

项目一

直流电路



学习目标

1. 理解电路的组成和作用；
2. 熟悉电路基本物理量的含义；
3. 会利用支路电流法,电阻串、并联等电路分析和计算方法解决较为复杂电路问题。

项目描述

本项目是在中学物理的基础上,从工程技术的角度出发,以直流电路为分析研究对象,着重讨论电路的基本概念、基本物理量、基本定律以及电路的基本分析计算方法。

课题



电路的基本概念

一、电路的组成

电路,简单地讲就是电流流通的路径。它是由若干电气设备或元件按照一定方式用导线连接而成的,通常由电源、负载和中间环节三个部分组成。

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置,如发电机、干电池、蓄电池等将各种非电能(如热能、化学能、机械能、水能、原子能等)转换成电能。

负载是消耗电能的设备,它将电能转换成非电形态的能量并消耗掉。例如,电动机、照明灯、电炉等。它们可将电能转换成机械能、光能和热能。

中间环节包括变压器、连接导线、控制开关和保护装置等,主要起控制、保护和测量等作用。

日常生活中使用的手电筒电路如图 1-1(a)所示,干电池是电源,灯泡是负载,筒体(包括开关)是中间环节。电路理论中,通常用电路原理图来表示实际电路。在电路原理图中,各





种电器元件都不需要画出原有的形状,而是采用统一规定的图形符号来表示。图 1-1(b)就是手电筒的电路原理图。

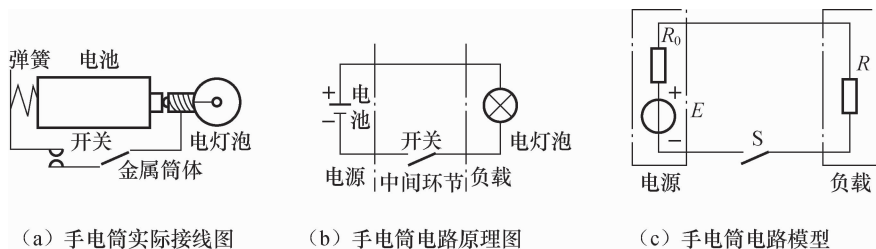


图 1-1 手电筒电路

二、电路模型

生活中接触到实际电路是由实际电路元件组成的。每一个实际电路元件中都包含了多种复杂的电磁关系,给我们的分析和计算带来了一定的困难。为了便于对电路进行分析计算,将电路中实际元件理想化(或称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它们近似地看作理想电路元件。用国家规定的标准电器元件符号所组成的电路图称为电路模型,简称电路。电路模型是电路分析研究的对象。

图 1-1(c)为手电筒的电路模型,图中电灯泡是电阻元件,其参数为电阻 R ;干电池是电源元件,其参数为电动势 E 和内电阻 R_0 ;筒体是连接干电池与电灯泡的中间环节(包括开关),其电阻可忽略不计,认为是一种无电阻的理想导体。

常见的理想电路元件符号如图 1-2 所示。

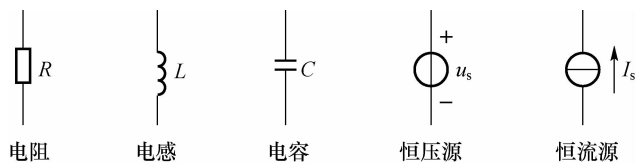


图 1-2 理想电路元件符号

三、电路的作用

电路种类繁多,从基本功能上分为两类。

一类是电力电路,其主要作用是电能的传输和转换。如把发电厂发电机组产生的电能,通过变压器、输电线路送到工厂和千家万户的电力系统。

另一类是信号电路,其主要作用是传递和处理电信号。如各种物理量的测量电路,放大电路,声音、图像或文字处理电路等。



课题 电路的基本物理量

一、电流

电流是由带电粒子有规则的定向运动形成的,其大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流,用大写字母 I 表示;大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流,用小写字母 i 表示。

在国际单位制中,电流的单位是安培(简称安),用大写字母 A 表示。常用单位还有毫安(mA)、微安(μA),它们之间的换算关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

电流不但有大小,而且还有方向。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在复杂电路的分析中,一段电路电流的实际方向很难预先判断出来,在电路中就无法标明电流的实际方向。为了便于分析和计算电路,人为地引入了电流参考方向的概念。所谓参考方向就是任意选定一个方向作为电流的方向,这个方向就称为电流的参考方向,有时又称为电流的正方向。电流的参考方向一般用实线箭头表示。

图 1-3 所示为某电路的一部分,其中长方框表示一个二端元件,流过这个元件的电流为 i ,其实际方向可能是从 A 到 B ,也可能是从 B 到 A 。在该图中用实线箭头表示电流参考方向,它不一定与电流的实际方向一致。如果电流 i 的实际方向是由 A 到 B ,如图 1-3(a)中虚线箭头所示,与参考方向一致,则电流为正值,即 $i > 0$;在图 1-3(b)中,电流的参考方向由 B 到 A ,电流的实际方向是由 A 到 B ,两者不一致,故电流为负值,即 $i < 0$ 。这样,在指定的电流参考方向的情况下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

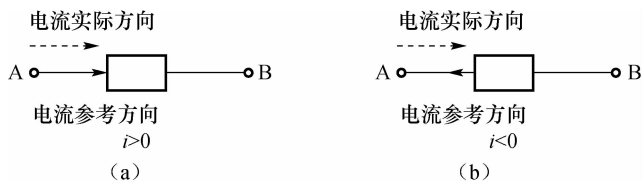


图 1-3 电流的参考方向与实际方向的关系

今后在分析与计算电路时,要在电路图中标出电流的参考方向。这样,最后计算出来的电流正负值才有意义。



二、电压与电动势

电荷在电路中运动,必然受到电场力的作用,也就是说,电场力对电荷做了功。为了衡量其做功的能力,引入“电压”这一物理量,并定义:电路中 a, b 两点间的电压,在数值上等于电场力把单位正电荷从电路中 a 点移动到 b 点所做的功,用 U_{ab} 表示,即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端,即指向电位降低的方向。

