

# 第 1 章 电路的基本概念

## 考 纲 要 求

- ◇ 了解电路的组成及其作用。
- ◇ 理解电路的基本物理量（电动势、电源、电位、电压）的概念及其单位。
- ◇ 熟练掌握电动势、电流、电压的参考方向（正方向）和数值正负的意义及在电路计算时的应用。
- ◇ 理解电功和电功率的概念，掌握电功、电功率和焦耳定律的计算。
- ◇ 理解电阻的概念和电阻与温度的关系，熟练掌握电阻定律。

## 历 年 考 点

|        | 选择题      | 判断题          | 填空题          | 分析作图题 |
|--------|----------|--------------|--------------|-------|
| 2009 年 | 电阻定律的应用  |              |              |       |
| 2010 年 |          |              |              |       |
| 2011 年 |          |              |              |       |
| 2012 年 | 部分电路欧姆定律 | 部分电路<br>欧姆定律 | 电阻定律<br>焦耳定律 |       |
| 2013 年 |          |              |              |       |

## 1.1 电路、电流

## 学习目标

1. 了解电路的组成及其作用。
2. 了解电路的三种基本状态。
3. 理解电流产生的条件和电流的概念，掌握电流的计算公式。
4. 熟练掌握电流的参考方向（正方向）和数值正负号的物理意义。

## 内容提要

电路是由电源、用电器、导线和开关组成的闭合电路。其作用是实现电能的传输和转换。电路有通路、开路和短路三种状态。电流是电荷的定向移动，其值  $I = \frac{q}{t}$ ，单位为 A。要使导体中有持续电流，就必须使导体两端保持一定的电压。若电流的实际方向（正电荷运动的方向）与参考方向相同，则取正，否则取负。在电路中，电流的方向用箭头表示。

## 一、电路的基本组成

## 1. 什么是电路

电路是由各种元器件（或电工设备）按一定方式连接起来的总体，为电流的流通提供了路径。电路如图 1-1-1 所示。

## 2. 电路的作用

- (1) 实现电能的传输与转换；
- (2) 传递和处理信号。

## 3. 电路的基本组成

电路的基本组成包括以下四个部分：

- (1) 电源（供能元件）：为电路提供电能的设备和器件（如电池、发电机等）。
- (2) 负载（耗能元件）：使用（消耗）电能的设备和器件（如灯泡等用电器）。
- (3) 控制器件：控制电路工作状态的器件或设备（如开关等）。
- (4) 连接导线：将电器设备和元器件按一定方式连接起来（如各种铜、铝电缆线等）。

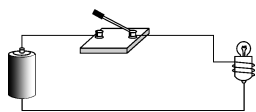


图 1-1-1

## 二、电路模型

## 1. 电路模型

电路如图 1-1-2 所示。

由理想元件构成的电路称为实际电路的电路模型，又称为实际电路的电路原理图，简称为电路图。例如，图 1-1-2 所示的手电筒电路。

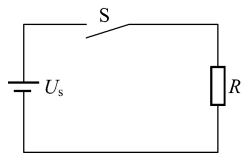


图 1-1-2

## 2. 理想元件

电路是由电特性相当复杂的元器件组成的, 为了便于使用数学方法对电路进行分析, 可将电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件(模型)来代替, 而对它的实际上的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。常见理想元件及符号如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 常用理想元件及符号

| 名称  | 符号 | 名称  | 符号 |
|-----|----|-----|----|
| 电阻  |    | 电压表 |    |
| 电池  |    | 接地  |    |
| 电灯  |    | 熔断器 |    |
| 开关  |    | 电容  |    |
| 电流表 |    | 电感  |    |

## 三、电路的工作状态

电路有三种工作状态如图 1-1-3 所示。

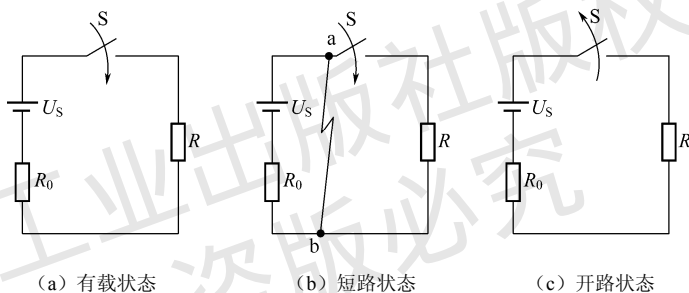


图 1-1-3

图 1-1-3 (a) 电源与负载构成闭合回路, 电源处于有载工作状态, 电路中有电流流过。

图 1-1-3 (b) 当 a、b 两点间用导线相连时, 电阻  $R$  被短路。a、b 间导线称为短路线, 短路线中的电流称为短路电流。

**注意** 短路可分为有用短路和故障短路, 故障短路往往会造成电路中电流过大, 使电路无法正常工作, 严重的会产生事故。

图 1-1-3 (c) 开关  $S$  断开或电路中某处断开, 切断的电路中没有电流流过, 此时的电路称为开路。开路又称为断路, 断开的两点间的电压称为开路电压。

**注意** 开路也分为正常开路和故障开路。如不需要电路工作时, 把电源开关打开为正常开路; 而灯丝烧断, 导线断裂产生的开路为故障开路, 它使电路不能正常工作。

## 四、电流

### 1. 电流的定义及其形成条件

电流的形成条件: 电路中的电荷沿着导体有规律运动即形成电流。显然, 要想形成持续的电流, 一方面要有能够自由移动的电荷(形成电流的内因), 另一方面也要有电场的作用(形成电流的外因)。

电流的定义：单位时间内通过导体横截面的电荷量，称为电流，其定义式为

$$I = \frac{q}{t}$$

电流的国际制单位为安培 (A)。此外，大电流常用千安 (kA) 作单位，小电流常用毫安 (mA)、微安 ( $\mu\text{A}$ ) 作单位。

$$1\text{kA} = 1 \times 10^3\text{A} \quad 1\text{mA} = 1 \times 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 1 \times 10^{-6}\text{A}$$

## 2. 电流的方向

电流不但有大小，还有方向的概念，且规定正电荷的移动方向为电流的方向。实际电路中，电流的方向往往很难判断，有时电流的方向还随时间交替变化。为此，引入参考方向的概念。

