

第一章

直流电路

本章学习要点

- (1) 熟悉电流、电压、电阻、电功率、电功等常用的物理量。
- (2) 了解常用电气元件的电路符号，能看懂电路图的连接关系。
- (3) 熟练掌握欧姆定律的两种形式，明确 U 、 I 、 R 、 E 、 r 之间的关系。
- (4) 准确辨识简单电路电阻的串、并联关系，掌握两种连接形式中每个元件上电压、电流与总电压、总电流的关系。

现实生活中，我们经常听到或说起很多有关电的名词、术语，也经常有很多用电方面的困惑。这些名词、术语究竟是怎样定义的？它们之间有什么关系？是什么因素影响电压的高低、电流的大小？为什么会发生由用电引发的火灾？为什么家里几个月没人住，还会产生电费？很多经常听到的，看似简单，又不容易说清的问题，通过本章的学习都会有明确的答案。

第一节 电学的基本物理量

一、电量

自然界中的许多物质是由分子组成的，分子又是由原子组成的，而原子是由带正电荷的原子核和一定数量带负电荷的电子组成的。在通常情况下，原子核所带的正电荷数等于核外电子所带的负电荷数，原子对外不显电性。但是，用一些办法，可使某种物体上的电子转移到另一种物体上。失去电子的物体带正电荷，得到电子的物体带负电荷。物体失去或得到的电子数量越多，则物体所带的正、负电荷的数量也越多。

物体所带电荷数量的多少用电量来表示。电量是一个物理量，它的单位是库仑，用字母 C 表示。1 C 的电量相当于物体失去或得到 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。

二、电流

电荷的定向移动形成电流。电流有大小，有方向。

1. 电流的方向

人们规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。金属导体中，电流是电子在导体内电场的作用

下定向移动的结果,电子流的方向是负电荷的移动方向,与正电荷的移动方向相反,所以金属导体中电流的方向与电子流的方向相反,如图 1-1 所示。

2. 电流的大小

电学中用电流强度来衡量电流的大小。电流强度就是 1 s 内通过导体截面的电量。电流强度用字母 I 表示,计算公式如下:

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

式中, I 为电流强度, A; Q 为在一定时间内通过导体截面的电量数, C; t 为时间, s。

实际使用时,人们把电流强度简称为电流。电流的单位是安培,简称安,用字母 A 表示。如果 1 s 内通过导体截面的电量为 1 C,则该电流的电流强度为 1 A,习惯简称电流为 1 A。实际应用中,除安培外,还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)等单位。它们之间的关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \mu\text{A}$$

三、电压

为了弄清楚电荷在导体中定向移动而形成电流的原因,我们对照图 1-2 (a) 所示水流的形成来理解这个问题。

从图 1-2 (a) 可以看到,外水由 A 槽经 C 管向 B 槽流去。水之所以能在 C 管中进行定向移动,是由于 A 槽水位高, B 槽水位低。A、B 两槽之间的水位差即水压,是形成水流的原因。与此相似,当图 1-2 (b) 中的开关 S 闭合后,电路里就有电流。这是因为电源的正极电位高,负极电位低。两个极间的电位差使正电荷从正极出发,经过负载 R 移向负极形成电流。所以,电压是自由电荷发生定向移动形成电流的原因。在电路中电场力把单位正电荷由高电位 a 点移向低电位 b 点所做的功称为两点间的电压,用 U_{ab} 表示。电压是两点间的电位差,它是衡量电场力做功本领大小的物理量。

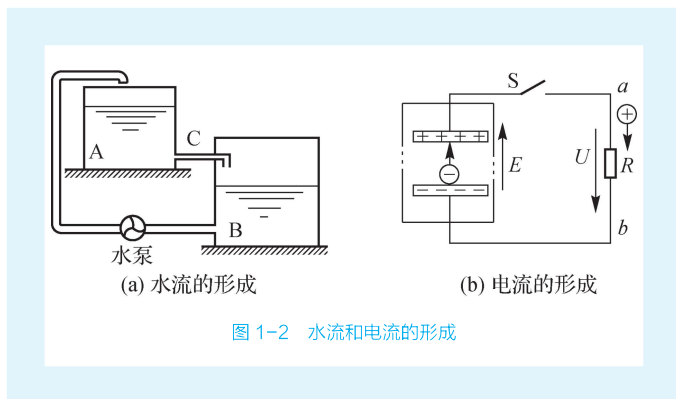


图 1-2 水流和电流的形成

电压用字母 U 表示,单位为伏特(简称伏, V),电场力将 1 C 电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 1 J(焦耳),则 a 、 b 间的电压就是 1 V。常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)等。它们之间的关系为

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

电压与电流相似,不但有大小,而且有方向。对于负载来说,电流流入端为正端,电流流出端为负端。电压的方向是由正端指向负端,也就是说,负载中电压实际方向与电流方向一致。在电路图中,用带箭头的细实线表示电压的方向。

四、电动势、电源

在图 1-2 (a) 中,为使水在 C 管中持续不断地流动,必须用水泵把 B 槽中的水不断泵入 A 槽,以维持两槽间的水位差,也就是要保证 C 管两端有一定的水压。在图 1-2 (b) 中,电源与水泵的作用相似,它把正电荷由电源的负极移到正极,以维持正、负极间的电位差,即电路中有一定的电压使正电荷在电路中持续不断地流动。

电源是利用非电力把正电荷由负极移到正极的,它在电路中将其他形式的能量转换成电能。电动势就是衡量电源能量转换本领的物理量,用字母 E 表示,它的单位也是伏特 (V)。

电源的电动势只存在于电源内部。人们规定电动势的方向在电源内部由负极指向正极。在电路中也用带箭头的细实线表示电动势的方向,如图 1-2 (b) 所示。当电源两端不接负载时,电源的开路电压等于电源的电动势,但二者方向相反。

生活中用测量电源端电压的办法来判断电源的状态。例如,测得工作电路中两节 5 号电池的端电压为 2.8 V,则说明电池电量比较充足。

五、电阻

导体对电流的阻碍作用称为电阻,用字母 R 表示。电阻的单位为欧姆,简称欧,用字母 Ω 表示。如果导体两端的电压为 1 V,通过的电流为 1 A,则该导体的电阻就是 1 Ω 。

