

第一章 直流电路基础知识



学习要求

- (1) 理解库仑定律及其应用。
- (2) 理解电场、电场强度、电力线、匀强电场、静电屏蔽的概念和物理意义。
- (3) 掌握电流、电流强度、电流参考方向的概念和相关计算。
- (4) 掌握电压、电位、电动势的物理概念，电压、电位的参考方向，电动势的方向，以及相关计算。
- (5) 理解电路的组成、电路的功能和电路模型的概念。
- (6) 掌握电阻定律、欧姆定律、焦耳定律相关计算及应用。
- (7) 掌握电能、电功率的概念及相关计算，电功率正负值的物理意义。
- (8) 掌握电源的最大输出功率、阻抗匹配和电源效率的计算。

1.1 库仑定律

知识同步指导

1. 摩擦生电的本质

摩擦生电的本质是电子从一个物体转移到另一个物体，造成物体的电子过多或不足而对外呈现带电特性。

2. 自然界中的两种电荷及相互作用力

(1) 两种电荷为正电荷、负电荷。

(2) 相互作用力为引力或斥力。两种力表现为同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。描述电荷多少的物理量称为电荷量，用“ $Q(q)$ ”表示，单位为库仑，符号为C。

3. 库仑定律

库仑定律诠释了点电荷之间相互作用力（也称静电力或库仑力）的大小和方向的问题。

1) 库仑定律的内容：真空中两个点电荷间的作用力的大小跟它们所带电荷量的乘积成正比，跟它们之间距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上。

2) 库仑定律公式表示为
$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中： q_1 、 q_2 ——点电荷的电荷量，单位是库仑，符号为C；

r ——点电荷间的距离，单位是米，符号为m；

K ——静电恒量， $K=9 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ ；



F ——静电力，单位是牛顿，符号为 N。

3) 学习库仑定律应注意的两个问题。

- (1) 库仑定律只适用于点电荷，对非点电荷间的相互作用力，库仑定律不适用。
- (2) 库仑定律用绝对值表示电荷的大小，再根据电荷的性质确定是引力或斥力。

经典例题解析

【例 1】真空中有 q_1 、 q_2 两个点电荷，它们相互吸引。已知引力大小为 $1.8 \times 10^{-4} \text{N}$ ，点电荷 q_1 的电荷量为 $+4 \times 10^{-9} \text{C}$ ，两个点电荷的距离为 10^{-3}m ，求 q_2 的电荷量。

【解答】 $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow q_2 = \frac{F r^2}{K q_1} = \frac{1.8 \times 10^{-4} \times (10^{-3})^2}{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-9}} = 5 \times 10^{-12} \text{C}$

因为 q_1 与 q_2 相互吸引，故 q_2 为负电荷，即 $q_2 = -5 \times 10^{-12} \text{C}$ 。

【例 2】在空气中有两个带有异种电荷的金属小球，分别带有 -4C 和 $+1\text{C}$ 的电荷量，它们的作用力为 F ，若相碰后再放回原处，则作用力的大小变为（ ）。

- A. $\frac{9}{16}F$ B. $\frac{9}{4}F$ C. $\frac{25}{16}F$ D. F

【解析】异种电荷相碰后会先完全中和量小的异性电荷，中和完毕后余下的同种电荷再平均分配。

【解答】设原来 $q_1 q_2$ 的乘积为 $1 \times 4 = 4$ ，作用力为 F 且相互吸引，那么现在的 $q_1 q_2$ 的乘积就为 $1.5 \times 1.5 = 2.25$ ，作用力为 F' 且相互排斥。由于 $\frac{F'}{F} = \frac{2.25}{4} = 0.5625$ ，故答案选择 A。

同步练习题

一、填空题

1. 电荷间存在着相互作用力，同种电荷相互_____，异种电荷相互_____。
2. 真空中有 A、B 两个点电荷，A 的电荷量是 B 的电荷量的 3 倍，若把 A、B 的电荷量都增大为原来的 3 倍，保持它们之间的距离不变，则它们之间的作用力变为原来的_____倍，A 对 B 的作用力是 B 对 A 的作用力的_____倍。
3. 两个带电的金属小球相距 r 时，它们之间的静电力大小为 F ；若 r 不变，将两球所带电荷量均匀加倍，则它们之间静电力大小为_____；若电荷量不变，将两球之间距离加倍，则它们之间的静电力大小为_____；若两球所带电荷量均加倍，同时将两球间距离减为原来的 $\frac{1}{2}$ ，则它们之间的静电力大小为_____。

二、单项选择题

1. 已知真空中有两个点电荷 q_1 和 q_2 ，相互间的吸引力是 F ，且 $|q_1| = |3q_2|$ ，若将它们的距离变为原来的 2 倍，则它们之间的相互作用力是（ ）。



A. $\frac{1}{4}F$

B. $\frac{3}{4}F$

C. $\frac{4}{3}F$

D. $\frac{1}{2}F$

2. 两个完全相同的金属小球, 分别带有 $+3q$ 和 $-q$ 的电荷量, 当它们相距为 r 时, 它们之间的静电力为 F 。若把它们接触后分开, 再置于相距 $r/3$ 的两点, 则它们之间静电力的大小将变为()。

A. $\frac{1}{3}F$

B. F

C. $3F$

D. $9F$

三、计算题

1. 已知 A、B 两个点电荷的电荷量 $q_A=5\times 10^{-10}\text{C}$, $q_B=-6\times 10^{-10}\text{C}$, A、B 间的距离 $r=0.3\text{cm}$ 。求:

(1) A、B 间相互作用力的大小;

(2) 若 A、B 之间的距离变为 0.1cm , A、B 之间的相互作用力又是多少?

2. 真空中两个点电荷相互吸引, 其引力大小为 $5.4\times 10^{-6}\text{N}$ 。若其中一个点电荷的电荷量是 $6\times 10^{-10}\text{C}$, 两个点电荷间的距离为 0.01m 。求另一个点电荷的电荷量。

1.2 电场及电场强度、静电感应和静电屏蔽

知识同步指导

1. 电场的引出

点电荷间没有直接相触, 相互之间却有力的作用, 是因为电荷周围存在电场的原因。

(1) 场: 一种看不见, 摸不着, 但又客观存在的物质。

(2) 电场: 存在于电荷周围空间的特殊物质。电荷间的相互作用力(也称电场力或库仑力或静电力)是通过电场实现的。

(3) 电场力的两个重要特征。

① 置于电场中的任何带电体, 都要受到电场力的作用。

② 电场具有能量。

2. 电场强度

(1) 电场强度: 检验电荷在电场中某一点所受的电场力 F 与检验电荷 q 的比值称为该



点的电场强度。

(2) 电场强度计算公式

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

式中： E ——电场强度，单位为牛顿每库仑（N/C）或伏特每米（V/m）。

【强调】电场强度既有大小又有方向，即电场强度是矢量。

3. 电力线

为形象描述电场力的大小和方向而人为绘制的一种假想曲线。

电力线的特征：

- (1) 起于正电荷，终于负电荷或无穷远；
- (2) 电力线越密的地方，电场强度越大，反之越小；
- (3) 电力线上某点电场强度的方向即为该点电力线的切线方向，也就是在该点放置一正检验电荷时，检验电荷所受电场力的方向；
- (4) 任何两条电力线不会相交。

4. 静电感应与静电屏蔽

(1) 静电感应现象：在外电场的作用下，金属导体内部电荷重新分布，在两个相对表面上出现等量异性电荷的现象，如图 1-2-1 所示。

(2) 静电平衡及其特点。

当附加电场的电场强度与外电场强度相等时，金属板内的合成电场强度为零，移动自由电子的力也就为零。电荷停止分离，金属板两侧的正、负电荷不再增加，导体处在静电平衡状态。如图 1-2-1 所示。

处于静电平衡状态的导体，其内部电场强度为零，感应电荷只分布在导体的表面。需要说明的是，导体表面的电场强度并不为零，其方向与导体表面垂直。

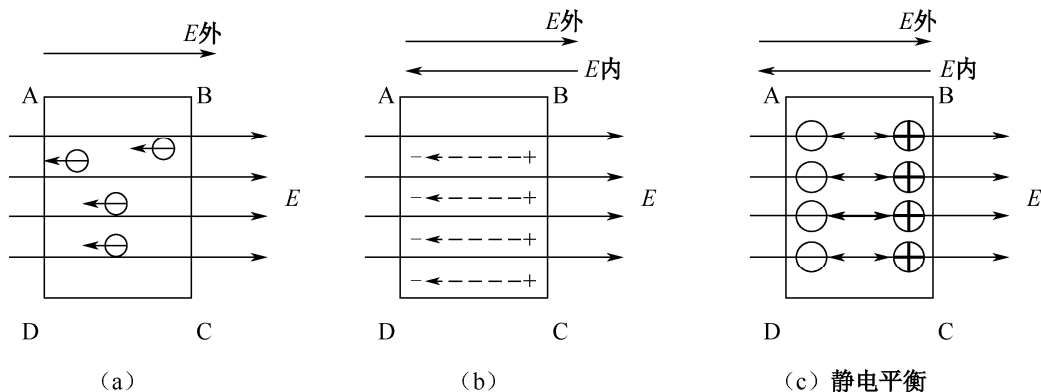


图 1-2-1 均匀电场对金属板的作用过程

(3) 静电屏蔽。

任何金属空腔内的物体，不会受到外电场的影响；一个置于接地的金属空腔内的带电体，也不会影响腔外的带电体，这就是静电屏蔽的原理、静电屏蔽的本质是将电力线中断。



经典例题解析

【例 1】 检验电荷的电荷量 $q=3\times 10^{-9}\text{C}$ ，在电场中 P 点受到的电场力 $F=0.18\text{N}$ 。

(1) 求该点的电场强度；

(2) 若检验电荷放在 P 点，电荷量 $q'=6\times 10^{-9}\text{C}$ ，检验电荷所受电场力又是多少？

【解答】 (1) $E = \frac{F}{q} = \frac{0.18}{3\times 10^{-9}} = 6\times 10^7 \text{N/C}$

