

电路的组成及基本知识

1.1 电路的组成与基本物理量

【学习目标】

- 熟悉电路的组成及电路的三种工作状态。
- 掌握电路中常见物理量的定义、单位。
- 掌握电路元件中电压和电流的参考方向。

【学习指导】

电路物理量是本节的学习重点。不积跬步,无以至千里。下面就从电路的物理量和电路的基本定律开始,学习电工的基本知识和技能。

在高中物理的学习中,已了解简单直流电路中电压、电流、功率的定义、单位及基本运算方法。本节讲述的电压和电流,不仅要考虑其大小,更要关注其方向。此外,电路元件中电压、电流的大小和方向决定了该元件在电路中所起的作用。最后,可通过比较电压与电位的异同,掌握电位的概念。

在学习过程中能注意到这些问题,将有利于后续电路基本定律、电路分析方法的学习。

目前正处在一个高速发展的信息时代。人们每天都在使用各种各样的电子产品和设备,每天都在与电路“打交道”。中学的物理课本中已有一些关于电路的概念和实验,如果大家有些淡忘或者是第一次接触电路,通过一些身边的例子可帮助大家掌握基本的概念,对电路的应用有一个初步的印象,为以后的学习打下坚实的基础。

1.1.1 典型电路应用实例

1. 最简单的电路

首先,通过一个简单的例子对电路产生一些感性的认识,如图 1-1-1 所示。家里的一个简单的电灯电路包括了灯泡、开关和电源,这三者组成了最简单的电路,对这个电路操

作的效果就是电灯的亮和灭。人们每天开灯、关灯的动作就是在操作一个最简单的电路。由此可见,电路在生活中无处不在。

2. 家庭电路

在生活 and 生产的很多方面都用到单相交流电,家庭电路就是其中的一个应用。家庭电路由配电和用电两部分组成,如图 1-1-2 所示。上面谈到的最简单电路,实际就是家庭电路中的一个分支。家庭电路的用电部分由若干这样的用电分支构成,而这些用电分支的电分配取决于进户线之后的配电部分。所以,人们看到的家庭电路是由进户线、导线、开关、配电箱、插座、用电器等构成的。

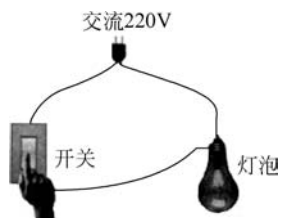


图 1-1-1 最简单的电路

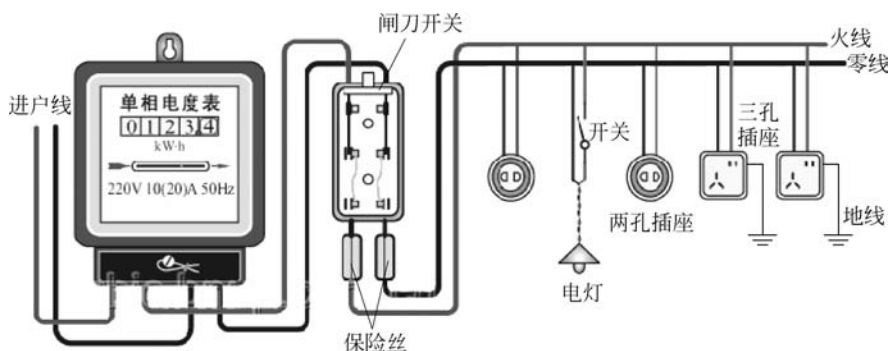


图 1-1-2 家庭电路

3. 电力系统供电电路

电力系统供电电路是三相电路。整个供电系统的应用电路如图 1-1-3 所示,供电系统由发电厂、电能输送线路、变电电站、用电单位等构成。发电厂中的发电机发出的电能通过变压器、输电线等送到用电单位,并通过负载将电能转换成其他形式的能量(如热能、机械能)。

通过前面的电路实例,大家一定能对电路有一个比较清晰的认识,总结如下。

- (1) 一个最简单的电路应该包括电源、用电器、导线和开关。
- (2) 电路完成特定的功能,主要通过电能的传输、分配与转换。

1.1.2 电路的概念

1. 电路的组成

根据以上认识,给出电路的定义:实际电路由输电导线、电气设备、用电元件组成,为完成某种预期的目的而设计、连接和安装形成的电流通路,一般由电源(供应电能的设备,把其他形式的能量转换为电能,如发电机)、负载(使用电能的设备,把电能转换为其他形式的能量,如电动机)、控制装置(根据负载的需要,起分配电能和控制电路的作用,如控制开关)和导线(连接各组成部分,提供电流通路)组成。