与电流一样,在较为复杂的电路中,往往无法事先确定电压的实际方向(或极性)。因此,在电路图上所标出的是电压的参考方向。若电压的参考方向与实际方向一致,则其值为正;反之为负。这样,在指定电压参考方向的情况下,电压值的正和负就可以反映出电压的实际方向,如图 1-4 所示。

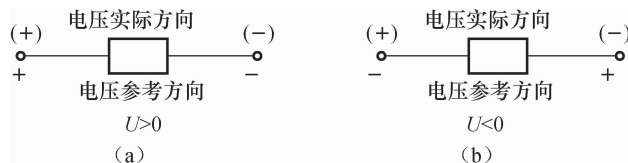


图 1-4 电压的参考方向与实际方向的关系

电动势是用来表示电源力移动单位正电荷做功本领的物理量。在图 1-5 中,电源的电动势 E_{ba} ,在数值上等于电源力把正电荷 q 从负极 b(低电位)经由电源内部移到电源的正极 a(高电位)所做的功 W_{ba} ,即

$$E_{ba} = \frac{W_{ba}}{q} \quad (1-3)$$

由式(1-2)和式(1-3)可知

$$U_{ab} = -E_{ba} \quad (1-4)$$

电压也称为两点间的电位差,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

在国际单位制中,电压和电动势的单位都是伏特(焦耳/库仑),简称伏,用大写字母 V 表示。另外还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV),它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$$

电源电动势的实际方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向。

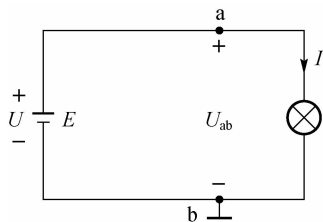


图 1-5 电动势 E 、电压 U 和电流 I 的关系



对于同一个元件或同一段电路上的电压和电流的参考方向的假定,原则上是任意的,但为了方便起见,习惯上常将电压和电流的参考方向设定为一致,称为关联参考方向。如图 1-6 所示。

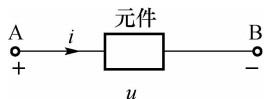


图 1-6 u 与 i 参考方向相关联系

三、电位

为了分析电路方便,通常假定电路中某一点的电位为零,我们把这一点称为参考点。定义:电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功称为该点的电位,用大写字母表示。电路中某点的电位即为该点与参考点之间的电压。

为了确定电路中各点的电位,必须在电路中选择—个参考点。分析如下:

(1) 参考点的电位为零。在图 1-7(a)中, $V_O=0$ 。

(2) 其他各点的电位为该点与参考点之间的电位差。如图 1-7(a)中 A、B 两点的电位分别为

$$V_A = V_A - V_O = U_{AO} = 1\text{V}$$

$$V_B = V_B - V_O = U_{BO} = -2\text{V}$$

(3) 参考点选取不同,电路中各点的电位也不同,但任意两点间的电位差(电压)不变。如选取 B 点为参考点,如图 1-7(b) 所示,则 $V_B=0$

$$V_A = V_A - V_B = U_{AB} = 3\text{V}$$

但 A、B 两点间的电压不变,仍然为 $U_{AB}=3\text{V}$ 。

由以上分析可知:电压是绝对的,电位是相对的。

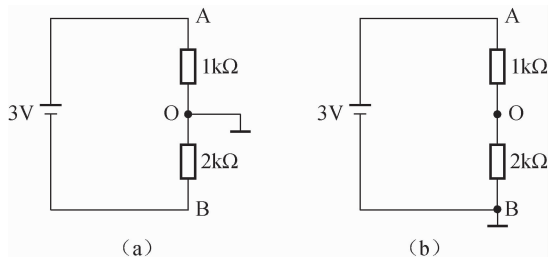


图 1-7 电位的计算示例

(4) 在研究同一电路系统时,只能选取—个电位参考点。电位概念的引入给电路分析带来了方便,因此,在电子线路中往往不再画出电源,而改用电位标出。图 1-8 是电路的一般画法与电子线路的习惯画法示例。

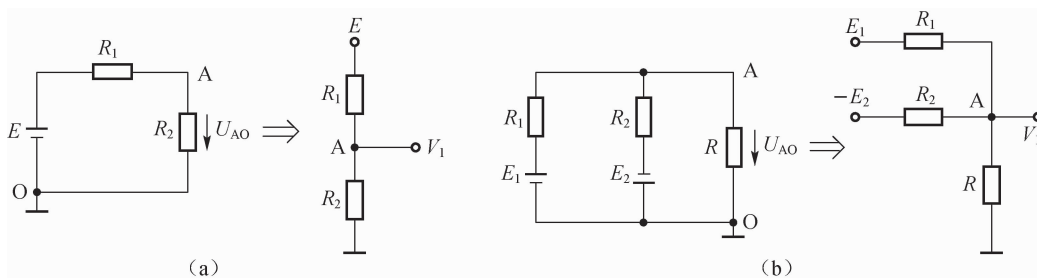


图 1-8 电路的一般画法与电子线路的习惯画法

【例 1.1】 图 1-9 所示电路中, d 参考点, 各元件的参数值及电压、电流的参考方向如图所示, 并知 $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -1.25\text{A}$, $I_3 = 0.75\text{A}$, 试求: (1) a, b, c 各点的电位 V_a, V_b, V_c ; (2) 电压 U_{ab}, U_{bc} 。

解: (1) $V_a = E_1 = 10\text{V}$, $V_c = E_2 = 8\text{V}$, 根据欧姆定律

$$U_{bd} = R_3 I_3 = (12 \times 0.75)\text{V} = 9\text{V}$$

故

$$V_b = U_{bd} = 9\text{V}$$

(2)

$$U_{ab} = R_1 I_1 = (0.5 \times 2)\text{V} = 1\text{V}$$

因 I_2 参考方向是从 c 向 b, 故 $U_{bc} = -R_2 I_2 = [-0.8 \times (-1.25)]\text{V} = 1\text{V}$