(2) 由于电场中某点的电场强度与检验电荷无关，所以 P 点的电场强度不变， q_1 所受电场力 F' 为：

$$F' = E q' = 6\times 10^7 \times 6\times 10^{-9} = 0.36\text{N}$$

【例 2】 在电场中，电荷量为 $5\times 10^{-10}\text{C}$ 的点电荷，在 A 点受到的电场力是 $6\times 10^{-7}\text{N}$ ，在 B 点受到的电场力是 $8\times 10^{-7}\text{N}$ ，求 A、B 两点的电场强度分别是多少？

【解答】 $E_A = \frac{F_A}{q} = \frac{6\times 10^{-7}}{5\times 10^{-10}} = 1.2\times 10^3 \text{N/C}$

$$E_B = \frac{F_B}{q} = \frac{8\times 10^{-7}}{5\times 10^{-10}} = 1.6\times 10^3 \text{N/C}$$

【例 3】 信号传输线都要用一层金属丝编织的网包覆，金属丝网起什么作用？

【解答】 金属丝编织的网起到了静电屏蔽的作用。既保障了外电场不干扰信号线内的信号传输，也避免了传输线内信号的电场向外辐射。

【例 4】 油罐车的尾部为什么要挂一条触及地面的铁链？

【解答】 运输中油品晃动，在油品晃动过程中，油品之间会产生静电。如果静电积聚过多，可能会引起火灾或爆炸。在罐体下部安装铁链，目的就是 will 将车体内的静电引入大地，避免发生危险。

同步练习题

一、填空题

1. 电场强度是矢量，它既有_____，又有_____。电场中某点的电场强度方向与正电荷在该点所受的电场力的方向_____。

2. 把带电荷量为 $2\times 10^{-9}\text{C}$ 的检验电荷放入场中的某点，它所受的电场力为 $5\times 10^{-7}\text{N}$ ，则该点的电场强度是_____；如果在该点放入一个电荷量为 $6\times 10^{-9}\text{C}$ 的检验电荷，则该点的电场强度是_____，该点检验电荷受到的电场力等于_____。

3. 电力线总是起于_____，终于_____或_____，它不是闭合曲线；任何两条



电力线都不会_____，静电屏蔽的本质就是将电力线_____。

4. 处于电场中的导体，因_____力的作用而使导体内的_____重新分布的现象称为静电感应，因_____感应而在导体上显现的电荷称为_____电荷。

5. 在电场中，处于_____平衡状态下的导体，因内外_____的强度_____，方向_____，其内部电场强度必定为_____；外部电场的电力线在导体表面_____，而_____进入导体内部。空腔导体能使其腔内的电路不受_____电场干扰的现象称为_____。接地的空腔导体内的_____也不能对外部形成干扰。

6. 电荷周围_____的物质，这种物质称为电场。电荷间的相互作用就是通过_____发生的。

7. 放入电场中某一点的检验电荷受到的电场力与它的_____的比值，称为这一点的电场强度。公式为： $E=$ _____；电场强度是矢量，_____在电场中某一点所受电场力的方向，就是这一点的电场强度方向。

8. 在电场中某一区域，如果各点的电场强度的_____和_____都相同，那么这个区域的电场称为_____电场。

二、单项选择题

1. 静电场中某点的电场强度（ ）。

- A. 与电荷在该点所受的电场力的大小成正比
- B. 与放于该点的电荷的电荷量成反比
- C. 与放于该点的电荷的电荷量及所受电场力的大小无关
- D. 其方向与电荷在该点所受的电场力的方向一致

2. 在由场电荷 Q 形成的电场中点 A 处，放入 $q_1=0.5\times 10^{-7}\text{C}$ 的检验电荷，测得 $E_A=1.2\times 10^{-4}\text{N/C}$ ；现改用 $q_2=0.5q_1$ 的检验电荷替换 A 点处的 q_1 ，则 A 点处的电场强度 E_A 应为（ ）。

- A. $2.4\times 10^{-4}\text{N}$
- B. $1.2\times 10^{-2}\text{N/C}$
- C. $1.2\times 10^{-4}\text{N/C}$
- D. $0.3\times 10^{-2}\text{N/C}$

3. 在某电场中距离电荷 Q 点 1m 处，测得电场强度 $E=1.2\times 10^{-4}\text{N/C}$ ，则在距离电荷 Q 点 2m 处的地方，电场强度 E 应为（ ）。

- A. $2.4\times 10^{-4}\text{N/C}$
- B. $1.2\times 10^{-2}\text{N/C}$
- C. $1.2\times 10^{-4}\text{N/C}$
- D. $0.3\times 10^{-4}\text{N/C}$

4. 场电荷 Q 电荷量为 $8.0\times 10^{-2}\text{C}$ ，在其所产生的电场中点 A 处，测得电场强度 $E_A=1.2\times 10^{-4}\text{N/C}$ ，现用场电荷 Q' 电荷量为 $1.2\times 10^{-1}\text{C}$ 替代原场电荷 Q ，则 A 处的电场强度 E_A 应是（ ）。

- A. $2.4\times 10^{-4}\text{N/C}$
- B. $1.2\times 10^{-4}\text{N/C}$
- C. $1.8\times 10^{-4}\text{N/C}$
- D. $3.6\times 10^{-4}\text{N/C}$



三、计算题

1. 电场中某点的电场强度是 $8 \times 10^6 \text{N/C}$, 电荷量为 $4 \times 10^{-8} \text{C}$ 的检验电荷在该点受到的电场力是多少?

2. 在场电荷 $+Q$ 产生的电场中有一点 P, 检验电荷 $q = 5 \times 10^{-9} \text{C}$ 在 P 点受到的电场力 $F = 25 \text{N}$, 求 P 点的电场强度 E ; 若将 $q' = -2 \times 10^{-9} \text{C}$ 的检验电荷放在 P 点, 求其所受力的方向和大小。

1.3 电流

知识同步指导

1. 电流

(1) 电荷的定向运动形成电流。其运动形式表现为:

- ① 金属导体中自由电子的定向运动;
- ② 电解液中正、负离子的运动;
- ③ 半导体内自由电子与空穴的运动。

(2) 导体产生电流的内、外因。

- ① 内因: 导体内有可以移动的自由电子。
- ② 外因: 导体内要维持一个电场, 即两端要有电压。

2. 电流的双重含义

(1) 表示一种物理现象;

(2) 表示该物理现象的剧烈程度, 也称电流强度, 简称电流。其定义式为:

$$I = \frac{q}{t} \quad (\text{单位时间内通过导体横截面积的电荷量})$$

单位为安培, 符号 A。单位换算: $1 \text{kA} = 10^3 \text{A}$ $1 \text{A} = 10^3 \text{mA}$ $1 \text{mA} = 10^3 \mu\text{A} = 10^6 \text{nA}$

3. 电流密度

通过单位横截面积的电流强度称为电流密度, 其定义式为:

$$J = \frac{I}{S}$$



单位为安培/平方毫米 (A/mm^2)。

【强调】实际使用中，导体的电流密度应小于允许值，否则会发热严重，引发危险。

4. 电流的方向

(1) 正电荷运动的方向为电流的方向。在金属导体中，电流的方向与自由电子的运动方向相反。

(2) 电流的参考方向。

为计算方便而事先假设的电流方向，可任意设定，用箭头标明。若计算结果为正值，则说明实际电流方向与参考方向一致，反之亦反。如果不标明参考方向，电流的正负号无任何意义。电流参考方向标注示例如图 1-3-1 所示。

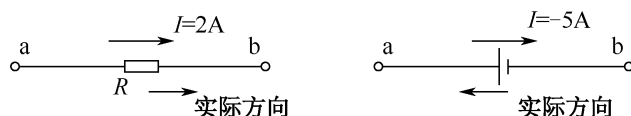


图 1-3-1 电流参考方向标注示例

5. 电流是矢量

电流既有大小又有方向。

6. 电流的类型

(1) 直流电流，直流电流又分为恒定直流电流和脉动直流电流。

(2) 交流电流，交流电流又分为正弦交流电流和非正弦交流电流。

经典例题解析

【例 1】电荷的_____运动形成电流，若 1min 内通过某一导体横截面积的电荷量为 6C，则通过导线的电流是_____A，合_____mA，合_____μA。

【解答】定向 0.1 100 1×10^5

【例 2】已知 $4mm^2$ 的铜导线允许的电流密度为 $6A/mm^2$ ，则在 5s 内允许通过导线的电荷量是多少？

【解答】 因为 $Q = It$ ， $I = JS$ ，所以 $Q = JS t = 6 \times 4 \times 5 = 120C$ 。

同步练习题

一、填空题

1. 电流的实际方向与参考方向_____时，电流为正值；电流的实际方向与参考方向_____时，电流为负值。
2. 导体中形成电流的内因是_____；外因是_____，两者缺一不可。
3. 电流的单位是_____，用万用表测量电流时应把万用表_____在被测电路中。



4. _____为电流的方向,在金属导体中,电流方向与自由电子运动的方向_____。
5. 若3min通过横截面的电荷量是1.8C,则导体中的电流为_____mA。
6. 若导体中的电流为0.5A,经过_____min,通过导体横截面的电荷量为12C。
7. 电流大小和方向随时间而改变的电流称为_____;电流大小和方向都不随时间而改变的电流称为_____。
8. _____电荷定向移动的方向为电流的方向。若3min通过导体横截面的电荷量是18C,则导体中的电流是_____A。
9. 若导线中电流为 $10^5\mu\text{A}$,则在1min内通过此导线横截面的电荷量为_____。