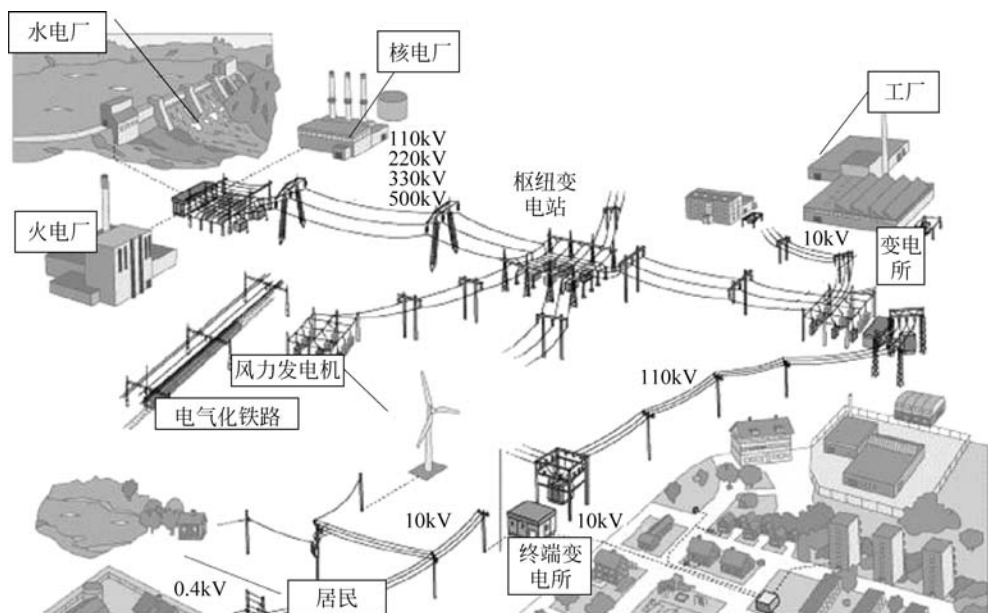


图 1-1-3 电力系统供电电路

2. 电路图

用规定的元件符号表示实际元件的互连图,称为电路图。图 1-1-4 是手电筒电路对应的电路图。

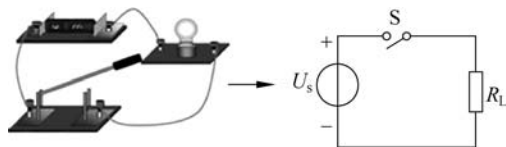


图 1-1-4 最简单的电路图

3. 电路的工作状态

大家都知道,操作图 1-1-1 中所示的开关能实现电灯的亮和灭。亮,意味着电路中有电流经过;灭,意味着电路中没有电流。要在一段电路中产生电流,必须有电荷的定向移动。电压能使电荷发生定向移动,电源则是提供电压的装置。

根据电路中电流的有无,电路一般具备三种工作状态:通路、开路和短路,如图 1-1-5 所示。通路是有完整电流流通过径的电路,如图 1-1-5(a)所示。开路是没有电流的电路,如图 1-1-5(b)所示。若电路中某一部分的两端被电阻值接近于零的导体连接在一起,电路则呈短路状态,如图 1-1-5(c)所示。

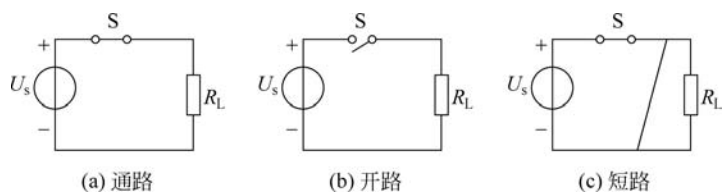


图 1-1-5 电路的三种工作状态

1.1.3 电路中的物理量

1. 电流



电路中的电流

前面提到电灯的亮和灭意味着电路中是否有电流。电流的形成取决于带电粒子有规则的定向运动。带电粒子开始流动时,立刻在导体中产生影响,如同撞球间力量的传送,如图 1-1-6 所示。电流实际上是带电粒子在改变其运行轨道时,将自身所带的电动能传递给另一个带电粒子,每个带电粒子重复这个动作,并使该过程在导体中持续。