U_{ab} 和 U_{bc} 也可以由 $V_a - V_b$ 和 $V_b - V_c$ 求得, 结果相同。

由此可见, 电路中任意一点的电位与参考点的选择有关, 参考点不同, 相应各点的电位也不同, 但任意两点间的电压不变。

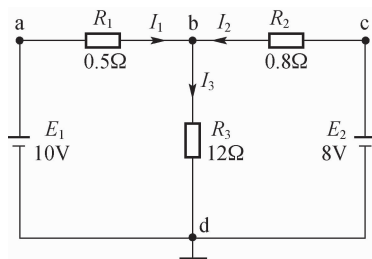


图 1-9 例 1.1 图

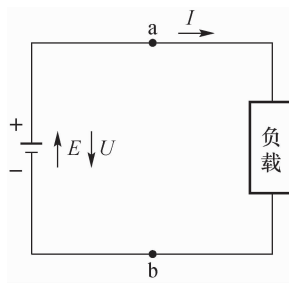


图 1-10 电路的功率

四、电能和电功率

在图 1-10 所示的直流电路中, a, b 两点间的电压为 U , 在 t 时间内电荷 Q 受电场力作用, 从 a 点移动到 b 点, 电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-6)$$



若负载为电阻元件,则在 t 时间内所消耗的电能为

$$W=UIt=I^2Rt=\frac{U^2}{R}t \quad (1-7)$$

在国际单位制中,电能的单位是焦耳,简称焦(J)。

单位时间内消耗的电能为电功率(简称功率),即

$$P=\frac{W}{t}=UI=I^2R=\frac{U^2}{R} \quad (1-8)$$

在国际单位制中,电功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。

说明:某一段电路,在 U 和 I 取关联参考方向时,功率 $P=UI$;在 U 和 I 取非关联参考方向时,功率 $P=-UI$ 。当 $P>0$ 时,表明元件吸收功率;当 $P<0$ 时,表明元件释放功率。

如图 1-11(a)所示, u 和 i 取关联参考方向,功率 $P=ui$,若 $P>0$,说明这段电路上电压和电流的实际方向是一致的,元件吸收了功率,是负载性质。

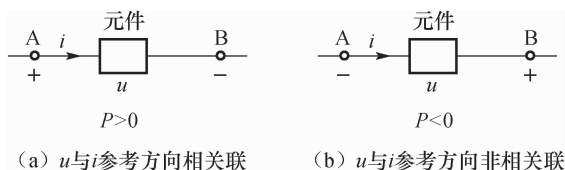


图 1-11 元件的功率

如图 1-11(b)所示, u 和 i 取非关联参考方向,功率 $P=-ui$,若 $P<0$,则这段电路上电压和电流的实际方向不一致,元件释放功率,是电源性质。

【例 1.2】 电路如图 1-11(a)所示, $u=12\text{V}$, $i=-2\text{A}$,计算元件的功率。

解:由电路可知,电流和电压为关联参考方向, $P=ui=12\times(-2)=-24\text{W}<0$ 所以,元件释放功率而不是吸收功率,相当于电源。

在时间 t 内,元件(或电路)吸收的电能为

$$W=UIt$$

若 $W\geq 0$,该元件为有源元件,否则为无源元件。在工程实际中,常用千瓦时($\text{kW}\cdot\text{h}$),俗称“度”表示电能的单位。

$$1\text{度}=1\text{kW}\cdot\text{h}=1\,000\text{W}\times 3\,600\text{s}=3.6\times 10^6\text{J}$$

【例 1.3】 汽车照明用 12V 蓄电池来供 60W 车灯,若蓄电池的额定值为 $100\text{A}\cdot\text{h}$ (安时),求蓄电池的能量?

解:
$$I=\frac{P}{U}=\frac{60}{12}=5\text{A}, \quad t=\frac{100\text{A}\cdot\text{h}}{5\text{A}}=20\text{h}$$

$100\text{A}\cdot\text{h}$ (安时)表明提供 5A 的电流,可使用 20h ,因此储存能量为

$$W=(60\times 20\times 60\times 60)\text{J}=4.32\times 10^6\text{J}$$





课题 三

电路的基本定律

一、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一,它指出流过电阻的电流与加在电阻两端的电压成正比,与电阻成反比。

在图 1-12(a)所示的电路中,电压和电流的参考方向相关联,欧姆定律可用下式表示:

$$U = IR \quad (1-9)$$

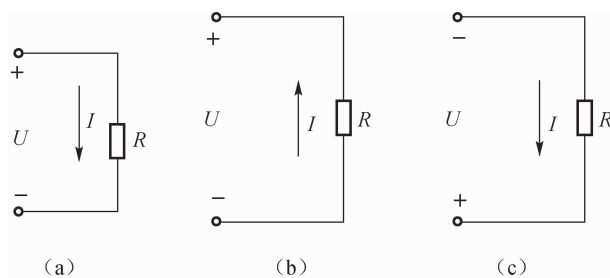


图 1-12 欧姆定律

在图 1-12(b)和(c)中,电压和电流的参考方向非关联,欧姆定律可用下式表示

$$U = -IR \quad (1-10)$$

当元件的电压 U 和电流 I 之间的关系满足欧姆定律时,称为线性器件;当器件的电压 U 和电流 I 之间的关系不满足欧姆定律时,称为非线性器件。

二、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是求解复杂电路的基本定律。

在阐述基尔霍夫定律之前,先介绍几个有关的名词,参见图 1-13。

(一) 电路中几个专用名词

(1) 支路。电路中由一个元件或多个元件组成的一条路径,可以流过独立的电流,就称这条路径为一条支路。图 1-13 所示的电路中,有 $a-c-b$ (由 E_1 和 R_1 的串联组合而成)、 $a-d-b$ (由 E_2 和 R_2 的串联组合而成)、 $a-b$ (由单个元件 R_3 构成) 三条支路。

