

## 第3章 直流电路实验

### 3.1 电压源、电流源及电阻元件特性

任何一个二端元件的特性，可以用该元件两端的电压  $u$  与流过元件的电流  $i$  的关系来表征，其关系可用  $u$ - $i$  平面上的曲线来描述，称之为元件的伏安特性曲线。

#### 1. 电压源的外特性

对于理想电压源，其端电压  $u_S(t)$  是确定的时间函数，而与流过电源的电流大小无关。如果  $u_S(t)$  不随时间变化（即为常数），则该电压源称为直流电压源  $U_S$ ，其外特性曲线如图 3-1 (b) 中曲线  $a$  所示。实际电压源可以用一个电压源  $U_S$  和电阻  $R_S$  相串联的电压源模型来表示，如图 3-1 (a) 所示，其外特性曲线如图 3-1 (b) 中曲线  $b$  所示。显然， $R_S$  越大，图中的  $\theta$  角也越大，其正切的绝对值代表实际电压源的内阻值  $R_S$ 。

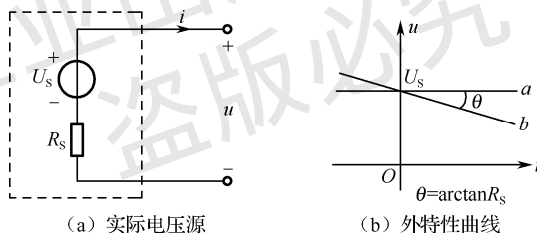


图 3-1 实际电压源及外特性曲线

#### 2. 电流源的外特性

对于理想电流源，向负载提供的电流  $i_S(t)$  是确定的时间函数，与电源的端电压大小无关。如果  $i_S(t)$  不随时间变化（即为常数），则该电流源称为直流电流源  $I_S$ ，其外特性曲线如图 3-2 中曲线  $a$  所示。实际电流源可以用一个电流源  $I_S$  和电导  $G_S$  相并联的电流源模型来表示，如图 3-2 (a) 所示，其外特性曲线如图 3-2 (b) 中曲线  $b$  所示。显然， $G_S$  越大，图 3-2 中的  $\theta$  角也越大，其正切的绝对值代表实际电源的电导值  $G_S$ 。

#### 3. 电阻元件的伏安特性

(1) 线性电阻元件的伏安特性，在  $u$ - $i$  坐标平面上为一条通过原点的直线。

(2) 对于非线性电阻元件，可以分为电流控制型、电压控制型和单调型三种类型，示例的特性曲线如图 3-3 所示。如白炽灯、半导体二极管为非线性电阻元件，其伏安特性为单调型的。

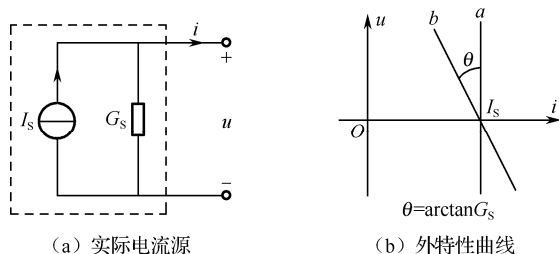


图 3-2 实际电流源及外特性曲线

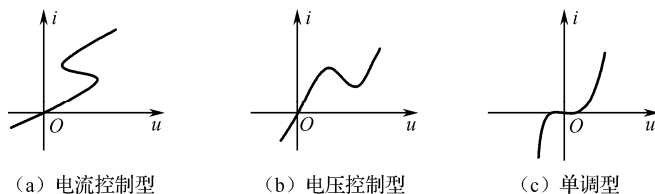


图 3-3 非线性电阻元件外特性曲线

白炽灯在工作时灯丝处于高温状态。通过灯丝的电流越大，温度就越高，其灯丝电阻也越大。一般白炽灯的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍。

对于半导体二极管，它具有单向导电性，正向压降很小（一般锗管为  $0.2\text{V} \sim 0.3\text{V}$ ，硅管为  $0.5\text{V} \sim 0.7\text{V}$ ），正向电流随正向电压的增加而急骤上升，而反向电压的增加时反向电流增加很小，可视为零。使用时应防止反向电压过高，超过管子的极限值，造成管子的击穿损坏。

用伏安法测定非线性电阻元件的伏安特性时，若是电压（或电流）控制型的，则要选取电压（或电流）作为自变量。

## 3.2 直流电阻的测量

直流电阻的测量在电工测量中占有重要的地位。通常，低于  $1\Omega$  的电阻称为低值电阻，高于  $1\text{M}\Omega$  的电阻称为高值电阻， $1\Omega \sim 1\text{M}\Omega$  的电阻称为中值电阻。由于测量电阻的方法很多，因此测量前需要根据被测电阻的阻值大小和对测量准确度的要求，选择合适的测量方法。

对于低值电阻的测量，主要方法有：微欧表法（包括适用于测量低值电阻的数字欧姆表）、伏安法和双电桥法等，其中以双电桥法使用最普遍。而高值电阻的测量方法很多，如伏安法、兆欧表法、替代比较法、电窗口充放电法等。在工程实践中，中值电阻使用较多，下面主要介绍中值电阻的测量。

