

# 电路与电工技术实验

主编 张 健

中国农业科学技术出版社

# 电路与电工技术实验

主 编： 张健

副主编： 蔡璐璐 徐红 黄志涛

主 审： 毕卫红

中国农业科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电路与电工技术实验/张健主编. —北京: 中国农业科学技术出版社,  
2002.9  
ISBN 7-80167-409-X

I. 电 ... II. 张 ... III. ①电路—实验—高等学校—教学参考资料 ②  
电工技术—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TM—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 062000 号

责任编辑  
出版发行

经 销  
印 刷  
开 本  
印 数  
版 次  
定 价

左月秋  
中国农业科学技术出版社 邮编: 100081  
电话: (010) 68919711; 62173607; 传真: 62189014  
新华书店北京发行所  
河北省昌黎县第一印刷厂  
787mm × 1092mm 1/16 印张: 10.625  
1~5000 册 字数: 270 千字  
2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷  
18.00 元

## 前言

本书是由于经济全球化、信息全球化、世界科技综合化趋势日益明显,根据国家教委指示精神,培养全面高素质人才,为适应新世纪人才的培养,结合作者多年教学和实验经验,为电类专业本科学生进行电工基础和电磁场实验而编写的。

本书的主要内容包括电工基础实验和电磁场实验两部分,不同专业可根据不同需要安排取舍。

本书的主要内容为直流电路测量、动态电路测量、三相电路测量、交流参数测定、非正弦周期电路测量、双口网络参数测定、计算机辅助分析等。在内容安排上的特点是:1)增加每个实验的任务;2)拓宽实验内容的范围;3)将计算机辅助分析引如实验中,使全书更加合理、科学。

本书由燕山大学张健主编,毕卫红主审,副主编蔡璐璐、徐红、黄志涛。全书共有二十八个实验,其中实验一~实验二十四为电工基础实验,实验二十五~实验二十八为电磁场实验。实验一~实验十、实验二十三~实验二十八由张健编写,实验十一~实验十八由蔡璐璐编写,实验十九~实验二十二由徐红编写,附录A、B、C、D由黄志涛编写,实验电路数据由蔡璐璐、徐红、黄志涛、杨楠验证,文字校对由徐红、蔡璐璐、杨楠完成,电路图的计算机绘制由蔡璐璐、徐红、姚远完成,封面设计由姚远完成。

本书初稿完成后,毕卫红老师(教授)对初稿作了认真的审阅,并提出了宝贵的修改意见,在编写过程中曾得到许多老师的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促,本书可能有不妥之处,欢迎批评指正。

编者

2002年7月

于秦皇岛燕山大学

## 电工基础实验课三个阶段的任务和要求

### 一 预习

预习的任务是弄清实验的目的、内容、要求、方法及实验中应注意的问题，画出实验电路，拟订出实验步骤，列出所需元件和设备，画出记录表格。还要对实验结果做出估计，以便在实验中及时检查实验结果的正确性。

### 二 实验

实验的任务是按预定方案进行实验。实验的过程既是完成实验任务的过程，又是锻炼实验能力和培养实验作风的过程。在实验过程中即要动手，又要动脑，要养成良好的实验作风，要作好原始数据的记录，要分析和解决实验中遇到的各种问题。

### 三 总结

总结的任务是在实验完成后，整理实验数据、分析实验结果、总结实验收获并写出实验报告。这是培养归纳能力和编写实验报告能力的主要手段。

## 实 验 守 则

实验时应保证人身安全、设备安全，爱护国家财产，培养科学作风。  
为此，应遵守下列守则：

- (1) 严守纪律，按时开始实验。做完实验得到教师许可后再离开实验室。
- (2) 接通电源前必须请教师检查电路。
- (3) 严禁带电拆线、接线。
- (4) 非本次实验用的设备，未经教师许可不得动用。
- (5) 发生事故要保持镇定，迅速切断电源，并向教师报告。
- (6) 若自己增加实验内容，须事先征得教师同意。
- (7) 保持实验室清洁、安静，实验室内不得吸烟、喧哗。
- (8) 实验如未通过，必须补做。
- (9) 实验课前要认真预习实验指导书，做好必要的准备工作，实验结束后及时填写实验报告。