二、单项选择题

1. 下列关于电流的叙述正确的是()。
 - A. 电荷的移动形成电流
 - B. 电流的方向与自由电子运动方向相同
 - C. 电流的方向与正电荷定向移动方向相同
 - D. 电流做功时,只能把电能转化为热能
2. 某导体在1min内通过的电荷量为60C,该导体的电流是()A。
 - A. 60
 - B. 1
 - C. 0.017
 - D. 3600
3. 导线中的电流为 $I=2\text{mA}$,则1h通过导线横截面的电荷量为()。
 - A. 2C
 - B. 120C
 - C. 7200C
 - D. 7.2C

1.4 电压和电位

知识同步指导

1. 电压概念及定义

(1) 概念: 衡量电场力做功能力大小的物理量。

(2) 定义: a、b 两点间的电压 U_{ab} 等于电场力把正电荷从 a 点移到 b 点所做的功 W_{ab} 与被移动电荷的电荷量 q 的比值。其定义式为

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

电压的单位为伏特,符号为V。

【强调】双下标标注法表示的方向始终是始下标指向终下标。

单位换算: $1\text{kV}=10^3\text{V}$, $1\text{V}=10^3\text{mV}$ $1\text{mV}=10^3\mu\text{V}$

2. 电位的概念及定义

电场中不同的点具有不同的能量,正电荷在电场中某点所具有的能量 A 与电荷的电荷量 q 之比称为该点的电位。其定义式为



$$V = \frac{A}{q}$$

电位的单位为伏特，符号为 V。

3. 参考点

通常为了比较电位的高低，必须设定一个电位为零的点，该点即称为参考点。

在同一个电路中，参考点可任意选择，但只能选择一个。在图 1-4-1 中：

若 $V_a=0$ (选 a 为参考点)，则 $V_b < 0$ ， $V_c < V_b$ ；

若 $V_b=0$ (选 b 为参考点)，则 $V_a > 0$ ， $V_c < 0$ ；

若 $V_c=0$ (选 c 为参考点)，则 $V_b > 0$ ， $V_a > V_b$ ；

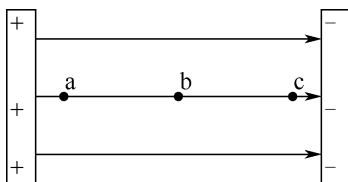


图 1-4-1 选择参考点

4. 电压的方向

(1) 电压的实际方向：规定电压的方向由高电位端指向低电位端，即电位降低的方向。

(2) 电压的参考方向：指在不明电压实际方向之前，为分析和计算的方便而事先假设的电压方向。若计算结果为正值，说明参考方向与实际方向一致，反之亦反。若没有参考方向，电压的正负号无任何意义。图 1-4-2 为电压参考方向的三种标注方法。

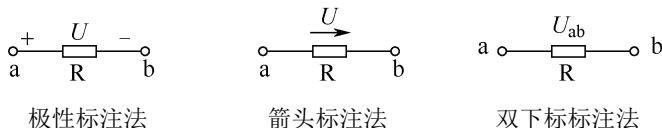


图 1-4-2 电压参考方向标注方法

5. 电压与电位的关系

(1) 两点间电压与电位的数量关系。

$$U_{ab} = V_a - V_b, \text{ 即两点之间的电压等于两点的电位之差。}$$

(2) 电压与电位的辩证关系。

① 电位是相对的。电位的大小与参考点有关，对同一个点而言，参考点改变，电位也随之改变。

② 电压是绝对的。电路中两点之间的电压是不变的，与参考点的选择无关。

经典例题解析

【例 1】在电路中为什么要引入电压、电流的参考方向？参考方向与实际方向有何区别和联系？何谓关联参考方向？

【解答】在分析和计算复杂电路时，由于事先很难判断电流或电压的实际方向，因而引入了参考方向的概念。



在规定的参考方向下，若计算值为正，说明参考方向与实际方向一致；若计算值为负，说明参考方向与实际方向相反。

若选定电流和电压的参考方向一致，则为关联参考方向，反之则为非关联参考方向。

【例 2】如图 1-4-3 所示， $V_A=9V$ 、 $V_B=-6V$ 、 $V_C=5V$ 、 $V_D=0V$ ，试求 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{AC} 、 U_{AD} 、 U_{BD} ？

【解答】依据电压与电位的关系得：

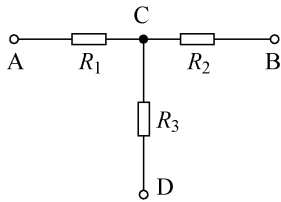


图 1-4-3 例 2 图

$$U_{AB} = V_A - V_B = 9 - (-6) = 15V$$

$$U_{BC} = V_B - V_C = -6 - 5 = -11V$$

$$U_{CD} = V_C - V_D = 5 - 0 = 5V$$

$$U_{AC} = V_A - V_C = 9 - 5 = 4V$$

$$U_{AD} = V_A - V_D = 9 - 0 = 9V$$

$$U_{BD} = V_B - V_D = -6 - 0 = -6V$$

【例 3】如图 1-4-4 所示，以 c 为参考点，则 $V_A=$ _____V， $V_B=$ _____V， $U_{AB}=$ _____V， $U_{AC}=$ _____V；若以 b 为参考点，则 $V_A=$ _____V， $V_C=$ _____V， $U_{AB}=$ _____V， $U_{AC}=$ _____V。

【解答】0， -1.5， 1.5， 0

1.5， 1.5， 1.5， 0

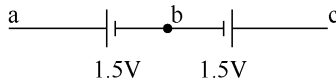


图 1-4-4 例 3 图

同步练习题

一、填空题

1. 电路中 a、b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b ，a、b 两点间的电压 $U_{ab}=$ _____。

2. 在一条电力线上有 A、B 两点，如图 1-4-5 所示。将电荷 q 由 A 点移到 B 点，电场力做功，则电力线的方向是_____指向_____；电荷 q 分别在 A、B 两点时，在_____点的电位能大，A、B 两点_____点电位高；若电荷 q 的电荷量为 $2 \times 10^6 C$ ，由 A 点移

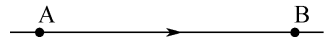


图 1-4-5 题 2 图

到 B 点，电场力做功 $W=2 \times 10^4 J$ ，则 A、B 两点之间的电压 $U_{AB}=$ _____V。

3. 把电荷量为 $1.5 \times 10^8 C$ 的电荷从电场中的 A 点移到电位 $V_B=100V$ 的 B 点，电场力做功为 $-3 \times 10^8 J$ ，那么 A 点的电位 $V_A=$ _____V，若将电荷从 A 点移到 C 点，电场力做



功为 $6 \times 10^6 \text{J}$, 则 C 点的电位 $V_C =$ _____ V, B 点和 C 点之间的电压 $U_{BC} =$ _____ V。

4. 电压的方向规定由 _____ 电位端指向 _____ 电位端。当电压采用双下标标注法时, 电压方向从 _____ 下标指向 _____ 下标。

5. 在图 1-4-6 中, 以 c 点为参考点, 则 $V_a =$ _____ V, $V_b =$ _____ V, $V_d =$ _____ V, $U_{ab} =$ _____ V, $U_{ad} =$ _____ V, $U_{bd} =$ _____ V; 若以 a 点为参考点, 则 $V_b =$ _____ V, $V_c =$ _____ V, $V_d =$ _____ V, $U_{bc} =$ _____ V, $U_{bd} =$ _____ V, $U_{cd} =$ _____ V。

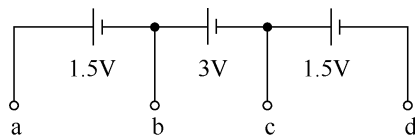


图 1-4-6 题 5 图

6. 电路中有 a、b、c 三点, 当选择 c 点为参考点时, $V_a = 15\text{V}$, $V_b = 5\text{V}$; 若选择 b 点为参考点时, 则 $V_a =$ _____, $V_c =$ _____。

7. 电场中有 a、b、c 三点, 设 b 点电位为零, $U_{ac} = 8\text{V}$, a 点电位为 3V , 则 c 点电位为 _____ V, 将电荷量为 $2 \times 10^6 \text{C}$ 的正电荷从 c 点移动到 a 点, 电场力做功为 _____ J。

8. a、b、c 为电场中的三点, 将电荷量为 $2 \times 10^6 \text{C}$ 的正电荷从 c 点移到 a 点, 电场力做功为 $1 \times 10^5 \text{J}$, 则 $U_{ac} =$ _____ V, 设 b 点电位为零时, $V_a = 10\text{V}$, 则 $V_c =$ _____ V。

9. 正电荷在电路中某点所具有的能量与电荷所带电荷量的比称为该点 _____。

10. 在电路的分析和计算中, 假定的电流、电压方向称为电流、电压的 _____。当假定的电流、电压的方向与 _____ 方向相反时取负。

11. 当电荷量为 $1 \times 10^2 \text{C}$ 的电荷从 a 点移动到 b 点时, 电场力做功为 2.2J , 若 a 点电位为 110V , 则 b 点电位为 _____ V, $U_{ab} =$ _____ V。

12. 在直流电路中, 电压的正方向是 _____ 电位指向 _____ 电位。

二、单项选择题

- 电路中两点间的电压高, 则 ()。
 - 这两点的电位都高
 - 这两点间的电位差大
 - 这两点的电位都大于零
 - 无法判断
- 在图 1-4-7 所示电路中, $E_1 = 6\text{V}$, $E_2 = 3\text{V}$, 则 A 点电位 V_A 应是 ()。
 - 3V
 - -3V
 - -6V
 - -9V
- 在图 1-4-8 所示电路中, 已知 $U_{AO} = 75\text{V}$, $U_{BO} = 35\text{V}$, $U_{CO} = -25\text{V}$, 则 U_{CA} 为 (), U_{BC} 为 ()。
 - 60V
 - -60V
 - 100V
 - -100V