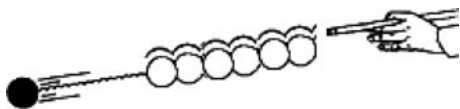


图 1-1-6 撞球间力量的传送

(1) 电流强度

表征电流强弱的物理量就是电流强度,用 i 表示,代表单位时间内通过导体横截面的电荷量,即 $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$,用微分的形式表示为 $i = \frac{dq}{dt}$ 。式中, dq 为 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

在直流电路中,单位时间内通过导体横截面的电荷恒定不变,有 $I = \frac{Q}{t}$ 。

(2) 电流的单位

电流强度的单位是安培(A),也可用千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等表示。电流的单位是以法国物理学家安德烈·玛丽·安培(图 1-1-7)的名字命名的,他于 1820 年提出了电磁理论,是第一个构建仪器来测量电荷流动的人。为了纪念他,人们将“安培”作为电流的单位。



图 1-1-7 物理学家安培

(3) 电流的方向

习惯上将正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。在分析电路时,复杂电路中某一段电路电流的实际方向有时很难确定,为此,引入参考方向这一概念。

电流的参考方向可以任意选定,如图 1-1-8 所示。无下标 I 的箭头指向即为电流的参考方向;含双下标的 I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 指向 b。

当选定的电流参考方向与实际方向一致时,电流为正值($I > 0$);当选定的电流参考方向与实际方向不一致时,电流为负值($I < 0$),如图 1-1-9 所示。

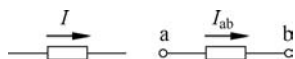


图 1-1-8 电流的参考方向

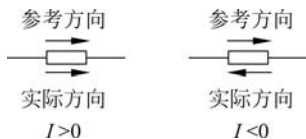


图 1-1-9 电流参考方向 and 实际方向之间的关系

2. 电压与电位

电压和电位的本质是相同的。通过图 1-1-10, 大家可以形象地了解电压和电位。

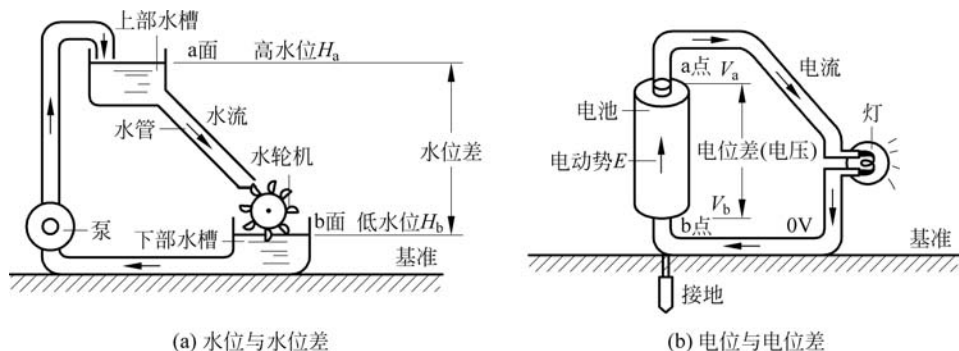


图 1-1-10 电压与电位的本质

(1) 电位

水在重力作用下从高处向低处流动, 水位越高, 水的位能越高, 水流动的压力越大。电的情形相同。相对于某一基准的电位能是电位, 即在电路中任选一点作为参考点(零参考点), 某点 a 到参考点的电位能就叫作 a 点的电位, 用 V_a 表示。电位的单位是伏(V)。

(2) 电压

对于电压, 可以这样认为, 设电池正极电位为 V_a , 负极电位为 V_b , 在电位差 $V_a - V_b$ 的作用下, 能够使电流在电路中流通。这种电位的差叫作“电压”或“电位差”, 单位和电位的单位相同, 都是伏(V), 当然, 也有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。有时, 也可以这样定义电压: 电场力将单位正电荷从电路中某点移至另一点所做功的大小, 用 u 表示, $u = \frac{d\omega}{dq}$ 。式中, dq 为由 a 点移到 b 点的电荷量, $d\omega$ 为电荷移动过程中获得或失去的能量。在直流电路中, 单位时间内电场力将单位正电荷从电路中某点移至另一点所做的功恒定不变, 有 $U = \frac{W}{Q}$ 。图 1-1-11 所示为单位电荷在电场作用下的做功过程。