电阻常用的单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$)。它们之间的关系为

$$1 \text{ M}\Omega = 10^3 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$$

应当强调指出的是:电阻是导体中客观存在的,它与导体两端电压的变化情况无关,即使没有电压,导体中仍然有电阻存在。实验证明,当温度一定时,导体电阻只与导体的材料及几何尺寸有关。对于一根材质均匀、长度为 L 、横截面积为 S 的导体而言,其电阻大小可用下式表示:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2)$$

式中, R 为导体电阻, Ω ; ρ 为电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; L 为导体长度, m ; S 为导体横截面积, m^2 。

电阻率是与材料性质有关的物理量。电阻率的大小等于长度为 1 m,横截面积为 1 m^2 的导体在一定温度下的电阻值。例如,铜的电阻率为 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$,就是指长为 1 m,横截面积为 1 m^2 的铜线的电阻是 $1.7 \times 10^{-8} \Omega$ 。几种常用材料在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的电阻率见表 1-1。

从表 1-1 中可知,铜和铝的电阻率较小,是应用极为广泛的导电材料。以前,由于我国铝的矿藏量丰富,价格低廉,常用铝线作输电线。由于铜线有更好的特性,如强度高、电阻率小,现在铜制线材被更广泛地应用。电动机、变压器的绕组一般都用铜材。

表 1-1 几种常用材料在 20 °C 时的电阻率

材料名称	电阻率 / ($\Omega \cdot m$)
银	1.6×10^{-8}
铜	1.7×10^{-8}
铝	2.9×10^{-8}
钨	5.3×10^{-8}
铁	1.0×10^{-7}
康铜	5.0×10^{-7}
锰铜	4.4×10^{-7}
铝铬铁合金电阻丝	1.2×10^{-6}

六、电功、电功率

电流通过负载时,负载就将电能转换成其他形式的能,如热能、光能和机械能等。我们把电能转换成其他形式的能称为电流做功,简称电功,用字母 W 表示。电流通过负载所做的功与负载的端电压、流过的电流、所用的时间和电阻有以下的关系:

$$\left. \begin{aligned} W &= UIt \\ W &= I^2 R t \\ W &= \frac{U^2}{R} t \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

如果式(1-3)中,电压单位为 V,电流单位为 A,电阻单位为 Ω ,时间单位为 s,则电功单位是焦耳,简称焦,用字母 J 表示。

电流在单位时间内通过负载所做的功称为电功率,用字母 P 表示。其数学表达式为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-4)$$

将式(1-3)代入式(1-4)后得到

$$\left. \begin{aligned} P &= UI \\ P &= I^2 R \\ P &= \frac{U^2}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

若在式(1-4)中,电功单位为 J,时间单位为 s,则电功率的单位是焦耳/秒(J/s)。焦耳/秒又称瓦特,简称瓦,用字母 W 表示。在实际工作中,常用的电功率单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等。它们之间的关系为

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 10^6 \text{ mW}$$

从式(1-5)中可以得出如下结论:

(1) 当负载的电阻一定时,电功率与电流平方或电压平方成正比。若通过负载的电流是原来电

流的 2 倍, 则电功率就是原电功率的 4 倍; 若加在负载两端电压是原电压的 2 倍, 则电功率就是原电功率的 4 倍。

(2) 当流过负载的电流一定时, 电功率与电阻值成正比。对于串联电阻电路, 流经各个电阻的电流是相同的, 则串联电阻的总功率与各个电阻的电阻值的和成正比。

(3) 当加在负载两端的电压一定时, 电功率与电阻值成反比。对于并联电阻电路, 各个电阻两端电压相等, 则各个电阻的电功率与各电阻的阻值成反比。

在实际工作中, 电功的单位常用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$), 又称度。1 千瓦时是 1 度, 它表示功率为 1 千瓦的负载 1 小时所消耗的电能, 即

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

例 1-1 一台 42 英寸 ($1 \text{ in} \approx 2.54 \text{ cm}$) 等离子电视机的功率约为 300 W, 平均每天开机 3 h, 若每度电费为 0.48 元, 则一年 (以 365 天计算) 要缴纳多少电费?

解 电视机的功率 $P=300 \text{ W}=0.3 \text{ kW}$

电视机一年开机的时间 $t=3 \times 365=1\ 095 \text{ h}$

电视机一年消耗的电能 $W=Pt=0.3 \times 1\ 095=328.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$

一年的电费为 $328.5 \times 0.48=157.68 \text{ 元}$

七、电流的热效应

电流通过导体使导体发热的现象称为电流的热效应。电流的热效应是电流通过导体时电能转换成热能的效应。

电流通过导体产生的热量, 用焦耳 - 楞次定律表示如下:

$$Q=I^2Rt \quad (1-6)$$

式中, Q 为热量, J; I 为通过导体的电流, A; R 为导体的电阻, Ω ; t 为导体通过电流的时间, s。

焦耳 - 楞次定律的物理意义是: 电流通过导体所产生的热量, 与电流的平方、导体的电阻及通电时间成正比。

在生产、生活中, 应用电流热效应制成各种电器, 如白炽灯、电烙铁、电烤箱、熔断器、电吹风、电热毯等。但是电流的热效应也有其不利的一面, 如电流的热效应能使电路中不需要发热的地方 (如导线) 发热, 导致绝缘材料老化, 甚至烧毁设备, 发生火灾, 是一种不容忽视的潜在祸因。

例 1-2 已知当一台电烤箱的电阻丝流过 5 A 电流时, 每分钟可放出 $1.2 \times 10^6 \text{ J}$ 的热量, 求这台电烤箱的电功率及电阻丝工作时的电阻值。

解 根据式 (1-4), 电烤箱的电功率为

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Q}{t} = \frac{1.2 \times 10^6}{60} = 20 \text{ kW}$$

电阻丝工作时的电阻值为

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{20\ 000}{25} = 800 \Omega$$