在电路分析和计算时，通常先设定一个电流的方向，称为参考方向，然后运用电路理论求解该电流  $I$ ，最后根据电流数值的正、负来判断电流的实际方向：(1) 当  $I > 0$  时表明电流的实际方向与所设定的参考方向一致（故有些教材又将参考方向称为正方向）；(2) 当  $I < 0$  时，则表明电流的实际方向与所设定的参考方向相反。

电流参考方向的表示方法主要有两种：箭头与双下标。如图 1-1-4 所示为箭头表示法，若用双下标表示，可对应表示为  $I_{mn}$ 。

## 3. 电流的种类

实际电路中的电流通常有两类：直流电流 (Direct Current, DC) 与交流电流 (Alternating Current, AC)。直流电流通常是指大小、方向均不随时间变化的电流；交流电流通常是指大小、方向随时间交替变化的电流。图 1-1-5 所示为直流电流的  $i-t$  曲线（通常称为波形）。图 1-1-6 所示为最常见的一种交流电流——正弦交流电流的波形，电工技术中，若无特殊说明，交流电流就特指正弦交流电流。



图 1-1-4

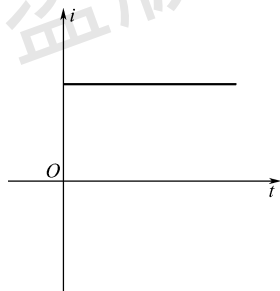


图 1-1-5

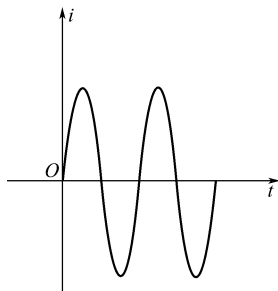


图 1-1-6

## 例题解析

**【例 1-1-1】** 若 3min 内通过导体横截面的电荷量是 1.8C，则导体中的电流是多少安培？合多少微安？多少毫安？

**要点解析** 公式  $I = \frac{q}{t}$  是定义式，不能说明  $I$  的大小与  $q$  成正比、与  $t$  成反比；但可以用此公式计算电路中电流  $I$  的大小。

解

$$I = \frac{q}{t} = \frac{1.8}{3 \times 60} = 0.01\text{A}$$

合  $10\text{mA}$ 、 $10^4\mu\text{A}$ 

## 巩固练习

## 一、单项选择题

1. 电路中电流为 0 的状态是 ( )。  
A. 开路                      B. 闭路                      C. 捷路                      D. 通路
2. 一般常见负载在电路中起的作用是 ( )。  
A. 连接和控制                      B. 保护和测量  
C. 将非电能转换成电能                      D. 将电能转换成其他形式的能
3. 电流强度为  $2\text{A}$  的电流在  $0.5\text{s}$  内通过某导体横截面的电荷量是 ( )。  
A.  $1\text{C}$                       B.  $2\text{C}$                       C.  $3\text{C}$                       D.  $4\text{C}$
4. 如图 1-1-7 所示, 通过各截面积的电流大小正确的是 ( )。  
A.  $I_{S_1} \neq I_{S_2}$                       B.  $I_{S_2}$  最小                      C.  $I_{S_4}$  最小                      D. 都相等
5. 如图 1-1-8 所示导线中的电子从左向右移动, 形成  $1\text{mA}$  的电流, 则图 1-1-8 中电流分别等于 ( )。  
A.  $I_1 = -1\text{mA}$ ,  $I_2 = -1\text{mA}$                       B.  $I_1 = -1\text{mA}$ ,  $I_2 = 1\text{mA}$   
C.  $I_1 = 1\text{mA}$ ,  $I_2 = -1\text{mA}$                       D.  $I_1 = 1\text{mA}$ ,  $I_2 = 1\text{mA}$



图 1-1-7

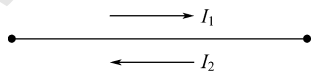


图 1-1-8

## 二、判断题

6. 在电路中, 电源和用电器的功能正好相反。 ( )
7. 在电路中, 我们标注的电流方向就是它的实际方向。 ( )
8. 金属导体中的自由电荷是电子, 所以, 电子流的方向就是导体中的电流方向。 ( )
9. 某导体上电流  $I = -4\text{A}$ , 则说明该导体上的电流的实际方向与参考方向相反。 ( )

## 1.2 电阻、电压、电位、电动势

## 学习目标

1. 理解电阻的概念和电阻与温度的关系。
2. 熟练掌握电阻定律。

- 理解电压、电位和电动势的概念。
- 熟练掌握电压、电动势的参考方向 (正方向) 和数值正负号的物理意义。

## 内容提要

电阻是表示物体对电流阻碍作用大小的物理量, 单位是 $\Omega$ 。导体的电阻由它的长短、粗细、材料的性质决定, 即  $R = \rho \frac{l}{S}$ 。温度对电阻的影响可表示为  $R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$ 。

电压  $U_{AB}$  等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所作的功。电压的参考方向可用箭头或“+”、“-”号或双下标的顺序表示。

电位  $V_A$  等于电场力将单位正电荷由 A 点移动到参考点所作的功。某点的电位即为该点与参考点间的电压。电压与电位的的关系是  $U_{AB} = V_A - V_B$ ,  $U_{AB}$  值的正、负说明了 A、B 两点电位的相对高低。

电源电动势等于非静电力把单位正电荷从电源的负极, 经电源内部移到电源正极所作的功。

电压、电位、电动势的单位都是 V。

## 一、电阻

### 1. 电阻及其成因

导体对电流的阻碍作用, 称为电阻。导体在导电的同时, 之所以对电流有阻碍作用, 主要有两个原因: (1) 原子核或共价键对价电子的束缚作用, 阻碍了价电子成为自由电子; (2) 自由电荷运动过程中与其他粒子所发生的碰撞, 阻碍了电流。

### 2. 电阻定律、常用电阻器

一段导体的电阻与长度成正比, 与横截面积成反比, 同时还与所用材料的导电性能有关, 这一规律称为电阻定律。电阻定律可用下式表示为

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中  $\rho$ ——导体的电阻率, 单位为欧·米 ( $\Omega \cdot \text{m}$ ), 它的大小主要由材料类型和温度决定。

说明: 在运用电阻定律进行计算时, 要注意单位问题。有些资料提供的电阻率单位为  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , 那么在计算时要对应地用平方毫米 ( $\text{mm}^2$ ) 作为横截面积的单位。

