻温度计的设计;衰减器的分析与设计;一端口网络等效参数测量与最大功率传输电路设计;数字模拟信号转换器的设计;波形发生器的设计;简易白炽灯调光器的设计;阻容移相装置的设计;相序仪的分析与设计; RC 低通滤波器频率特性设计;非正弦信号的滤波设计;电压-频率及电流-电压转换电路的设计;用谐振法测量互感线圈参数共12个开发性设计内容。

为了保证电路实验与设计的顺利进行,本书还编写了1个附录,在附录中简要介绍了MSDZ-6智能型直流综合实验箱;GDSS-2C.NET电工与PLC智能网络型实验系统;JDS交流电路实验箱;智能网络型实验系统使用中的注意事项。附录内容以自学为主,目的是让学生了解实际操作实验所需的实验装置及仪器仪表的使用方法,了解实验装置性能,以便更

好地开展实验操作。

本书是在原有《电路实验与仿真设计》(陈晓平、李长杰主编,东南大学出版社2008年7月出版)的基础上,考虑科学技术的更新与发展,将原有的仿真实验软件 Multisim 10 更新为 Multisim 13 而重新编写的。本书由陈晓平教授、李长杰副教授担任本书主编,负责确定全书的内容及统稿。本书由陈晓平、李长杰、傅海军、殷春芳、温军玲、朱爱国共同编写。在本书编写过程中得到电气信息工程学院领导的关心以及电工电子实验中心同事们的支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本实验教程难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 电路实验须知	1
1.1 实验目的和实验要求	1
1.1.1 实验目的	1
1.1.2 实验课程的要求	1
1.2 实验的步骤	2
1.2.1 课前预习	2
1.2.2 实验过程	2
1.2.3 课后书写实验报告	3
1.3 实验中的几个问题	3
1.3.1 学生实验守则	3
1.3.2 人身安全和设备安全	3
1.3.3 仪器仪表的选择与使用	4
1.3.4 线路的连接	5
1.3.5 操作、观察、读数和记录	5
1.3.6 故障的分析	6
第2章 实际操作实验	7
2.1 元件特性的伏安测量法	7
2.2 集成运算放大器外特性的研究	12
2.3 运算放大器和受控源	20
2.4 叠加定理的验证	26
2.5 戴维宁定理	30
2.6 特勒根定理的验证	33
2.7 一阶电路的响应	36
2.8 二阶电路的响应与状态轨迹	41
2.9 交流参数的测量	45
2.10 LC网络正弦频率特性的分析及研究	49
2.11 RLC串联谐振电路	53
2.12 并联交流电路的谐振	

及功率因数的提高	58
2.13 常用RC网络的设计与测试	63
2.14 交流电路中的互感	69
2.15 三相电路的电压、电流及功率	74
2.16 非正弦周期电流电路	78
2.17 二端口网络参数的测定	81
2.18 负阻抗变换器及其应用	85
2.19 回转器特性及并联谐振电路的研究	92
第3章 Multisim 13 软件基础	97
3.1 Multisim 13 的主界面及菜单	97
3.1.1 Multisim 13 的主界面	97
3.1.2 Multisim 13 的常用工具栏	98
3.1.3 Multisim 13 的菜单	100
3.2 Multisim 13 的元件库与基本操作	104
3.2.1 Multisim 13 的元件库	104
3.2.2 Multisim 13 的虚拟元件	111
3.2.3 Multisim 13 的基本操作	114
3.3 Multisim 13 的虚拟仪器	117
3.3.1 数字万用表 (Multimeter)	118
3.3.2 函数信号发生器 (Function Generator)	120
3.3.3 功率表 (Wattmeter)	121
3.3.4 示波器 (Oscilloscope)	122
3.3.5 波特图仪 (Bode Plotter)	125
3.3.6 测量探针 (Measurement Probe)	126
3.3.7 电流探针 (Current Probe)	128
3.3.8 其他虚拟仪器	128
3.4 Multisim 13 的仿真分析与实例	131