（1）欧姆表（包括万用表欧姆挡）法是使用最方便的一种方法。一般欧姆表的测量准确度较低，可常用于对被测电阻阻值的估测，而数字式欧姆表的测量准确度高。

（2）伏安法测电阻，测量准确度不够高，必要时应对测量结果进行修正。由于具有测量条件与被测电阻的工作条件相一致特点，因此特别适合于阻值与电压（电流）有关的非线性电阻的测量。

（3）半偏法测电阻，如图 3-4 所示。调节标准电阻  $R_N$ ，使电流值为不接  $R_N$  时的一半，则有  $R_N = R_x + R_A$ ，即  $R_x = R_N - R_A$ ， $R_A$  为电流表的内阻。

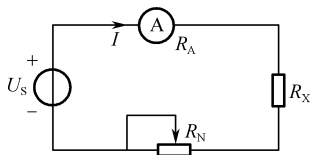


图 3-4 半偏法测电阻

另外，中值电阻的测量还可用替代法、单电桥法和电位差计法等。

### 3.3 线性有源二端网络的等效

#### 3.3.1 线性有源二端网络及其等效电路

任何一个线性有源二端网络，对外部电路而言，总可以用一个实际电压源或实际电流源的电路模型来代替，如图 3-5 所示。

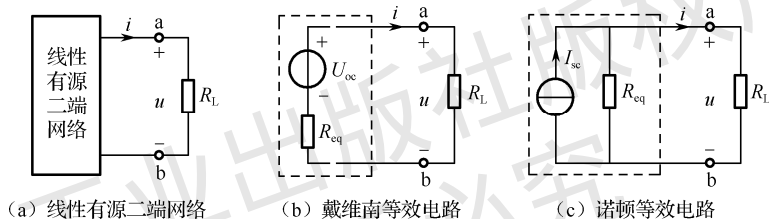


图 3-5 线性有源二端网络及等效图

戴维南定理指出，任何一个线性有源二端网络，对外部电路而言，总可以用一个电压源和电阻相串联的有源支路来代替，其电压源的电压等于原网络端口的开路电压  $U_{oc}$ ，其电阻等于原网络中所有独立电源为零值时（电压源短路，电流源开路）的入端等效电阻  $R_{eq}$ 。

诺顿定理指出，任何一个线性有源二端网络，对外部电路而言，总可以用一个电流源和电阻相并联的有源支路来代替，其电流源的电流等于原网络端口的短路电流  $I_{sc}$ ，其电阻等于原网络中所有独立电源为零值时的入端等效电阻  $R_{eq}$ 。

#### 3.3.2 线性有源二端网络等效参数的测定

##### 1. 开路短路法

在线性有源二端网络的输出端开路时，用电压表直接测取开路电压  $U_{oc}$ ，然后将输出端用电流表直接短路测取短路电流  $I_{sc}$ ，如图 3-6 所示，则该线性有源二端网络的入端等效电阻

$$R_{eq} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} \quad (3-1)$$

对于线性有源二端网络的端口不允许直接开路或短路时，例如开路电压太高或短路电流太大，有可能损坏元器件时，则不能采用该方法进行测量。

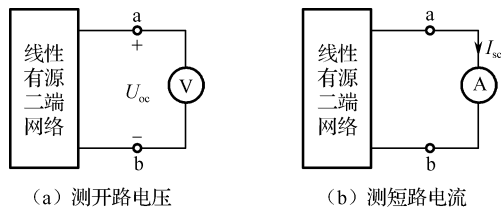


图 3-6 开路短路法测等效电阻

## 2. 半偏法

测量线路如图 3-7 所示, 半偏法分为半电压法和半电流法。先测出有源二端网络的开路电压  $U_{oc}$  (或短路电流  $I_{sc}$ ), 再按图接线, 选用半电压法 (或半电流法), 在被测网络端口接一可变电阻  $R_L$ , 调节  $R_L$ , 使其端电压为开路电压  $U_{oc}$  的一半 (或通过的电流为短路电流  $I_{sc}$  的一半), 则此时  $R_L$  的数值就等于等效电阻  $R_{eq}$  的数值。

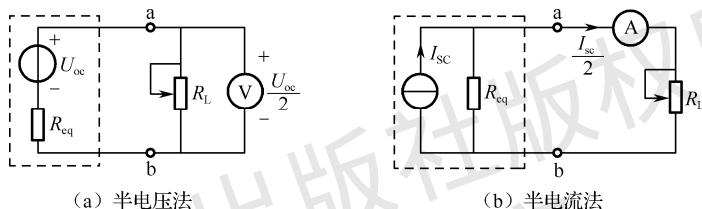


图 3-7 半偏法测等效电阻

## 3. 组合测量法

如图 3-8 所示电路, 可列端口方程

$$U = U_{oc} - R_{eq} I \quad (3-2)$$

分两次调节可变电阻  $R_L$ , 分别测取端口电压和电流的数值, 代入式 (3-2) 中, 再联立求解, 即可求得  $R_{eq}$ 、 $U_{oc}$  的数值。

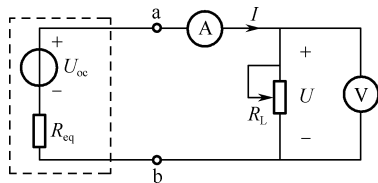


图 3-8 组合测量法测等效参数

## 3.4 故障检查的一般方法

学生在做实物实验, 接线完成, 经检查认为无误, 通电后有时电路却不能正常工作, 如仪表无指示等, 这时就需要自行检查、排除故障。因此, 电路故障分析、排除电路故障是电

