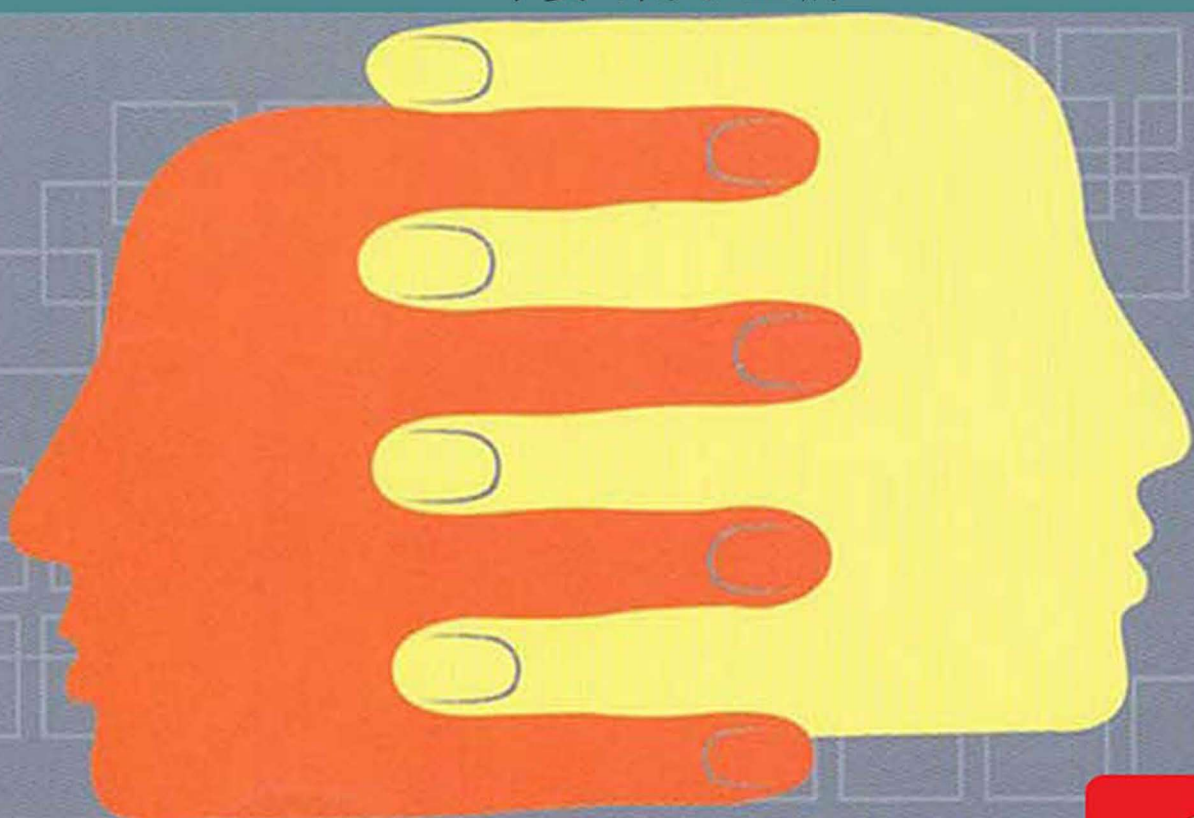


电路与电子技术实验教程

李姿 梁爽 主编



北京理工大学出版社



普通高等院校电子与通信专业面向应用系列规划教材

电路与电子技术 实验教程

主 编 李 姿 梁 爽
副主编 杨冶杰 陈玉玲 张可菊



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书适用于《电路基础》《数字电子技术基础》和《模拟电子技术基础》教材对应的实验内容,本书内容以 NEEL-II 网络型电工实验台为基础进行说明,其内容包括:第 1 章是电路实验内容,介绍常用电路基本元器件特性及使用方法、电路定理的实践性学习、交流及三相电路的测量、频域与时域的研究、正弦稳态电路分布参数的测量等基础实验;第 2 章是数字电子技术实验内容,介绍常用的组合电路模块和时序电路模块进行逻辑功能的验证及基本应用的设计;第 3 章是模拟电子技术实验内容,介绍电子元器件的性能测试及使用、各种放大电路、振荡电路及集成运算放大器等实验;第 4 章是典型电子电路实训内容,介绍典型电子电路的调试、安装和焊接;第 5 章是实验仪器内容,介绍相应的电压表、电流表等仪器。