3.4.1	Multisim 13 仿真分析菜单	131	5.2	衰减器的分析与设计	194
3.4.2	直流工作点分析 (DC Operating Point Analysis)	132	5.3	一端口网络等效参数测量与最大功率传输电路设计	196
3.4.3	交流分析 (AC Analysis)	133	5.4	数字模拟信号转换器的设计	198
3.4.4	单一频率交流分析 (Single Frequency AC Analysis)	135	5.5	波形发生器的设计	199
3.4.5	其他分析功能	135	5.6	简易白炽灯调光器的设计	202
3.4.6	图形分析器 (Grapher)	138	5.7	阻容移相装置的设计	204
3.4.7	Multisim 的仿真实例	141	5.8	相序仪的分析与设计	206
第4章	虚拟仿真实验	144	5.9	RC 低通滤波器频率特性设计	208
4.1	电压源与电流源外特性的研究及等效变换	144	5.10	非正弦周期信号的滤波设计	211
4.2	直流电路的结点电压分析	148	5.11	电压-频率及电流-电压转换电路的设计	214
4.3	互易定理的验证	151	5.12	用谐振法测量互感线圈参数的设计	217
4.4	RLC 串联电路的动态过程分析	155	附录	实验装置使用简介	220
4.5	谐振电路的分析	158	附录 A	MSDZ-6 智能型直流综合实验箱	220
4.6	无源滤波器特性分析	162	附录 B	GDDS-2C.NET 电工与 PLC 智能网络型实验系统	222
4.7	有源滤波器特性分析	168	附录 C	JDS 交流电路实验箱	224
4.8	整流滤波电路的分析	175	附录 D	智能网络型实验系统使用中的注意事项	225
4.9	稳压电路的分析	180	参考文献		227
4.10	非正弦交流电路的分析	184			
4.11	二端口网络的分析	186			
4.12	负阻抗变换器的应用与分析	189			
第5章	电路设计	193			
5.1	电阻温度计的设计	193			

第1章 电路实验须知

电路实验教学是电路课程教学的重要组成部分,是培养学生科学精神、独立分析问题和解决问题能力的重要环节。通过必要的实验技能训练和验证性实验,使学生将理论与实践相结合,巩固所学知识。通过实验培养学生有关电路连接、电工测量及故障排除等实验技巧,学会掌握常用仪器仪表的基本原理、使用与选择方法以及在实验测量中学习数据的采集与处理、各种现象的观察与分析。随着计算机应用的广泛普及,电路中的计算机辅助分析已成为电路理论分析的重要组成部分,所以利用计算机对电路性能进行分析和仿真成为培养电气工程技术人员必需的基本训练。总之,电路实验课及电路仿真设计训练可为今后从事工程技术工作、科学研究以及开拓技术领域工作打下坚实的基础。

1.1 实验目的和实验要求

1.1.1 实验目的

- (1) 进行实验基本技能训练。
- (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,为今后的专业实践与科学研究打下坚实的基础。

1.1.2 实验课程的要求

通过电路实验课,学生在实验技能方面应达到下列要求:

- (1) 正确使用万用表、电流表、电压表、功率表及常用的一些电工实验仪表。初步掌握实验中用到的信号发生器、示波器、稳压电源、变压器等实验仪器和 MSDZ-6 智能型直流综合实验箱、GD DS-2C.NET 电工与 PLC 智能网络型实验系统、JDS 交流电路实验箱的使用方法。
- (2) 根据各个实验的要求,能够正确地设计电路,选择实验设备及器件。学会按电路图连接实验电路。要求做到连线正确、布局合理、测试方便。
- (3) 能够认真观察和分析实验现象,运用正确的实验手段,采集实验数据,绘制图表、曲线,科学地分析实验结果,正确书写实验报告。
- (4) 正确地运用实验手段来验证一些定理和理论。
- (5) 对设计型实验,要根据实验任务,在实验前确定实验方案,设计实验电路,正确选择仪器、仪表、元器件,并能独立完成实验要求的内容。
- (6) 了解 Multisim 13 软件,利用 Multisim 13 所提供的元件来搭建模拟电路。通过 Multisim 13 所提供的测量仪器仪表来观察电路现象,由此提高实验分析和研究的能力。

1.2 实验的步骤

实验课一般分为课前预习、实验过程及课后写实验报告三个阶段。

1.2.1 课前预习

实验能否顺利进行和收到预期效果，很大程度上取决于预习准备是否充分。因此，在预习过程中应仔细阅读实验教程和其他参考资料。明确实验的目的、内容，了解实验的基本原理以及实验的方法、步骤。清楚实验中哪些现象要观察，哪些数据要记录以及哪些事项应注意。