路实验基本技能之一，综合反映了理论联系实际、分析问题、解决问题的能力，是顺利完成电路实验的保证。

### 1. 电路故障及特点

在电路实验中，常遇到“断路、短路或参数异常”等故障。这些故障通常是由导线断线、接触不良、线路接错、参数不符及元器件损坏等原因造成的。实验时一旦发现故障，应立即切断电源，通过检查、分析和正确判断后，查出故障原因并找出故障点，及时排除，使电路尽快恢复正常。

断路故障的本质是电路两点间的电阻无穷大，短路故障的本质是电路两点间的电阻趋于零。当电路中发生断路时，表现为该支路电压不为零而电流为零。当电路中发生短路时，表现为该支路有电流通过电路而电压为零。

### 2. 检查电路故障的常用方法

检查电路故障的常用方法，一是依据仪表的示数来判断，二是依靠电路在发生故障时的现象来判断，三是把二者结合起来使用进行判断。在电路通电瞬间和实验过程中，应随时观察仪表和电路的现象，以推断电路是否正常工作。对于常用的仪器检测法，可以采用以下几种方法。

#### (1) 测电压电位。

电路在带电的情况下，若不会继续扩大故障或造成人身、设备事故的，可以用电压表测量电路中某两点之间的电压，或有关点的电位，根据测量结果进行分析并找出故障的部位。

例如，某条支路假设只有一处断路，支路电流表无指示、灯不亮等，表明该支路无电流、可能有断路点。根据电路，依次逐点测电位，若某相邻两点的电位值不同，这两点之间的电压不为零，则该处可能为断路点。另外，也可用电压表逐个与该支路的元器件并联，若在某一元器件处突然有示数，则该处可能有断点。对于短路故障，比如用电压表与支路的元器件并联，当电压表的示数为零时，说明该处可能有短路故障。

#### (2) 测电阻。

电路在不带电的情况下，用万用表的欧姆挡分别测量元件的阻值、导线和开关的通断情况，从而查出故障的部位。采用该方法进行测量时，要注意回路、并联支路对阻值的影响，最好能将回路、并联支路断开。

#### (3) 测信号波形。

当电路中含有交流信号时，可用示波器逐级检测各点的信号波形，从中分析、判断故障的原因和元件。

### 3. 电路故障的检查步骤

首先了解与故障有关部分电路的结构与特点，学生在预习时应进行必要的理论数值计算，对电路在正常工作下的电压、电流、电阻等量值做到心中有数。

电路故障的检查要从源头查起，首先要确定接入的电源是否正常，然后从直流电源的正极（或电源的一端）开始，依据电路，逐步按顺序检查接线，最后回到直流电源的负极（或

电源的另一端)，由此确定接线是否正确。另外，也可根据故障现象直接缩小范围，通过分析、判断、推测可能产生故障的原因、性质以及故障所在的区域，选择适当的方法进行检测，最后找出故障所在的具体位置（故障点）。

注意，在处理故障之前，应保持现场，切勿随意拆除或改动线路。

### 3.5 认识实验及直流电路的电位测量实验

#### 一、实验目的

- 1. 了解实验室的电源配置。
- 2. 通过实验，进一步了解电路中电位的概念。
- 3. 学会测量电路中的电位。
- 4. 练习使用直流稳压稳流电源。
- 5. 练习使用万用表、直流电压表和直流电流表。

#### 二、实验设备

| 设备名称     | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|----------|------|----|----|
| 直流稳压稳流电源 |      |    |    |
| 万用表      |      |    |    |
| 直流数字电压表  |      |    |    |
| 直流数字电流表  |      |    |    |
| 直流电路实验板  |      |    |    |
| 计算机、软件   |      |    |    |

#### 三、实验内容及步骤

- 1. 了解本实验所用各种设备的型号、规格，学习实验设备填写方法。
- 2. 由指导教师介绍实验桌上电源控制及仪表箱情况。
- 3. 电源及万用表的使用

（1）万用表测量交流电压。

用万用表的交流电压挡测量三相电源的三个线电压及三个相电压，并记录于表 3-1 中。

表 3-1 三相电源电压的测量数据

|                 | $U_{AB}$ (V) | $U_{BC}$ (V) | $U_{CA}$ (V) | $U_{AN}$ (V) | $U_{BN}$ (V) | $U_{CN}$ (V) |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 理论值             | 380          | 380          | 380          | 220          | 220          | 220          |
| 测量示值            |              |              |              |              |              |              |
| 绝对误差 $\Delta U$ |              |              |              |              |              |              |
| 相对误差 $\gamma\%$ |              |              |              |              |              |              |

(2) 直流稳压电源使用及万用表测量直流电压。

直流稳压电源的使用，详见第 7 章。

用万用表的直流电压挡测量直流稳压电源的输出电压值。

注意万用表量程挡位的选择，数据记录于表 3-2 中。

表 3-2 直流稳压电源直流电压的测量数据

|                     |  |  |  |  |
|---------------------|--|--|--|--|
| 电源示值 (V)            |  |  |  |  |
| 测量示值 (V)            |  |  |  |  |
| 绝对误差 $\Delta U$ (V) |  |  |  |  |
| 相对误差 $\gamma\%$     |  |  |  |  |