电压的单位是以意大利物理学家亚历山得罗·伏特(图 1-1-12)的名字命名的。他研

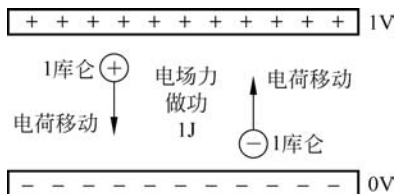


图 1-1-11 电场的做功能力



图 1-1-12 物理学家伏特



电路中的
电位与电压

究了异金属之间的化学反应,于1880年发明了第一节电池。为了纪念他,人们将“伏特”作为电压的单位。

(3) 电压的方向

习惯上规定,若正电荷从a点移到b点,其电势能减少,电场力做正功,电压的实际方向就从a点指向b点。电压的参考方向和电流的参考方向一样,也可以任意选定,如图1-1-13所示。无下标 U 的箭头指向为电压的参考方向;含双下标的 U_{ab} 表示电压的参考方向由a指向b;无下标的参考方向也可表示为由“+”指向“-”。

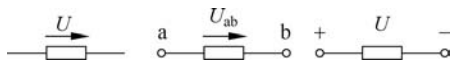


图 1-1-13 电压的参考方向

当选定的电压参考方向与实际方向一致时,电压为正值($U>0$);当选定的电压参考方向与实际方向不一致时,电压为负值($U<0$),如图1-1-14所示。

(4) 关于参考方向的几个说明

- ① 电流、电压的实际方向是客观存在的,而参考方向是人为选定的。
- ② 当电流、电压的参考方向与实际方向一致时,电压值、电流值取正号,反之取负号。
- ③ 分析计算每一个电流值、电压值时,要先选定其各自的参考方向,否则没有意义。

(5) 关联与非关联参考方向

如果指定流过元件的电流参考方向是从电压的“+”极指向“-”极,即两者采用一致的参考方向,称为关联参考方向;若两者采用的参考方向不一致,称为非关联参考方向,如图1-1-15所示。

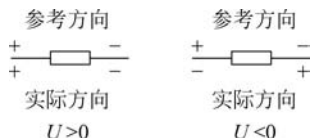


图 1-1-14 电压参考方向和实际方向之间的关系



(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向

图 1-1-15 关联与非关联参考方向

(6) 电压与电位的关系

从前面的分析中可以看到,电压与电位的本质是相同的,但存在一定的区别。电位是相对的,其大小与参考点的选择有关;电压是不变的,其大小与参考点的选择无关。参考点的选择是任意的,但一个电路只能选择一个参考点。同时,对于前面提到的电压与电位的关系,可以用一个式子来表示,即 $U_{ab}=V_a-V_b$ 。当a点电位高于b点电位时, $U_{ab}>0$;当a点电位低于b点电位时, $U_{ab}<0$ 。

(7) 实际电路中的电位

在分析电路时,通常需要选择零参考电位点。一般在电路图中,有“ \perp ”符号的就是零参考电位点。在电子电路中,一般把电源、信号输入和输出的公共端接在一起作为参考点。

工程上常选大地作为参考点。相对于电路中的其他点而言,接地点电压为 $0V$ 。在一个电路中,所有接地点具有相同的零电位特性,因此是公共点。接地点与接地点之间可以

看成是由导体连在一起的零电阻电流通路。图 1-1-16 举例说明了一个有接地连接的简单电路。合上开关 S, 电流从 10V 电源的正极流出, 经过导线流到电阻 R_L , 通过电阻, 最后通过公共的接地连接回到电源负极。

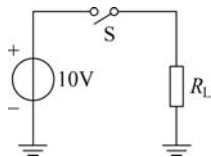


图 1-1-16 有接地连接的简单电路

实际生活中经常会碰到判断接地极的情况, 比如插头、插座的接地极, 如图 1-1-17 所示。在检修电子线路时, 常常需要测量电路中各点对“地”的电位, 以此判断电路的工作是否正常。

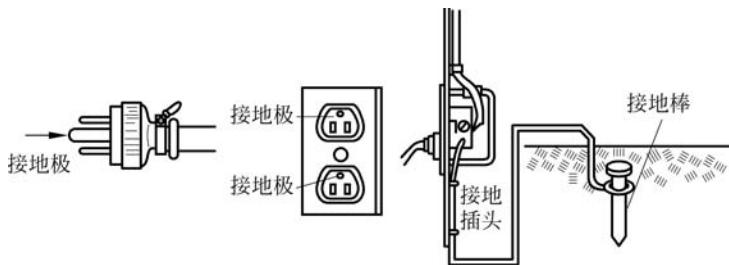


图 1-1-17 插头中的接地极



电工故事：电位与电压

泰山位于泰安市境内, 泰山主峰海拔 1545m, 泰安市海拔 153m, 二者的高度差为 1392m, 如图 1-1-18 所示。

电路中的参考点、电位、电压, 类似于高度测量中的海平面、海拔和高度差, 它们之间各个量之间的对照关系如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 对照关系