学生必须认真预习，做好预习报告后方可进入实验室。不预习者不得进入实验室进行实验。

1.2.2 实验过程

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) 教师在实验前讲授实验要求及注意事项。

(2) 学生在规定的桌位上进行实验，并做好以下准备工作：

① 按本次实验的仪器设备清单清点设备，注意仪器设备类型、规格和数量，辅助设备是否齐全，同时了解设备的使用方法 & 注意事项。

② 做好实验桌面的整洁工作，暂时不用的设备在一边放整齐。

③ 做好记录的准备工作。

(3) 连接电路。仪表设备应布置到便于操作和读数的位置。接线时，按照电路图先接主要串联电路（由电源的一端开始，顺次而行，再回到电源的另一端），然后再连接分支电路。应尽量避免同一端上接很多的导线。连线完毕后，不要急于通电，应仔细检查，经自查无误并请老师复查同意后，才能够通电开始实验。

(4) 设备的操作与数据的记录。按照实验教程上实验步骤进行操作。操作时要注意：手合电源，眼观全局；先看现象，再读数据。读数据前要弄清仪表量程及刻度。读数时要注意姿势正确，要求“眼、针、影成一线”。记录要完整清晰，一目了然。数据记录在事先准备好的统一的实验原始数据记录纸上，要尊重原始记录，实验后不得涂改。

当需要把读数绘成曲线时，应以足够描绘一条光滑而完整的曲线为准，来确定读数的多少。读取数据后，可先把曲线粗略地描绘一下，发现不足之外应及时弥补。

(5) 结束工作。完成全部规定的实验内容后，不要先急于拆除线路。应先自行核查实验数据，有无遗漏或不合理的情况，再经老师复查记分后，方可进行下列结尾工作：

① 拆除实验线路（注意：一定先断电，再拆线）。

② 做好仪器设备、桌面、环境清洁的管理工作。

③ 经教师同意后方可离开实验室。

做完实验后应及时将实验数据进行整理，一般情况下，可以直接对实验记录的数据进行计算，得出结果。

1.2.3 课后书写实验报告

实验报告是对实验工作的全面总结,是实验课的重要环节。其目的是为了培养学生严谨的科学态度,要用简明的形式将实验结果表达出来。实验报告一律用专用实验报告纸来写,报告要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。

实验报告应包括下列内容:

- (1) 实验目的。
- (2) 实验原理:包括实验原理和公式。
- (3) 实验内容:列出具体的实验内容与要求,画出实验电路图,拟定主要步骤和数据记录表格。
- (4) 实验仪器与设备:列出实验所需用的仪器与设备的名称、型号、规格和数量等。
- (5) 注意事项:实验中应注意哪些问题。
- (6) 实验结论与分析:根据实验数据分析实验现象,对产生的误差,分析其原因,得出结论。并将原始数据或经过计算的数据整理为数据表,如需画出曲线或相量图,应绘制在方格纸上。对实验中出现的应进行讨论,得出体会。
- (7) 回答提出的思考题。

学生在实验后,应及时书写实验报告。每次实验报告与实验原始数据记录纸装订在一起,按指定时间准时交给指导教师,否则不得进行下次实验。

1.3 实验中的几个问题

1.3.1 学生实验守则

学生在实验前应仔细阅读实验守则并严格执行,其内容如下:

- (1) 实验课前必须认真预习教程,写好预习报告,未预习者,不得进行本次实验。
- (2) 实验室内要保持安静和整洁。
- (3) 遵守“先接线后通电源,先断电源后拆线”的操作程序。严禁带电操作,遇到事故应立即关断电源,并报告教师处理。
- (4) 接线完毕后要仔细检查并经教师复查,确认无误后才能接通电源。做完实验,将数据整理后交给教师检查数据,检查结果正常后,方可拆除电路(注意:一定要先断电源,后拆线),做好整理工作。
- (5) 爱护国家财产,实验中因违反操作规则,损坏仪器设备者按制度负责赔偿。

1.3.2 人身安全和设备安全

要求切实遵守实验室各项安全操作规程,以确保实验过程中的安全。为此,应注意以下几个方面:

- (1) 不得擅自接通电源。
- (2) 不得触及带电部分,遵守“先接线后通电源,先断电源后拆线”的操作程序。
- (3) 发现异常现象(声响、过热、焦臭味等)应立刻断开电源,并及时报告指导教师

检查。

(4) 注意仪器设备的规格、量程和操作规程, 不了解性能和用法时不得随意使用该设备。

(5) 实验中交流设备的金属外壳/部件必须与 PE 线(保护接地线)可靠连接。

(6) 实验人员进行实验的过程中应站在绝缘垫上操作。

1.3.3 仪器仪表的选择与使用

注意仪器设备容量、参数要适当。工作电源电压不能超过额定值。仪器仪表种类、量程、准确度等级要合适。

1. 仪表量程的选择

(1) 电流表、电压表

仪表量程应大于被测电量, 加大幅度一般在 1.1 ~ 1.5 倍, 以减少测量误差。选用仪表时被测值越接近仪表的量程, 则所测值精确度越高。

例如: 一只 300 V、0.5 级电压表, 用来测量 250 V 和 25 V 电压时, 其相对误差是大不相同的。因为该电压表的精度等级为 S, 而 S 表达式为

$$S\% = \frac{\Delta U_a}{U_m} \times 100\%$$

式中, U_m 为仪表量程值; ΔU_a 为测量的最大绝对误差。

因此在 $S = \pm 0.5$, $U_m = 300$ V 时, 测量的最大绝对误差 ΔU_a 为

$$\Delta U_a = \frac{S \times U_m}{100} = \pm 0.5 \times \frac{300}{100} = \pm 1.5$$

当用此表测 250 V 电压时引入的相对误差 R_{a1} 为

$$R_{a1} = \pm \left(\frac{1.5}{250} \right) \times 100\% = \pm 0.6\%$$

而该表测 25 V 电压时引入的相对误差 R_{a2} 为

$$R_{a2} = \pm \left(\frac{1.5}{25} \right) \times 100\% = \pm 6\%$$

可见, 用 300 V 量程的电压表来测量 25 V 电压是不恰当的, 故选用仪表时被测值越接近仪表量程, 所测值精确度越高。

(2) 功率表

功率表的量程是电流量程与电压量程的乘积。但功率表一般不标功率量程, 只标明电流量程和电压量程。因此, 在选用功率表时, 要使功率表中电流线圈和电压线圈的额定值(即量程值)大于被测负载的最大电流值和最大电压值。

(3) 调压器

交流实验中的电源有时采用调压器, 调压器的输出电压是可调的。实验时, 在将调压器接入电路前, 应先将调压器的调节手轮(或旋钮)逆时针旋转到“0”位。调节调压器手轮(或旋钮)的丝杆滑丝, 可将电压表接在调压器的次级通电检查, 使电压表指示为零伏, 以确保实验时, 调压器的输出电压从零伏开始。当顺时针旋转调节手轮(或旋钮)时, 要使实验电压从零伏缓慢上升, 同时注意仪表指示是否正确, 有无声响、冒烟、焦臭味及设备发

烫等异常现象。一旦发生上述现象,应立即切断电源或把调压器的调节手轮(或旋钮)退到零位再切断电源,然后根据现象分析原因,查找故障。

2. 使用电子仪器的一般规则

(1) 预热

实验中常用的电子仪器有示波器、信号发生器、毫伏表、直流稳压电源,这些仪器都需要交流供电。为了保证仪器运行的稳定性和测量精度,一般需预热 3~5 min 后才能使用。

(2) 接地

实验中信号电压或电流在传递和测量时,易受到干扰。一般应注意以下两点:第一,各仪器和实验装置应实现共地,即把各仪器和实验装置的接地端可靠地接在一起,再接至 PE (保护接地) 线。第二,各仪器及实验装置之间的连线尽可能短。

1.3.4 线路的连接

(1) 合理布局

将仪器设备合理布置,使之便于操作、读数和接线。合理布局的原则是:安全、方便、整齐,防止相互影响。

(2) 正确连线

接线前应先弄清楚电路图上的结点与实验电路中各元件接头的对应关系,先把元件参数调到应有的数值,调压设备及电源设备应放在输出电压最小的位置上,然后按电路图接线。

根据电路的结构特点,选择合理的接线步骤,一般是“先串后并,先主后辅”。实验线路应力求接得简单、清楚、便于检查。走线要合理,导线的长度、粗细选择适当,防止连线短路。接线端头不要过于集中于某一点,电表接头上原则上不接两根导线。接线松紧要适当,不允许在线路中出现没固定端钮的裸露接头。