本书适合电子信息类、电气类及相近专业的大学本科、专科学生作为电路及电子技术实验教材使用,也可供有关教师及从事电子技术工作的工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术实验教程 / 李姿, 梁爽主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.8
ISBN 978-7-5682-6265-1

I. ①电… II. ①李… ②梁… III. ①电路-实验-高等学校-教材 ②电子技术-实验-高等学校-教材 IV. ①TM13-33 ②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 201555 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 9.25

字 数 / 220 千字

版 次 / 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 29.00 元

责任编辑 / 杜春英

文案编辑 / 党选红

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

Preface

为了满足电路与电子技术实验教学的需求，加强对学生电路基础实验的训练，突出对学生应用能力的培养，我们根据多年的教学经验，在修改、提炼校内实验讲义的基础上，编写了这本实验教材。本教材内容涵盖了电路基础、数字电子技术与模拟电子技术实验以及电子技术实训等内容，既适用于高等学校电类专业，也适用于高等学校非电类专业。

本教材具有以下特点：

(1) 在教学理念上，保证实验的完整性。每个实验的教学目标明确，并给出了必要的实验预习提示，方便学生提前预习。每个实验的步骤清晰、数据完整，指导教师也可根据学生所学专业 and 课程学时数选择实验项目、安排相应的实验任务。

(2) 在课堂教学方法上，以学生为中心，强调实验的预习环节。强调实验环节以学生自主学习为主的教学模式，在实验前要求学生运用相关的理论知识，根据实验电路图自行完成实验内容。教师在实验过程中是“导演”的角色，改变以往学生在实验环节中过分依赖教师的习惯。

(3) 实验内容丰富，循序渐进。在设置实验环节的内容时，既考虑了课程内容中的验证性实验和综合性实验的配比，又考虑到了“电路基础”“数字电子技术基础”和“模拟电子技术基础”3门课程之间的实训内容。按照从课程到课程组的自然过渡，帮助学生系统地学习电类的基础课程，能将所学内容真正融入电子电路的分析中。

本教材在结构上分为5章。其中，第1章为电路实验；第2章为数字电子技术实验；第3章为模拟电子技术实验；第4章为典型电子电路实训；第5章为实验仪器。

本教材由李姿、杨冶杰编写第1章，张可菊编写第2章，陈玉玲编写第3章，杨冶杰编写第4章，梁爽、陈玉玲编写第5章。全书由杨冶杰统稿。本书在编写过程中得到了沈阳工学院领导的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中的错误、疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2018年3月

目 录

Contents

► 第 1 章 电路实验	1
1.1 电阻、电压、电流和功率的测量	1
1.2 电路元件伏安特性的测量	4
1.3 电阻串联与并联的特性研究	7
1.4 基尔霍夫定律、叠加定理的验证	10
1.5 戴维南定理的研究	14
1.6 RC 一阶电路充放电过程的测试	18
1.7 RLC 串联电路的研究	20
1.8 RLC 并联电路的研究	22
1.9 功率因数的提高	24
1.10 RLC 串联谐振电路的研究	27
1.11 对称三相电路的研究	30
► 第 2 章 数字电子技术实验	34
2.1 常用逻辑门功能测试及应用	34
2.2 组合逻辑电路设计	43
2.3 译码器的应用及设计	47
2.4 数据选择器的应用及设计	50
2.5 集成触发器的功能	54
2.6 集成计数器的逻辑功能测试	58
2.7 集成计数器的应用及设计	60
2.8 计数、译码与显示电路	63
2.9 555 定时器的应用	66
2.10 楼道触摸延时开关式节能灯的设计	69
2.11 彩灯循环显示控制电路的设计	70
2.12 反应速度测试电路设计	72
► 第 3 章 模拟电子技术实验	75
3.1 常用电子仪器的使用	75
3.2 半导体二极管、三极管的测试	79