电路中常用电阻器的图形符号与文字符号如图 1-2-1 所示。

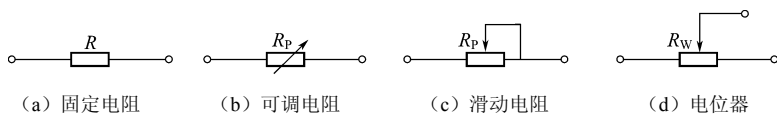


图 1-2-1

### 3. 电阻与温度的关系

电阻元件的电阻值大小一般与温度有关, 衡量电阻受温度影响大小的物理量是温度系数, 其定义为温度每升高  $1^\circ\text{C}$  时电阻值发生变化的百分数。

如果设任一电阻元件在温度  $t_1$  时的电阻值为  $R_1$ ，当温度升高到  $t_2$  时电阻值为  $R_2$ ，则该电阻在  $t_1 \sim t_2$  温度范围内的（平均）温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

如果  $R_2 > R_1$ ，则  $\alpha > 0$ ，将  $R$  称为正温度系数电阻，即电阻值随着温度的升高而增大；如果  $R_2 < R_1$ ，则  $\alpha < 0$ ，将  $R$  称为负温度系数电阻，即电阻值随着温度的升高而减小。显然  $\alpha$  的绝对值越大，表明电阻受温度的影响也越大。

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

一般，金属导体呈现正的电阻温度系数规律，而半导体则呈现负的电阻温度系数规律。

## 二、电压

### 1. 电压的物理意义及其定义

电压（用符号  $U$  表示）是一种用来描述电场力作功本领强弱的物理量。电路中 a、b 两点间的电压  $U_{ab}$  是指在电场力作用下，单位正电荷从 a 点移到 b 点电场力所作的功。电压的定义式为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q}$$

电压的国际制单位为伏特（V）。此外，大电压常用千伏（kV）作单位，小电压常用毫伏（mV）、微伏（ $\mu\text{V}$ ）作单位。

$$1 \text{ kV} = 1 \times 10^3 \text{ V} \quad 1 \text{ mV} = 1 \times 10^{-3} \text{ V} \quad 1 \mu\text{V} = 1 \times 10^{-6} \text{ V}$$

### 2. 电压的方向

电压不仅有大小，也有方向的概念，且规定正电荷在电场力作用下的移动方向为电压方向（也就是由高电位指向低电位）。

电压也存在参考方向这一重要概念，且含义及应用与电流参考方向一样。电压参考方向的表示方法主要有三种：箭头、极性及双下标。如图 1-2-2（a）、图 1-2-2（b）所示的两种表示法含义相同，若采用双下标表示，则对应表示为  $U_{mn}$ 。

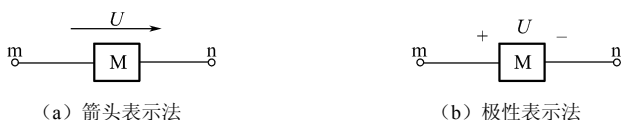


图 1-2-2

关于电流、电压参考方向的几点说明：

(1) 进行电路分析时，对于一个元件，既要对流过元件的电流选取参考方向，又要对元件两端的电压选择参考方向。如果选择电流的参考方向与电压的参考方向一致，我们就称为关联参考方向，如图 1-2-3 所示；如果选择电流的参考方向与电压的参考方向不一致，我们则称为非关联参考方向，如图 1-2-4 所示。电路分析时，一般采用关联参考方向。电路中的许多公式，也只有关联参考方向的前提下才成立，这一点需要注意。

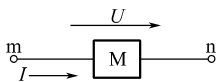


图 1-2-3

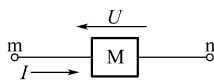


图 1-2-4

(2) 电流、电压的参考方向一经选定, 在电路的分析和计算的过程中便不能改变了。

(3) 电流、电压的参考方向在实际电路中也得到了广泛的应用。如用于直流测量的电流表与电压表, 与被测电路的连接端钮有正、负极之分, 这里的正、负极就是一种参考极性。当测量时的指针向正刻度方向偏转时, 说明实际方向与参考方向一致, 测量数据取正值; 反之, 指针向负刻度方向偏转时, 说明实际方向与参考方向相反, 测量数据取负值。

### 3. 电压的种类

与电流一样, 常见的电压分为直流电压与交流电压两种。

## 三、电位

在电工技术中, 通常使用电压概念, 而在电子线路中, 通常要用到的是电位 (用符号  $V$  表示) 的概念。

电压和电位是密切联系的, 在电路中选定一点  $O$  为电位参考点 (规定  $V_O=0$ ), 电路中另一点  $A$  到参考点  $O$  的电压  $U_{AO}$  就称为  $A$  点的电位, 记作  $V_A$ , 即

$$V_A = U_{AO} \quad (O \text{ 为电位参考点, 或称零电位点})$$

由电位的定义知, 电位实际上就是电压。不过, 电路中各点的电位值是相对的, 与参考点的选择有关, 选择不同的参考点, 电路中各点电位的大小和正、负也就不同, 即电位具有多值性; 但电路中任意两点之间的电压 (电位差) 是唯一的, 与参考点、路径的选择无关, 即电压具有单值性。

## 四、电动势

### 1. 电动势的物理意义及其定义

电动势 (用符号  $E$  表示) 是一种用来描述电源内部非电场力做功本领强弱的物理量, 其大小等于非电场力移动单位正电荷从电源负极到正极所作的功。与电压相同, 电动势的国际制单位为伏特 (V)。电动势的定义式为

$$E = \frac{W}{q}$$

说明: 电动势是电源的重要特性参数。通常认为, 电源的电动势仅由自身决定, 与所接的负载无关。

### 2. 电动势的方向

电动势的实际方向由电源的负极指向正极, 即与电源端电压的方向相反。

与电流、电压一样, 电动势同样存在参考方向的概念, 其表示方法与电压相同, 有箭头表示法、极性表示法和双下标表示法三种。如图 1-2-5 (a)、图 1-2-5 (b) 所示的两种表示法含义相同, 若采用双下标表示, 则对应表示为  $E_{mn}$ 。