1.3.5 操作、观察、读数和记录

操作时要注意:手合电源、眼观全局;先看现象,再读数据。数据测量和实验观察是实验的核心部分,读数前一定要先弄清仪表的量程和表盘上每一小格(刻度)所代表的实际数值,仪表的实际读数为

$$\text{实际读数} = \frac{\text{使用量程}}{\text{刻度极限值}} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

对于普通功率表,其读数值为

$$\text{实际读数} = \frac{\text{电压量程} \times \text{电流量程}}{\text{刻度极限值}} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

对于低功率因数功率表,其读数值为

$$\text{实际读数} = \frac{\text{电压量程} \times \text{电流量程} \times 0.2}{\text{刻度极限值}} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

上列式中, K 为仪表某量程时每一小格代表的数值。

正确读取数据,读数时注意姿势要正确。要求“眼、针、影成一线”,即读数时应使自己的视线同仪表的刻度标尺相垂直。当刻度标尺下有弧形玻璃片时,要看到指针和镜片中的指针影子完全重合时,才能开始读数。要随时观察和分析数据。测量时既要忠实于仪表读

数,又要观察和分析数据的变化。

数据记录要求完整,力求表格化,一目了然。数据须记在规定的实验原始数据记录纸上,要尊重原始记录,实验后不得随意涂改。交报告时须将原始记录一起附上。

波形、曲线一律画在坐标纸上,坐标要适当。在标轴上应注明物理量的符号和单位,标明比例和波形、曲线的名称。

1.3.6 故障的分析

实验过程中常会遇到因断线、接错线等原因造成故障,使电路工作不正常,严重时可能损坏设备,甚至危及人身安全。为尽量避免故障的出现,实验前一定要预习,实验中应按电路图有顺序地接线,避免在同一端钮上接很多导线,接线完毕后应对电路认真检查,不要急于通电。

在实验课上出现一些故障是难免的,关键是学生在出现故障时能够通过自己的分析,检查并找出故障原因,使实验顺利进行下去,从而提高分析问题和解决问题的能力。

处理故障的一般步骤如下

(1) 若电路出现短路现象或其他损坏设备的故障时,应立即切断电源查找故障。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。

另外,也可用万用表、电压表来检查故障。

总之,在实验过程中遇到故障时,要耐心细致地去分析查找或请老师帮助检查,切不可遇难而退,只有动脑筋分析查找故障,才能提高自己分析问题和解决问题的能力,才能在实验过程中培养严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风。具有良好的实验基本技能,才能为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础。

第2章 实际操作实验

本章共19个实验,覆盖了《电路》教科书的主要内容。实验课可根据实际教学时数选做其中部分实验。而,对于安分的电阻测量,除了不是点的大量的安分。安分式当天,也因,零次不测内前素前串,大测天是不测内前素前串干由。对于安分的电阻

2.1 元件特性的伏安测量法

1. 实验目的

- (1) 学习测量线性和非线性定常电阻伏安特性的方法。
- (2) 加深线性元件的可加性和齐次性的理解。
- (3) 学习用图解法绘出线性电阻的串并联特性曲线。
- (4) 研究实际独立电源的外特性。
- (5) 学会直流稳压电源和直流电压表、电流表的使用方法。

2. 实验原理

(1) 电阻的伏安特性

线性定常电阻的伏安特性曲线由 $u-i$ 平面 (或 $i-u$ 平面) 上的一条通过原点的直线来表示,如图 2.1.1a 所示。非线性定常电阻的伏安特性曲线则由 $u-i$ 平面上的一条曲线来表示。非线性电阻可分为双向型 (对称原点) 和单向型 (不对称原点) 两类。图 2.1.1b、c、d、e、f 分别为钨丝电阻 (灯泡)、稳压管、充气二极管、隧道二极管和普通二极管的 $u-i$ 特性曲线。