3.3	单管共发射极放大器的测试	82
3.4	射极输出器的性能测试	86
3.5	负反馈放大电路的分析与测试	89
3.6	OTL 功率放大器的测试	92
3.7	集成电路的设计与调试	95
3.8	RC 正弦波振荡电路的测试	99
3.9	直流稳压电源设计与调试	101
► 第 4 章 典型电子电路实训		105
4.1	数字电子秒表的设计与制作	105
4.2	数字电子钟的设计与制作	110
4.3	交通信号灯控制系统的设计与制作	113
4.4	有源音箱的设计与制作	117
4.5	直流稳压电源的设计与制作	119
4.6	充电器的设计与制作	122
► 第 5 章 实验仪器		127
5.1	NEEL-II 网络型电工实验台	127
5.2	数字电子技术实验箱	132
5.3	模拟电子技术实验箱	135
5.4	示波器	140
参考文献		141

第 1 章

电 路 实 验

1.1 电阻、电压、电流和功率的测量

【实验目的】

- (1) 掌握用数字万用表测量电阻的方法。
- (2) 掌握用数字万用表测量电压、电流和功率的方法。
- (3) 熟悉测量误差和减小测量误差的方法。
- (4) 学习测量数据的处理方法。

【实验原理】

有两种可以得到测量结果的测量方法：直接测量和间接测量。

直接测量是通过仪表直接测得被测量的值。通常测量电阻、电压与电流时，采用直接测量，即用欧姆表、电压表或电流表直接测得被测量的电阻值、电压值或电流值。在直接测量时，测量存在误差，故一般采用多次测量、取平均值的方法来减小误差，得到测量结果。

间接测量是通过直接测量得到的相关量，计算得到被测量的值。例如，测量电功率（以下简称功率）属于间接测量，通过直接测量得到电压值和电流值，再利用公式 $P=UI$ 计算得到功率值。

【实验仪器与设备】

- (1) 电路实验台（1台）。

(2) 数字万用表 (1 块)。

【预习要求】

- (1) 预习电路的欧姆定律。
- (2) 预习电压、电流和功率的定义及应用。
- (3) 学习使用直流电压表、直流电流表和万用表的测量方法。

【实验内容与步骤】

1. 线性电阻的测量

使用电阻器调节电阻，并测量电阻的阻值。十进制可调电阻器如图 1-1-1 所示。

十进制可调电阻器有 6 个挡位旋钮，分别为 $\times 0.1 \Omega$ 、 $\times 1 \Omega$ 、 $\times 10 \Omega$ 、 $\times 100 \Omega$ 、 $\times 1 \text{ k}\Omega$ 、 $\times 10 \text{ k}\Omega$ ，调节电阻范围为 $0.1 \sim 99\,999.9 \Omega$ 。如调整电阻器电阻 537Ω ，则将“ $\times 100 \Omega$ ”挡旋钮旋转到“5”，“ $\times 10 \Omega$ ”挡旋钮旋转到“3”，“ $\times 1 \Omega$ ”挡旋钮旋转到“7”即可。