## 目录

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 实验一   | 基本电工仪表的使用与测量误差的计算 | 1   |
| 实验二   | 减小仪表测量误差的方法       | 5   |
| 实验三   | 直流电路测量            | 10  |
| 实验四   | 基尔霍夫定律的验证         | 12  |
| 实验五   | 叠加原理              | 14  |
| 实验六   | 戴维南定理和诺顿定理        | 16  |
| 实验七   | 受控源特性             | 20  |
| 实验八   | 典型电信号的观察与测量       | 31  |
| 实验九   | 一阶 RC 电路的响应       | 35  |
| 实验十   | 二阶 RC 电路的响应       | 38  |
| 实验十一  | 交流参数测定            | 42  |
| 实验十二  | 互感电路测量            | 46  |
| 实验十三  | 三相电路              | 50  |
| 实验十四  | 功率因数的提高           | 56  |
| 实验十五  | RLC 串联电路的频率特性     | 59  |
| 实验十六  | 正弦稳态交流电路相量的研究     | 63  |
| 实验十七  | 非正弦周期信号的分析        | 67  |
| 实验十八  | 双口网络参数测定          | 71  |
| 实验十九  | 单相铁芯变压器的测试        | 74  |
| 实验二十  | 单相电度表的校验          | 77  |
| 实验二十一 | 负阻抗变换器及其应用        | 80  |
| 实验二十二 | 回转器及其应用           | 88  |
| 实验二十三 | 电路的计算机辅助分析        | 95  |
| 实验二十四 | 冲击响应和任意信号的响应      | 97  |
| 实验二十五 | 螺线管磁场的测量          | 101 |
| 实验二十六 | 恒定磁通磁路            | 107 |
| 实验二十七 | 用模拟法研究接地电阻        | 112 |
| 实验二十八 | 仿真线               | 115 |
| 附录 A  | 电工测量直读仪表基本知识      | 119 |
| 附录 B  | 仪器设备和元器件的额定值      | 133 |
| 附录 C  | 常用仪器仪表操作、使用说明     | 135 |
| 附录 D  | DGJ-3 实验屏操作、使用说明  | 159 |

## 实验一 基本电工仪表的使用与测量误差的计算

### 一、实验目的

1. 熟悉实验装置上各类测量仪表的布局。
2. 熟悉实验装置上各类电源的布局及使用方法。
3. 掌握电压表、电流表内电阻的测量方法。
4. 熟悉电工仪表测量误差的计算方法。

### 二、实验原理

1. 为了准确地测量电路中实际的电压和电流，必须保证仪表接入电路后不会改变被测电路的工作状态，这就要求电压表的内阻为无穷大；电流表的内阻为零。而实际使用的电工仪表都不能满足上述要求。因此，当测量仪表一旦接入电路，就会改变电路原有的工作状态，这就导致仪表的读数与电路原有的实际值之间出现误差，这种测量误差值的大小与仪表本身内阻的大小密切相关。

2. 本实验测量电流表的内阻采用“分流法”，如图 1-1 所示。

A 为被测内阻 ( $R_A$ ) 的直流电流表，测量时先断开开关 S，调节直流恒流源的输出电流 I 使 A 表指针满偏转，然后合上开关 S，并保持 I 值不变，调节电阻箱  $R_B$  的阻值，使电流表的指针指在 1/2 满偏转位置，此时有  $I_A = I_B = I/2$ ，  
 $\therefore R_A = R_B / R_1$ ，其中， $R_1$  为固定电阻器之值， $R_B$  由可调电阻箱的刻度盘上读得。 $R_1$  与  $R_B$  并联，且  $R_1$  选用小阻值电阻， $R_B$  选用较大电阻，则阻值调节可比单只电阻箱更细微、平滑。

3. 测量电压表的内阻采用“分压法”，如图 1-2 所示。

V 为被测内阻 ( $R_V$ ) 的电压表，测量时先将开关 S 闭合，调节直流稳压电源的输出电压，使电压表 V 的指针为满偏转。然后断开开关 S，调节  $R_B$  阻值使电压表 V 的指示值减半。此时有  $R_V = R_B + R_1$

电压表的灵敏度为  $S = R_V / L$  ( $\Omega/V$ )

4. 仪表内阻引入的测量误差（通常称为方法误差，而仪表本身构造上引起的误差称为为仪表基本误差）的计算。  
 以图 1-3 所示电路为列， $R_1$  上的电压为