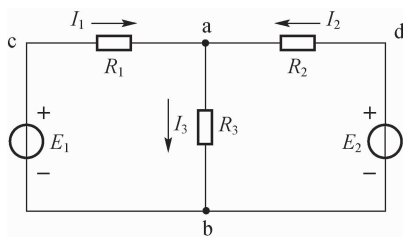


图 1-13 电路举例

(2) 节点。电路中三条或三条以上支路的连接点称为节点。图 1-13 所示的电路中,有



a, b 两个节点。

(3) 回路。由若干条支路所组成的闭合路径称为回路。图 1-13 所示的电路中, 有 a-d-b-c-a, a-b-d-a, a-b-c-a 三个回路。

(二) 基尔霍夫第一定律——电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律(KCL)指出: 在任一时刻, 通过电路中任一节点的各支路电流的代数和等于零。其数学表达式为

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

式(1-11)中各支路电流的正负号的规定如下:

- (1) 首先选定各支路电流的参考方向。
- (2) 流进节点电流为正, 流出节点电流为负。

在图 1-13 中, 对节点 a 有: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$, 经变形得 $I_1 + I_2 = I_3$ 。

可见, 基尔霍夫电流定律也可以表述为, 在任一时刻, 流入电路中任一节点的各支路电流的代数和等于流出该节点的各支路电流的代数和, 即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-12)$$

【例 1.4】 在图 1-14 中, 已知 $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -3\text{A}$, $I_3 = -2\text{A}$, 试求 I_4 。

解: 根据 KCL 列出下列方程式

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 + I_3 - I_4 &= 0 \\ I_4 &= I_1 - I_2 + I_3 = 2 - (-3) + (-2) = 3\text{A} \end{aligned}$$

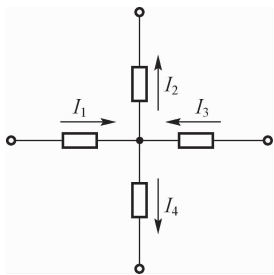


图 1-14 例 1.4 图

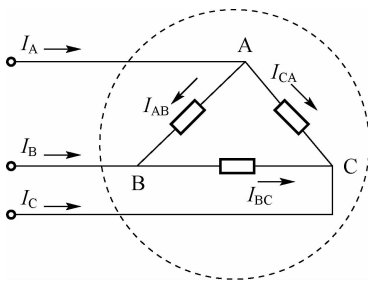


图 1-15 广义节点

基尔霍夫电流定律不仅适用于某一具体节点, 而且还可以推广应用到包围几个节点的闭合面上。在图 1-15 中, 设想有一个闭合面把节点 A, B, C 包围起来, 如虚线所示, 则流过该闭合面的总电流为零。由 KCL 可知:

$$\begin{cases} I_A = I_{AB} + I_{CA} \\ I_B = I_{BC} - I_{AB} \\ I_C = -I_{CA} - I_{BC} \end{cases}$$



以上三式相加得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

可见,图 1-15 中虚线包围的闭合面相当于一个节点,即在任一瞬时,流过任一闭合面的电流的代数和恒等于零。由于闭合面具有与节点相同的性质,因此称为广义节点。

基尔霍夫电流定律充分体现了电路中电流的连续性和电荷的守恒性。

(三)基尔霍夫第二定律——电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律(KVL)指出:在任一时刻,电路中的任一闭合回路,沿任意方向绕行一周,电压的代数和等于零。即

$$\sum U = 0 \tag{1-13}$$

各支路电压正负号确定如下:

- (1) 首先任意规定回路的绕行方向。
- (2) 标明各支路电压的参考方向。
- (3) 凡支路电压参考方向与回路绕行方向一致者,此电压前面取“+”号;反之,取“-”号。

在图 1-16 所示的闭合回路中,以 ABCD 绕行方向为回路的绕行方向,应用基尔霍夫电压定律有

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

其中

$$U_{AB} = I_1 R_1, \quad U_{BC} = I_2 R_2, \quad U_{CD} = I_3 R_3 + E_3, \quad U_{DA} = -I_4 R_4 - E_4$$

因此

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 + E_3 - I_4 R_4 - E_4 = 0$$

若将电阻电压写在等式的一边,电源电动势写在等式的另一边,则有

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 = -E_3 + E_4$$

即

$$\sum IR = \sum E \tag{1-14}$$

这是基尔霍夫电压定律的另一种表达式。

按式(1-14)列 KVL 方程时,应遵循以下几点规定。

- (1) 在图中标明各支路电流的参考方向,并规定回路绕行方向。
- (2) 当支路电流的参考方向与回路绕向一致时,该电阻电压取“+”号,反之取“-”号。
- (3) 当电动势的方向与回路绕向一致时,电动势取“+”号,反之取“-”号。

【例 1.5】 在图 1-17 中, $I_1 = 3\text{mA}$, $I_2 = 1\text{mA}$ 。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。

解:根据基尔霍夫电流定律,对于节点 a 有

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

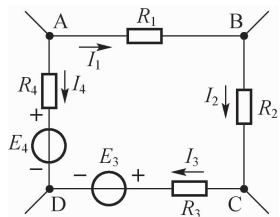


图 1-16 电路举例

代入 I_1 和 I_2 数值,得

$$-3+1-I_3=0$$

$$I_3=-2\text{mA}$$

按图 1-17 右侧回路所示的绕行方向,可列写该回路的电压方程为

$$-U_{ab}-20I_2+80=0$$

代入 I_2 数值,得

$$U_{ab}=60\text{V}$$

即

$$U_3=U_{ab}=60\text{V}$$

由于元件 3 两端电压实际方向与参考方向一致,而流过它中的电流实际方向与参考方向相反,即电流是从元件 3 的低电位向高电位对外流出的,所以产生功率为电源释放的功率。