第二节 电 路

一、电路的组成和作用

电流流过的路径称为电路，它是由电源、负载、开关和导线 4 个基本部分组成的，如图 1-3 所示。电源是把非电能转换成电能并向外提供电能的装置，常见的电源有干电池、蓄电池和发电机等。负载是电路中用电器的总称，它将电能转换成其他形式的能。如电灯把电能转换成光能，电烙铁把电能转换成热能，电动机把电能转换成机械能。开关属于控制电器，用于控制电路的接通或断开。导线将电源和负载连接起来，担负着电能的传输和分配的任务。电路电流方向是由电源正极经负载流到电源负极，在电源内部，电流由负极流向正极，形成一个闭合通路。



微课
电路

二、电路图

在设计、安装或维修各种实际电路时，经常要画出表示电路连接情况的图。如果画图 1-3 所示的实物连接图，虽然直观，但很麻烦。所以很少画实物图，而是画电路图。电路图就是用国家统一规定的符号来表示电路连接情况的图。图 1-3 是简单的灯泡、干电池、开关组成的实物连接图，它的电路图如图 1-4 所示。表 1-2 是几种常用的电工符号。

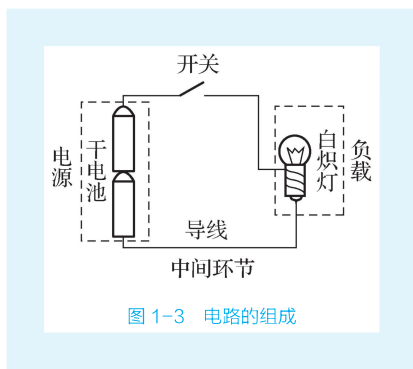


图 1-3 电路的组成

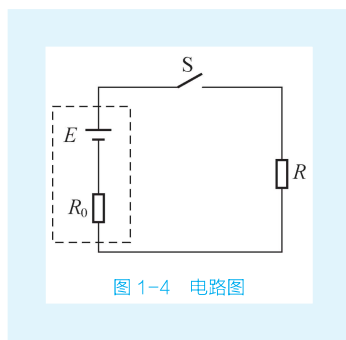


图 1-4 电路图

表 1-2 几种常用的电工符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电 池		电 流 表	
导 线		电 压 表	
开 关		熔 断 器	
电 阻		电 容	
照 明 灯		接 地	

三、电路的三种状态

电路有三种状态：通路、开路、短路。

通路是指电路处处接通。通路也称闭合电路，简称闭路。只有在通路的情况下，电路才有正常的工作电流。开路是电路中某处断开，没有形成通路的状态。开路也称断路，此时电路中没有电流。短路是指电源或负载两端被导线连接在一起，分别称为电源短路或负载短路。电源短路时电源提供的电流要比通路时提供的电流大很多倍，通常是有害的，也是非常危险的，所以一般不允许电源短路。

第三节 欧姆定律

一、部分电路欧姆定律

部分电路是指不包括电源在内的外电路，如图 1-5 所示。实验证明，一段电阻电路欧姆定律的内容是：流过导体的电流与这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比。其数学表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-7)$$

式中， I 为导体中的电流，A； U 为导体两端的电压，V； R 为导体的电阻， Ω 。

在式 (1-7) 中，已知其中两个量，就可以求出第三个未知量。因此，式 (1-7) 又可写成另外两种形式：

(1) 已知电流、电阻，求电压。

$$U = IR \quad (1-8)$$

(2) 已知电压、电流，求电阻。

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-9)$$

例 1-3 一台直流电动机励磁绕组在 220 V 电压作用下，通过绕组的电流为 0.427 A，求绕组的电阻。

解 已知电压 $U=220$ V，电流 $I=0.427$ A，由式 (1-9) 得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.427} \approx 515.2 \Omega$$

二、全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路。全电路是由各段电路连接成的闭合电路。如图 1-6 所示，电路包括电源内部电路和电源外部电路，电源内部电路简称内电路，电源外部电路简称外电路。在全电路中，电源电动势 E 、电源内电阻 r 、外电路电阻 R 和电路电流 I 之间的关系为



微课
欧姆定律

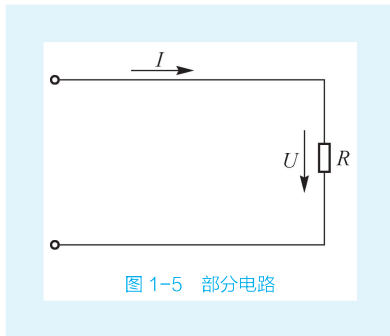


图 1-5 部分电路

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (1-10)$$

式中, I 为电路中的电流, A; E 为电源电动势, V; R 为外电路电阻, Ω ; r 为内电路电阻, Ω 。

式(1-10)是全电路欧姆定律。此定律说明电路中的电流与电源电动势(E)成正比, 与整个电路的电阻($R+r$)成反比。

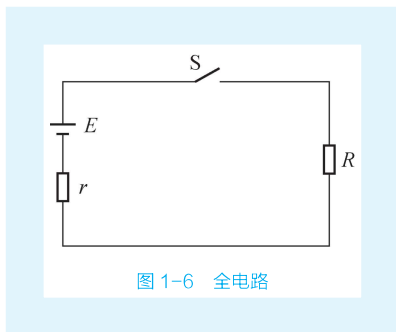


图 1-6 全电路

将式(1-10)变换后得到:

$$E = IR + Ir = U + Ir \quad (1-11)$$

式中, U 为外电路电压; Ir 为内电路电压。

外电路电压是指电路接通时电源两端的电压, 又称路端电压, 简称端电压。这样, 式(1-11)的含义又可叙述为: 电源电动势在数值上等于闭合回路的各部分电压之和。根据全电路欧姆定律研究全电路处于三种状态时, 全电路中电压与电流的关系如下:

(1) 当全电路处于通路状态时, 由式(1-11)可以得出端电压为

$$U = E - Ir \quad (1-12)$$

由式(1-12)可知, 随着电流的增大, 外电路电压随之减小。电源内阻越大, 外电路电压减小得越多。在直流负载时需要恒定电压供电, 所以总是希望电源内阻越小越好。