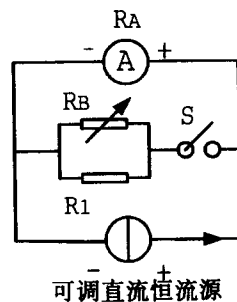


图 1-1

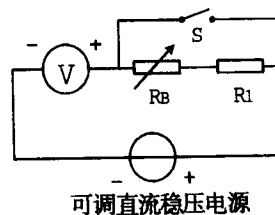


图 1-2

$$U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad \text{若 } R_1 = R_2, \quad \text{则 } U_{R1} = \frac{1}{2} U$$

现用一内阻为  $R_V$  的电压表来测量  $U_{R1}$  值, 当  $R_1$  与  $R_2$  并联

后,  $R_{AB} = \frac{R_V R_1}{R_V + R_1}$ , 以此来替代上式中的  $R_1$ , 则得

$$U'_{R1} = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U$$

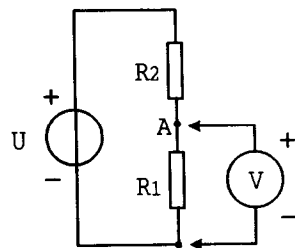


图 1-3

绝对误差为

$$\Delta U = U'_{R1} - U_{R1} = U \left( \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

化简后得

$$\Delta U = \frac{-R_1^2 R_2 U}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)}$$

若  $R_1 = R_2 = R_V$ , 则得

$$\Delta U = -\frac{U}{6}$$

相对误差

$$\Delta U \% = \frac{U'_{R1} - U_{R1}}{U_{R1}} \times 100\% = \frac{-U/6}{U/2} \times 100\% = -33.3$$

### 三、实验内容

1. 根据“分流法”原理测定 FM-14 型 (或其他型号) 万用电表直流毫安 0.5mA 和 5mA 档量限的内阻, 线路如图 1-1 所示。

| 被测电流表量限 | S 断开时表读数<br>(mA) | S 闭合时表读数<br>(mA) | $R_B$<br>( $\Omega$ ) | $R_1$<br>( $\Omega$ ) | 计算内阻<br>$R_A$ ( $\Omega$ ) |
|---------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 0.5mA   |                  |                  |                       |                       |                            |
| 5mA     |                  |                  |                       |                       |                            |

2. 根据“分压法”原理按图 1-2 接线, 测定万用电表直流电压 2.5V 和 10V 档量限

的内阻。

| 被测电压表<br>量限 | S 断开时<br>表读数(V) | S 闭合时<br>表读数(V) | $R_B$<br>( $K\Omega$ ) | $R_1$<br>( $K\Omega$ ) | 计算内阻<br>$R_A(K\Omega)$ | S<br>( $\Omega/V$ ) |
|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 2.5V        |                 |                 |                        |                        |                        |                     |
| 10V         |                 |                 |                        |                        |                        |                     |

3. 用万用电表直流电压 10V 档量限测量图 1-3 电路中  $R_1$  上的电压  $U_{R1}$  之值, 并计算测量的绝对误差与相对误差

| U   | $R_2$        | $R_1$        | $R_{10V}$<br>( $K\Omega$ ) | 计算值<br>$U_{R1}(V)$ | 实测值<br>$U_{R1}(V)$ | 绝对误差 | 相对误差 |
|-----|--------------|--------------|----------------------------|--------------------|--------------------|------|------|
| 10V | 10K $\Omega$ | 20K $\Omega$ |                            |                    |                    |      |      |

#### 四、实验注意事项

1. 控制屏提供所有实验的电源, 直流稳压源和直流恒流源均可通过粗调(分段调)旋钮和细调(连续调)旋钮调节其输出量, 并由指针式电压表和毫安表显示其输出量的大小, 启动实验装置电源之前, 应使其输出旋钮置于零位, 实验时再缓慢地增、减输出。
2. 稳压源的输出不允许短路, 恒流源的输出不允许开路。
3. 电压表与电路并联使用, 电流表与电路串联使用, 并且都要注意极性与量限的合理选择。

#### 五、实验报告内容

1. 列表记录实验数据, 并计算各被测仪表的内阻值。
2. 计算实验内容 3 的绝对误差与相对误差。
3. 对思考题的计算。
4. 心得体会及其它。

#### 六、预习思考题

1. 根据实验内容 1 和 2, 若已求出 0.5mA 档的内阻, 可否直接计算得出 5mA 档和 10mA 档的内阻?
2. 用量限为 10A 的电流表测实际值为 8A 的电流时, 实际读数为 8.1A, 求测量的绝对误差和相对误差。
3. 如图 1-4 (a)、(b) 为伏安法测量电阻的两种电路, 被测电阻的实际阻值为  $R_X$ , 电压表的内阻为  $R_V$ , 电流表的内阻为  $R_A$ , 求两种电路测量电阻  $R_X$  的相对误差。