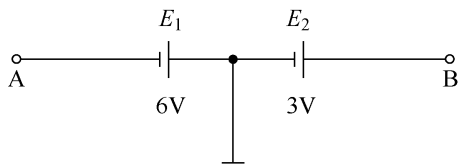


图 1-4-7 题 2 图

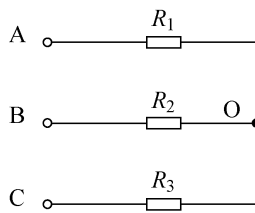


图 1-4-8 题 3 图

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

A. 升高	B. 降低
C. 不变	D. 不确定
5. 电路中任意两点间电位的差值称为 ()。

A. 电压	B. 电流
C. 电动势	D. 电位
6. 静电场中两点间的电压是 ()。

A. 不变的	B. 变化的
C. 随参考点选择的不同而不同	D. 不确定

三、计算题

已知 a、b、c 三点, $q=5 \times 10^{-2} \text{C}$, $W_{ab}=2\text{J}$, $W_{bc}=3\text{J}$, 以 b 点为参考点, 试求 a 点和 c 点电位。

1.5 电源和电动势

知识同步指导

1. 电源

- (1) 作用: 将其他形式的能转化为电能。
- (2) 类型: 干电池, 蓄电池, 光电池, 发电机等。
- (3) 特点: 正极电位高, 负极电位低。在通路状态下, 外电路中电流从高电位流向低电位; 而在电源内部, 则由负极流向正极。

2. 电动势

- (1) 电源力: 存在于电源内部的非静电性质的力 (也称非静电力或外力)。
- (2) 电动势: 衡量电源力将其他形式的能转化为电能能力的物理量 (体现电源力做功的能力)。
- (3) 电动势定义: 电源力把正电荷从电源负极移到电源正极所做的功与被移动电荷的



电荷量的比值称为电动势，即

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

式中， E 为电动势，单位为伏特，符号为 V。

(4) 电动势方向：**由电源的负极指向电源的正极**（与电源力方向一致）。

3. 电动势与电压的区别与联系

(1) **存在的位置不同。**

电动势只存在于电源的内部，而电压存在于电源的内、外部。

(2) **物理意义不同。**

电动势是衡量电源力将其他形式的能转化为电能的能力；电压是衡量电场力将电能转化为其他形成能的能力。

(3) **方向不同。**

电动势为电位升高的方向，电压为电位降低的方向。

经典例题解析

【例 1】电压与电动势有何区别？为什么它们的单位都定义为伏特？

【解答】电压的定义是：a、b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于单位正电荷从 a 点移到 b 点电场力所做的功。规定电压的方向就是电位降低的方向。

电动势的定义是：电源电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位 b 点经电源内部移到高电位 a 点所做的功。

故二者的单位均为伏特。但两者物理概念不同。

【例 2】某电场中 A、B 两点的电位分别为 $V_A=800V$ ， $V_B=-800V$ ，若有 5C 的正电荷从 B 点送到 A 点，电场力做的功为多少焦耳？是正功还是负功？

【解析】对电荷而言，**电位能增加是外力做正功，电场力做负功；电位能减少，是电场力做正功，外力做负功。**

【解答】 $U_{BA} = V_B - V_A = -800 - 800 = -1600V$ （A 端电位高）

$W_{BA} = U_{BA} \times q = -1600 \times 5 = -8000J$ ，即电场力做了 8000J 的负功，外力做正功。

同步练习题

一、填空题

1. 把_____的能转化为_____的设备叫电源。在电源内部，电源力把正电荷从电源的_____移到电源的_____。

2. 在外电路，电流从_____流向_____，是_____做功；在内电路，电流由_____流向_____，是电源力做功。

3. 在电源内部，电源力做了 12J 的功，将 8C 的正电荷由负极移到正极，则电源的电



动势为_____V；若将电荷量为 12C 的电荷由负极移到正极，则电源力需做_____的功。

4. 电源和负载的本质区别是：电源是把_____能转换成_____能的设备；负载是把_____能转换成_____能的设备。

二、单项选择题

- 关于电动势的说法，正确的是（ ）。
 - 电动势反映了不同电源的做功能力
 - 电动势是矢量
 - 电动势的方向由正极经电源内部指向负极
 - 电源内部的电源力维持电荷的定向移动
- 关于电动势的说法，正确的是（ ）。
 - 电动势不仅存在于电源内部，且电源外部也有电动势
 - 电动势就是电压
 - 电动势的正方向是从正极指向负极
 - 电动势的大小与外电路无关，它是由电源的本身性质决定的

三、计算题

电场力将电荷量为 1.2C 的正电荷从 A 点移到 B 点，电位降低了 200V，则电场力做了多少焦耳的功？

1.6 电阻和电阻定律

知识同步指导

1. 物质按导电性能分为三类

导体（电阻率通常在 $10^{-4} \sim 10^{-1} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）；

半导体（电阻率通常在 $10^1 \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）；

绝缘体（电阻率通常在 $10^{13} \sim 10^{26} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）。

2. 电阻的物理定义

导体对电流的阻碍作用称为导体的电阻。

3. 电阻定律的内容

在温度一定时，一定材料制成的导体的电阻跟它的长度成正比，跟它的横截面积成反比，还跟它的材料有关系。其定义式为



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

式中, ρ ——电阻率, 单位是欧米, 符号为 $\Omega \cdot \text{m}$;

L ——导体的长度, 单位是米, 符号为 m ;

S ——导体的截面积, 单位是平方米, 符号为 m^2 ;

R ——导体的电阻, 单位是欧姆, 符号为 Ω 。

单位换算: $1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$

4. 电导的概念

电阻的倒数称为电导 (G), 它是衡量电阻导电能力大小的物理量, 其定义式为

$$G = \frac{1}{R}$$

式中, G ——电导, 单位是西门子, 符号为 S 。

5. 导体电阻与温度的关系

一般情况下, 绝大多数金属材料取电阻随温度升高而增大, 其表达式为

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

式中, t_1 ——起始温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_2 ——实际温度 ($^{\circ}\text{C}$);

$(t_2 - t_1)$ ——导体的温升 ($^{\circ}\text{C}$);

α ——导体的电阻温度系数;

R_1 ——温度为 t_1 时对应的导体电阻;

R_2 ——温度为 t_2 时对应的导体电阻。

α 的物理意义: 导体温度升高 1°C 时, 电阻发生的变化量与原来电阻的比值。即

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

如果 $\alpha > 0$: $t \uparrow, R \uparrow$, 称为**正温度系数电阻** (常见于一般金属);

如果 $\alpha \approx 0$: $t \uparrow, R$ 不变, 称为**零温度系数电阻** (常见于康铜, 锰铜, 用于制作标准电阻或电阻器);

如果 $\alpha < 0$: $t \uparrow, R \downarrow$, 称为**负温度系数电阻** (常见于半导体材料和电解液)。

6. 伏安法测电阻简介

伏安法是根据欧姆定律来测量电阻的方法。考虑到电压表和电流表的内阻对测量结果的影响, 测量电路电阻可采用两种接法: 电流表外接法和电流表内接法。在进行电阻测量时, 可根据具体测量条件在两种接法中作出选择: 当被测电阻为大阻值电阻时, 宜采用**电流表内接法**, 如图 1-6-1 (a) 所示; 当被测电阻为小阻值电阻时, 宜采用**电流表外接法**, 如图 1-6-1 (b) 所示, 以减小由测量仪表引起的测量误差。

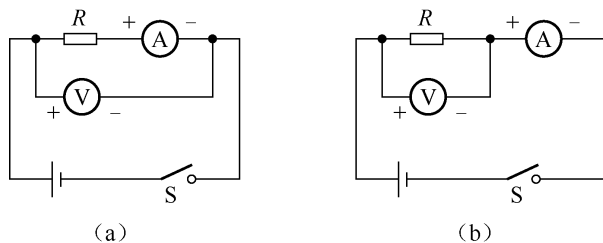


图 1-6-1 测量电阻的方法



经典例题解析

【例 1】欲输送电力至 250m 远处, 如果选用 50mm^2 横截面积的铜导线, 求线路的损耗电阻是多少? (铜: $\rho=1.75\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$)

【解析】电力输送形成回路需往返两根导线, 故实际需要导线长度为 500m。

【解答】 $R_{\text{损}} = \rho \frac{L}{S} = 1.75 \times 10^{-8} \times \frac{250 \times 2}{50 \times 10^{-6}} = 0.175(\Omega)$

【例 2】将一根金属导线均匀拉长, 使其直径为原来的 $\frac{1}{2}$, 则导线的阻值是原来的 ()。

- A. 2 倍 B. 4 倍
C. 8 倍 D. 16 倍

【解析】导线原电阻为 $R_1 = \rho \frac{L_1}{S_1}$, 今直径减半, 横截面积变为原来的 $\frac{1}{4}$, 但由于体积不变, 长度将增至原来的 4 倍。因此 $R_2 = \rho \frac{4L_1}{\frac{1}{4}S_1} = 16R_1$, 故选 D。

同步练习题

一、填空题

- 根据物质导电能力的强弱, 一般将物质分为_____、_____和_____。
- 导体对电流的_____作用叫电阻。电阻的单位是_____, 用符号_____表示。导体的电阻决定于导体的_____、_____和_____等因素, 用公式表示为_____。
- 一根长 800m, 横截面积为 2mm^2 的铜导线 ($\rho=1.75\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$), 它的电阻是_____ Ω ; 若将其对折起来使用, 其阻值是其原来阻值的_____倍。
- 将一根金属导线均匀拉长, 使其直径为原来的 $\frac{1}{2}$, 则该导线的阻值是原来阻值的_____倍。
- 电导是衡量导体_____的一个物理量, 它与电阻的关系为_____。
- 对于电阻温度系数为正的导体材料, 导体的电阻随温度的升高而_____。
- 电阻器主要用于稳定和调节电路中的_____和_____, 它的指标有_____, _____、_____, 最高工作电压、温度特性和稳定性等。
- 识别如图 1-6-2 所示的色环电阻器, 该电阻器的标称阻值是_____ Ω , 允许偏差是_____。
- 如图 1-6-3 是两个电阻的伏安特性, 则 R_a 比 R_b _____ (大, 小), $R_a =$ _____ Ω 。