(3) 万用表测量电阻的阻值。

图 3-9 所示为直流电路实验电路图。不接线、不接电流表、不接电源  $U_{S1}$  和  $U_{S2}$ ，用万用表的欧姆挡 ( $\Omega$ ) 测量直流电路实验板的实际电阻值，与标称值比较，并记录于表 3-3 中。

**注意：**对于模拟（指针式）万用表，测量电阻时，转换挡位及每次测量前都必须先将表笔短接进行调零。

万用表使用完毕，将转换开关置于最高交流电压挡位或 OFF 挡位。

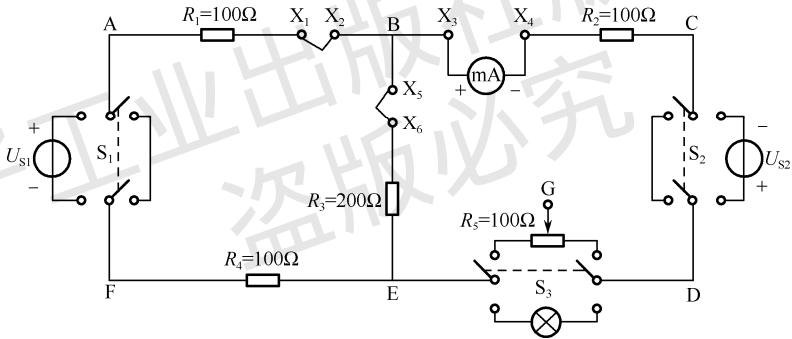


图 3-9 直流电路实验的电路图

表 3-3 电阻的测量数据

|                 |                    |                    |                    |                    |                    |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                 | $R_1$ ( $\Omega$ ) | $R_2$ ( $\Omega$ ) | $R_3$ ( $\Omega$ ) | $R_4$ ( $\Omega$ ) | $R_5$ ( $\Omega$ ) |
| 标称值             |                    |                    |                    |                    |                    |
| 测量挡位            |                    |                    |                    |                    |                    |
| 测量示值            |                    |                    |                    |                    |                    |
| 绝对误差 $\Delta R$ |                    |                    |                    |                    |                    |
| 相对误差 $\gamma\%$ |                    |                    |                    |                    |                    |

4. 电位及电位差的测量

(1) 按图 3-9 所示电路进行接线，注意电流表量程和极性的选择。将直流电路板上的开关  $S_1$ 、 $S_2$  置于短路状态， $S_3$  置于接入电阻状态（向上拨）。电路中电源采用稳压电源中的 A 组和 B 组，分别调节电源输出电压，A 组为  $U_{S1}=12V$ ，B 组为  $U_{S2}=15V$ ，并用直流电压表测

- 量，使其输出准确。
- (2) 将开关  $S_1$ 、 $S_2$  置于电源输入端，读取电流值并记录于表 3-4 中。
- (3) 在电路中选定 E 为参考点，令其电位为 0，选择直流电压表的适当量程，“-”端测试棒接参考点，“+”端测试棒接被测点，测该点的电位值，注意电位的正、负值。依次分别测量表 3-4 中的各点电位。测量电位差  $U_{AB}$ 、 $U_{BE}$  记录于表 3-4 中。
- (4) 在电路中选定 F 为参考点，重测各点电位及电位差，并记录于表 3-4 中。
- (5) 测等电位点：将电压表的测试棒接至 A 与 G 之间。旋转电位器，使直流电压表在最低挡位上的指示为零（注意量程切换），则 A 与 G 两点为等电位点。
- (6) 关闭稳压电源，将 A、G 两点用导线短接，再接通电源，注意电流表读数有无变化，并以 F 点为参考点，重测各点电位，记录于表 3-4 中。

表 3-4 电位及电位差的测量数据

| 参考点              | 电流 (mA) |    | 电位 (V)               |       |       |                      |       |       |
|------------------|---------|----|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|                  | $I$     |    | $V_A$                | $V_B$ | $V_C$ | $V_D$                | $V_E$ | $V_F$ |
| E 点              |         |    |                      |       |       |                      |       |       |
|                  | 电位差     | 测量 | $U_{AB}=$            |       |       | $U_{BE}=$            |       |       |
|                  |         | 计算 | $U_{AB}= V_A - V_B=$ |       |       | $U_{BE}= V_B - V_E=$ |       |       |
| F 点              |         |    |                      |       |       |                      |       |       |
|                  | 电位差     | 测量 | $U_{AB}=$            |       |       | $U_{BE}=$            |       |       |
|                  |         | 计算 | $U_{AB}= V_A - V_B=$ |       |       | $U_{BE}= V_B - V_E=$ |       |       |
| (A、G 等电位后短接) F 点 |         |    |                      |       |       |                      |       |       |