(2) 当全电路处于断路状态时, 相当于外电路电阻值趋于无穷大, 此时电路电流为零, 内电路电阻电压为零, 外电路电压等于电源电动势。

(3) 当全电路处于短路状态时, 外电路电阻值趋近于零, 此时电路电流称为短路电流。由于电源内阻很小, 所以短路电流很大。短路时外电路电压为零, 内电路电阻电压等于电源电动势。

全电路处于三种状态时, 电路中电压与电流的关系见表 1-3。

表 1-3 电路中电压与电流的关系

电路状态	负载电阻	电路电流	外电路电压
通路	$R = \text{常数}$	$I = \frac{E}{R+r}$	$U = E - Ir$
开路	$R \rightarrow \infty$	$I = 0$	$U = E$
短路	$R \rightarrow 0$	$I = \frac{E}{r}$	$U = 0$

通常电源电动势和内阻在短时间内基本不变, 且电源内阻又非常小, 所以可近似认为电源的端电压等于电源电动势。今后不特别指出电源内阻时, 就表示其阻值很小, 可忽略不计。但对于电池来说, 其内阻随电池使用时间延长而增大。当电池内阻增大到一定值时, 电池的电动势就不能使负载正常工作了。如旧电池开路时两端的电压并不低, 但装在收音机里, 却不能使收音机工作, 这是由于电池内阻增大所致。

例 1-4 如图 1-6 所示的电路, 电源电动势 $E=24 \text{ V}$, 电源内阻 $r=4 \text{ }\Omega$, 负载电阻 $R=20 \text{ }\Omega$ 。求电路中的电流、电源的端电压、负载电压和电源内阻电压。

解 根据式(1-10), 电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{24}{20+4} = 1 \text{ A}$$

由式(1-12), 电路中电源的端电压为

$$U = E - Ir = 24 - 1 \times 4 = 20 \text{ V}$$

根据式(1-8), 电路中负载电压为

$$U = IR = 1 \times 20 = 20 \text{ V}$$

根据式(1-8), 电路中电源内阻电压为

$$U_r = Ir = 1 \times 4 = 4 \text{ V}$$

第四节 电阻的串联、并联电路

一、电阻的串联电路

在一段电路上, 将几个电阻的首尾依次相连所构成的一个没有分支的电路, 称为电阻的串联电路。图 1-7 (a) 所示是电阻的串联电路, 图 1-7 (b) 是图 1-7 (a) 的等效电路。电阻的串联电路有以下特点:

(1) 串联电路中流过各个电阻的电流都相等, 即

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

(2) 串联电路两端的总电压等于各个电阻两端的电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

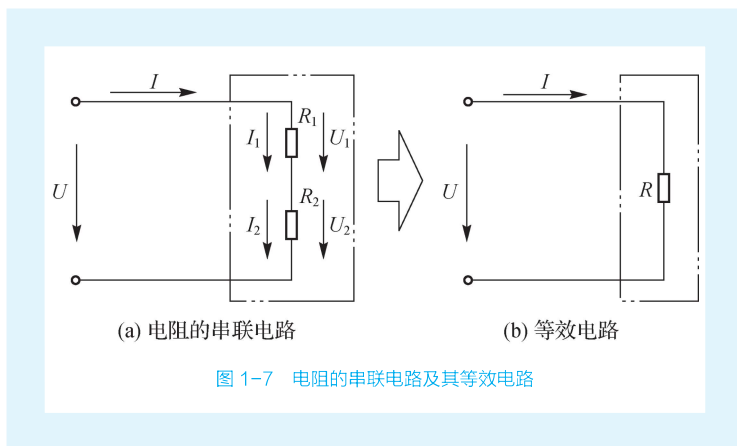


图 1-7 电阻的串联电路及其等效电路

(3) 串联电路的总电阻(即等效电阻)等于各串联的电阻之和, 即



微课
电阻串联电路

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

根据欧姆定律, $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, \dots , $U = IR$, 可以得出

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \frac{U}{R} \quad (1-13)$$

若是两个电阻串联, 根据式(1-13)可得

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_1}{U} &= \frac{R_1}{R} \\ \frac{U_2}{U} &= \frac{R_2}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

式(1-14)表明, 在串联电路中, 电阻的阻值越大, 这个电阻所分配到的电压越大; 反之, 则电压越小, 即电阻上的电压分配与电阻的阻值成正比。这个理论是电阻串联电路中最重要的结论, 用途极其广泛。例如, 用串联电阻的办法扩大电压表的量程。

在图1-7(a)所示电路中, 将 $R = R_1 + R_2$ 代入式(1-14)中, 得

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

这两个公式可以直接计算出每个电阻从总电压中分得的电压值, 习惯上就把这两个式子称为分压公式。

电阻串联的应用极为广泛。例如:

- (1) 用几个电阻串联来获得阻值较大的电阻。
- (2) 用串联电阻组成分压器, 使用同一电源获得几种不同的电压。如图1-8所示, 由 $R_1 \sim R_4$ 组成串联电路, 使用同一电源, 输出4种不同数值的电压。