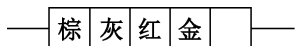


图 1-6-2 题 8 图

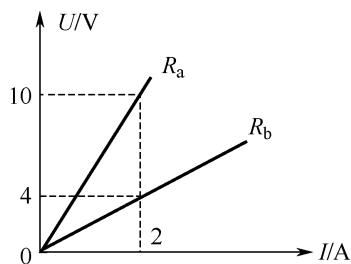


图 1-6-3 题 9 图

二、选择题

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

- A. $\frac{U}{2}$ B. U C. $2U$ D. $4U$

2. 一个均匀电阻经对折后，接到原来的电路中，在相同的时间里，电阻所产生的热量是原来的（ ）倍。

- A. $\frac{1}{2}$ B. $\frac{1}{4}$ C. 2 D. 4

3. 通常情况下，环境温度升高时，半导体的电阻值会（ ），纯金属导体的电阻值会（ ）。

- A. 增大 B. 减小 C. 不变 D. 不能确定

4. 一根电阻值为 R 的均匀导线，若将其直径减小一半，长度不变，则其电阻值为（ ）。

- A. $\frac{1}{2}R$ B. $2R$ C. $4R$ D. $\frac{1}{4}R$

5. 当电阻两端的电压与流过电阻的电流不成正比关系时，其伏安特性是（ ）。

- A. 直线 B. 曲线 C. 圆 D. 椭圆

6. 将一根粗细均匀的圆形金属导线，均匀拉长到原来的 2 倍，此时导线的电阻是原来的（ ）倍。

- A. $\frac{1}{4}$ B. $\frac{1}{2}$ C. 2 D. 4

7. 一根导线的阻值为 R ，若将其拉长为原来的 4 倍，则其阻值为（ ）。

- A. R B. $\frac{1}{4}R$ C. $4R$ D. $16R$

1.7 电路和欧姆定律

知识同步指导

1. 电路

电流流通的闭合路径称为电路。电路由电源、负载、连接导线、控制和保护装置组成。



(1) 电源，是向电路提供能量，将其他形式的能转化为电能的装置（如干电池、发电机等）。

(2) 负载，即各种用电设备，其作用是将电能转化为其他形式的能（如电灯、电动机等）。

(3) 连接导线，将电源和负载接成闭合电路，实现电能的输送和分配（如铜导线、铝导线等）。

(4) 控制和保护装置，控制电路的通断，保护电路的安全（如过流、过压、欠压、短路、过载保护装置等）。

2. 欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律（指不含电源的电阻电路）。

如图 1-7-1 所示：

当 U 、 I 参考方向一致时， $I = \frac{U}{R}$ （关联参考方向）；

当 U 、 I 参考方向相反时， $I = -\frac{U}{R}$ （非关联参考方向）。

【强调】欧姆定律只适用于线性电路。

线性电阻：电阻值不随电压、电流变化而变化的电阻。

线性电路：由线性电源、线性电阻组成的电路。

非线性电阻：电阻值随电压、电流变化而改变的电阻。

非线性电路：电路中含非线性电源或非线性电阻的电路。

(2) 全电路欧姆定律（指含负载和电源的闭合电路）。

如图 1-7-2 所示全电路中： $E = U_{内} + U_{外}$ ， $U_{内} = Ir = U_r$ ， $U_{外} = IR$ （又称路端电压或端电压） $E = I(r + R)$ ，可得全电路欧姆定律公式

$$I = \frac{E}{R + r}$$

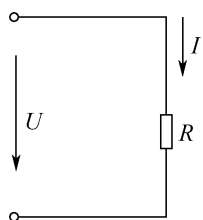


图 1-7-1 部分电路

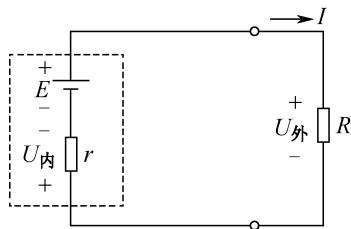


图 1-7-2 全电路

(3) 全电路的三种工作状态。

① 通路状态（有载状态）：其特点是 R 、 r 、 I 均为正常值， $I = \frac{E}{R + r}$ ， $E = U_{内} + U_{外}$ 。

② 短路状态：其特点是 $R = 0$ ， $U_{外} = 0$ ， $U_{内} = E$ ， $I = \frac{E}{R + r}$ 且其值很大，危害甚大，绝不允许出现，故电路必须设置短路保护装置。

③ 开路状态（断路状态）：其特点是 $R = \infty$ ， $I = \frac{E}{r + \infty} \rightarrow 0$ ， $U_{内} = 0$ ， $U_{外} = E$ 。



3. 电路模型

电路理论是在模型概念的基础上建立起来的，要分析一个复杂的电路系统，首先要用理论化的模型来描述这个系统。为了便于对电路进行分析和计算，常把实际的元件加以近似化、理想化，在一定条件下忽略其次要性质，用足以表征其主要特性的模型来表示，这种由理想元件构成的电路，就称为实际电路的“电路模型”。

经典例题解析

【例 1】 已知电阻 $R=5\Omega$ ，求图 1-7-3 中的电压 U_{ab} ，并说明电流和电压的实际方向。

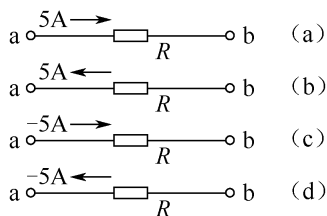


图 1-7-3 例 1 图

【解答】 根据题中设定电流参考方向和数值，已知 $R=5\Omega$ ，由欧姆定律可得：

(a) $U_{ab}=5 \times 5=25\text{V}$

电流的实际方向与图中电流参考方向相同。电压的方向是 a “+”（高电位端），b “-”（低电位端）；

(b) $U_{ab}=-IR=(-5) \times 5=-25\text{V}$

电流的实际方向与所标参考方向相同，电压的实际方向是 a “-”，b “+”；

(c) $U_{ab}=IR=(-5) \times 5=-25\text{V}$

电流的实际方向与所标参考方向相反，电压的实际方向同（b）解答；

(d) $U_{ab}=-IR=-(-5) \times 5=25\text{V}$

电流的实际方向与所标参考方向相反，电压的实际方向同（a）解答。

【例 2】 求图 1-7-4 中所示各元件吸收或发出的功率。

【解答】 由电压、电流的参考方向可得：

(a) 非关联参考方向， $P=-UI=-10 \times 1=-10\text{W} < 0$ ，元件为电源，发出功率；

(b) 关联参考方向， $P=UI=10 \times 1=10\text{W} > 0$ ，元件为电阻或是电源，吸收功率；

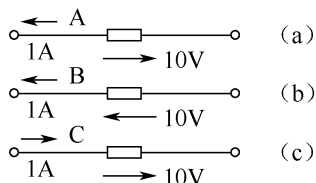


图 1-7-4 例 2 图

(c) 关联参考方向， $P=UI=10 \times 1=10\text{W} > 0$ ，元件为电阻或是电源，吸收功率。



【例 3】图 1-7-5 中 A、B、C 为三个元件（电源或负载），电压、电流参考方向已设定，已知 $I_1=3\text{A}$ ， $I_2=-3\text{A}$ ， $I_3=-3\text{A}$ ， $U_1=120\text{V}$ ， $U_2=10\text{V}$ ， $U_3=-110\text{V}$ 。

- (1) 试标出各元件电流、电压的实际方向以及极性；
- (2) 计算各元件的功率，并从计算结果指出哪个是电源，哪个是负载？

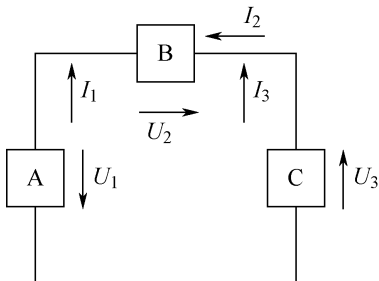


图 1-7-5 例 3 图

【解答】(1) 在图中已标出电流、电压的参考方向，已知 I_1 、 U_1 、 U_2 为正值，说明实际方向与设定的参考方向一致。 I_2 、 I_3 、 U_3 为负值，表示实际方向与参考方向相反。

- (2) $P_A = -I_1 U_1 = -360\text{W} < 0$ ，元件为电源；
- $P_B = -I_2 U_2 = -(-3) \times 10 = 30\text{W} > 0$ ，元件为负载；
- $P_C = I_3 U_3 = (-3) \times (-110) = 330\text{W} > 0$ ，元件为负载。

【例 4】在图 1-7-6 所示电路中， $R_1=14\Omega$ ， $R_2=29\Omega$ ，当开关 S 与 1 接通时，电路中的电流为 1A；当开关 S 与 2 接通时，电路中的电流为 0.5A，求电源的电动势和内阻。

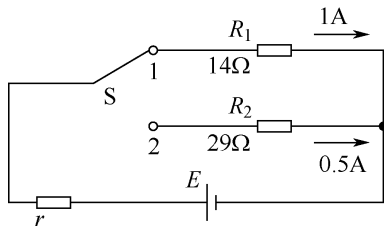


图 1-7-6 例 4 图

【解析】列出开关 S 置“1”和置“2”时的全电路欧姆定律方程，代入参数，联立求解，即可求出 E 和 r 的数值。

【解答】依题意列方程组如下：

$$\begin{cases} E = I_1 R_1 + I_1 r \\ E = I_2 R_2 + I_2 r \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E = 14I_1 + r \\ E = 29I_2 + 0.5r \end{cases}$$

解得： $E=15\text{V}$ ， $r=1\Omega$

【例 5】如图 1-7-7 所示，问：(1) 当变阻器 R_3 的滑动触点向左移动时，图中各电表的示数如何变化？为什么？(2) 滑动触点移到变阻器最左端时、各电表有示数吗？(3) 将 R_1 拆去，各电表有示数吗？