- (1) 将电阻器调节为如表 1-1-1 所示的数值。
- (2) 用数字万用表的“电阻”挡测量其阻值，将测量值填入表 1-1-1 中。

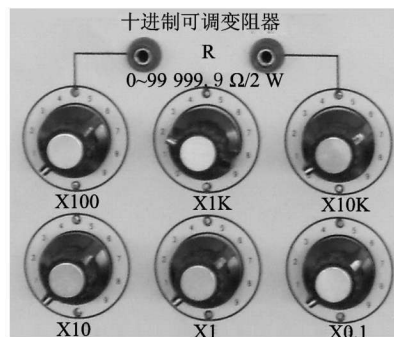


图 1-1-1 十进制可调电阻器

表 1-1-1 线性电阻的测量数据

电阻器调整值	51 Ω	235 Ω	3.5 $\text{k}\Omega$
万用表测量值			

2. 非线性电阻的测量

分别用数字万用表“电阻”挡的“ $\text{k}\Omega$ ”“ $\text{M}\Omega$ ”挡位，测量二极管 1N4007 的正向电阻，即红表笔接二极管的正极端（红色插孔），黑表笔接二极管的负极端（黑色插孔），并将测量值填入表 1-1-2 中。同时测量二极管 1N4007 的反向电阻，即黑表笔接二极管的正极端（红色插孔），红表笔接二极管的负极端（黑色插孔），并将反向电阻测量值填入表 1-1-2 中。

表 1-1-2 非线性电阻的测量数据

电阻类型	正向电阻	反向电阻
测量值		

3. 直流电压与电流的测量

测量电路所用电阻在图 1-1-2 所示的电路板中，直流电压、直流电流和功率测量的实验电路如图 1-1-3 所示。

- (1) 选择图 1-1-2 实验板上的电阻，按图 1-1-3 连接电路。
- (2) 调节直流稳压电源的电压 $U_S=6 \text{ V}$ ，接入电路中。

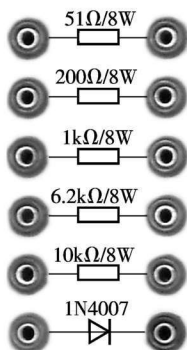


图 1-1-2 电阻元件电路板

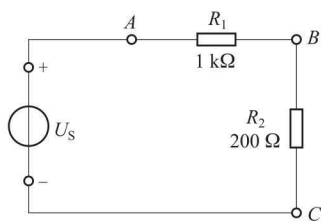


图 1-1-3 直流电压、直流电流和功率测量的实验电路

(3) 用实验台的数字直流电压表、数字直流电流表选择合适的挡位，测量直流电压和直流电流，并将测量值填入表 1-1-3 中。

(4) 直流电流与直流电压各测量 3 次，并计算出平均值，填入表 1-1-3 中。

表 1-1-3 直流电压与直流电流的测量数据

测量值 测量次数	U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{AC}/V	I/mA
第 1 次测量				
第 2 次测量				
第 3 次测量				
平均值				

4. 功率的测量

(1) 将上述测量得到的电压、电流的平均值填入表 1-1-4 中。

(2) 利用公式 $P=UI$ 计算得到功率值，填入表 1-1-4 中。

表 1-1-4 直流功率的测量数据

测量量	R_1	R_2	U_S
电压 U/V			
电流 I/mA			
功率 P/mW			

【实验报告】

- (1) 整理报告中的实验数据。
- (2) 回答【问题讨论】中的内容。

【实验注意事项】

- (1) 测量电阻元件时，数字万用表要选择合适的量程。
- (2) 测量电压、电流时，直流电压表和直流电流表的测量极性要与被测极性相符，否则测量数值前面要加负号。
- (3) 测量功率时，由于实验台并不能直接测量出功率值，故需认真思考如何得出相应元件的功率值。

【问题讨论】

- (1) 用数字万用表的不同挡位测量同一个电压或电流，结果如何？如何提高测量精度？
- (2) 功率何时为正值，何时为负值？
- (3) 电路中电阻 R_1 、 R_2 的功率与电压源的功率满足何种关系？

1.2 电路元件伏安特性的测量

【实验目的】

- (1) 学习测量电阻元件伏安特性的方法。
- (2) 掌握线性电阻元件、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。
- (3) 掌握直流稳压电源和直流电压表、直流电流表的使用方法。