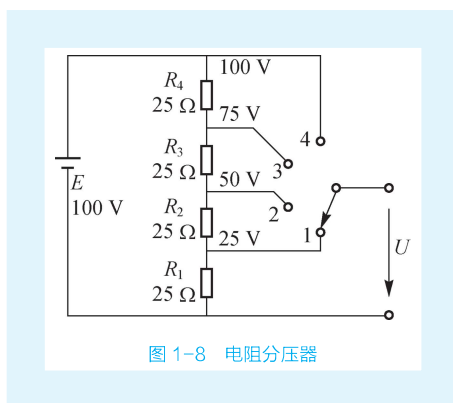


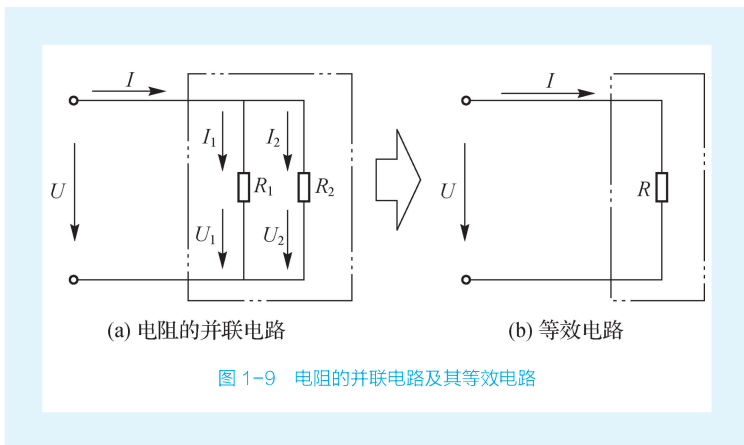
图 1-8 电阻分压器

(3) 当负载的额定电压(标准工作电压值)低于电源电压时, 采用电阻与负载串联的方法, 使电源的部分电压分配到串联电阻上, 以满足负载正确的使用电压值。例如, 一个指示灯额定电压 6 V, 电阻 6Ω , 若将它接在 12 V 电源上, 必须串联一个阻值为 6Ω 的电阻, 指示灯才能正常工作。

(4) 用电阻串联的方法来限制调节电路中的电流。在电工测量中普遍用串联电阻法来扩大电压表的量程。

二、电阻的并联电路

将两个或两个以上的电阻两端分别接在电路中相同的两个节点之间的连接方式称为电阻的并联。图 1-9 (a) 所示是电阻的并联电路, 图 1-9 (b) 是图 1-9 (a) 的等效电路。



微课
电阻并联电路

第一章

第二章

第三章

第四章

第五章

第六章

第七章

第八章

电阻的并联电路有如下特点:

(1) 并联电路中各个支路两端的电压相等, 即

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-16)$$

(2) 并联电路中总电流等于各支路中的电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-17)$$

(3) 并联电路的总电阻 (即等效电阻) 的倒数等于各并联电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-18)$$

若是两个电阻并联, 根据式 (1-18) 可求并联后的总电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-19)$$

根据式 (1-16) 及欧姆定律可以得出

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_1}{I_n} &= \frac{R_n}{R_1} \\ \frac{I}{I_n} &= \frac{R_n}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1-20)$$

式 (1-20) 表明, 在并联电路中, 电阻的阻值越大, 这个电阻所分配到的电流越小, 反之越大, 即电阻上的电流分配与电阻的阻值成反比。这个结论是电阻并联电路特点的重要推论, 用途极为广泛, 如用并联电阻的办法扩大电流表的量程。

电阻并联的应用同电阻串联的应用一样, 也很广泛。例如:

(1) 因为电阻并联的总电阻小于并联电路中的任意一个电阻, 因此, 可以用电阻并联的方法来获得阻值较小的电阻。

(2) 由于并联电阻各个支路两端电压相等, 因此, 工作电压相同的负载, 如电动机、电灯等都是并联使用, 任何一个负载的工作状态既不受其他负载的影响, 也不影响其他负载。在并联电路中, 负载数目增加, 电路的总电阻减小, 电流增大, 负载从电源取用的电能多, 负载变重; 负载数目减少, 电路的总电阻增大, 电流减小, 负载从电源取用的电能少, 负载变轻。因此, 人们可以根据工作需要启动或停止并联使用的负载。

(3) 在电工测量中应用电阻并联方法组成分流器来扩大电流表的量程。

实训项目: 电阻的串联与并联

许多装饰用的小彩灯的灯泡都是依次连接在电路里的, 而家庭中使用的电灯、电风扇、电视机、电冰箱、洗衣机、空调器等都以并联的形式连接在电路中。它们为什么采用不同的连接方式? 这两种连接方式有什么特点?