基尔霍夫电压定律不仅适用于实在的闭合回路,而且适用于假想的闭合回路。例如,计算图 1-18 中的电压 U ,可列出下列方程:

$$E-RI-U=0$$

$$U=E-RI$$

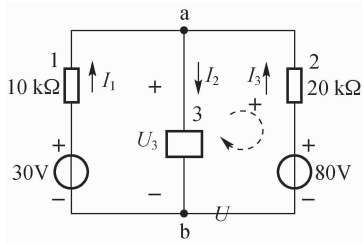


图 1-17 例 1.5 的电路

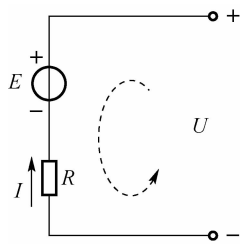


图 1-18 广义回路

课题 四 电路的工作状态

一、通路状态

在图 1-19 中,开关 S 闭合后,电源和负载接通形成闭合回路,称为电源的有载工作状态,又称通路状态。电路在这种状态下,电源输出的电流即为流经负载的电流,因此电路具有下列特征。

(1) 电路中的电流(负载电流)为

$$I=\frac{E}{R_0+R_L} \quad (1-15)$$

(2) 电源端电压 U 等于负载电阻两端的电压,由式(1-15)可得

$$U=IR_L=E-IR_0 \quad (1-16)$$

(3) 电源的输出功率为

$$P=UI=EI-I^2R_0 \quad (1-17)$$

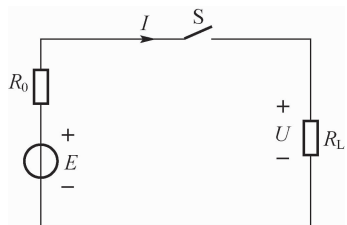


图 1-19 电源的有载工作状态





应当指出:在实际电路中,为了保证电气设备安全可靠地工作,每一个电路元件在工作中都有一定的使用限额,这种限额称为额定值。电气设备的额定值一般都列入产品说明书或直接标明在电气设备的铭牌上。例如,某电动机铭牌上标明“5kW,380V,166A”等,这些功率、电压、电流值均指额定值,表明该电动机接在额定电压为380V的电源上,带有额定负载时输出5kW的额定功率,允许通过的安全电流值为166A。当所加电压或电流超过额定电压或额定电流时,电气设备可能会损坏。当在低于额定值的状态下工作时,电气设备可能不能正常工作。额定值用带下标N的大写字母表示。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N, I_N, P_N 表示。

二、开路状态

将图1-19中的开关S断开,电路即处于开路状态。开路也称为断路,有时也称为空载状态。电路空载时,外电路呈现的电阻为无穷大(相当于 $R_L \rightarrow \infty$),这时电路具有下列特征。

(1) 由欧姆定律可知 $I = \frac{U}{R} = \frac{U}{\infty} \rightarrow 0$, 因此电路中电流 $I = 0$ 。

(2) 由电源外特性可知 $U = E - IR = E - 0 = E$, 所以电源的端电压恒等于电源电动势, 即 $U = U_0 = E$, U_0 称为开路电压或空载电压, 即开路处的电压等于电源电动势。通常应用这个特性检测电路故障。

(3) 电源产生的功率 P_E 和负载消耗的功率 P_L 均为零(因为 $I = 0$)。

三、短路状态

当电源的两个输出端由于某种原因而短接时称为短路,如图1-20所示。电源发生短路时,主要特征如下。

(1) 由于无阻导线的存在,使得 $U_L = 0V$, 所以电源对外输出的端电压 $U = 0V$ 。

(2) 电源内通过的电流 $I = I_s = \frac{E}{R_0}$, 称为短路电流。

(3) 流过负载中的电流 $I = \frac{U}{R} = \frac{0}{R} = 0$ 。

(4) 电源产生的电功率全部被内阻吸收, 即

$$P_E = P_r = I_s E = I_s^2 R_0 \quad (1-18)$$

(5) 电源对外无能量输出, 即

$$P = UI = 0$$

由上可知,电源被短路时电流 I_s 很大,电源产生的功率 P_E 全部消耗在内阻上,造成电源因过热而损坏。此时负载上没有电流流过,负载的功率为0(因为 $U = 0$)。

短路是一种严重的事故,应尽量避免,因此要对电源进行可靠的保护。通常的保护措施

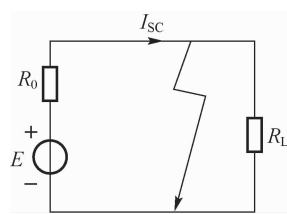


图 1-20 电源的短路状态



是在电路中接入熔断器(俗称保险丝)或者自动断路器,以便在发生短路时迅速将故障电路与电源断开,从而保护电源的安全。

【例 1.6】有一只额定电压 $U_N = 220\text{V}$, 额定功率 $P_N = 60\text{W}$ 的灯泡, 接在 220V 的电源上, 试求流过电灯的电流和灯泡的内阻。如果每晚用 3 小时, 那么一个月(按 30 天计)消耗多少电能?