四、仿真实验

1. 用 Multisim 软件建立如图 3-10 所示的电路，其中 R5 是可调电阻（基础元件库 Basic/POTENTIOMETER），U2 是直流电流表（指示器件库 Indicators 的 AMMETER）。而电路图中的节点号“A”、“B”等符号，可以用双击导线来设置网络名（Preferred Net Name），并且勾选“Show net name”，节点符号即可显示出来，而参考点无法设置网络名。
2. 测量电位值。在 Multisim 菜单项中选择“仿真（Simulate）/分析（Analyses）/直流工作点分析（DC Operating Point）”项，在“输出（Output）”项中添加（Add）所有电压变量（Circuit voltage），单击“仿真/运行”（Simulate/Run）按钮，就会显示出所有节点的电位，再根据电位值来计算出各元件上的电压值。当然，也可以接上电压表（指示器件库 Indicators 中的 VOLTMETER）或者万用表（仪器仪表库的 Multimeter），单击“仿真”按钮，测量相应的电位和电压值，具体方法见 2.2 节。
3. 单击“仿真”按钮，图中的电流表就会显示出电流的大小，注意设置电流表模式为 DC。
4. 按实验内容要求完成其他的数据测量。

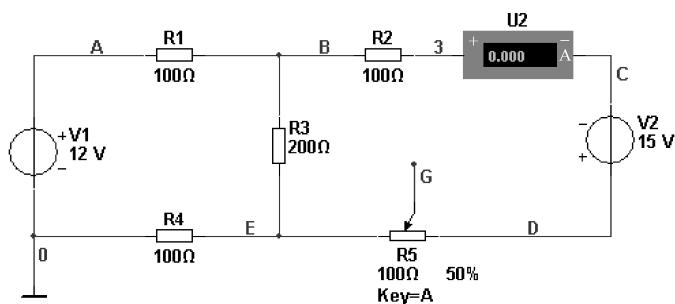


图 3-10 电位及电位差测量仿真实验图

### 五、实验注意事项

1. 所有需要测量的电压、电位值，均以电压表测量的读数为准。
2. 防止电源两端碰线，造成电源短路。

### 六、预习要求

1. 复习相关的电路知识。
2. 认真阅读第 1 章的全部内容，阅读第 7 章中的有关内容。

### 七、总结要求

1. 按要求编写实验报告。
2. 小结如何正确选择仪表的测量量程。
3. 用数据说明电位的相对性。
4. 用数据说明电位差的绝对性。

## 3.6 基尔霍夫定律的研究实验

### 一、实验目的

1. 验证基尔霍夫定律，加深对基尔霍夫定律的理解。
2. 学会用电流插头、插座测量各支路电流的方法。
3. 进一步掌握电路接线，提高分析、检查电路简单故障的能力。

### 二、实验设备

| 设备名称    | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|---------|------|----|----|
| 直流稳压电源  |      |    |    |
| 直流数字电压表 |      |    |    |
| 直流数字电流表 |      |    |    |

续表

| 设备名称    | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|---------|------|----|----|
| 电流插座    |      |    |    |
| 电流插头    |      |    |    |
| 电路实验元件箱 |      |    |    |
| 计算机、软件  |      |    |    |

三、实验内容及步骤

1. 按图 3-11 所示方式接线，其中  $X_1\sim X_6$  接 3 个电流插座，注意电流表量程和极性的选择。注意电流插座的红黑接线柱与电路中电流方向的对应关系，注意电流插头的红黑接线柱与直流电流表“+”、“-”接线柱的对应关系，要保证直流电流由直流电流表的正极端流入。
2. 用电路实验元件箱按图 3-11 所示方式接线。电源采用直流稳压电源中的 A 组和 B 组，分别调节电源输出电压，使  $U_{S1}=10V$ ， $U_{S2}=12V$ ，并用直流电压表测量，使其输出准确。电路中电阻  $R_3$  采用可调电阻，取值  $R_3=100+40\times$ 学号的最后两位 ( $\Omega$ ) = \_\_\_\_\_ ( $\Omega$ )。

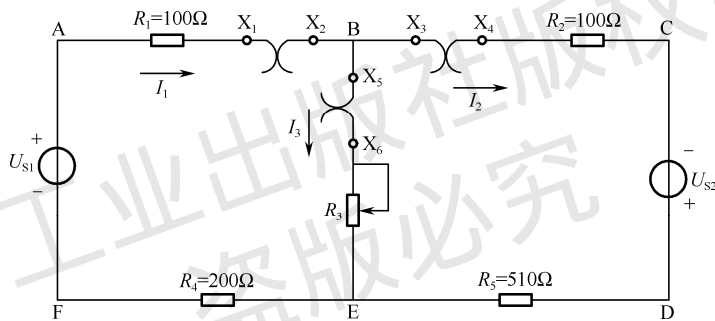


图 3-11 基尔霍夫定律实验线路

3. 测量支路电流验证基尔霍夫电流定律 (KCL)

将已接好电流表的电流插头分别插入三个电流插座中，读取各支路电流值。根据图 3-11 中的电流参考方向，测量时要识别电流插头所接电流表的“+、-”极性，确定各支路电流的正、负号，测量数据记入表 3-5 中。

表 3-5 验证基尔霍夫电流定律的测量数据

| 支路电流  | $I_1$ (mA) | $I_2$ (mA) | $I_3$ (mA) | $\Sigma I$ (代数和) (mA) |
|-------|------------|------------|------------|-----------------------|
| 理论计算值 |            |            |            |                       |
| 测量值   |            |            |            |                       |
| 相对误差  |            |            |            |                       |

4. 测量支路电压并验证基尔霍夫电压定律 (KVL)