【实验原理】

在任何时刻，线性电阻元件两端的电压与电流的关系都符合欧姆定律。任何一个二端电阻元件的特性都可用该元件上的端电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系式 $I=f(U)$ 来表示，即用 $I-U$ 平面上的一条曲线来表征。这条曲线称为电阻元件的伏安特性曲线。

根据伏安特性的不同，电阻元件分为两大类：线性电阻和非线性电阻。线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 1-2-1(a) 所示。该直线的斜率只由电阻元件的电阻值 R 决定，其阻值 R 为常数，与元件两端的电压 U 和通过该元件的电流 I 无关；非线性电阻元件的伏安特性曲线不是一条经过坐标原点的直线，其阻值 R 不是常数，即在不同的电压作用下，电阻值是不同的。常见的非线性电阻（如白炽灯丝、普通二极管、稳压二极管等）的伏安特性曲线如图 1-2-1(b)、1-2-1(c) 和 1-2-1(d) 所示。在图 1-2-1 中， $U>0$ 的部分为正向特性； $U<0$ 的部分为反向特性。

绘制伏安特性曲线通常采用逐点测试法，电阻元件在不同的端电压 U 作用下，测量出相应的电流 I ，然后逐点绘制出伏安特性曲线 $I=f(U)$ ，根据伏安特性曲线便可计算出电阻元件的阻值。

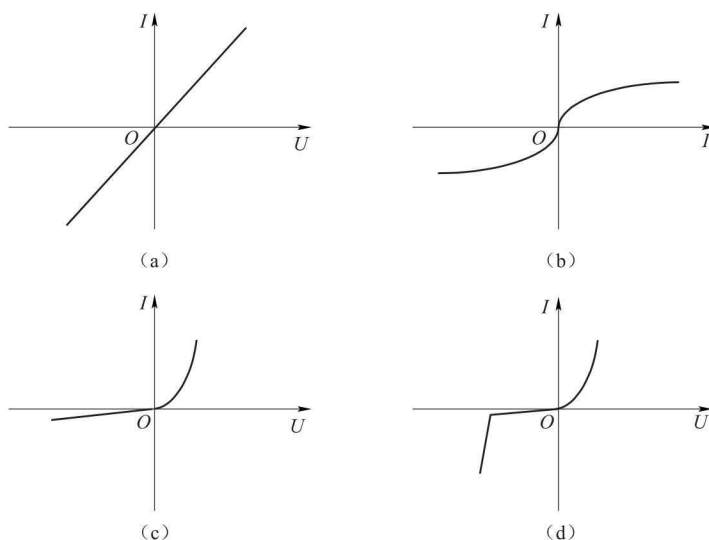


图 1-2-1 线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线

(a) 线性电阻; (b) 白炽灯丝; (c) 普通二极管; (d) 稳压二极管

【实验仪器与设备】

- (1) 电路实验台 (1 台)
- (2) 数字万用表 (1 块)

【预习要求】

- (1) 预习线性电阻和非线性电阻的伏安特性。
- (2) 学习使用直流电压表、直流电流表和数字万用表的测量方法。

【实验内容与步骤】

1. 测定线性电阻的伏安特性

测定线性电阻的伏安特性按图 1-2-2 所示接线。调节直流稳压电源的输出电压 U ，从 0 开始缓慢地增加（不得超过 10 V），在表 1-2-1 中记下相应直流电压表和直流电流表的读数。

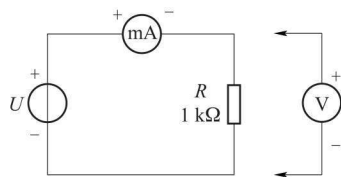


图 1-2-2 测定线性电阻的伏安特性

表 1-2-1 测定线性电阻的伏安特性

U/V											
I/mA											

2. 测定白炽灯泡的伏安特性

将图 1-2-2 中的 $1\text{ k}\Omega$ 线性电阻 R 换成一只 12 V、0.1 A 的灯泡，重复步骤 1，在表 1-2-2 中记下相应直流电压表和直流电流表的读数。