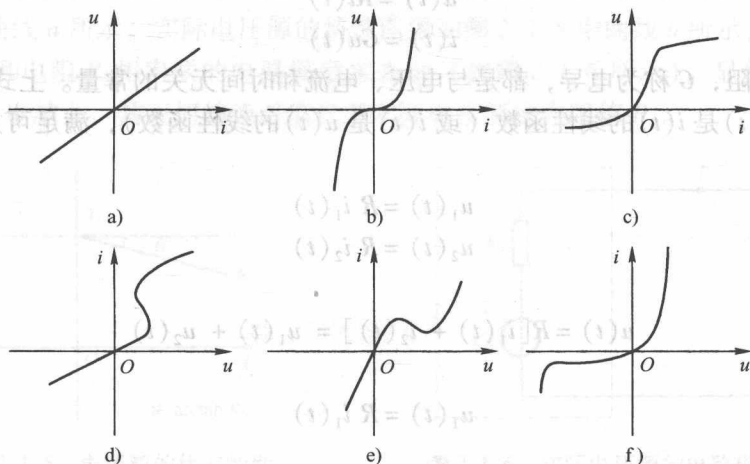


图 2.1.1 电阻的伏安特性曲线

a) 线性定常电阻的伏安特性曲线 b) 钨丝电阻的伏安特性曲线 c) 稳压管的伏安特性曲线

d) 充气二极管的伏安特性曲线 e) 隧道二极管的伏安特性曲线 f) 普通二极管的伏安特性曲线

其中图 2.1.1c、d 为电流控制型非线性电阻器伏安特性曲线，图 2.1.1e 为电压控制型非线性电阻伏安特性曲线，其余 b、f 为单调型非线性电阻伏安特性曲线。非线性电阻种类很多，由于它们的特性各异，被广泛应用在工程检测（传感器）、保护和控制电路中。

(2) 电阻伏安特性的测量

电阻的伏安特性可以通过在电阻上施加电压，测量电阻中的电流来获得，如图 2.1.2 所示，在测量过程中，只用到电压表（伏特表）、电流表（安培表），此法称为伏安法。伏安法的最大优点是不仅能测量线性电阻的伏安特性，而且能测量非线性电阻的伏安特性。由于电压表的内阻不是无限大，电流表的内阻不为零，因此，无论图 2.1.2a 或 b 的接线方式都会给测量带来一定的误差。比较而言，电压表的前接法（图 2.1.2a），适合于测量阻值较大的电阻，而电压表的后接法（图 2.1.2b），适用于测量阻值较小的电阻。

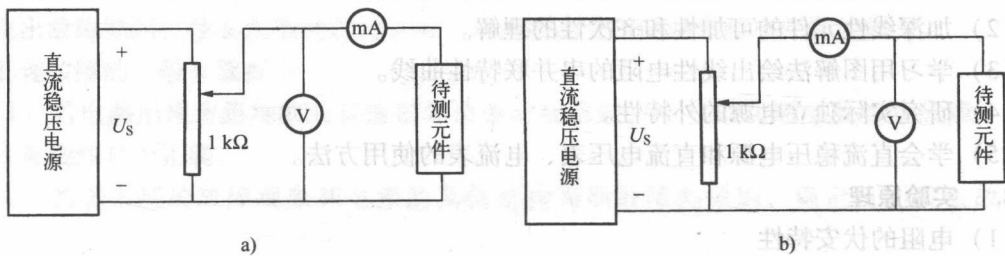


图 2.1.2 测量电阻伏安特性的原理电路图
a) 电压表的前接法 b) 电压表的后接法

(3) 电阻端电压与电流的关系

线性定常电阻的端电压 $u(t)$ 与其电流 $i(t)$ 之间的关系符合欧姆定律，即

$$u(t) = Ri(t)$$

或

$$i(t) = Gu(t)$$

式中， R 称为电阻， G 称为电导，都是与电压、电流和时间无关的常量。上式表明，对于线性定常电阻， $u(t)$ 是 $i(t)$ 的线性函数（或 $i(t)$ 是 $u(t)$ 的线性函数），满足可加性和齐次性。亦即，若

$$u_1(t) = R i_1(t)$$

$$u_2(t) = R i_2(t)$$

则有

$$u(t) = R[i_1(t) + i_2(t)] = u_1(t) + u_2(t)$$

又若

$$u_1(t) = R i_1(t)$$

则有

$$u(t) = R[\alpha i_1(t)] = \alpha u_1(t)$$

(4) 电阻的串联和并联

线性定常电阻的端电压 $u(t)$ 是其电流 $i(t)$ 的单值函数，反之亦然。两个线性电阻串联电路如图 2.1.3a 所示，串联后的 $u-i$ 特性曲线可由 u_1-i 和 u_2-i 对应的 i 叠加而得（对应