海平面	参考点
海拔	电位
高度差	电压

在图 1-1-19 中, $R_1 = 400\Omega$, $R_2 = 600\Omega$ 。

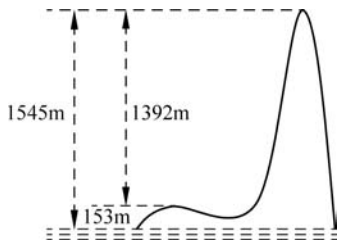


图 1-1-18 海拔与高度差的关系

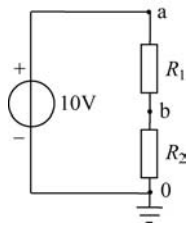


图 1-1-19 电位与电压的关系

如果以 0 点为参考点(零电位点), 则 a、b 两点的电位分别为 $V_a = 10V$, $V_b = 6V$; ab 两点之间的电压为 $U_{ab} = V_a - V_b = 4V$ 。

如果以 b 点为参考点, 则 a 点和 b 点的电位分别为 $V_a = 4V$, $V_b = 0V$; ab 两点之间的电压为 $U_{ab} = V_a - V_b = 4V$ 。

由上面的比较可以看出, 电路中的电位随着参考点的改变而改变; 但不论参考点如何变化, 电路中两点之间的电压保持恒定。



电路中的
电能和电
功率

3. 电能

能量以各种形式存在,包括电能、热能、光能、机械能、化学能以及声能。能量既不能被创造,也不能被消灭,只能从一种形式转化为另一种形式。例如,一盏白炽灯可以把电能转化为有用的光能,如图 1-1-20 所示。然而,并不是所有的电能都可以转化为光能,大约 95% 的电能会转化成为热能。

(1) 电能的定义

电在某一时间段内完成的做功量叫作电能。

(2) 电能的单位

电能的单位是焦耳(J),另一种是千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$),即度。千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)较焦耳(J)更实用。例如,1 个 100W 的灯泡照明 10 小时,使用了 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 的电能。它们之间的关系为 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1\text{度} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

电能的单位是以英国物理学家詹姆斯·普雷斯科特·焦耳(图 1-1-21)的名字命名的,他提出了“电流通过导体产生的热量总量与导体的电阻和通电时间成正比”的物理关系。为了纪念他,人们用“焦耳”作为电能的单位。



图 1-1-20 电能转化成光能



图 1-1-21 物理学家焦耳

4. 电功率

(1) 电功率的定义

电功率是单位时间内元件吸收或发出的电能,用 p 表示, $p = \frac{d\omega}{dt}$ 。式中, $d\omega$ 为 dt 时间内元件转换的电能。在直流电路中,功率 $P = \frac{W}{t}$ 。注意,斜体的 W 用来表示电能,而正体的 W 表示功率的单位瓦特。在知道电压值和电流值的前提下,功率还可以表示为 $P = UI$ 。

(2) 电功率的单位

功率的单位是瓦特(W)。在电子学领域中,小功率是很常见的,如毫瓦(mW)、微瓦(μW);在电力工业领域,大功率单位千瓦(kW)、兆瓦(MW)更常见。电动机的额定功率通常用马力(hp)来表示,在米制单位制中, $1\text{hp} = 735\text{W}$ 。

功率的单位是以苏格兰发明家詹姆斯·瓦特(图 1-1-22)的名字命名的。他因对蒸汽机进行改进,从而使蒸汽机可以在工业中得到应用而闻名于世。为了纪念他,人们将“瓦

特”作为功率的单位。

(3) 电路吸收或发出功率的判断

当电压和电流为关联参考方向时,如图 1-1-23(a)所示,取 $p = ui$; 当电压和电流为非关联参考方向时,如图 1-1-23(b)所示,取 $p = -ui$ 。