解: 因为

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{60}{220}\text{A} = 0.273\text{A}$$

所以

$$R = \frac{U_N}{I_N} = \frac{220}{0.273}\Omega = 806\Omega$$

一个月用电量为

$$W = Pt = (10^{-3} \times 60 \times 3 \times 30)\text{kW} \cdot \text{h} = 5.4\text{kW} \cdot \text{h}(\text{度})$$

课题 五 电阻的串并联

一、电阻串联电路

(一) 电阻的串联

将 n 个电阻元件 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ 依次连接起来, 中间没有分支, 这种连接方式称为电阻的串联。如图 1-21(a) 所示为 3 个电阻的串联电路。

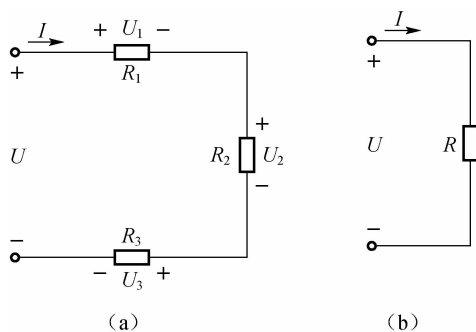


图 1-21 电阻的串联

(二) 电阻串联电路的特点

- (1) 流过每个电阻的电流相等。
- (2) 电路的总电压等于各电阻两端的分电压之和, 即





$$U=U_1+U_2+U_3 \quad (1-19)$$

(3) 电路的总电阻(等效电阻)等于各串联电阻之和,即

$$R=R_1+R_2+R_3 \quad (1-20)$$

R 称为 R_1, R_2, R_3 串联电阻的等效电阻。图 1-21(b)为图 1-21(a)的等效电路。

(4) 电路中每个电阻上的电压与其电阻值成正比,即

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3 \quad (1-21)$$

(5) 电阻消耗的功率与电阻成正比,即

$$P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3 \quad (1-22)$$

(6) 电路的总功率等于各电阻消耗的功率之和,即

$$P=P_1+P_2+P_3 \quad (1-23)$$

二、电阻并联电路

(一)电阻的并联

将 n 个电阻元件 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ 首末端分别连接起来,这种连接方式称为电阻并联。

图 1-22(a)所示为 3 个电阻的并联电路。

(二)并联电路的特点

(1) 各电阻两端的电压相等。

(2) 电路的总电流等于流过每个电阻的分电流之和,即

$$I=I_1+I_2+I_3 \quad (1-24)$$

(3) 电阻并联时的总电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3} \quad (1-25)$$

R 称为 R_1, R_2, R_3 并联电阻的等效电阻。图 1-22(b)为图 1-22(a)的等效电路。

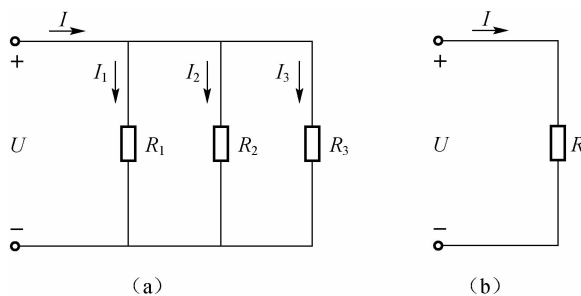


图 1-22 电阻的并联

(4) 流过每个电阻的电流与其电阻值成反比,与电阻的倒数成正比,即

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} \quad (1-26)$$

(5) 电阻消耗的功率与电阻成反比,与电阻的倒数成正比,即

$$P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} \quad (1-27)$$

课题 六 支路电流法

支路电流法是以支路电流为未知量,应用基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL),列出与未知量数目相等的独立方程,然后解出未知的支路电流。

支路电流法的解题步骤如下:

- (1) 确定各支路电流的参考方向。
- (2) 如果电路中有 n 个节点,根据 KCL 列出 $(n-1)$ 个独立节点电流方程。
- (3) 选取回路并选定回路的绕行方向,根据 KVL 列出回路电压方程,补齐所需方程数。
- (4) 联立方程组,计算出各支路电流。

图 1-23 所示电路中有三条支路,但仅有一个独立节点和两个平面回路。所以只须列出一个电流方程式和两个电压方程式。

对节点 a,有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad \text{①}$$

左边回路的电压方程为

$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3 \quad \text{②}$$

右边回路的电压方程为

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 \quad \text{③}$$

联立式①②③可求出各支路电流分别为

$$I_1 = 4\text{A}, I_2 = 6\text{A}, I_3 = 10\text{A}$$

【例 1.9】 在图 1-24 所示的电路中,已知 $U_{S1} = 12\text{V}, U_{S2} = 12\text{V}, R_1 = 1\Omega, R_2 = 2\Omega, R_3 = 3\Omega, R_4 = 4\Omega$ 求各支路的电流。

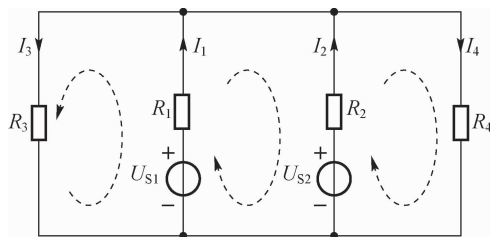


图 1-24 例 1.9 图

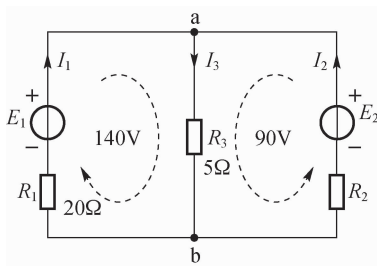


图 1-23 支路电流法



解:选择各支路电流的参考方向和回路绕行方向如图 1-24 所示,列出节点电流和回路电压方程如下。

上节点方程 $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$

左回路方程 $R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_{S1} = 0$

中回路方程 $R_1 I_1 - R_2 I_2 - U_{S1} + U_{S2} = 0$

右回路方程 $R_2 I_2 + R_4 I_4 - U_{S2} = 0$

代入已知数据,得

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0 \\ I_1 + 2I_3 - 12 = 0 \\ I_1 - 2I_2 - 12 + 12 = 0 \\ 2I_1 + 4I_4 - 12 = 0 \end{cases}$$

解得 $I_1 = 4A, I_2 = 2A, I_3 = 4A, I_4 = 2A$ 。

支路电流法是求解复杂电路最基本的方法,在需要求解电路中全部支路电流时,可采用此法。但如果只要求出某一条支路电流时,用支路电流法计算就会比较烦琐。



知识链接



汽车蓄电池简介

为了能安全、舒适地驾驶,车辆装有许多电气装置。车辆不但在行驶时要用电,停车时也用电。因此汽车电源系统有蓄电池作为电源,并有充电系统,通过发动机运行来发电。充电系统向所有的电气设备供电并对蓄电池充电。