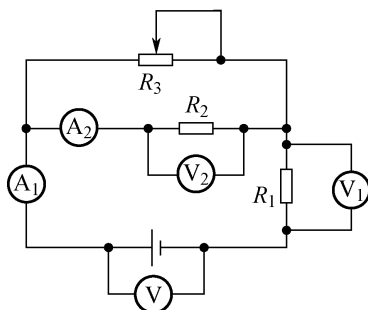


图 1-7-7 例 5 图

【解答】(1) R_3 滑动触点左移, R_3 减小, 整个外电阻 $R_{外}$ 减小, 由 $I = \frac{E}{R_{外} + r}$ 可知, A_1

示数增大;

根据 $U = E - Ir$, I 增大, 内电压 Ir 增大, 端电压 U 减小, 即 V 示数减小;

根据 $U_1 = IR_1$, I 增大, R_1 不变, 故 V_1 示数增大;

根据 $U_2 = U - U_1$, U 减小, U_1 增大, 故 V_2 示数减小。根据 $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$, U_2 减小, R_2 不变,

故 A_2 示数减小。

(2) 滑动触点移到最左端时, R_3 短路, V_2 左右两端等电位, 故示数为零; 电路中的电流均从短路支路中通过, 故 A_2 示数也为零; 其余各表仍有示数。

(3) 将 R_1 拆去, 外电路开路, 电流消失, 所以 A_1 、 A_2 和 V_2 示数均为零, 但 V 和 V_1 测的是端电压, 故仍然有示数, 其大小等于电动势。

同步练习题

一、填空题

1. 某导体两端加上 3V 电压时, 流过导体电流为 0.6A, 则导体电阻应为 _____ Ω , 其两端电压变为 6V 时, 电阻应为 _____ Ω 。
2. 电路中电流一定是从 _____ 电位流向 _____ 电位。
3. 一个焊接用电烙铁接 36V 电压, 电流为 10A。当使用时, 加热元件的电阻 $R =$ _____。
4. 内阻为 0.1 Ω 的 12V 蓄电池, 对外电路提供 20A 电流时, 其端电压为 _____ V, 外电路等效电阻为 _____ Ω 。
5. 一个电动势为 2V 的电源, 内阻为 0.1 Ω , 当外电路开路时, 电路中的电流为 _____, 端电压为 _____; 当外电路短路时, 电路中的电流为 _____, 端电压为 _____。
6. 一个电动势为 3V 的电源与 9 Ω 的电阻接成闭合电路, 电源端电压为 1.8V, 则电源的内阻为 _____ Ω 。
7. 一个电动势为 6V 的电源与 2.6 Ω 的电阻组成闭合电路, 电路中的电流为 2A, 则电



路端电压为_____V，电源内阻为_____Ω。

8. 在全电路中，负载中的电压、电流方向为_____方向；电源中的电压、电流方向为_____方向。

9. 一个电池和一个电阻组成最简单的闭合电路。当负载电阻的阻值增加到原来的3倍时，电流却变为原来的一半，则原来内、外电阻的阻值之比为_____。

10. 在闭合电路中，端电压随负载电阻的增大而_____，当外电路断开时，端电压等于_____。

11. 一个电源分别接上8Ω和2Ω的电阻时，两个电阻消耗的功率相同，则这个电源的内阻为_____Ω。

12. 当一只灯使用时，流过的最大电流是2A，灯亮时灯丝的电阻值是25Ω。试计算可以加在灯上的最大电压 $U=$ _____。

13. 有一个电动势为250V、内阻为5Ω的电源，其负载由“220V/40W”的电灯并联而成，欲使电灯正常发光，则需用_____只。

14. 在焊接电路元件时需用30W的电烙铁，今只有一只“220V/100W”的电烙铁，故应_____联一个阻值为_____Ω的电阻后方可正常使用。

15. 全电路中，已知 $E=1.65V$ ，外电路电阻 $R=5\Omega$ ，电路中的电流 $I=300mA$ ，据此推算端电压 $U=$ _____V，电源内阻 $r=$ _____Ω。

16. 如图1-7-8所示，开关S分别打到“1”、“2”、“3”时，电流表的读数分别为_____A、_____A、_____mA。

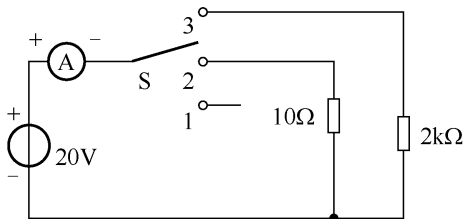


图 1-7-8 题 16 图

二、单项选择题

1. 对于同一个导体而言， $R = \frac{U}{I}$ 的物理意义是（ ）。

- A. 加在导体两端的电压越大，则电阻越大
- B. 导体中的电流越小，则电阻越大
- C. 导体的电阻与电压成正比，与电流成反比
- D. 导体的电阻等于导体两端的电压与通过的电流之比



2. 如图 1-7-9 所示电路, 已知安培表读数为 2A, 伏特表读数为 10V, 电源内阻 $r=1\Omega$, 则电源的电动势为 ()。

- A. 12V
- B. 10V
- C. 9V
- D. 8V

3. 在电路中, 端电压的高低是随着负载电流的增大而 ()。

- A. 减小
- B. 增大
- C. 不变
- D. 无法判断

4. 用电压表测得电路端电压为 0V, 这说明 ()。

- A. 外电路断路
- B. 外电路短路
- C. 外电路上的电流较小
- D. 电源电阻为 0

5. 有一根电阻线, 在其两端加 1V 电压时, 测得其电阻值为 0.5Ω , 如果在其两端加 10V 电压时, 其电阻值应为 ()。

- A. 0.05Ω
- B. 0.5Ω
- C. 5Ω
- D. 20Ω

6. 导体两端的电压是 4V, 通过的电流是 0.8A, 如果使导体两端的电压增加到 6V, 那么导体的电阻和电流分别是 ()。

- A. $5\Omega, 1.2A$
- B. $5\Omega, 2A$
- C. $7.5\Omega, 0.8A$
- D. $12.5\Omega, 0.8A$

7. 一块太阳能电池板, 测得它的开路电压为 800mV, 短路电流为 40mA, 若将该电池板与一个阻值为 20Ω 的电阻器连成一闭合电路, 则它的端电压是 ()。

- A. 0.1V
- B. 0.2V
- C. 0.3V
- D. 0.4V

8. 用具有一定内阻的电压表测出实际电源的端电压为 6V, 则该电源的开路电压比 6V ()。

- A. 稍大
- B. 稍小
- C. 严格相等
- D. 不能确定

9. 一个电动势为 2V, 内电阻为 0.1Ω 的电源, 当外电路断路时, 电路中的电流和端电压分别是 ()。

- A. 0A, 2V
- B. 20A, 2V
- C. 20A, 0V
- D. 0A, 0V

10. 由 10V 的电源供电给负载 1A 的电流, 如果电流到负载往返线路的总电阻为 1Ω , 那么负载的端电压应为 ()。

- A. 11V
- B. 8V
- C. 12V
- D. 9V

11. 某电源分别接 1Ω 和 4Ω 负载时, 输出功率相同, 此电源内阻为 ()。

- A. 1Ω
- B. 2Ω
- C. 3Ω
- D. 4Ω

12. 有一闭合电路, 其电源的电动势 $E=30V$, 内阻 $r=5\Omega$, 负载电阻 $R=10\Omega$, 则电流 $I=()A$ 。

- A. 1.5
- B. 2
- C. 2.5
- D. 3

13. 在全电路中, 负载电阻增大, 端电压将 ()。

- A. 增大
- B. 减小
- C. 不变
- D. 不确定

14. 在闭合电路中, 电源内阻增大, 则电源端电压将 ()。

- A. 增大
- B. 减小
- C. 不变
- D. 不确定

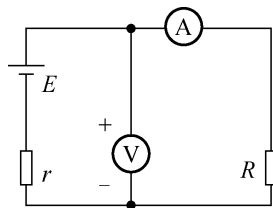


图 1-7-9 题 2 图



15. 如图 1-7-10 所示电路, 当开关 S 接通后, 灯泡 B 的亮度变化是 ()。

- A. 变亮
- B. 变暗
- C. 不变
- D. 不能确定

16. 一个电动势为 2V, 内电阻为 0.1Ω 的电源, 当外电路短路时, 电路中的电流和端电压分别是 ()。

- A. 0A, 2V
- B. 20A, 2V
- C. 20A, 0V
- D. 0A, 0V

17. 当负载短路时, 电源内压降 ()。

- A. 等于电源的电动势
- B. 等于端电压
- C. 为零
- D. 不确定

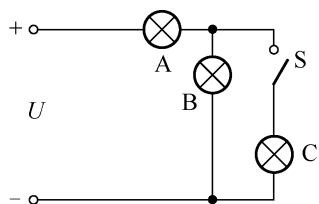


图 1-7-10 题 15 图

三、计算题

1. 有一电池同 3Ω 的电阻连接时, 端电压是 12V; 同 7Ω 的电阻连接时, 端电压为 14V, 求电源的电动势和内阻。

2. 某一闭合电路当外电阻为 10Ω 时, 通过的电流为 0.2A, 当外电路短路时, 通过的电流为 1.2A, 求电源的电动势和内阻。

3. 如图 1-7-11 所示电路, 当变阻器的阻值为 R_p 时, 电流表和电压表的读数分别为 0.2A 和 1.9V; 改变变阻器的阻值 R_p 后, 电流表和电压表的读数分别为 0.6A 和 1.7V。求电源的电动势和内阻。