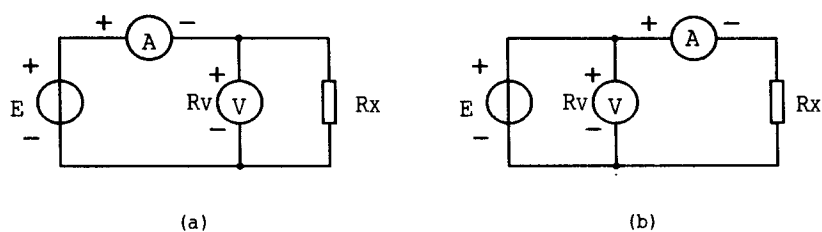


图 1-4

### 七、实验设备

| 序号 | 名称       | 型号与规格       | 数量 | 备注 |
|----|----------|-------------|----|----|
| 1  | 可调直流稳压电源 | 0~30V       | 1  |    |
| 2  | 可调直流恒流源  | 0~200mA     | 1  |    |
| 3  | 万用电表     | FM-14 或其他   | 1  |    |
| 4  | 可调电位器    | 1M $\Omega$ | 1  | 可调 |
| 5  | 电阻器      |             | 若干 | 可调 |

## 实验二 减小仪表测量误差的方法

### 一、实验目的

1. 进一步了解电压表、电流表的内阻在测量过程中产生的误差及其分析方法。
2. 掌握减小因仪表内阻引起测量误差的方法。

### 二、实验原理

减小因仪表内阻而产生测量误差的方法有：

#### 1. 不同量限两次测量计算法

当电压表的灵敏度不够高或电流表的内阻太大时，可利用多量限仪表对同一被测量用不同量限进行两次测量，所得读数经计算后可得到准确的结果。

如图 2-1 所示电路，欲测量具有较大内阻  $R_0$  的电动势  $E$  的开路电压  $U_0$  时，如果所用电压表的内阻  $R_V$  与  $R_0$  相差不大的话，将会产生很大的测量误差。

设电压表有两档量限， $U_1$ 、 $U_2$  分别为在这两个不同量限下测得的开路电压值，令  $R_{V1}$  和  $R_{V2}$  分别为这两个相应量限的内阻，则由图 2-1 可得出

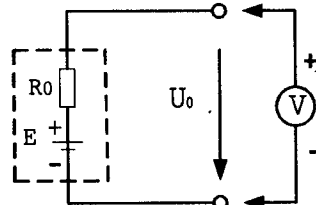


图 2-1

$$U_1 = \frac{R_{V1}}{R_0 + R_{V1}} \times E \quad (2-1)$$

$$U_2 = \frac{R_{V2}}{R_0 + R_{V2}} \times E \quad (2-2)$$

由 (2-1) 式得

$$R_0 = \frac{R_{V1} \times E}{U_1} - R_{V1} = R_{V1} \left( \frac{E}{U_1} - 1 \right) \quad (2-3)$$

将 (2-3) 式代入 (2-2) 式可得

$$E = \frac{U_2 (R_0 + R_{V2})}{R_{V2}} = \frac{U_2 \left( \frac{R_{V1} \times E}{U_1} - R_{V1} + R_{V2} \right)}{R_{V2}}$$

从中解得  $E$ ，经化简后得

$$E = U_0 = \frac{U_1 U_2 (R_{V2} - R_{V1})}{U_1 R_{V2} - U_2 R_{V1}} \quad (2-4)$$

由式 (2-4) 可知, 不论电源内阻  $R_0$  相对电压表的内阻  $R_V$  有多大, 通过上述的两次测量结果, 经计算后可较准确地测量出开路电压  $U_0$  的大小。

对于电流表, 当其内阻较大时, 也可用类似的方法测得准确的结果。如图 2-2 所示电路, 不接入电流表时的电流为  $I = \frac{E}{R_0}$

接入内阻为  $R_A$  的电流表 A 时, 电路中的电流变为

$$I' = \frac{E}{R_0 + R_A}$$

如果  $R_A = R_0$ , 则  $I' = \frac{1}{2} I$ , 出现很大的误差。

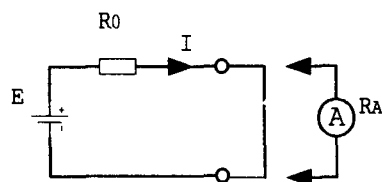


图 2-2

如果用有不同内阻  $R_{A1}$ 、 $R_{A2}$  的两档量限的电流表作两次测量并经简单的计算就可得到较准确的电流值。

按图 2-2 电路, 两次测量得

$$I_1 = \frac{E}{R_0 + R_{A1}} \quad I_2 = \frac{E}{R_0 + R_{A2}}$$

解得

$$I = \frac{E}{R_0} = \frac{I_1 I_2 (R_{A1} - R_{A2})}{I_1 R_{A1} - I_2 R_{A2}}$$