相关知识点: 电阻的串联与并联 电流表 电压表

1. 读表练习

按图 1-10 中电压表、电流表指针所指位置及表的量程位置, 将正确读数填入表 1-4。

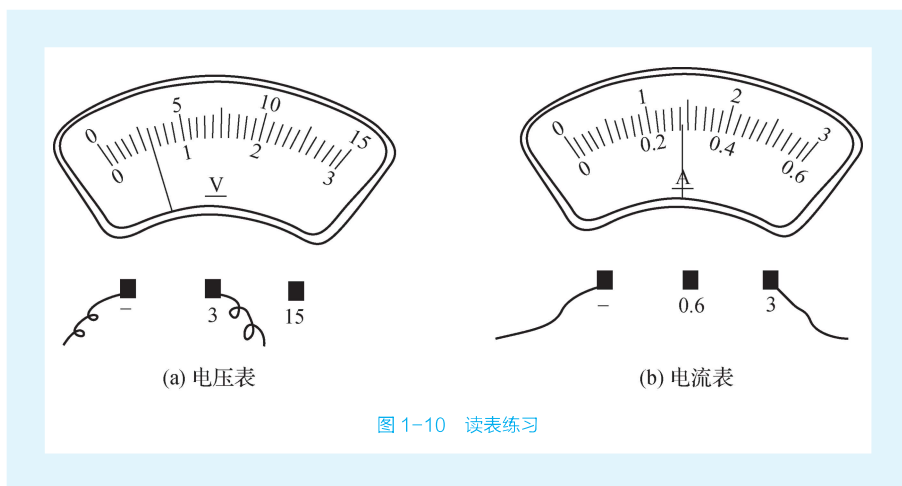


图 1-10 读表练习

表 1-4 读表练习

项 目	读 数 值
电压表	
电流表	

2. 直流电流表使用训练

1) 串联电路连接

- (1) 按图 1-11 分别把电流表串接在 a 、 b 、 c 位置。
- (2) 测取电流值并填入表 1-5, 尝试得出结论。

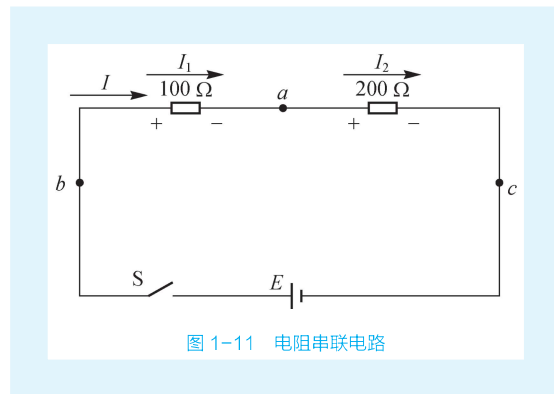


图 1-11 电阻串联电路

表 1-5 串联电路电流测试

表的位置	电 流 值	结 论
a 点		
b 点		
c 点		

2) 并联电路连接

(1) 按图 1-12 正确连接电路。

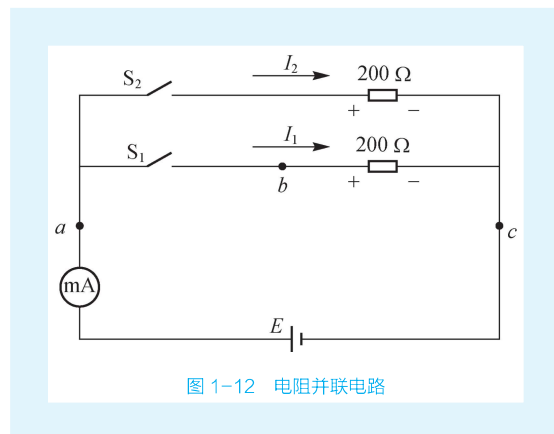


图 1-12 电阻并联电路

(2) 分别测取 S_1 闭合、 S_2 打开， S_1 打开、 S_2 闭合， S_1 闭合、 S_2 闭合时的电流值并填入表 1-6，尝试得出结论。

表 1-6 并联电路电流测试

开关状态	电 流 值	结 论
S_1 闭合、 S_2 打开		
S_1 打开、 S_2 闭合		
S_1 闭合、 S_2 闭合		

第一章
第二章
第三章
第四章
第五章
第六章
第七章
第八章

3. 直流电压表使用训练

1) 串联电路连接

(1) 按图 1-11 分别把电压表连接在 a 和 b 、 b 和 c 、 a 和 c 之间。

(2) 测取电压值并填入表 1-7, 尝试得出结论。

表 1-7 串联电路电压测试

表的位置	电压值	结 论
a 、 b 之间		
b 、 c 之间		
a 、 c 之间		

2) 并联电路连接

(1) 按图 1-12 把电压表连接在 ab 之间。

(2) 分别测取 S_1 闭合、 S_2 打开, S_1 打开、 S_2 闭合, S_1 闭合、 S_2 闭合时的电压值并填入表 1-8, 尝试得出结论。

表 1-8 并联电路电压测试

开关状态	电压值	结 论
S_1 闭合、 S_2 打开		
S_1 打开、 S_2 闭合		
S_1 闭合、 S_2 闭合		

【想一想】

电路如图 1-13 所示, 已知 $E=10\text{ V}$, $r=10\ \Omega$, $R=9.9\ \Omega$, 开关 S 分别在位置 1、2、3 时, 电流表和电压表的读数各为多少?

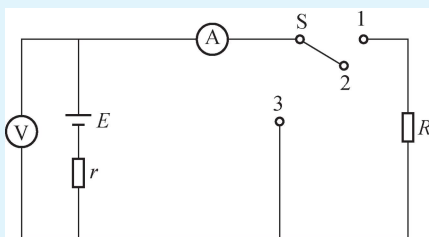


图 1-13 不同工作状态的电路

【议一议】

若要扩大电压表、电流表的量程, 可通过接入电阻来实现, 那么电阻怎样接入电路?

第五节 基尔霍夫定律

图 1-14、图 1-15 所示两个电路图, 要求确定电阻 R_3 上的电流方向。对于图 1-14, 因为只有一个电源, R_3 上的电流方向很明确, 即 $a \rightarrow b$ 。而对于图 1-15, 因为有两个电源, 两个电源输出的电流经过 R_3 的方向是不同的, 那么 R_3 上的电流方向如何确定呢?

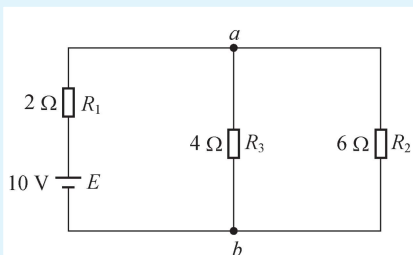


图 1-14 简单电路

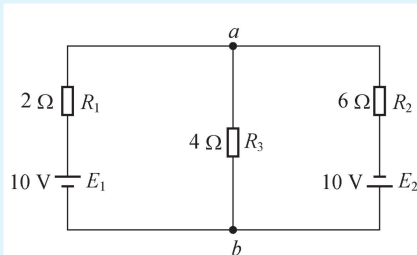


图 1-15 复杂电路

一、参考方向

1. 参考方向的概念

在电路分析中, 流过某一段电路或某一元件的电流的实际方向或两端电压的实际方向往往不知道, 这时可以任意假定一个电流、电压方向, 这个假定的电流、电压方向称为参考方向。

2. 电流、电压的参考方向

图 1-16 中电流实际方向用虚线表示, 参考方向用实线表示。当电流的实际方向与参考方向一致时, 电流就取正值, 否则取负值。

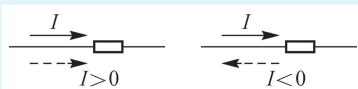


图 1-16 标注电流方向

图 1-17 中电压实际方向用虚线表示, 参考方向用实线表示。当电压的实际方向与参考方向一致时, 电压就取正值, 否则取负值。

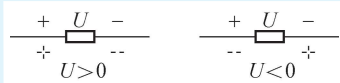


图 1-17 标注电压方向

【想一想】

在一段电路中，若电流与电压的参考方向不一致，欧姆定律的表达式怎样写？

二、基尔霍夫定律

【做一做】

(1) 按图 1-18 连接电路。

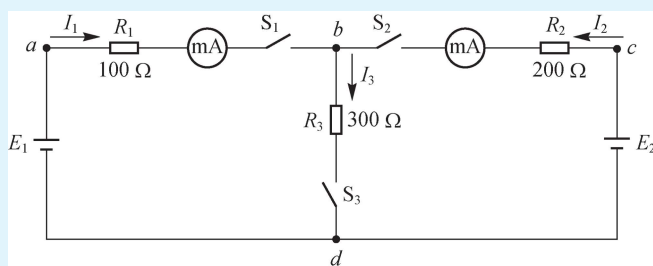


图 1-18 基尔霍夫定律实训电路

(2) 检查电路连接无误后接通电源，用直流电流表、直流电压表分别测量各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 和各电阻上的电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{bd} 。