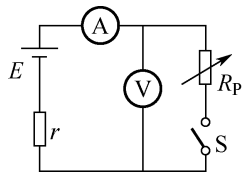


图 1-7-11 题 3 图



1.8 电能和电功率

知识同步指导

1. 电能

电能就是**电荷定向运动形成的电流所做的功**。做功过程本质上就是将电能转换成其他形式能的过程。

因为 $U = \frac{W}{q}$, $I = \frac{q}{t}$, 所以 $W = qU = UIt$

式中, W ——电能, 单位为焦耳, 符号为 J。

2. 焦耳定律

电流在一段电路上所做的功与这段电路两端的电压、电路中的电流, 以及通电时间成正比。即

$$W = UIt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$$

电能的另一个单位为千瓦时 (kWh), 也称“度”, 1 度电 = 1kWh = 3.6×10^6 J。

3. 电功率

电流在单位时间内所做的功称为电功率, 它是衡量电流做功快慢的物理量。其定义式为

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

式中, P ——电功率, 单位是瓦特, 符号为 W。

4. 电路的功率平衡

根据能量守恒和转化定律可知, **电源电动势发出的功率, 必然等于负载电阻和电源内阻所消耗的功率之和**。即

$$P_{\text{电源}} = P_{\text{负载}} + P_{\text{内阻}}$$

$$\text{或 } IE = I^2 R + I^2 r \quad \text{或 } IE = U_{\text{外}} I + U_{\text{内}} I \quad \text{或 } IE = \frac{U_{\text{外}}^2}{R} + \frac{U_{\text{内}}^2}{r}$$

经典例题解析

【例 1】有人说: 在公式 $P = I^2 R$ 中, 功率和电阻成正比; 在公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 中, 功率和电阻成反比。这种说法对吗? 为什么?

【解答】这种说法是错误的。对同一个电阻而言, $P = UI$ 、 $P = I^2 R$ 、 $P = \frac{U^2}{R}$ 三个公式计算出来的结果一定是相同的。这只能说明公式 $P = I^2 R$ 的物理意义是在 I 相同 (串联电路) 的



前提下, P 与 R 成正比; 公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 的物理意义是在 U 相同 (并联电路) 的前提下, P 与 R 成反比。

【例 2】 在图 1-8-1 所示电路中, 电动势 $E=120\text{V}$, 负载电阻 $R=119\Omega$, 电源内阻 $r=1\Omega$ 。试求: 负载电阻消耗的功率 $P_{\text{负}}$ 、电源内阻消耗的功率 $P_{\text{内}}$ 及电源提供的功率 P_{E} 。

【解答】 $I = \frac{E}{R+r} = \frac{120}{119+1} = 1\text{A}$

$U_{\text{负}} = IR = 1 \times 119 = 119\text{V}$ $U_{\text{内}} = Ir = 1 \times 1 = 1\text{V}$

则: $P_{\text{负}} = I^2 R = 1 \times 119 = 119\text{W}$ 或 $P_{\text{负}} = U_{\text{R}} I = 119 \times 1 = 119\text{W}$

或 $P_{\text{负}} = \frac{U_{\text{外}}^2}{R} = \frac{119^2}{119} = 119\text{W}$ $P_{\text{内}} = I^2 r = 1 \times 1 = 1\text{W}$

$P_{\text{E}} = EI = 120 \times 1 = 120\text{W}$ $P_{\text{E}} = P_{\text{内}} + P_{\text{负}}$

验证了电路中功率是平衡的。

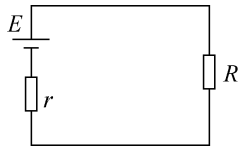


图 1-8-1 例 2 图

【例 3】 某车间原来使用 100 只“220V/100W”的白炽灯照明, 现改用 100 只“220V/40W”的日光灯, 若按每天用灯 8h, 一年按 300 天计算, 每年能节约多少度电? 若每度电价格为 0.6 元, 此举一年可节约多少电费?

【解答】 方法一: $W_{\text{原}} = nP_{\text{原}}t = 100 \times 0.1\text{kW} \times 8 \times 300 = 24000 \text{ kWh}$

$W_{\text{现}} = nP_{\text{现}}t = 100 \times 0.04\text{kW} \times 8 \times 300 = 9600 \text{ kWh}$

每年节约电: $\Delta W = W_{\text{原}} - W_{\text{现}} = 14400 \text{ kWh}$

每年节省的电费: $14400 \times 0.6 = 8640 \text{ 元}$

方法二: $\Delta W = n\Delta Pt = 100 \times (100 - 40) \times 10^{-3} \times 8 \times 300 = 14400 \text{ kWh}$

每年节省的电费: $14400 \times 0.6 = 8640 \text{ 元}$

【例 4】 某电灯与某电源相连时, 消耗功率 100W, 现在该灯上串入一根长导线后仍接入上述电源, 实测电灯消耗功率 81W, 问此时长导线消耗的功率为多少 W?

【解析】 串联电路分析从电流入手。

【解答】 $P_1=100\text{W}$, $P_2=81\text{W}$, 设线路损耗功率为 P_r , 设电灯的电阻基本不变, 则:

$$P_1 = I_1^2 R = 100\text{W} \quad P_2 = I_2^2 R = 81\text{W}$$

$\Rightarrow \frac{I_2^2}{I_1^2} = \frac{P_2}{P_1}$ 等式两边同时开根号, $\Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 0.9$, 即电流降为原来的 0.9 倍。

但由于总电压未变, 总功率 $(P_2 + P_r) = UI_2 = U \times 0.9I_1 = 90\text{W}$

则线路损耗的功率: $P_r = (P_2 + P_r) - P_2 = 90 - 81 = 9\text{W}$

【拓展】 其他条件不变, 若实测电灯消耗功率 64W, 同理可得导线消耗的功率为 16W; 若实测电灯消耗功率 49W, 同理可得导线消耗的功率为 21W。



同步练习题

一、填空题

1. 一个标有“220V/400W”的电烤箱，正常工作电流为_____A，其电热丝阻值为_____Ω，电烤箱消耗的功率为_____W；若连续使用 8h，所消耗的电能是_____kWh，它所产生的热量是_____J。
2. 电气设备正常运行时所允许的_____、_____和_____称为它们的额定值。负载在额定条件下运行的状态叫_____，超过其额定值条件运行的状态叫_____，低于其额定值条件运行状态叫_____。
3. 有甲灯“220V/60W”和乙灯“110/40W”串接于 220V 的电源上工作时，_____灯较亮；若并接于 48V 的电源上时，_____灯较亮。
4. 一只“200Ω/2W”的电阻器，使用时允许施加的最高电压是_____V，允许通过的最大电流是_____A。
5. 一只“40W/220V”的电灯，正常工作时的电流是_____A，如果不考虑温度对电阻的影响，给它施加 110V 的电压时，它的功率是_____。
6. 某教室有 40W 灯 4 只，60W 吊扇 4 把，每天工作 6h，每月（30 天）耗电_____度。
7. 对日常使用的电源来说，负载增大是指负载电阻_____。
8. 一个“400Ω/1W”的电阻，使用时允许加的最高电压为_____V，允许通过的最大电流为_____A=_____mA。
9. 把 320Ω 的电阻接到 80V 的电压上，在电阻上产生的功率是_____。
10. 负载大是指_____，电源实际输出功率的大小取决于_____。
11. 一只规格为“220V/40W”的白炽灯，当接于 220V 直流电源工作 10 小时后，消耗的电能为_____度。
12. 两根电阻丝的横截面积相同，材料相同，其长度之比 $L_1 : L_2 = 2 : 1$ ，若把它们串联在电路中，则它们产生的热量之比 $Q_1 : Q_2 =$ _____。
13. 电炉的电阻丝断了，去掉原来的 $\frac{1}{4}$ 后仍接在原来的电压下工作，它的功率与原来的功率之比为_____。
14. 有两只白炽灯，分别为 220V/40W 和 110V/60W，则两灯的额定电流之比为_____；灯丝电阻之比为_____；把它们分别接到 110V 的电源上，它们的功率之比为_____；通过灯丝的电流之比为_____。