汽车蓄电池是一种储存电能的装置。一旦连接外部负载或接通充电电路,它便开始了能量转换过程,在放电过程中,蓄电池中的化学能转变成电能。在充电过程中,电能被转变成化学能。

蓄电池、发电机与汽车用电设备都是并联的。在发动机正常工作时,发电机向用电设备供电和向蓄电池充电;启动时,蓄电池向启动机供电;放电警告灯用来指示蓄电池的充放电状况;调节器的作用是使发电机在转速变化时,能保持其输出电压恒定。

(一) 汽车蓄电池的主要用途

(1) 在启动发动机期间,它为启动系统、点火系统、电子燃油喷射系统和汽车的其他电气设备供电。

(2) 当发动机停止运转或低怠速运转的时候,由它给汽车用电设备供电。

(3) 当出现用电需求超过发电机供电能力时,蓄电池也参加供电。

(4) 蓄电池起到了整车电气系统的电压稳定器的作用,能够缓和电气系统中的冲击电



压,保护汽车上的电子设备。

(5)在发电机正常工作时,蓄电池将发电机发出多余的电能存储起来——充电。

如图 1-25 所示为汽车电源系统电路示意图。

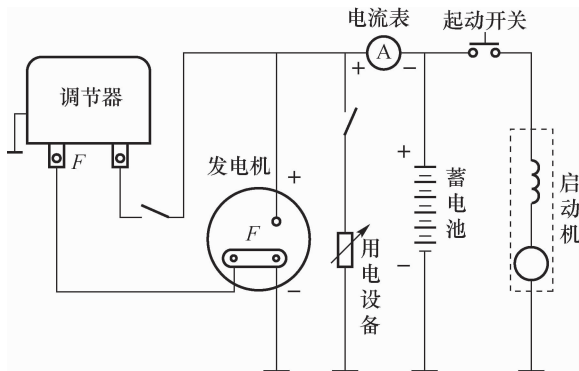


图 1-25 汽车电源系统电路示意图

(二) 蓄电池的正确使用

(1)不要连续使用启动机。每次启动的时间不得超过 5s,如果一次未能启动,应停顿 15s 以上再作第二次启动,连续三次启动不成功者,应查明原因,排除故障后再启动发动机。

(2)安装和搬运蓄电池时,应轻搬轻放,不可敲打或在地上拖拽。蓄电池在汽车上应固定牢靠、以防行车时振动和移位。

(3) 冬季使用的注意事项

1)冬季使用蓄电池时应特别注意保持其处于充足电的状态,以免电解液密度降低而结冰。

2)冬季补加蒸馏水,应在充电前进行,以使蒸馏水较快地与电解液混合而不致结冰。

3)冬季蓄电池容量降低,因此在启动冷态发动机前,应进行预热,以减少启动阻力矩。

4)冬季气温低,充电较困难,因此可以适当调高调节器的调节电压,以改善蓄电池的充电状态,但仍须避免过量充电。

(4)要经常检查蓄电池的电解液和蓄电池的放电情况,如发现电解液不足或蓄电池充电不足,要及时进行补充和充电。

(三) 蓄电池的维护

(1)经常清除蓄电池表面的灰尘污物,当电解液溅到蓄电池表面时,应用抹布蘸 10% 浓度的苏打水或碱水擦净,电极桩和电线夹头上出现氧化物时应及时清除。

(2)经常疏通加液孔盖上的通气孔。

(3)检查各单格内电解液的液面高度,如发现不足及时补充。

(4)根据当时的季节,及时调整电解液密度。

(5)放完电的蓄电池在 24h 内应及时充电。





(6) 停驶车辆的蓄电池,每两个月应进行一次补充充电。

(7) 常用车辆的蓄电池,放电程度冬季达 25%、夏季达 50% 时即应充电,必要时及时进行补充充电。

(8) 拆卸蓄电池电缆时,应先拆下蓄电池负极,再拆下蓄电池正极;安装蓄电池电缆时,应先安装蓄电池正极,再安装蓄电池负极,以免拆卸过程中造成蓄电池断路。

项目小结

电压、电流、电位、电动势以及电功率等是电路中常见的物理量。其中电压和电流的正负反应实际方向和参考方向的关系,和大小没有关系。

基尔霍夫定律是分析电路问题最基本的定律。基尔霍夫电流定律(KCL)指出:在任一时刻,通过电路中任一节点的各支路电流的代数和等于零,其数学表达式为 $\sum I=0$ 。基尔霍夫电压定律(KVL)指出:在任一时刻,电路中的任一闭合回路,沿任意方向绕行一周,电压的代数和等于零,即 $\sum U=0$ 。

支路电流法是直接运用基尔霍夫定律和元件伏安关系列方程求解电路的方法,是分析电路最基本的方法。

思考与练习

一、填空题

- 1.1 电路由_____、_____和_____三部分组成。
- 1.2 中间环节的作用是把_____和_____连接起来,形成闭合回路,并对整个电路实行_____、_____和_____。
- 1.3 电路从基本功能上分,可将其分两大类:一类是_____电路,另一类是_____电路。
- 1.4 电源电动势的方向规定为从_____极指向_____极,它是_____力克服_____力移动电荷做功的结果。
- 1.5 电压的方向规定为由_____端指向_____端,是_____力移动电荷做功,通过负载把电能转换成其他形式的能。
- 1.6 为了防止因短路而引起的事故,在实际电路中一般都串联接入_____。电路一旦发生短路或_____,它将断开电源,达到保护的目的。
- 1.7 将标有 10V,0.25W 和 10V,1W 的两个灯泡串联起来,接在 10V 的电源上工作,它们实际消耗的功率:10V,0.25W 灯泡 $P_1=$ _____,10V,1W 灯泡 $P_2=$ _____。