(3) 将测量结果填入表 1-9。

表 1-9 基尔霍夫定律实训数据表

电源电压 /V		I_1/A	I_2/A	I_3/A	U_{ab}/V	U_{bc}/V	U_{bd}/V
E_1	E_2						
9	12						
12	12						
12	10						
结论		$I_1 + I_2 - I_3 =$ $U_{ab} + U_{bd} - E_1 =$ $U_{bc} + E_2 - U_{bd} =$					

1. 支路、节点、回路、网孔的概念

1) 支路

电路中的每一个分支称为支路。如图 1-18 所示，有 3 条支路：支路 $b \rightarrow R_1 \rightarrow E_1 \rightarrow d$ ；支路 $b \rightarrow R_3 \rightarrow d$ ；支路 $b \rightarrow R_2 \rightarrow E_2 \rightarrow d$ 。

2) 节点

三条或三条以上支路的连接点称为节点。如图 1-18 中有两个节点： b 、 d 。

3) 回路

节点电路中任一闭合路径称为回路。如图 1-18 中有 3 个回路：回路 $b \rightarrow R_3 \rightarrow d \rightarrow E_1 \rightarrow R_1 \rightarrow b$ ；

回路 $b \rightarrow R_2 \rightarrow E_2 \rightarrow d \rightarrow R_3 \rightarrow b$; 回路 $b \rightarrow R_2 \rightarrow E_2 \rightarrow d \rightarrow E_1 \rightarrow R_1 \rightarrow b$ 。

4) 网孔

内部不含支路的回路称为网孔。如图 1-18 中有 2 个网孔：网孔 $b \rightarrow R_3 \rightarrow d \rightarrow E_1 \rightarrow R_1 \rightarrow b$; 网孔 $b \rightarrow R_2 \rightarrow E_2 \rightarrow d \rightarrow R_3 \rightarrow b$ 。

2. 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律是关于电路中各支路电流之间关系的定律，所以也称为基尔霍夫电流定律 (KCL)。

基尔霍夫第一定律的内容为：在任意瞬间，流入任一节点的电流总和等于从这个节点流出的电流总和。其数学表达式为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

当回路有 n 个节点时，则 $n-1$ 个节点电流方程是独立的。

图 1-18 中有两个节点，只需对其中一个节点列方程，如对于节点 b 有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

如图 1-19 中的各个电流，可以看成是化工管路中物体的流量 (图 1-20)，这样不难得出

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

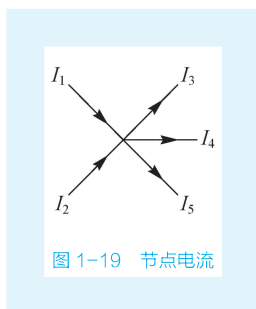


图 1-19 节点电流

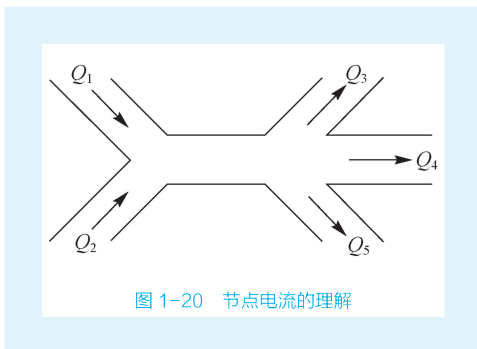


图 1-20 节点电流的理解

3. 基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律是关于电路中任一回路中各元件电压之间关系的定律，所以也称为基尔霍夫电压定律 (KVL)。

基尔霍夫第二定律的内容为：在任意瞬间，沿电路中任一回路，各段电压的代数和恒为零。其数学表达式为

$$\sum U = 0$$

如图 1-21 所示，假设回路的绕行方向为顺时针方向，有

$$U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} + E_2 - E_1 = 0$$

基尔霍夫第二定律不仅可以用于闭合电路，而且可以用于不闭合的电路，这便是第二定律的推广定律，其内容为：电路中某两点 a 、 b 之间的电压等于从 a 点到 b 点所经路径上全部电压的代数和。如图 1-22 所示， a 、 b 两点之间的电压可以写出下列关系：



微课
验证基尔霍夫
电流定律

第一章

第二章

第三章

第四章

第五章

第六章

第七章

第八章



微课
验证基尔霍夫
电压定律

或

$$U_{ab}=I_1 R_1+E_3-I_2 R_2$$

$$U_{ab}=I_3 R_3+E_1+E_3-E_2-I_4 R_4$$

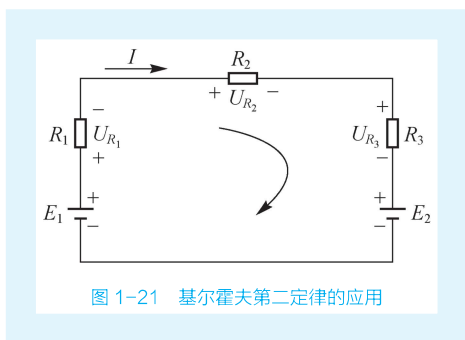


图 1-21 基尔霍夫第二定律的应用

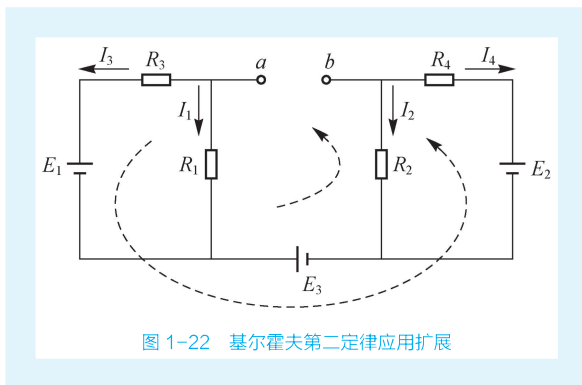


图 1-22 基尔霍夫第二定律应用扩展

运用 KVL 列回路电压方程时的步骤如下:

- (1) 找出电路中的所有网孔。
- (2) 选定各网孔的绕行方向。
- (3) 对每个网孔列回路电压方程。对于电阻,若流过电阻的电流方向与选定的网孔绕行方向一致,则该电阻上的电压取正值,否则取负值;对于电源,如电压方向与选定的绕行方向一致,则该电压取正值,否则取负值。

如图 1-23 所示,假定网孔的绕行方向为顺时针方向,则

$$\text{对于网孔①: } I_3 R_3 + I_1 R_1 - E_1 = 0$$

$$\text{对于网孔②: } -I_2 R_2 - I_3 R_3 + E_2 = 0$$

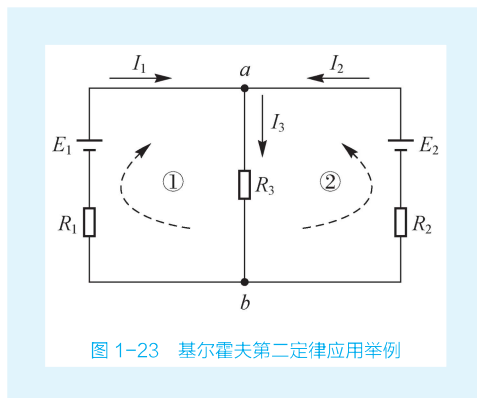


图 1-23 基尔霍夫第二定律应用举例

例 1-5 如图 1-23 所示,若 $E_1=18\text{ V}$, $E_2=9\text{ V}$, $R_1=R_2=10\ \Omega$, $R_3=4\ \Omega$, 利用 KCL、KVL 求各支路电流的大小。

解 (1) 在电路图上标注各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向。

(2) 根据 KCL, 对节点 a 列写节点电流方程。

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{①}$$

(3) 根据 KVL, 对网孔①、②分别列写回路电压方程。

$$I_3 R_3 + I_1 R_1 - E_1 = 0 \quad \text{②}$$

$$-I_2 R_2 - I_3 R_3 + E_2 = 0 \quad \text{③}$$

(4) 由方程①②③联立并代入数据,解得

$$I_1 = 1.2\text{ A, 实际方向与参考方向相同}$$

$$I_2 = 0.3\text{ A, 实际方向与参考方向相同}$$

$$I_3 = 1.5\text{ A, 实际方向与参考方向相同}$$

习 题

一、填空题

- 1-1 电路是由 _____、_____、_____、_____ 组成的。
- 1-2 电路有三种状态：_____、_____、_____。
- 1-3 通常电源电动势和内阻在短时间内 _____，且电源内阻又非常小，所以可近似认为电源的端电压等于 _____。
- 1-4 当电流的实际方向与参考方向一致时，电流取 _____ 值。当电压的实际方向与参考方向不一致时，电压取 _____ 值。
- 1-5 无分支的电路称为 _____。三条或三条以上支路的连接点称为 _____。

二、选择题

- 1-6 基尔霍夫第二定律的表达式为 ()。
- A. $\sum I=0$ B. $\sum U=0$ C. $\sum E=\sum IR$ D. $\sum U=\sum IR$
- 1-7 一般来说，对于具有 n 个节点、 b 条支路的电路，可列出 () 个独立的节点方程。
- A. n B. $b-n$ C. $n-1$ D. $b-(n-1)$
- 1-8 一般来说，对于具有 n 个节点、 b 条支路的电路，可列出 () 个独立节点电流方程。
- A. n B. $n-1$ C. $b-n$ D. $b-(n-1)$
- 1-9 导线电阻与它们的 () 有关。
- A. 几何尺寸 B. 材料 C. 电压 D. 温度
- 1-10 消耗电能的元件包括 ()。
- A. 电阻器 B. 电炉 C. 电灯 D. 发电机

三、综合题

- 1-11 计算图 1-24 (a) 中的电压和图 1-24 (b) 中的电流。
- 1-12 电路如图 1-25 所示。
- (1) 求电路中的电流，并标出实际方向。
- (2) 试求 U_{ac} 、 U_{cd} 。

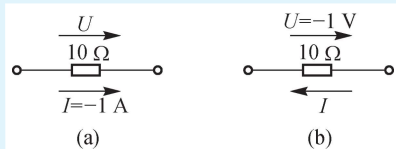


图 1-24 题 1-11 图

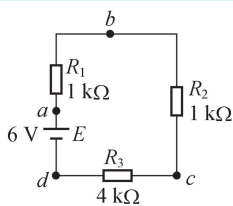


图 1-25 题 1-12 图

1-13 如图 1-26 所示, 已知 $U_1=12\text{ V}$, $U_2=-6\text{ V}$, $U_3=2\text{ V}$, $R_1=R_2=20\text{ k}\Omega$, $R_3=R_4=10\text{ k}\Omega$ 。求 A 点的电位。

1-14 一台直流电动机, 电阻为 $2\ \Omega$, 工作电压为 220 V , 通过的电流为 4 A 。求:

- (1) 电动机从电源吸收的功率。
- (2) 电动机发热的功率。
- (3) 电动机把电能转换成机械能的功率。

1-15 如图 1-27 所示电路中, 已知 $E_c=12\text{ V}$, $E_b=3\text{ V}$, $R_c=1.5\text{ k}\Omega$, $R_b=7.5\text{ k}\Omega$, $I_c=5.1\text{ mA}$, $I_b=0.2\text{ mA}$ 。试求电阻 R_{bc} 和 R_{be} 的大小。