图 1-2-5

### 3. 电动势的种类

电池产生大小、方向均不随时间而变的恒定直流电动势；直流发电机产生方向不变，但大小变化的脉动直流电动势；交流发电机产生正弦交流电动势。

关于电流、电压、电动势因果关系的说明：

(1) 一个电路的工作，首先是由于电源电动势的存在，使得电荷在电源两极积累而产生电压，负载在电压作用下，自由电荷移动而形成电流。

(2) 一个电路属于直流电路还是交流电路，取决于电源电动势的类型。

### 例题解析

**【例 1-2-1】** (2012 年高考题) 两根同种材料的电阻丝，长度之比为 3 : 1，横截面积之比为 5 : 2，则它们的电阻之比为\_\_\_\_\_。

**要点解析** 同种材料的电阻丝，说明材料的性质相同；利用电阻定律公式，很容易计算出它们电阻的比值。

**解**

根据电阻定律计算，即

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \frac{l_1}{S_1}}{\rho \frac{l_2}{S_2}} = \frac{\frac{3}{5}}{\frac{1}{2}} = \frac{6}{5}$$

**【例 1-2-2】** 电路如图 1-2-6 所示，若分别以 A、B、C 为参考点，试求 A、B、C 各点的电位。

**要点解析** 电路中的 A 点的电位，是指 A 点到参考点 (O) 的电压，即  $V_A = U_{AO}$ ，电位的一般求解方法在第 2 章中会重点讨论。

**注意** 电位具有多值性(随参考点的选择不同而变)；电压具有单一性(与参考点的选择无关)。

**解**

(1) 以 A 为参考点，如图 1-2-7 所示，则  $V_A = 0$ ，即

$$V_B = U_{BA} = -(-8) = 8\text{V}$$

$$V_C = U_{CA} = -4\text{V}$$

(2) 以 B 为参考点，如图 1-2-8 所示，则  $V_B = 0$ ，即

$$V_A = U_{AB} = -8\text{V}$$

$$V_C = U_{CB} = -(-2) = 2\text{V}$$

(3) 以 C 为参考点，如图 1-2-9 所示，则  $V_C = 0$ ，即

$$V_A = U_{AC} = 4V$$

$$V_B = U_{BC} = -2V$$

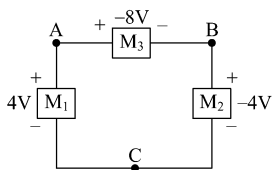


图 1-2-6

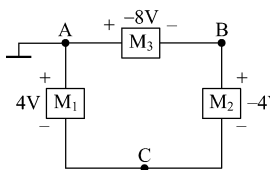


图 1-2-7

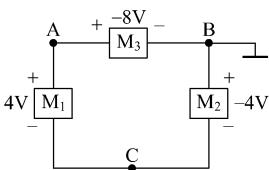


图 1-2-8

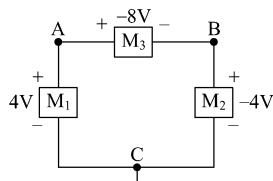


图 1-2-9

【例 1-2-3】 (2012 年高考题) 电路如图 1-2-10 所示, 已知  $U_{AB} = -18V$ , 则电阻  $R$  为 ( )  $\Omega$ 。

A.  $3\Omega$

B.  $6\Omega$

C.  $8\Omega$

D.  $10\Omega$

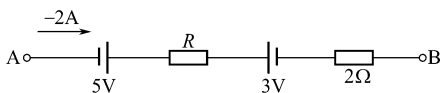


图 1-2-10

**要点解析** 本题考查的是电压、电流的参考方向与实际方向之间的关系。在解题时, 可以直接依据电压、电流的参考方向来列写方程式。

**解**

$$\because U_{AB} = -5 + (-2)R + 3 + (-2)$$

即

$$-18 = -5 + (-2)R + 3 + (-2)$$

$$\therefore R = 6\Omega$$

### 巩固练习

#### 一、单项选择题

1. 一根粗细均匀的导线, 当其两端电压为  $U$  时, 通过的电流是  $I$ , 若将此导线均匀拉长为原来的 2 倍来使用, 且使电流仍为  $I$ , 则导线两端所加的电压应为 ( )。

A.  $\frac{U}{2}$

B.  $U$

C.  $2U$

D.  $4U$

2. (2009 年高考题) 有段电阻是  $16\Omega$  的导线, 把它对折起来后作为一条导线用, 电阻值是 ( )。

A.  $32\Omega$

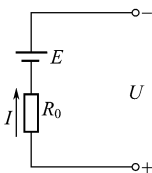
B.  $4\Omega$

C.  $64\Omega$

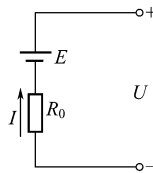
D.  $8\Omega$

3. 已知  $U = E - IR_0$ , 在图 1-2-11 中与之对应的是 ( )。

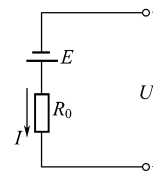
A.



B.



C.



D.

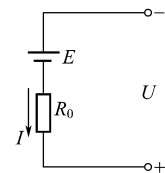


图 1-2-11

4. 如图 1-2-12 所示电路中的四个元件 1~4,  $V_m > V_n$  的是 ( )。

- A. 元件 2 和 4    B. 元件 1 和 3    C. 只有元件 4    D. 只有元件 3

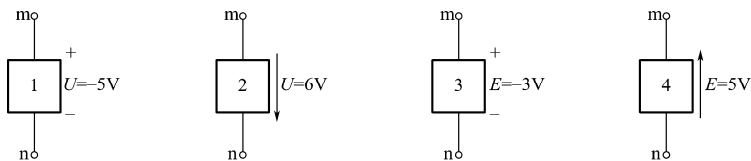


图 1-2-12

## 二、判断题

5. 由公式  $R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$  知, 温度升高会使物质的电阻值增大。 ( )
6. 灯泡的灯丝烧断了重新搭上, 使用时发光要比正常时亮一些。 ( )
7. 电路中某一点的电位具有相对性, 只有当参考点确定后, 该点的电位值才能确定。 ( )
8. 电路中两点间的电压具有相对性, 当参考点变化时, 两点间的电压也将随之发生变化。 ( )
9. 电源电动势的大小由电源本身的性质所决定, 与外电路无关。 ( )
10. 电路的端电压和电源电动势参考方向一致。 ( )

## 三、填空题

11. 某均匀导线电阻为  $R$ , 现将其中的  $\frac{1}{3}$  均匀拉长 3 倍, 则该导线电阻变为\_\_\_\_\_。
12. 有一导体,  $20^\circ\text{C}$  阻值为  $5\Omega$ , 当温度升高了  $60^\circ\text{C}$  时其阻值为  $6.2\Omega$ , 则该导体的温度系数为\_\_\_\_\_  $\Omega/^\circ\text{C}$ , 当温度升高到  $100^\circ\text{C}$  时导体电阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$ 。
13. (2012 年高考题) 两根同种材料的电阻丝, 长度之比为 3 : , 横截面积之比为 5 : 2, 则它们的电阻之比为\_\_\_\_\_。
14. 电路如图 1-2-13 所示,  $V_a =$ \_\_\_\_\_ V,  $V_b =$ \_\_\_\_\_ V。
15. 某段电路如图 1-2-14 所示, 已知  $U_{AB} = 20\text{V}$ , 则  $R$  电压降  $U =$ \_\_\_\_\_ V,  $R =$ \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