若计算结果 $p > 0$,说明元件吸收电能,是耗能元件; 若计算结果 $p < 0$,则元件发出电能,为供能元件。



图 1-1-22 发明家瓦特

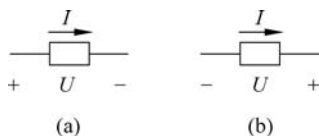


图 1-1-23 元件吸收或发出能量

【例 1-1-1】 求图 1-1-24 中所示各元件的功率,并判断元件是耗能元件还是供能元件。

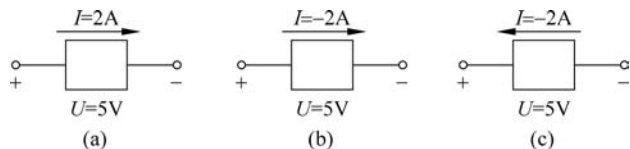


图 1-1-24 例 1-1-1 图

【解】 通过本例,学习确定电路元件性质的方法。

① 图 1-1-24(a)中,元件上电压和电流的参考方向为关联参考方向,因此

$$P = UI = 5\text{V} \times 2\text{A} = 10(\text{W}) > 0$$

该元件吸收 10W 功率,为耗能元件。

② 图 1-1-24(b)中,元件上电压和电流的参考方向为关联参考方向,因此

$$P = UI = 5\text{V} \times (-2)\text{A} = -10(\text{W}) < 0$$

该元件产生 10W 功率,为供能元件。

③ 图 1-1-24(c)中,电压和电流的参考方向为非关联参考方向,因此

$$P = -UI = -5\text{V} \times (-2)\text{A} = 10(\text{W}) > 0$$

该元件吸收 10W 功率,为耗能元件。

(4) 额定功率

额定功率是经常听到的用电器的一个参数。额定功率是用电设备长期运行不致过热损坏的最大功率。额定功率与电阻器的电阻值无关,主要由电阻器的物理结构、尺寸和形状决定。下面以电器设备为例,详细说明额定功率。

在电路中使用电阻器时,电阻器的额定功率应大于它要处理的最大功率。例如,一个金属膜电阻器要在电路中消耗 0.75W,则额定功率应该比 0.75W 高,如 1W。

如果电阻器消耗的功率大于额定功率,电阻器会发热,导致电阻器被烧坏,或电阻值发生很大的变化。

由于过热而被损坏的电阻器,可以通过烧焦的表面观察到。如果没有可见的迹象,可以使用万用表欧姆挡检测怀疑被损坏的电阻器,看它是否开路或电阻值是否增大。测量时,应断开电阻器与电路的连接。

功率是单位时间内元件吸收或发出的电能。元件消耗或吸收的电能可表示为

$$W = Pt$$



思考与练习

1-1-1 举一个生活中的电路实例,分析它由哪几部分组成,各部分的作用是什么。

1-1-2 绘出一个简单实际电路的模型。

1-1-3 判断以下说法是否正确。

(1) 电流的参考方向,可能是电流的实际方向,也可能与实际方向相反。

(2) 判断一个元件是负载还是电源,应根据电压实际极性和电流的实际方向来确定。当电压实际极性和电流的实际方向一致时,该元件是负载,消耗电能。

(3) 电路中某一点的电位具有相对性,只有参考点确定后,该点的电位值才能确定。

(4) 电路中两点间的电压具有相对性,当参考点发生变化时,两点间的电压将随之变化。

(5) 当电路中的参考点改变时,某两点间的电压将随之变化。

1.2 认识电阻元件

【学习目标】

- 了解电阻的种类和作用,熟悉电阻的外在标识与阻值之间的关系。
- 了解电阻元件的伏安特性,掌握欧姆定律及应用。
- 掌握电阻的串并联特性,可以进行电阻串并联的等效计算。
- 可以进行电阻阻值的测量和电阻元件的选择。

【学习指导】

电阻是最常见的电路元件,但是你会选择电阻吗? 本节的学习从如何选择电阻元件入手。选择电阻元件关系到两个参数:一是阻值;二是额定功率值。

这两个参数可以通过以下方法获取。

(1) 观察法:通过观察电阻表面的标注,知道该电阻的阻值大小和额定功率值。

(2) 计算法:运用欧姆定律、电阻串并联关系计算某特定电路中电阻的阻值大小。

(3) 测量法:使用指针式万用表测量某一未知电阻的阻值。

如果能轻松地运用各种方法获取电阻阻值和额定功率值,说明你已经完全掌握了本节的知识要点。



电阻元件