## 2. 同一量限两次测量计算法

如果电压表 (或电流表) 只有一档量限, 且电压表的内阻较小 (或电流表的内阻较大) 时, 可用同一量限进行两次测量法减小测量误差。其中, 第一次测量与一般的测量并无两样, 只是在进行第二次测量时必须在电路中串入一个已知阻值的附加电阻。

(1) 电压测量——测量如图 2-3 所示电路的开路电压  $U_0$ 。

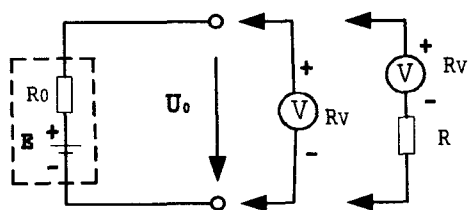


图 2-3

第一次测量，电压表的读数为  $U_1$ ，（设电压表的内阻为  $R_V$ ），第二次测量时应与电压表串联一个已知阻值的电阻  $R$ ，电压表读数为  $U_2$ ，由图可知

$$U_1 = \frac{R_V}{R_0 + R_V} E \quad U_2 = \frac{R_V}{R_0 + R_V + R} E$$

解上两式，可得

$$E = U_0 = \frac{RU_1U_2}{R_V(U_1 - U_2)}$$

（2）电流测量——测量如图 2-4 所示电路的电流  $I$ 。

第一次测量电流表的读数为  $I_1$ ，（设电流表的内阻为  $R_A$ ），第二次测量时应与电流表串联一个已知阻值的电阻  $R$ ，电流表读数为  $I_2$ ，由图可知

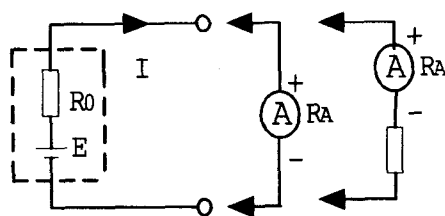


图 2-4

$$I_1 = \frac{E}{R_0 + R_A} \quad I_2 = \frac{E}{R_0 + R_A + R}$$

解得

$$I = \frac{E}{R_0} = \frac{I_1 I_2 R}{I_2 (R_A + R) - I_1 R_A}$$

由上分析可知，采用多量限仪表两次测量法或单量限仪表两次测量法，不管电表内阻如何总可以通过两次测量和计算得到比单次测量准确得多的结果。

### 三、实验内容

#### 1. 双量限电压表两次测量法

按图 2-3 电路接线，取  $E=3V$ ， $R_0=20K\Omega$ 。

用万用电表的直流电压 2.5V 和 10V 两档量限进行两次测量，最后算出开路电压  $U_0$

## 实验二 减小仪表测量误差的方法

之值。

| 万用表<br>电压量限 | 双量限内<br>阻值(K $\Omega$ ) | 两个量限<br>测量值(V) | 开路电压<br>实际值(V) | 两次测量<br>计算值(V) | 绝对误差<br>$\Delta U$ (V) | 相对误差<br>$\Delta U/U \times 100\%$ |
|-------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|-----------------------------------|
| 2.5V        |                         |                |                |                |                        |                                   |
| 10V         |                         |                |                |                |                        |                                   |

$R_{2.5V}$  和  $R_{10V}$  参照实验一的结果。

### 2. 单量限电压表两次测量法

实验线路如图 2-3, 用上述万用电表直流电压 2.5V 量限档串接  $R=10K\Omega$  的附加电阻器进行两次测量, 计算开路电压  $U_0$  之值。

| 开路电压实际值   | 两次测量值     |           | 测量计算值      | 绝对误差           | 相对误差                      |
|-----------|-----------|-----------|------------|----------------|---------------------------|
| $U_0$ (V) | $U_1$ (V) | $U_2$ (V) | $U'_0$ (V) | $\Delta U$ (V) | $\Delta U/U \times 100\%$ |
| 3         |           |           |            |                |                           |