表 1-2-2 测定白炽灯泡的伏安特性

U/V													
I/mA													

3. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 1-2-3 接线, R 为限流电阻, 取 $200\ \Omega$, 二极管的型号为 1N4007。测二极管的正向特性时, 其正向电流不得超过 $35\ mA$, 二极管 D 的正向压降 U_{D+} 可在 $0\sim 0.75\ V$ 间取值。特别是在 $0.5\sim 0.75\ V$ 更应取几个测量点。测反向特性时, 将直流稳压电源输出的正、负极连线互换, 调节直流稳压输出电压 U , 从 0 开始缓慢地增加, 其反向施压 U_{D-} 可达 $-30\ V$, 数据分别填入表 1-2-3 和表 1-2-4 中。

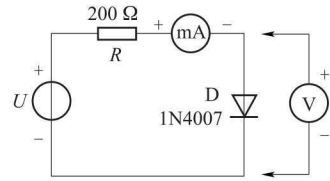


图 1-2-3 测定非线性电阻的伏安特性

表 1-2-3 测定半导体二极管的正向特性

U_{D+}/V													
I/mA													

表 1-2-4 测定半导体二极管的反向特性

U_{D-}/V													
I/mA													

4. 测定稳压二极管的伏安特性

1) 正向特性实验

将图 1-2-3 中的二极管 1N4007 换成稳压二极管 2CW51, 重复 3 中的正向测量。 U_{Z+} 为 2CW51 的正向电压, 数据填入表 1-2-5 中。

表 1-2-5 测定稳压管的正向特性

U_{Z+}/V													
I/mA													

2) 反向特性实验

将图 1-2-3 中的稳压二极管 2CW51 反接, 测量 2CW51 的反向特性。稳压电源的输出电压 U 从 $0\sim 20\ V$ 缓慢地增加, 测量 2CW51 两端的反向电压 U_{Z-} 及电流 I , 由 U_{Z-} 可看出其稳压特性。将数据填入表 1-2-6 中。

表 1-2-6 测定稳压管的反向特性

U/V													
U_{Z-}/V													
I/mA													

【实验报告】

- (1) 整理报告中的实验数据。
- (2) 回答【问题讨论】中的内容。

【实验注意事项】

- (1) 测量时，可调直流稳压电源的输出电压由 0 缓慢逐渐增加，应时刻注意直流电压表和直流电流表，不能超过其规定值。
- (2) 直流稳压电源输出端正负输出线切勿直接短接。
- (3) 测量中，随时注意直流电流表的读数，及时更换电流表的量程，勿使仪表超其量程。注意仪表的正、负极性。

【问题讨论】

- (1) 线性电阻与非线性电阻的伏安特性有何区别？它们的电阻值与通过的电流有无关系？
- (2) 请举例说明哪些元件是线性电阻，哪些元件是非线性电阻，它们的伏安特性曲线是什么形状。
- (3) 设某电阻元件的伏安特性函数式为 $I=f(U)$ ，如何用逐点测试法绘制出伏安特性曲线？

1.3 电阻串联与并联的特性研究

【实验目的】

- (1) 验证电阻串联的电压、电流及电阻特性，加深对电阻串联的分压作用的理解。
- (2) 验证电阻并联的电压、电流及电阻特性，加深对电阻并联的分流作用的理解。

【实验原理】

1. 电阻串联的分压作用

电阻串联电路如图 1-3-1 所示。其分压关系为

$$U_1 = U_S \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_S \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