1.8 照明电路中火线对地线的电压 $U=220\text{V}$ 。电路检修时,穿上绝缘胶鞋,可操作自如,不会触电。设人体电阻 $R_1=1\text{k}\Omega$,胶鞋电阻 $R_2=210\text{k}\Omega$,则加在人体上的电压 $U_1=$ _____ V。

1.9 一段粗细均匀的导线,其电阻值是 R ,若将其从中间对折合成一根导线,则这个导线的电阻是_____。

1.10 若 A, B, C 三点的电位分别为 $3\text{V}, 2\text{V}, -2\text{V}$,则电压 U_{AB} 为_____ V, U_{CA} 为_____ V。若改以点 C 为参考点,则 V_A 为_____ V, V_B 为_____ V。

二、选择题

1.11 下列设备中,其中()必是电源。

- A. 发电机 B. 蓄电池 C. 电视机 D. 电炉

1.12 下列设备中,不属于中间环节的是()。

- A. 测量仪表 B. 开关 C. 熔断器 D. 蓄电池

1.13 一根粗细均匀的电阻丝,阻值为 25Ω ,将其等分成 5 段,然后并联使用,则其等效电阻是()。

- A. $\frac{1}{25}\Omega$ B. $\frac{1}{5}\Omega$ C. 1Ω D. 5Ω

1.14 额定功率 10W 、阻值 500Ω 的电阻 R_1 与额定功率 15W 、阻值 500Ω 的电阻 R_2 相串联后的等效电阻值及等效电阻的额定功率分别为()。

- A. $50\Omega, 10\text{W}$ B. $1\text{k}\Omega, 20\text{W}$ C. $1\text{k}\Omega, 25\text{W}$ D. $1\text{k}\Omega, 15\text{W}$

1.15 两个电阻串联 R_1, R_2 时,消耗的功率分别为 P_1 和 P_2 。已知 $\frac{P_1}{P_2}=2$,则 $\frac{R_1}{R_2}$ 与 $\frac{U_1}{U_2}$ 的比值分别是()。

- A. $\frac{R_1}{R_2}=2, \frac{U_1}{U_2}=2$ B. $\frac{R_1}{R_2}=2, \frac{U_1}{U_2}=\frac{1}{2}$
 C. $\frac{R_1}{R_2}=\frac{1}{2}, \frac{U_1}{U_2}=2$ D. $\frac{R_1}{R_2}=\frac{1}{2}, \frac{U_1}{U_2}=\frac{1}{2}$

1.16 如图 1-26 所示电路中, a 点的电位是()V。

- A. $V_a = IR - E$
 B. $V_a = IR + E$
 C. $V_a = -IR - E$
 D. $V_a = -IR + E$

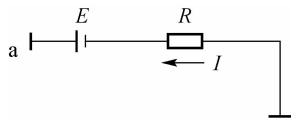


图 1-26 题 1.16 图

1.17 若把电路中原来电位为 3V 的一点改选为参考点,则电路中各点电位比原来()。

- A. 升高 B. 降低 C. 升高或降低 D. 不变

1.18 在下列规格的电灯泡中,电阻最大的是规格()

- A. $200\text{W}, 220\text{V}$ B. $100\text{W}, 220\text{V}$ C. $60\text{W}, 220\text{V}$ D. $40\text{W}, 220\text{V}$





三、判断题

- 1.19 蓄电池在电路中必是电源,总是把化学能转换成电能。()
- 1.20 发电机是将机械能转换成电能的设备。()
- 1.21 负载是电路中的用电设备,它把其他形式的能转换成电能。()
- 1.22 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。()
- 1.23 电路中某两点间的电压具有相对性,当参考点变化时,电压随着变化。()
- 1.24 如果电路中某两点的电位都很高,则该两点间的电压也很大。()
- 1.25 基尔霍夫电流定律(KCL)的通式 $\sum I=0$,对于一个封闭曲面都是适用的。()
- 1.26 无法依串、并联电路特点及欧姆定律求解的电路称为复杂电路。()
- 1.27 并联在电网上的用电设备功率越大,电能消耗越多。()
- 1.28 几个电阻并联时,其中一个电阻加大则等效电阻将减小。()

四、计算题

1.29 如图 1-27 所示,5 个元件代表电源或负载。电流和电压的参考方向如图中所示,现通过实验测知: $I_1 = -4\text{A}$, $I_2 = 6\text{A}$, $I_3 = 10\text{A}$, $U_1 = 140\text{V}$, $U_2 = -90\text{V}$, $U_3 = 60\text{V}$ 。

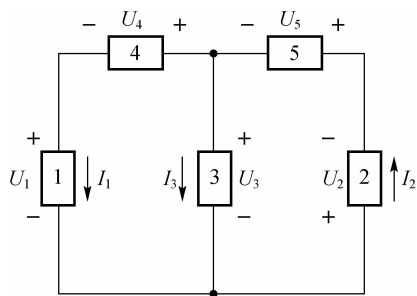


图 1-27 题 1.29 图

- (1) 试在图中标出各电流和电压的实际方向。
- (2) 计算各元件的功率,并判断这 5 个元件中哪几个是电源? 哪几个是负载?

1.30 有一个可调电阻器,允许通过的最大电流为 0.3A ,电阻值为 $2\text{k}\Omega$,求电阻器两端允许加的最大电压为多少? 此时电阻器消耗的功率是多少?

1.31 两只白炽灯泡,额定电压均为 110V ,甲灯泡的额定功率 $P_{N1} = 60\text{W}$,乙灯泡的额定功率 $P_{N2} = 100\text{W}$ 。如果把甲、乙两灯泡串联,接在 220V 的电源上,试计算每个灯泡的电压为多少? 并说明这种接法是否正确?

1.32 设有电阻 $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 30\Omega$,串联后接于总电压为 100V 的电源上。求:

- (1) 总电流强度和各电阻上的电压。
- (2) 若将电阻 R_2 换成 80Ω ,再求总电流强度和各电阻上的电压。