### 3. 双量限电流表两次测量法

按图 2-4 电路接线, 取  $E=3V$ ,  $R_0=6.2K\Omega$ , 用万用表 0.5mA 和 5mA 两档电流量限进行两次测量, 计算出电路中电流值  $I$ 。

| 万用表<br>电流量限 | 双量限内<br>阻值 ( $\Omega$ ) | 两个量限测<br>量值 (mA) | 电流实际<br>值 (mA) | 两次测量<br>计算值 (mA) | 绝对误<br>差 $\Delta I$ | 相对误差<br>$\Delta I/I \times 100\%$ |
|-------------|-------------------------|------------------|----------------|------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 0.5mA       |                         |                  |                |                  |                     |                                   |
| 5mA         |                         |                  |                |                  |                     |                                   |

$R_{0.5mA}$  和  $R_{5mA}$  参照实验一的结果。

### 4. 单量限电流表两次测量法

实验线路如图 2-4, 用万用表 0.5mA 电流量限, 串联附加电阻  $R=8.2K\Omega$  进行两次测量, 求出电路中的实际电流  $I$  之值。

| 电流实际值    | 两次测量值      |            | 测量计算值     | 绝对误差       | 相对误差                      |
|----------|------------|------------|-----------|------------|---------------------------|
| $I$ (mA) | $I_1$ (mA) | $I_2$ (mA) | $I'$ (mA) | $\Delta I$ | $\Delta I/I \times 100\%$ |
|          |            |            |           |            |                           |

## 四、实验注意事项

同实验一

## 五、实验报告内容

### 1. 完成各项实验内容的计算

2. 实验的收获与体会

六、实验设备

| 序号 | 名称       | 型号与规格                    | 数量 | 备注     |
|----|----------|--------------------------|----|--------|
| 1  | 可调直流稳压电源 | 0~30V                    | 1  |        |
| 2  | 万用电表     | FM-47 型或其他               | 1  |        |
| 3  | 可调电阻箱    | 0~99999.9 $\Omega$       | 1  | DGJ-05 |
| 4  | 电阻器      | 6.2K、8.2K、10K、20K、100K 等 |    | DGJ-05 |

## 实验三 直流电路测量

### 一、实验目的

1. 学习电路元件伏安特性的测量方法。
2. 了解线性电阻元件与非线性电阻元件的区别。
3. 验证基尔霍夫定律。
4. 学习使用直流稳压电源、电流表、电压表、滑线电阻。

### 二、实验原理

#### 1. 元件的伏安特性

一个二端元件（如图 3-1 (a) 所示）的伏安特性用元件两端的电压  $u$  和通过元件

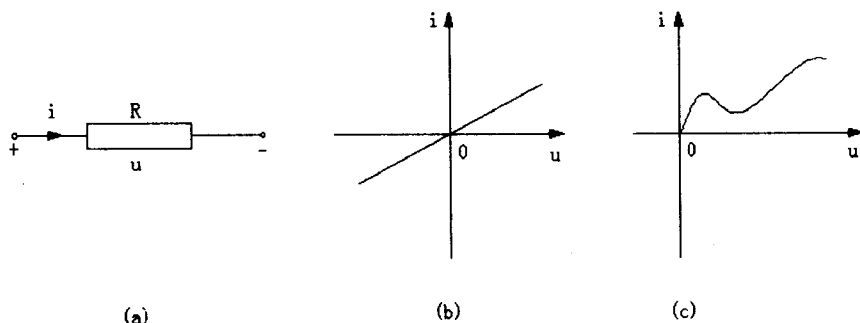


图 3-1 电阻及伏安特性

的电流  $i$  之间的关系  $f(u, i) = 0$  表示。

线性电阻元件的伏安特性服从欧姆定律，画在  $u-i$  平面上是一条通过原点的直线，如图 3-1 (b) 所示。

非线性电阻元件的伏安特性不服从欧姆定律，画在  $u-i$  平面上是一条通过原点的曲线，如图 3-1 (c) 所示。

#### 2. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路理论最基本的两大定律，它描述的是电路结构的拓扑约束。

基尔霍夫电流定律：在任意时刻，对电路中的任意一个节点，流进节点的各支路电流的代数和为零 ( $\sum i = 0$ )。

基尔霍夫电压定律：在任意时刻，对电路中的任意一个回路，沿回路的绕行方向，各支路电压的代数和为零 ( $\sum u = 0$ )。