根据图 3-11 电路，取两个验证回路：回路 1 为 ABEFA，回路 2 为 BCDEB。用直流电压表分别测量两个回路中各支路的电压，将测量结果记录于表 3-6 中。可选顺时针方向为回路绕行方向，测量过程注意数值的正与负，注意直流电压表量程的更换。

表 3-6 验证基尔霍夫电压定律的测量数据(1)

|       | $U_{AB}$<br>(V) | $U_{BE}$<br>(V) | $U_{EF}$<br>(V) | $U_{FA}$<br>(V) | 回路 $1\S U$<br>(V) | $U_{BC}$<br>(V) | $U_{CD}$<br>(V) | $U_{DE}$<br>(V) | $U_{EB}$<br>(V) | 回路 $2\S U$<br>(V) |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 理论计算值 |                 |                 |                 |                 |                   |                 |                 |                 |                 |                   |
| 测量值   |                 |                 |                 |                 |                   |                 |                 |                 |                 |                   |
| 相对误差  |                 |                 |                 |                 |                   |                 |                 |                 |                 |                   |

5. 列出求解电压  $U_{FB}$  和  $U_{DB}$  的电压方程，并根据表 3-6 测量数据计算出它们的数值；测量  $U_{FB}$  和  $U_{DB}$  电压并与求出的数值进行比较分析，数据记录于表 3-7 中。

表 3-7 验证基尔霍夫电压定律的测量数据（2）

| 待测量       | $U_{FB}$ | $U_{DB}$ |
|-----------|----------|----------|
| 电压方程      |          |          |
| 直接测量值 (V) |          |          |
| 测量计算值 (V) |          |          |
| 相对误差      |          |          |

四、仿真实验

1. 用 Multisim 软件建立如图 3-12 所示的电路。XMM1~XMM3 是 3 个万用表（仪器仪表库的 Multimeter），并设置为“电流 A”、“直流—”模式，用来测量直流电流值；U4~U10 是 7 个电压表，注意各表的极性，并设置模式为“DC”；节点号“A”、“B”等，可以用双击导线来设置网络名（Preferred Net Name），并且勾选“Show net name”，节点号即可显示出来，而参考点无法设置网络名；电阻  $R3=100+40\times$ 学号的最后两位（ $\Omega$ ）。测量仪表较多，可先添加电路元件而后再添加测量仪表。

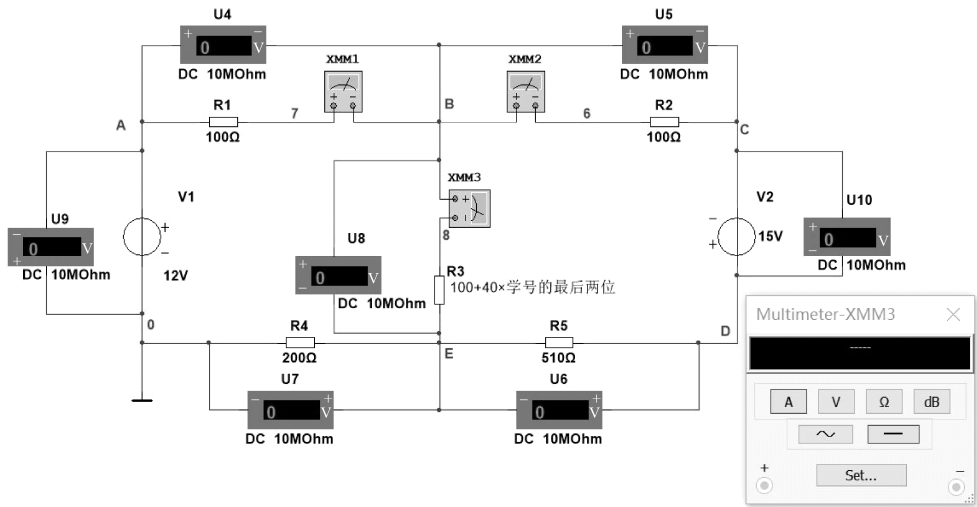


图 3-12 基尔霍夫定律的仿真研究

2. 开启仿真，双击图中的万用表就会显示出各支路电流值。如果电压表显示的数值没有

3 位有效数字，则该表数值不准确，需要更换为万用表并设置为“电压 V”、“直流-”模式。

3. 按实验内容要求完成其他数据测量。

五、预习与思考

1. 根据图 3-11 所示的电路参数，计算出待测的电流、电压值，记入表 3-5~3-7 中，以便实验测量时，可正确地选定电流表和电压表的量程。

2. 在图 3-11 的电路中，B、E 两节点的电流方程是否相同？为什么？

3. 在图 3-11 的电路中可以列几个独立电压方程？它们与绕行方向有无关系？

六、总结要求

1. 回答思考题。

2. 根据实验测量数据，选定实验电路中的任一个节点，验证基尔霍夫电流定律（KCL）的正确性。

3. 根据实验测量数据，选定实验电路中的任一个闭合回路，验证基尔霍夫电压定律（KVL）的正确性。

3.7 叠加定理的研究实验

一、实验目的

- 1. 验证叠加定理及其适用范围。
- 2. 加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。

二、实验设备

| 设备名称    | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|---------|------|----|----|
| 直流稳压电源  |      |    |    |
| 直流电压表   |      |    |    |
| 直流电流表   |      |    |    |
| 电流插座    |      |    |    |
| 电流插头    |      |    |    |
| 电路实验元件箱 |      |    |    |
| 计算机、软件  |      |    |    |