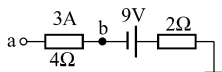


图 1-2-13

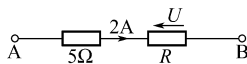


图 1-2-14

## 四、简答题

16. 用方框代表电路元件, 如图 1-2-15 所示。试判断并说明各元件上电压、电流的实际方向。

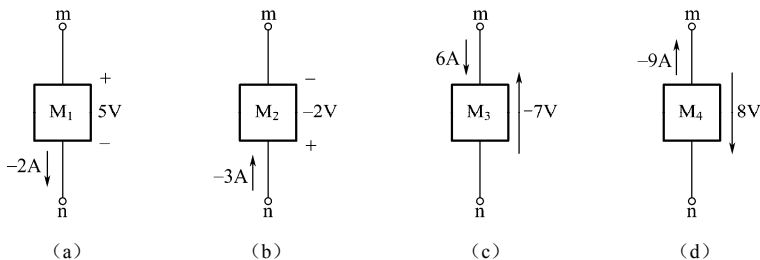


图 1-2-15

## 五、计算题

17. 利用金属随温度变化而阻值也作相应变化的这个特点, 可以做成电阻温度计。有一种金属在室温  $20^{\circ}\text{C}$  时, 测得其阻值为  $4\Omega$ 。由于温度的变化, 电阻变为  $5\Omega$ , 问此时的温度为多少 ( $20^{\circ}\text{C}$  时,  $\alpha=0.004\ 1/^{\circ}\text{C}$ ) ?

18. 如图 1-2-16 所示的电路中, 按要求求出各未知量:

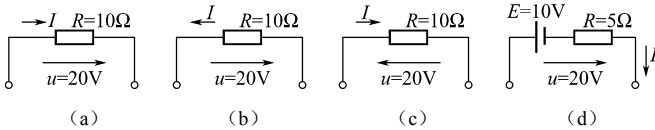


图 1-2-16

## 1.3 部分电路欧姆定律

## 学习目标

1. 掌握部分电路欧姆定律。
2. 理解电阻元件的伏安特性曲线。

## 内容提要

部分电路欧姆定律反映了部分电路中电压、电流、电阻三者之间的关系, 即  $I = \pm \frac{U}{R}$ 。在关联参考方向下, 可表示为  $I = \frac{U}{R}$ ; 在非关联参考方向下, 可表示为  $I = -\frac{U}{R}$ 。若电路为线性电路, 该公式还可以推导出  $U = \pm IR$ 。

## 一、部分电路欧姆定律

一段导体在外加电压作用下所形成的电流, 其大小与电压成正比, 方向与电压一致, 这就是欧姆定律, 可表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (\text{关联参考方向}) \quad \text{或} \quad I = -\frac{U}{R} \quad (\text{非关联参考方向})$$

关于上式中  $I$ 、 $U$ 、 $R$  的讨论:

(1) 外加电压  $U$  一定时,  $R$  越大, 则导体中形成的电流  $I$  越小, 这说明导体对电流的阻碍作用越大; 反之,  $R$  越小, 则导体中形成的电流  $I$  越大, 这说明导体的导电能力越强。

(2) 公式  $R = \frac{U}{I}$  不能解释部分电路欧姆定律, 不能错误地认为电阻与电压成正比, 与电流成反比。

一段导体的电压、电流、电阻三者之间的因果关系: 导体中因有自由电荷而具备导电能力, 在导电的同时对电流又存在一定的阻碍作用, 即电阻是形成电流的内因; 电压作用于导体, 使自由电荷有规则运动而形成电流, 即电压是形成电流的外因。

## 二、电阻元件的伏安特性曲线

将电阻两端电压与流过电阻的电流之间的对应关系用笛卡儿坐标系中的图形来表示, 这一图形就称为电阻元件的伏安特性曲线, 如图 1-3-1 所示。

如果伏安特性曲线是一条通过原点的直线, 这样的电阻元件称为线性电阻。如图 1-3-1 (a) 所示, 是两个线性电阻  $R_1$ 、 $R_2$  的伏安特性曲线, 相同电压作用下,  $R_1$  上的电流更大, 说明  $R_1$  的导电能力更强, 故两电阻的阻值关系为  $R_1 < R_2$ 。

在实际电路中, 也有许多二端元件的伏安特性曲线并不是一条通过原点的直线, 这样的元件统称为非线性电阻。如图 1-3-1 (b) 所示, 是电子电路中常用元件——二极管的伏安特性曲线, 显然, 二极管属于非线性电阻元件。

含有非线性电阻元件的电路称为非线性电路。非线性电路中, 欧姆定律不一定成立, 在图 1-3-1 (b) 中的  $AB$  段, 电流随电压迅速上升; 而在  $OA$  段, 随着电压  $U$  的增大, 电流  $I$  并没有同步增大。

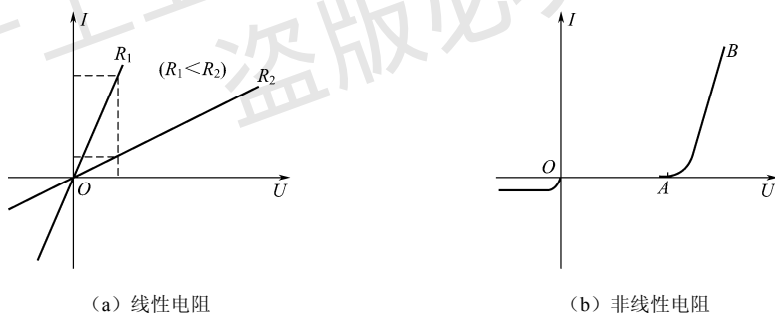


图 1-3-1

若无特别说明, 电路中所提及的电阻元件特指线性电阻元件。

### 例题解析

【例 1-3-1】如图 1-3-2 所示是两电阻的伏安特性曲线, 已知  $\alpha_1 = 30^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$ , 则  $R_1$ :  $R_2 =$  \_\_\_\_\_。

**要点解析** 求解此题要注意横坐标和纵坐标分别是表示电压, 还是电流。横、纵坐标物理量的变化, 会对求解结果产生影响。

**解**

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \tan(\alpha_1 + \alpha_2) = \tan 60^\circ = \sqrt{3}\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \tan \alpha_1 = \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}\Omega$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}}{3}} = \frac{3}{1}$$

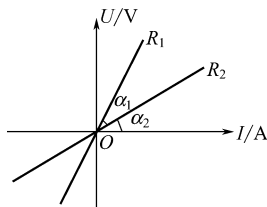


图 1-3-2

**【例 1-3-2】** 电路如图 1-3-3 所示, 开关 S 扳到位置 1 时, 电流表的读数为 2mA。

试求: (1) S 扳到位置 1 时, 电流表的指针是向正刻度方向偏转还是向负刻度方向偏转?