2. 电阻并联的分流作用

电阻并联电路如图 1-3-2 所示。其分流关系为

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

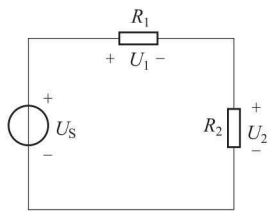


图 1-3-1 电阻串联电路

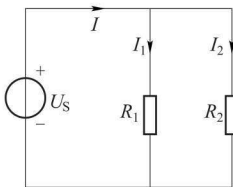


图 1-3-2 电阻并联电路

【实验仪器与设备】

- (1) 电路实验台 (1 台)。
- (2) 数字万用表 (1 块)。

【预习要求】

- (1) 预习电阻串、并联关系的定义。
- (2) 预习电阻串、并联的电压关系和电流关系。
- (3) 学习使用直流电压表、直流电流表和数字万用表的测量方法。

【实验内容与步骤】

1. 电阻串联的特性

测量电阻串联的特性实验电路如图 1-3-3 所示。

1) 电阻串联的电阻特性

- (1) 不接电源 U_S 。
- (2) 用数字万用表“欧姆”挡依次测量 R_1 、 R_2 、 R_{AC} 的电阻值，并将测量值填入表 1-3-1 中。

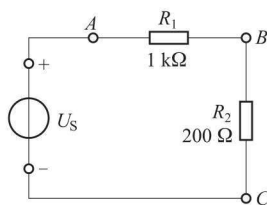


图 1-3-3 测量电阻串联的特性实验电路

表 1-3-1 测量电阻串联的电阻特性数据

被测量	R_1/Ω	R_2/Ω	$R_{AC}/k\Omega$	总电阻与各电阻的关系
测量值				

2) 电阻串联的电压特性

- (1) 调节直流稳压电源 $U_S=6\text{ V}$ ，接入电路。
- (2) 用直流电压表与直流电流表依次测量 U_S 、 U_{AB} 、 U_{BC} 、电流 I ，并将测量值填入表 1-3-2 中。

表 1-3-2 测量电阻串联的电压特性数据

被测量	U_S/V	U_{AB}/V	U_{BC}/V	I/mA	总电压与分电压的关系
测量值					

3) 电阻串联的分压关系

- (1) 将上述测量的总电压与各分电压填入表 1-3-3 中。
- (2) 计算电阻串联电路中各电阻两端的电压, 并将计算值填入表 1-3-3 中。

表 1-3-3 计算电阻串联电路中各电阻两端的电压

V

被测量	总电压 U_S	U_{R_1}	U_{R_2}	分压公式
测量值				
计算值				

2. 电阻并联的特性

测量电阻并联的特性实验电路如图 1-3-4 所示。

1) 电阻并联的电阻特性

- (1) 不接电源 U_S 。
- (2) 用数字万用表“欧姆”挡依次测量 R_1 、 R_2 、 R_{AB} 的电阻值, 并将测量值填入表 1-3-4 中。

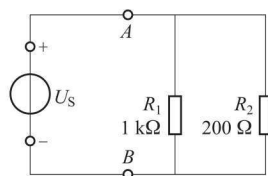


图 1-3-4 测量电阻并联的特性实验电路

表 1-3-4 测量电阻并联的电阻特性数据

Ω

被测量	R_1	R_2	R_{AB}	总电阻与各电阻的关系
测量值				

2) 电阻并联的电流特性

- (1) 调节直流稳压电源 $U_S=6\text{V}$, 选择电阻 R_1 、 R_2 并按图 1-3-4 所示连接电路。
- (2) 用直流电流表与直流电压表依次测量总电流 I , 流过电阻 R_1 与 R_2 的电流 I_{R_1} 、 I_{R_2} , 总电压 U_{AB} , 并将测量值填入表 1-3-5 中。