三、实验内容及步骤

1. 用电路实验元件箱按图 3-13 接线，其中  $X_1 \sim X_6$  接 3 个电流插座。注意电流插座的红黑接线柱与电路中电流方向的对应关系，注意电流插头的红黑接线插头与直流电流表

“+”、“-”接线柱的对应关系，要保证直流电流由直流电流表的正极端流入。

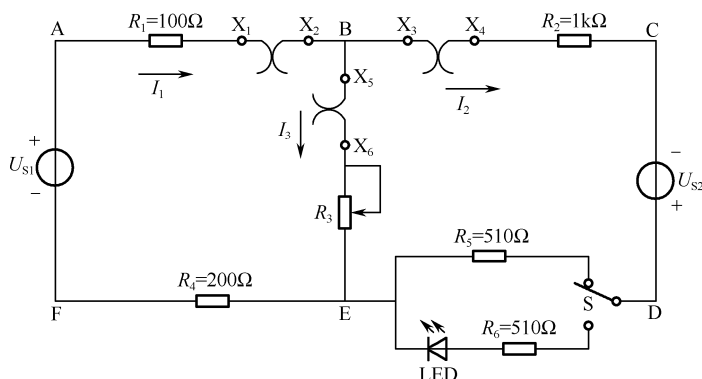


图 3-13 验证叠加定理的实验线路

2. 电源采用直流稳压电源中的 A 组和 B 组，分别调节电源输出电压，使  $U_{S1}=10\text{V}$ ， $U_{S2}=12\text{V}$ ，并用直流电压表测量，使其输出准确。非线性元件采用发光二极管 LED。

电路中电阻  $R_3$  采用可调电阻，取值  $R_3=100+40\times\text{学号的最后两位}(\Omega)=\underline{\hspace{2cm}}(\Omega)$ 。

3. 验证线性电路的叠加性（开关 S 投向电阻）

(1)  $U_{S1}$  电源独立作用时，断开  $U_{S2}$ ，用导线将 C、D 两点短路。测量支路电流、电压，并将测量结果记录于表 3-8 中。测量中注意电流和电压方向。

(2)  $U_{S2}$  电源独立作用时，断开  $U_{S1}$ ，用导线将 A、F 两点短路。再测量，并将测量结果记录于表 3-8 中。测量中注意电流和电压方向。

(3)  $U_{S1}$  和  $U_{S2}$  电源同时作用时，再测量，并将测量结果记录于表 3-8 中。

表 3-8 线性电路叠加性的测量数据

| 测量项目<br>实验内容             | $U_{S1}$<br>(V) | $U_{S2}$<br>(V) | $I_2$<br>(mA) | $I_3$<br>(mA) | $U_{BE}$<br>(V) | $U_{DE}$<br>(V) |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| $U_{S1}$ 单独作用            | 10              | 0               |               |               |                 |                 |
| $U_{S2}$ 单独作用            | 0               | 12              |               |               |                 |                 |
| 叠加代数                     |                 |                 |               |               |                 |                 |
| $U_{S1}$ 、 $U_{S2}$ 共同作用 | 10              | 12              |               |               |                 |                 |

4. 验证线性电路的齐次性（开关 S 投向电阻）

将  $U_{S1}$  的数值调至 12V、 $U_{S2}$  的数值调至 14.4V，重复第 (3) 步的操作，重新测量，并将数据记录在表 3-9 中。

表 3-9 线性电路齐次性的测量数据

| 测量项目<br>实验内容                   | $U_{S1}$<br>(V) | $U_{S2}$<br>(V) | $I_2$<br>(mA) | $I_3$<br>(mA) | $U_{BE}$<br>(V) | $U_{DE}$<br>(V) |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| $1.2U_{S1}$ 单独作用               | 12              | 0               |               |               |                 |                 |
| $1.2U_{S2}$ 单独作用               | 0               | 14.4            |               |               |                 |                 |
| $1.2U_{S1}$ 、 $1.2U_{S2}$ 共同作用 | 12              | 14.4            |               |               |                 |                 |

5. 验证非线性电路不满足叠加性（开关 S 投向发光二极管）

电路接入非线性元件（发光二极管），重复第（3）步的操作，重新测量，将数据记录于表 3-10 中。注意：发光二极管的电流不超过 10mA。

表 3-10 非线性电路的测量数据

| 测量项目<br>实验内容          | $U_{S1}$<br>(V) | $U_{S2}$<br>(V) | $I_2$<br>(mA) | $I_3$<br>(mA) | $U_{BE}$<br>(V) | $U_{DE}$<br>(V) |
|-----------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| $U_{S1}$ 单独作用         | 10              | 0               |               |               |                 |                 |
| $U_{S2}$ 单独作用         | 0               | 12              |               |               |                 |                 |
| 叠加代数和                 |                 |                 |               |               |                 |                 |
| $U_{S1}, U_{S2}$ 共同作用 | 10              | 12              |               |               |                 |                 |

四、实验注意事项

1. 用电流插头测量各支路电流时，应注意仪表的极性，及数据表格中“+、-”号的记录。
2. 注意仪表量程的及时更换。
3. 电压源单独作用时，另一个电压源置零、不作用时，不能直接将电压源短路。