于图 2.1.3b 中的 $u=f(i)$ 特性曲线)。对于两个线性电阻并联电路如图 2.1.4a 所示，并联后的 $i-u$ 特性曲线可由 i_1-u 和 i_2-u 对应的 u 叠加而得到（对应于图 2.1.4b 中的 $i=g(u)$ 特性曲线）。

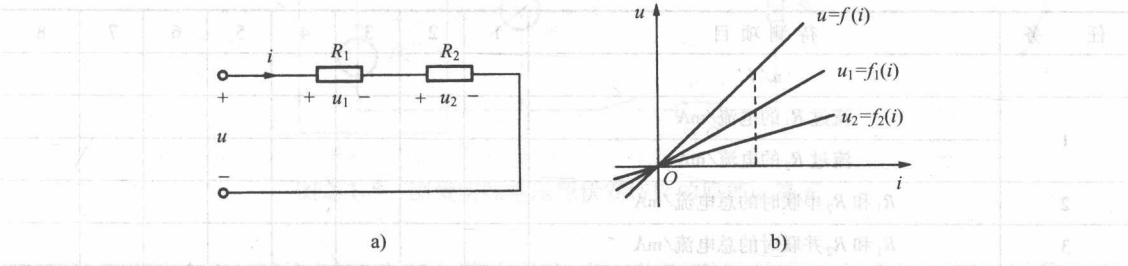


图 2.1.3 电阻的串联及其特性曲线

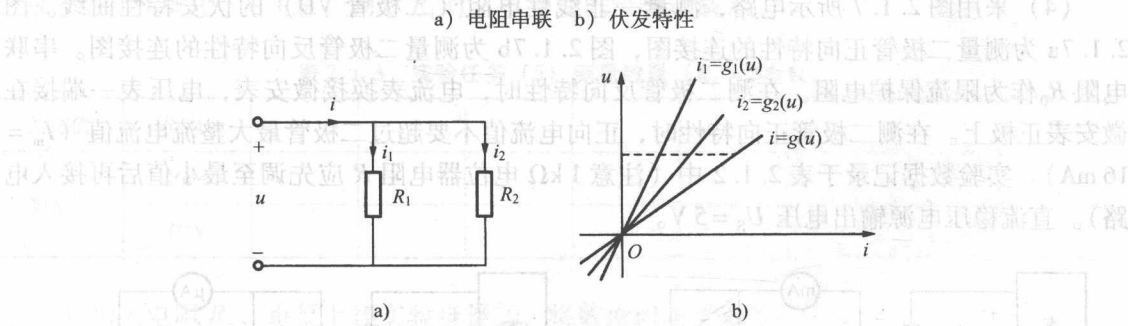


图 2.1.4 电阻的并联及其特性曲线

(5) 电压源的伏安特性

理想电压源的端电压 $u_s(t)$ 是确定的时间函数，与流过电压源中的电流大小无关。如果 $u_s(t)$ 不随时间变化（即为常数），则该电压源称为理想的直流电压源 U_s ，其伏安特性曲线如图 2.1.5 中曲线 a 所示。实际电压源的特性曲线如图 2.1.5 中曲线 b 所示，它可以用一个理想电压源 U_s 和电阻 R_s 相串联的电路模型来表示（如图 2.1.6 所示）。显然， R_s 越大，图 2.1.5 中的角 θ 也越大，其正切的绝对值代表实际电压源的内阻值 R_s 。