(2) 电阻 R;

(3) S 扳到位置 2 时, 电流表指针的偏转方向和读数。

**要点与解析** (1) 电流表上的极性是一种参考极性, 当电流由仪表正极流入、负极流出时, 说明实际方向与参考方向一致, 指针向正刻度方向偏转 (常简称正向偏转、正偏), 反之, 则向负刻度方向偏转;

(2) 对于电阻元件, 电流方向由外加电压的方向决定, 两者总是一致的;

(3) 电阻元件的阻值 R 由自身决定, 与外加电压 U 无关。

**解**

(1) S 扳到位置 1 时, 外加电压的极性与电流表的参考极性一致, 故电流表的指针向正刻度方向偏转。

(2) 由欧姆定律得

$$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{10}{2} = 5\text{k}\Omega$$

(3) S 扳到位置 2 时, 外加电压的极性与电流表的参考极性相同, 故电流表的指针向正刻度方向偏转。由欧姆定律, 可得此时的电流表读数为

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{-5}{5} = -1\text{mA}$$

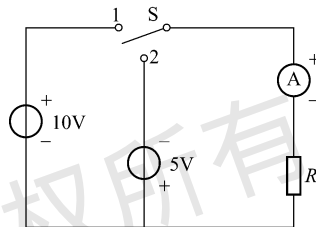


图 1-3-3

## 巩固练习

### 一、单项选择题

1. 小鸟停在高压线上不会触电致死, 是因为 ( )。

- A. 小鸟电阻非常大                      B. 小鸟两脚间电压很小  
C. 小鸟脚是绝缘的                      D. 小鸟身体中无电流通过

2. 一段电路加 10V 电压时, 电阻为 5Ω, 则加 5V 电压时, 电阻为 ( )。

- A. 2Ω                      B. 25Ω                      C. 5Ω                      D. 10Ω

3. 电阻中电流强度随其两端电压变化情况如图 1-3-4 所示, 其中 a 是 R<sub>1</sub> 的图像, b 是 R<sub>2</sub> 的图像, 则 ( )。

- A.  $R_1=R_2$       B.  $R_1=3R_2$       C.  $R_1=\frac{2}{3}R_2$       D. 无法确定

4. 如图 1-3-5 所示为三个电阻的伏安特性曲线。它们的阻值关系应为 ( )。

- A.  $R_3>R_2>R_1$       B.  $R_2>R_3>R_1$   
C.  $R_1>R_2>R_3$       D.  $R_1=R_2=R_3$

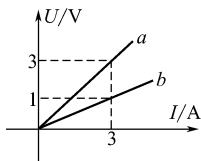


图 1-3-4

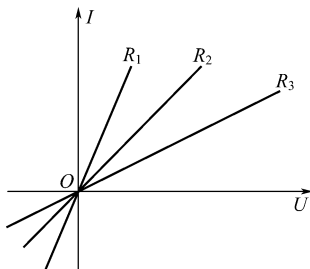
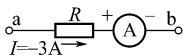


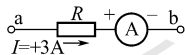
图 1-3-5

5. 根据下列图 1-3-6 所示电流表、电压表的极性，电流、电压的参考方向与实际电流、电压方向一致的是 ( )。

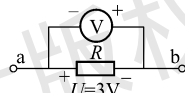
A.



B.



C.



D.

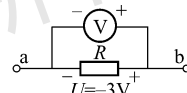


图 1-3-6

## 二、判断题

6. 欧姆定律是电路分析的基本定律之一，它适用于任何电路。 ( )  
7. 电阻两端电压为 10V 时，电阻为 10Ω；当电压升至 20V 时，电阻值将为 20Ω。 ( )  
8. 在电路中，没有电压就没有电流，有电压就一定有电流。 ( )  
9. 直流电路中，元件中无电流通过，元件的两端一定无电压。 ( )  
10. 在非关联参考方向下，电阻的伏安特性曲线为经过二、四象限的直线。 ( )  
11. (2012 年高考题) 把“220V, 40W”的灯泡接在“220V, 1000W”发电机上，灯泡可以正常工作。 ( )

## 三、填空题

12. 某电阻器加上 220V 电压时，形成 4.4A 的电流，则该电阻器的电阻  $R =$  \_\_\_\_\_ Ω；当该电阻所加电压为 10V 时，形成的电流为 \_\_\_\_\_ A；欲使流过该电阻的电流为 20mA，需外加 \_\_\_\_\_ V 的电压。

13. 如图 1-3-7 电路中，图 1-3-7 (a) 中的电流  $I =$  \_\_\_\_\_ A，图 1-3-7 (b) 中的电压  $U =$  \_\_\_\_\_ V。

14. 如图 1-3-8 所示为一只电阻的伏安特性曲线，该电阻的阻值为 \_\_\_\_\_ Ω；当它两端加电压为 10V 时，其阻值为 \_\_\_\_\_ Ω，流过的电流为 \_\_\_\_\_ A。

15. 电路如图 1-3-9 所示，当开关 S 扳到位置 1 时，电流表读数为 \_\_\_\_\_ A；当 S 扳到位置 2 时，电流表读数为 \_\_\_\_\_ A；当开关 S 扳到位置 3 时，电流表读数为 \_\_\_\_\_ A。