五、仿真实验

1. 用 Multisim 软件建立如图 3-14 所示的电路，XMM1~XMM3 是 3 个万用表（仪器仪表库 Multimeter），并设置为“电流 A”、“直流—”模式，用来测量直流电流值；U1、U2 是 2 个电压表，注意各表的极性，并设置模式为“DC”；S1 是单刀双掷开关（基本器件库 Basic/SWITCH 系列的 SPDT），可以按空格“Space”键来切换开关位置；LED1 是红色发光二极管（二极管库 Diodes/LED 系列的 LED\_red）；节点号“A”、“B”等，可以用双击导线来设置网络名（Preferred Net Name），并且勾选“Show net name”，节点号即可显示出来，而参考点无法设置网络名；电阻  $R3=100+40\times$ 学号的最后两位（ $\Omega$ ）。测量仪表较多，可先添加电路元件而后再添加测量仪表。

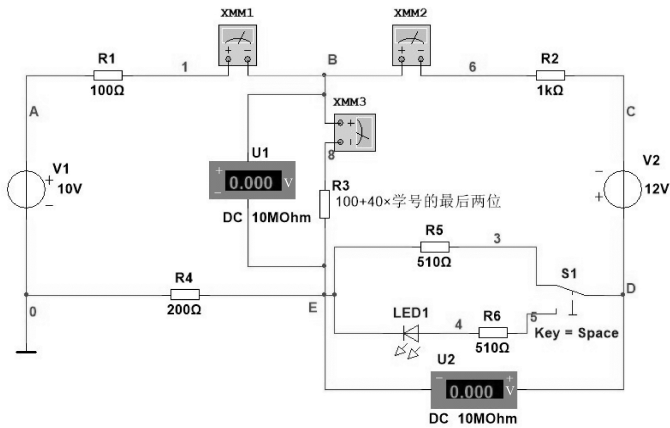


图 3-14 叠加定理的仿真研究

2. 开启仿真，双击图中的万用表就会显示出各支路电流值。如果电压表显示的数值没有 3 位有效数字，则该表数值不准确，需要更换为万用表并设置为“电压 V”、“直流-”模式。
3. 按实验内容要求完成其他数据测量。

## 六、预习要求

复习叠加定理。预算数据表格中各待测数值，并考虑电流值为负值时应如何测量。

## 七、总结报告

1. 按实验报告的格式及内容编写，数据分析中应含有理论计算值（除非线性电路）。
2. 用实测数据，验证线性电路的叠加性、齐次性、电阻元件消耗的功率不能叠加、非线性电路不满足叠加性等。

# 3.8 戴维南定理及负载获得最大功率条件的研究实验

## 一、实验目的

1. 设计实验。验证戴维南定理及负载获得最大功率的条件。
2. 掌握有源二端网络的等效参数的测定方法。

## 二、实验设备

| 设备名称    | 型号规格 | 数量 | 备注 |
|---------|------|----|----|
| 直流稳压电源  |      |    |    |
| 直流电压表   |      |    |    |
| 直流电流表   |      |    |    |
| 电阻箱     |      |    |    |
| 电路实验元件箱 |      |    |    |
| 计算机、软件  |      |    |    |

## 三、设计要求及实验内容

1. 用电路实验元件箱的参数（详见第 7 章）设计电路，含有两个直流电压源，电路不能太简单（元件数不少于 6 个），其中某个电阻  $R$  采用可调电阻，取值  $R=200+40\times$ 学号的最后两位 ( $\Omega$ )。负载电阻  $R_L$  用电阻箱。

2. 设计实验方案，编写实验步骤，根据需要拟定几个数据记录表格（分计算值和测量值）。

设计过程采用 Multisim 进行模拟仿真，计算值可采用模拟仿真得到的结果。

注意，设计的电路，其电压、电流及功率等不许超过元件的额定值。

3. 进行实物实验测量。

(1) 根据实验设计方案, 测量有源二端网络的等效电路的参数。

(2) 测量有源二端网络的外特性  $U=f(I)$ , 验证负载获得最大功率的条件。

(3) 利用测得的等效电路参数  $U_{OC}$  和  $R_{eq}$ , 构成有源二端网络的戴维南等效电路, 如图 3-15 所示, 测定戴维南等效电路的外特性。

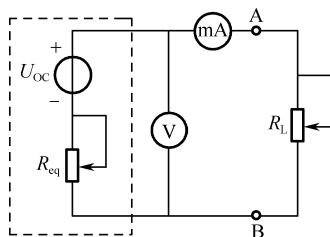


图 3-15 戴维南等效电路的实验线路

#### 四、总结报告

1. 按实验报告的格式及内容编写, 数据分析中应含有设计过程(仿真电路图、 $U_{OC}$  和  $R_{eq}$  的测算、元件功率核算、外特性曲线  $U=f(I)$  等)。

2. 用实测数据, 在坐标纸的同一坐标平面上绘出有源二端网络和其戴维南等效电路的外特性曲线  $U=f(I)$ , 并加以分析比较, 验证戴维南定理的正确性。

3. 绘出输出功率  $P$  与  $R_L$  之间的关系曲线  $P=f(R_L)$ , 证明负载获得最大功率的条件。阻抗匹配时, 电源发出的功率有多少传给负载?

4. 说明戴维南定理和诺顿定理的应用场合。