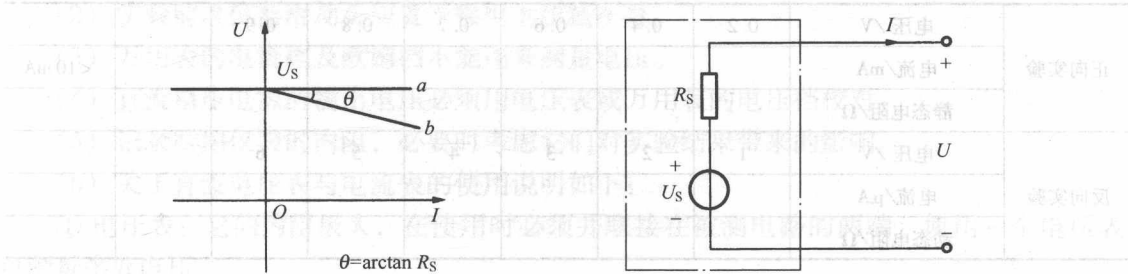


图 2.1.5 电压源的伏安特性

图 2.1.6 实际电压源的电路模型

3. 实验任务

- (1) 采用图 2.1.2b 的电路分别测定小阻值线性电阻 R_1 和 R_2 的伏安特性曲线。
- (2) 采用同一电路测定电阻 R_1 和 R_2 串联后的总电阻的伏安特性曲线。

(3) 采用同一电路测定电阻 R_1 和 R_2 并联后的总电阻的伏安特性曲线。
以上三项任务的测试数据记录在表 2.1.1 中。

表 2.1.1 实验任务 (1) ~ (3) 测量数据

任 务	待 测 项 目	1	2	3	4	5	6	7	8
	u/V								
1	流过 R_1 的电流/ mA								
	流过 R_2 的电流/ mA								
2	R_1 和 R_2 串联时的总电流/ mA								
3	R_1 和 R_2 并联时的总电流/ mA								

(4) 采用图 2.1.7 所示电路, 测量一非线性电阻 (二极管 VD) 的伏安特性曲线。图 2.1.7a 为测量二极管正向特性的连接图, 图 2.1.7b 为测量二极管反向特性的连接图。串联电阻 R_0 作为限流保护电阻。在测二极管反向特性时, 电流表换接微安表, 电压表一端接在微安表正极上。在测二极管正向特性时, 正向电流值不要超过二极管最大整流电流值 ($I_m = 16\text{ mA}$)。实验数据记录于表 2.1.2 中 (注意 $1\text{ k}\Omega$ 电位器电阻 R 应先调至最小值后再接入电路)。直流稳压电源输出电压 $U_s = 5\text{ V}$ 。

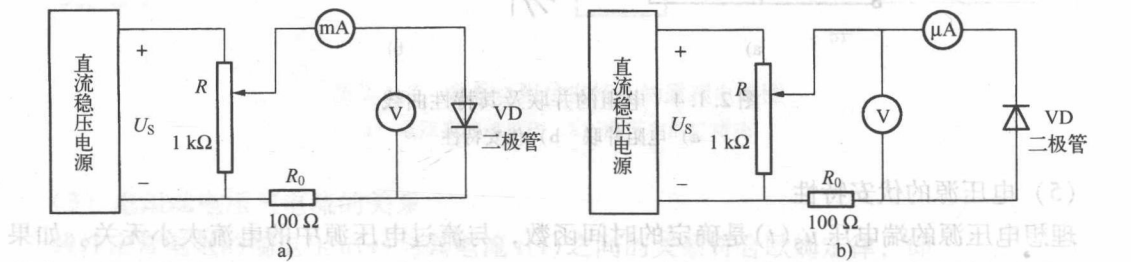


图 2.1.7 测量二极管伏安特性的原理电路图

a) 测量二极管正向特性的电路 b) 测量二极管反向特性的电路

表 2.1.2 实验任务 (4) 测量数据

正向实验	电压 / V	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9		
	电流/ mA								$< 10\text{ mA}$
	静态电阻/ Ω								
反向实验	电压 / V	1	2	3	4	5	6		
	电流/ μA								
	动态电阻/ Ω								

* 注: 为了防止二极管损坏, 通过二极管的正确电流应小于 10 mA 。

(5) 测定实际电压源的伏安特性曲线。按图 2.1.8 所示电路接线。实验中实际电压源采用一台直流稳压电源 U_s 串联一个电阻 R_s 来模拟。图中 R_0 为限流保护电阻。

① 断开开关 S , 把直流稳压电源 U_s 及电阻 R_s 调到给定的数值, 即
 $U_s = 5\text{ V}$, $R_s = 200\text{ }\Omega$