二、单项选择题

1. 在电源电压不变的前提下, 电炉要在相等的时间内增加电阻丝的发热量, 下列措施可行的是 ()。

- A. 增长电阻丝
B. 剪短电阻丝
C. 在电热丝上并联电阻
D. 在电热丝上串联电阻

2. “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. 0A

3. 下列 4 个可等效为纯电阻的用电器, 电阻最大的是 ()。

- A. 220V/40W
B. 220V/100W
C. 36V/100W
D. 110V/100W

4. 一只标有“12V/6W”的灯泡接入某电路中, 测得通过它的电流为 0.4A, 则它的实际功率 ()。

- A. 等于 6W
B. 小于 6W
C. 大于 6W
D. 无法判断

5. 由于直流供电电网的电压降低, 用电器的功率降低了 19%, 则这时供电网上的电压比原来的电压降低了 ()。

- A. 10%
B. 19%
C. 81%
D. 90%

6. 电热丝接在一个不计内阻的电源上使用, 每秒产生的热量为 Q , 现将这一根电热丝拉长 n 倍后, 再接入同一电源, 则每秒产生的热量为 ()。

- A. nQ
B. n^2Q
C. $\frac{1}{n}Q$
D. $\frac{1}{n^2}Q$

7. 一根均匀电阻丝对折后, 并联到原来的电源上, 在相同的时间内, 电阻丝所产生的热量是原来的 () 倍。

- A. $\frac{1}{2}$
B. $\frac{1}{4}$
C. 2
D. 4

8. 某教学楼有 100 只灯, 每只灯的功率为 60W, 若所有的灯都在 220V 电压下工作 2h, 则消耗电能 ()。

- A. 120 度
B. 12000 度
C. 12 度
D. 60 度

9. 设 60W 和 100W 的电灯在 220V 额定电压下工作时的电阻分别为 R_1 和 R_2 , 则 R_1 和 R_2 的关系为 ()。

- A. $R_1 > R_2$
B. $R_1 = R_2$
C. $R_1 < R_2$
D. 不能确定

10. 一个由线性电阻构成的电器, 从 220V 的电源吸取 1000W 的功率, 若将此电器接到 110V 的电源上, 则吸取的功率为 ()。

- A. 250W
B. 500W



- C. 1000W
D. 2000W
11. 一根电阻丝的两端加上电压 U 后, 在 t 时间内放出的热量为 Q , 若将这根电阻丝对折后再加上电压 U , 在同样时间内放出的热量为 ()。
- A. $2Q$
B. $4Q$
C. $8Q$
D. $16Q$
12. 当流过用电器的电流一定时, 电功率与电阻值成 ()。
- A. 反比
B. 正比
C. 一定关系
D. 没有关系
13. 有“220V/100W”“220V/25W”白炽灯两只, 串联后接入 220V 交流电源, 其亮度情况 ()。
- A. 100W 的灯更亮
B. 25W 的灯更亮
C. 两只灯一样亮
D. 无法确定
14. A 灯为“220V/40W”, B 灯为“110V/40W”, 它们都在各自的额定电压下工作, 以下说法正确的是 ()。
- A. A 灯比 B 灯亮
B. B 灯比 A 灯亮
C. 两个一样亮
D. A 灯和 B 灯的工作电流是一样的
15. 有一电源分别接 8Ω 和 2Ω 电阻, 单位时间内放出的热量相同 (导线电阻不计), 则电源内阻为 ()。
- A. 1Ω
B. 2Ω
C. 4Ω
D. 8Ω
16. 标注为“ $100\Omega/4W$ ”和“ $100\Omega/25W$ ”的两个电阻串联时, 允许加的最大电压是 ()。
- A. 70V
B. 40V
C. 140V
D. 以上都不是

三、计算题

1. 有一台直流发电机, 其端电压 $U=237V$, 内阻 $r=0.6\Omega$, 输出电流 $I=5A$ 。试求: (1) 发电机的电动势 E 和此时的负载电阻 R ; (2) 求各项功率, 并写出功率平衡式。

2. 某一全电路中, 若将负载电阻 R_L 由原来的 2Ω 改为 6Ω , 电路中的电流就减小到原来的一半, 求电源的内阻是多少?



3. 一个额定电压为 6V 的继电器 J, 其线圈的电阻 $R_2=200\Omega$ 。若电源的电动势 $E=24V$ (内阻不计), 则应串接多大的降压电阻 R_1 才能使这个继电器正常工作?

1.9 电源最大输出功率

知识同步指导

1. 最大功率输出定律的内容 (也叫负载获得最大功率的条件)

在全电路中, 当负载电阻 R 和电源内阻 r 相等时 (在正弦交流电路中, 则当负载阻抗 Z_L 与电源内阻阻抗 Z_r 为一对共轭复数时), 电源的输出功率最大, 同时负载获得的功率也最大。

即当 $R=r$ 时:

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R} = \frac{E^2}{4r}$$

在无线电技术中, $R=r$ 这种状态称为负载匹配 (或阻抗匹配)。当负载匹配时, $P_R=P_{\max}$, 但电源的效率却不高, 仅有 50%。

$$\eta_E = \frac{P_R}{P_E} \times 100\% = \frac{R}{R+r} \times 100\% = 50\%$$

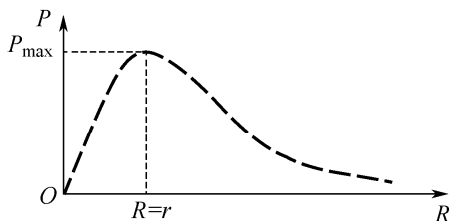
强调两点:

(1) 在电信系统中, 由于传输功率不大, 效率不是主要问题, 主要考虑负载如何获得最大功率, 要求 R 尽可能与 r 相等;

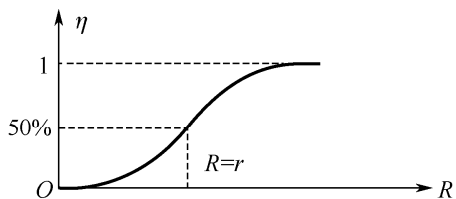
(2) 在电力输送系统中, 主要考虑输电效率, 要求 $R \gg r$ 。

2. 负载的功率曲线和电源的效率曲线

负载的功率曲线和电源的效率曲线如图 1-9-1 所示。



(a) 负载的功率曲线



(b) 电源的效率曲线

图 1-9-1 负载的功率曲线和电源的效率曲线



经典例题解析

【例 1】如图 1-9-2 所示电路， $R_1=2\Omega$ ，电源电动势 $E=10\text{V}$ ，内阻 $r=0.5\Omega$ ， R_p 为可调电阻。问：

- (1) R_p 值为多大时它可获得最大功率？且最大功率为多少？
- (2) R_p 值为多大时 R_1 可获得最大功率？且 R_1 可获得的最大功率为多少？

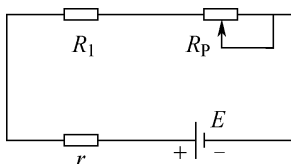


图 1-9-2 例 1 图

【解析】根据电路的等效理论，任何一个复杂的线性电路均可等效为仅含电源、电源内阻和负载三部分的全电路。其中待求元件即为负载，电源和电源内阻均为从负载两端看过的等效电源和电源内阻。

【解答】(1) R_p 为负载， R_1+r 合并为电源内阻， $R_p=R_1+r=2.5\Omega$ 时， R_p 可获得最大功率，且最大功率为

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R_p} = \frac{10^2}{4 \times 2.5} = 10\text{W}$$

(2) R_1 为负载， R_p+r 合并为电源内阻， $R_p=1.5\Omega$ 时， $R_p+r=R_1=2\Omega$ ，此时 R_1 可获得最大功率，且最大功率为

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R_1} = \frac{10^2}{4 \times 2} = 12.5\text{W}$$

【例 2】已知全电路中， $E=40\text{V}$ ， $r_0=30\Omega$ ，求 R 分别等于 10Ω ， 30Ω ， 770Ω 时的负载功率和电源的效率。

【解答】当 $R=10\Omega$ 时

$$I = \frac{E}{R+r_0} = \frac{40}{10+30} = 1\text{A} \quad P_R = I^2 R = 1^2 \times 10 = 10\text{W}$$

电源效率：
$$\eta_E = \frac{R}{R+r_0} \times 100\% = \frac{10}{10+30} \times 100\% = 25\%$$

当 $R=30\Omega$ 时

$$I = \frac{E}{R+r_0} = \frac{40}{30+30} = \frac{2}{3}\text{A} \quad P_R = I^2 R = \left(\frac{2}{3}\right)^2 \times 30 = 13.33\text{W}$$

电源效率：
$$\eta_E = \frac{R}{R+r_0} \times 100\% = \frac{30}{30+30} \times 100\% = 50\%$$

当 $R=770\Omega$ 时

$$I = \frac{E}{R+r_0} = \frac{40}{770+30} = 0.05\text{A} \quad P_R = I^2 R = (0.05)^2 \times 770 = 1.925\text{W}$$



电源效率：
$$\eta_E = \frac{R}{R+r_0} \times 100\% = \frac{77}{770+30} \times 100\% = 96.3\%$$

同步练习题

一、填空题

1. 当负载电阻可变时（电源的电动势为 E ，内阻为 r ），负载获得最大功率的条件是_____，负载获得的最大功率为_____。

2. 某电源伏安特性曲线如图 1-9-3 所示，则该电源开路电压 U_{oc} =_____V，短路电流 I_{sc} =_____A，电源参数 E =_____V， r_0 =_____Ω；当外接 6Ω 负载时，端电压为_____V，输出电流为_____A，输出功率为_____W；当外接_____Ω 负载时，输出功率最大，且最大输出功率 P_{max} =_____W。

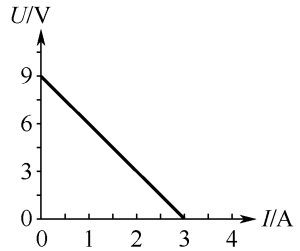


图 1-9-3 题 2 图

3. 电动势为 9V，内阻为 0.1Ω 的电源，当负载为_____时，它的输出电流最大，其值为_____；当负载为_____时，它的输出功率最大，其值为_____；输出最大功率时，电源的端电压是_____，效率为_____。

二、单项选择题

- 某电源外接 1Ω 与 4Ω 负载时输出功率相等，那么该电源的内阻为（ ）。
 - A. 1Ω
 - B. 2Ω
 - C. 2.5Ω
 - D. 4Ω
- 某电源的开路电压为 20V，短路电流为 10A，那么该电源的最大输出功率为（ ）。
 - A. 400W
 - B. 40W
 - C. 50W
 - D. 100W

三、计算题

1. 如图 1-9-4 所示电路， $R_1=14\Omega$ ， $R_2=9\Omega$ ，当开关 S 扳到位置 1 时，测得电流 $I_1=0.2A$ ；当开关 S 扳到位置 2 时，测得电流 $I_2=0.3A$ ，求电源的电动势和内阻。

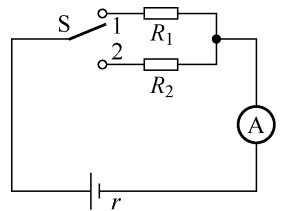


图 1-9-4 题 1 图



2. 如图 1-9-5 所示电路, $R_1=4\Omega$, $R_2=12\Omega$, 开关 S 分别扳到位置 1 和位置 2 时的电压读数依次为 8V 和 12V。(1) 绘制该电源的伏安特性曲线, 画出它的电源模型, 并求解参数 E 、 r ; (2) 求该电源的最大输出功率? 在何种情况下才能实现最大功率输出?

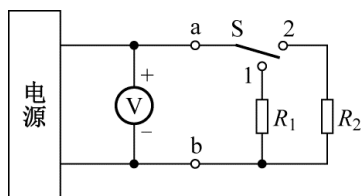


图 1-9-5 题 2 图