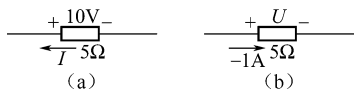


图 1-3-7

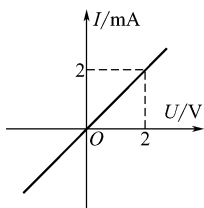


图 1-3-8

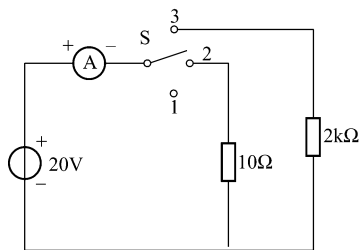


图 1-3-9

#### 四、计算题

16. 一段截面积为  $1\text{mm}^2$  的铜导线，在  $20^\circ\text{C}$  两端所加电压为  $60\text{V}$  时，流过的电流为  $2\text{A}$ 。在电压不变的情况下，当电流为  $1.5\text{A}$  时，问此时铜导线的温度达到多少度（铜温度系数  $\alpha=4\times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ ）。

17. 人体通过  $50\text{mA}$  电流时就会引起呼吸器官麻痹，如人体最小电阻为  $800\Omega$ ，求人体的安全工作电压？并说明为什么人体接触  $220\text{V}$  电线时会发生危险，而接触干电池（ $1.5\text{V}$ ）时没有感觉？

## 1.4 电功和电功率

### 学习目标

1. 理解电功和电功率概念。
2. 掌握焦耳定律和电功、电功率的计算。
3. 理解关联和非关联方向的意义，能根据功率的性质（产生还是吸收）判别电路中元件性质（电源还是负载）。
4. 了解电气设备额定值的物理意义。

### 内容提要

电流通过电路时，电场力将作功，电流作功的快慢用电功率来描述。在关联参考方向下  $W=UIt$ ， $P=UI$ 。电流通过导体发出的热量  $Q=I^2Rt$ ；对于纯电阻电路来说， $W=Q$ 。

规定：关联参考方向下  $P=UI$ ；非关联参考方向下  $P=-UI$ 。若  $P>0$ ，表示该元件吸收功率，是负载；若  $P<0$ ，表示该元件产生功率，是电源。



额定值是为保证电气设备能长期安全正常工作而规定的一组技术参数,包括额定电压、额定电流、额定功率等在铭牌上标识的数据。使用中,应尽可能使电气设备承受的值等于其额定值。

## 一、电功

电功,又称电能,是指在一定的时间内电路元件或设备吸收或发出的电能量,用符号  $W$  表示,其国际单位制为焦耳(J),电功的计算公式为

$$W = qU = UI t = Pt$$

国际制单位: J(焦)。日常生活中,电功通常用千瓦时(kW·h)来表示大小,又称为度(电),即

$$1 \text{ 度(电)} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

即功率为 1000W 的供能或耗能元件,在 1h 的时间内所发出或消耗的电能量为 1 度。

## 二、电功率

在一段时间内,电路产生或消耗的电能与时间的比值称为电功率,简称功率,用  $P$  表示。

$$P = \frac{W}{t} \text{ 或 } P = UI$$

功率的国际制单位是瓦特(W),常用的单位还有毫瓦(mW)、千瓦(kW),它们与 W 的换算关系为

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W} \quad 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

对电阻而言,有  $I = \frac{U}{R}$ , 所以,电阻上消耗的功率又可表示为

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

当一个元件或一段电路上的电流和电压参考方向一致时,称为关联方向,如图 1-4-1(a)所示,否则称为非关联方向,如图 1-4-1(b)所示。

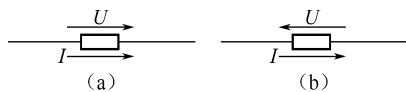


图 1-4-1

当电压、电流取关联方向时,  $P = UI$ ; 当电压、电流取非关联方向时,  $P = -UI$ 。在此规定下,若计算结果  $P > 0$ , 表示该元件(或该段电路)吸收功率(或称为消耗功率),是负载性质;若计算结果  $P < 0$ , 表示该元件(或该段电路)产生功率(或称为发出功率),是电源性质。

通常所说的功率  $P$  又称为有功功率或平均功率。

## 三、电气设备的额定值

为了保证电气设备和电路元件能够长期安全地正常工作,规定了额定电压、额定电流、额定功率等铭牌数据。

额定电压——电气设备或元器件在正常工作条件下允许施加的最大电压。

额定电流——电气设备或元器件在正常工作条件下允许通过的最大电流。

额定功率——在额定电压和额定电流下消耗的功率,即允许消耗的最大功率。

额定工作状态——电气设备或元器件在额定功率下的工作状态,又称满载状态。

轻载状态——电气设备或元器件在低于额定功率的工作状态，轻载时电气设备不能得到充分利用或根本无法正常工作。

过载（超载）状态——电气设备或元器件在高于额定功率的工作状态，过载时电气设备很容易被烧坏或造成严重事故。

轻载和过载都是不正常的工作状态，一般是不允许出现的。

## 四、焦耳定律

电流通过导体时产生的热量（焦耳热）为

$$Q = I^2 R t$$

式中  $I$  ——通过导体的直流电流或交流电流的有效值，单位为 A；

$R$  ——导体的电阻值，单位为  $\Omega$ ；

$t$  ——通过导体电流持续的时间，单位为 s；

$Q$  ——焦耳热单位为 J。

对于纯电阻电路，电能全部转化为电路的热能，这时电功等于电热；对于非纯电阻电路，电能除部分转化为热能外，还要转化为其他形式能量，这时电功不等于电热，而是大于电热。

### 例题解析

有一“220V，40W”的白炽灯，接在 220V 的供电线路上，求取用的电流。若平均每天使用 3h，电价为 0.52 元/度，求 5 月份应付多少电费。

**要点解析** 先使用公式  $W=Pt$  求得消耗的电能，再根据电价求出电费。

**解**

$$\therefore P = UI$$

$$\therefore I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} \approx 0.18\text{A}$$

5 月份消耗电能为

$$W = Pt = 0.04 \times 3 \times 31 = 3.72\text{kW}\cdot\text{h}$$

5 月份应付电费为

$$0.52 \times 3.72 = 1.93\text{元}$$

**【例 1-4-2】** 如图 1-4-2 所示电路中，五个元件代表电源或负载。电流和电压的参考方向

如图 1-4-2 所示，通过实验测得  $I_1=3\text{mA}$ 、 $I_2=-2\text{mA}$ 、 $I_3=1\text{mA}$ 、 $U_1=50\text{V}$ 、 $U_2=10\text{V}$ 、 $U_3=-40\text{V}$ 、 $U_4=35\text{V}$ 、 $U_5=75\text{V}$ 。