表 1-3-5 测量电阻并联的电流特性数据

被测量	I/mA	I_{R_1}/mA	I_{R_2}/mA	U_{AB}/V	总电流与分电流的关系
测量值					

3) 电阻并联的分流关系

- (1) 将上述测量的总电流与各分电流填入表 1-3-6 中。
- (2) 计算电阻并联电路中的总电流和流过各电阻的电流, 并将计算值填入表 1-3-6 中。

表 1-3-6 计算电阻并联电路中的总电流和流过各电阻的电流

mA

被测量	总电流 I	I_{R_1}	I_{R_2}	分流公式
测量值				
计算值				

【实验报告】

(1) 整理报告中的实验数据并分析电阻串、并联的总电阻与各电阻的关系，总电压与各电阻两端电压的关系，总电流与流过各电阻电流的关系。

(2) 回答【问题讨论】中的内容。

【实验注意事项】

(1) 测量电阻元件时，万用表要选择合适的量程。

(2) 测量电压、电流参数时，直流电压表和直流电流表的测量极性要与被测极性相符，否则测量数值前面要加负号。

【问题讨论】

(1) 如果多个电阻串联，那么分压公式的形式如何？

(2) 如果多个电阻并联，那么分流公式的形式如何？

1.4 基尔霍夫定律、叠加定理的验证

【实验目的】

- (1) 验证基尔霍夫电流定律，加深对节点电流关系的理解。
- (2) 验证基尔霍夫电压定律，加深对回路电压关系的理解。
- (3) 验证线性电路的叠加定理，加深对线性电路叠加性的理解。
- (4) 熟悉电源置零的处理方法。
- (5) 了解叠加定理的应用场合。

【实验原理】

1. 基尔霍夫电流定律

在电路中，任何时刻任意节点，流入与流出节点的电流的代数和为零，即

$$\sum i = 0$$

在实验中，测量出某节点连接的各个支路的电流，如果各个支路的电流的代数和为零，则验证了基尔霍夫电流定律是正确的。

2. 基尔霍夫电压定律

在电路中，任何时刻沿任意回路，所有支路电压的代数和为零，即

$$\sum u = 0$$

在实验中，选择一个回路，测量出回路中各部分的电压，如果各部分电压的代数和为零，则验证了基尔霍夫电压定律是正确的。

3. 叠加定理

叠加定理：线性电阻电路中，任一电压或电流都是电路中各个独立电源单独作用时，在该处产生的电压或电流的叠加。

电源单独作用指保留某一电源，把其他电源置零。

电压源置零指把该电压源短路。

电流源置零指把该电流源开路。

叠加定理反映了线性电路的叠加性。线性电路的齐次性是指当激励信号增加或减小 K 倍时，电路的响应也将增加或减小 K 倍。叠加性和齐次性都只适用于求解线性电路中的电流、电压。对于非线性电路，叠加性和齐次性都不适用。

【实验仪器与设备】

- (1) 电路实验台 (1 台)。
- (2) 万用表 (1 块)。

【预习要求】

- (1) 预习基尔霍夫定律的相关内容。
- (2) 预习叠加定理的相关内容。
- (3) 学习使用直流电压表、直流电流表和数字万用表的测量方法。

【实验内容与步骤】

1. 验证基尔霍夫电流定律

验证基尔霍夫电流定律的实验电路如图 1-4-1 所示，实验电路板如图 1-4-2 所示。

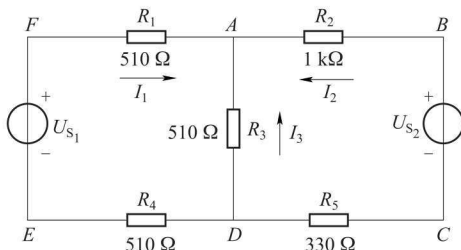


图 1-4-1 验证基尔霍夫电流定律的实验电路

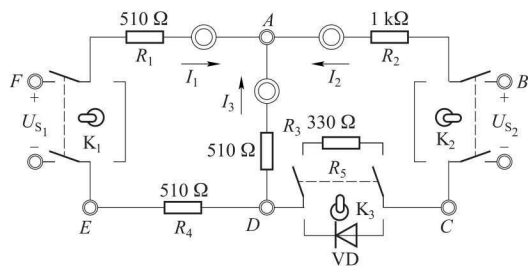


图 1-4-2 验证基尔霍夫电流定律的实验电路板