(1) 计算五个元件的功率，并说明是产生还是消耗功率；

(2) 验证电路功率是否平衡？

**要点解析** 注意公式  $P=\pm UI$  的适用条件及计算结果的意义。

**解**

(1) 元件 1 的电压、电流是非关联方向，则

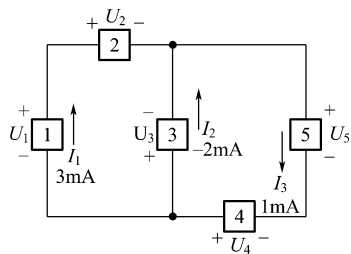


图 1-4-2

$$P_1 = -U_1 I_1 = -50 \times 3 = -150 \text{mW}$$

元件 1 产生功率，是电源。

元件 2 的电压、电流是关联方向，则

$$P_2 = U_2 I_1 = 10 \times 3 = 30 \text{mW}$$

元件 2 吸收功率，是负载。

元件 3 的电压、电流是关联方向，则

$$P_3 = U_3 I_2 = -40 \times (-2) = 80 \text{mW}$$

元件 3 吸收功率，是负载。

元件 4 的电压、电流是非关联方向，则

$$P_4 = -U_4 I_3 = -35 \times 1 = -35 \text{mW}$$

元件 4 吸收功率，是电源。

元件 5 的电压、电流是关联方向，则

$$P_5 = U_5 I_3 = 75 \times 1 = 75 \text{mW}$$

元件 5 吸收功率，是负载。

$$(2) \because P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 0$$

$\therefore$  电路功率平衡

## 巩固练习

### 一、单项选择题

- 把额定值为 100V、600W 的电热器接在 90V 电源上时，其功率为（ ）。  
A. 420W                      B. 486W                      C. 540W                      D. 600W
- 灯泡 A 为“6V, 12W”，灯泡 B 为“9V, 12W”，灯泡 C 为“12V, 12W”，它们都在各自的额定电压下工作，以下说法正确的是（ ）。  
A. 三个灯泡一样亮                      B. 三个灯泡电阻相同  
C. 三个灯泡的电流相同                      D. 灯泡 C 最亮
- 为使电炉丝消耗的功率减小到原来的 1/2，应（ ）。  
A. 使电压加倍                      B. 使电压减半  
C. 使电阻加倍                      D. 使电阻减半
- “12V, 6W”的灯泡，接入 6V 电路中，通过灯丝的实际电流是（ ）。  
A. 1A                      B. 0.5A                      C. 0.25A                      D. 0.125A
- 一根长度为  $L$ ，粗细均匀的导线，接在电动势为  $E$ ，内阻可忽略不计的电源上，导线在 1min 内产生的热量为  $Q_1$ ，现将导线对折成双股接到同一电源上，在 1min 内产生的热量为  $Q_2$ ，则（ ）。  
A.  $Q_2=2Q_1$                       B.  $Q_2=4Q_1$                       C.  $Q_2=8Q_1$                       D.  $Q_2=16Q_1$
- 220V、40W 白炽灯正常发光（ ），消耗的电能为  $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。  
A. 20h                      B. 40h                      C. 45h                      D. 25h

7. 两根材料和横截面积相等的电阻丝分别接在两个电源上，电阻丝 A 的长度为电阻丝 B 的长度的  $\frac{1}{2}$ ，要使两电阻丝消耗的功率相等，则加在两电阻丝两端的电压之比为（ ）。

- A. 1 : 1                      B. 1 :  $\sqrt{2}$                       C.  $\sqrt{2}$  : 1                      D. 2 : 1

8. (2013 年高考题) 如图 1-4-3 所示四个二端网络中，发出功率的是（ ）。

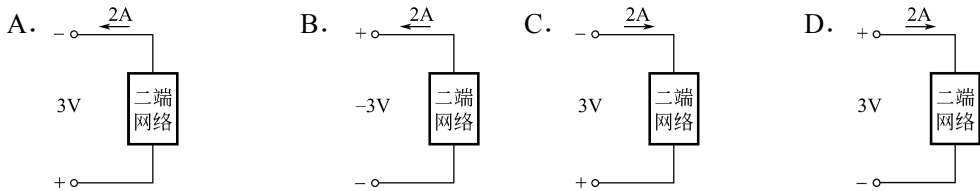


图 1-4-3

## 二、判断题

9. 在相同的时间内，功率大的用电器比功率小的用电器消耗的电能多。 ( )
10. 在纯电阻电路中，电流通过电阻所作的功与它产生的热量是相等的。 ( )
11. 电气设备的额定值不随运行条件的改变而改变。 ( )
12. 当功率的值为正值时，表明负载是将电能转换为其他形式的能。 ( )
13. 不管什么电路，功率总是平衡的。 ( )

## 三、填空题

14. 一只标有“220V, 3A”的电度表可用在最大功率为\_\_\_\_\_W 的电路中，可以接“220V, 60W”的电灯\_\_\_\_\_盏。

15. “220V, 60W”的电灯 5 盏，接在 220V 的电源上，每天使用 3h，则 10 月份消耗的电是\_\_\_\_\_度。

16. 一只“220V, 40W”的白炽灯正常发光时它的灯丝电阻是\_\_\_\_\_Ω；当它接在 110V 的电路，它的实际功率是\_\_\_\_\_W（不考虑温度对电阻的影响）。

17. 规格为“1kΩ, 4W”的金属膜电阻，使用时允许最大电压为\_\_\_\_\_V，最大电流为\_\_\_\_\_A。

18. (2012 年高考题) 220V 的照明用输电线，若导线电阻为 1Ω，通过的电流为 10A，则 1min 内可产生的热量为\_\_\_\_\_J。

## 四、计算题

19. 一个“1kW, 220V”的电炉，正常工作时电流多大？如果不考虑温度对电阻的影响，把它接在 110V 的电压上，它的功率将是多少？

20. 在图 1-4-4 所示电路中, 已知  $I_1=3\text{mA}$ ,  $I_2=1\text{mA}$ , 试确定电路元件 3 中的电流  $I_3$  和其两端电压  $U_3$  并说明它是电源还是负载? 校验整个电路的功率是否平衡?

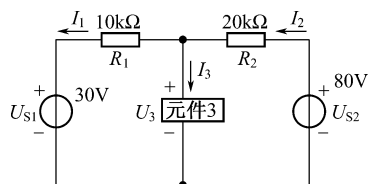


图 1-4-4

电子工业出版社版权所有  
盗版必究