

# 第 1 章 电路的基本概念和定律

## 1.1 学习要求

- (1) 理解电路模型及理想电路元件的伏安关系，了解实际电源的两种模型。
- (2) 理解电压、电流的概念及参考方向的意义，电功率的概念及其计算。
- (3) 了解电器设备额定值的意义和电路负载、开路和短路状态的特点。
- (4) 理解并能熟练应用基尔霍夫电流定律和电压定律。
- (5) 理解电位的概念，会分析计算电路中各点的电位。

## 1.2 学习指导

本章重点：

- (1) 电路元件的伏安关系。
- (2) 基尔霍夫定律及其应用。
- (3) 电路中电位的计算。

本章难点：

- (1) 电流、电压的参考方向及其应用。
- (2) 电路元件是电源还是负载的判别。
- (3) 电流源和理想电流源的概念及其应用。

本章考点：

- (1) 功率计算及其性质的判别。
- (2) 基尔霍夫定律及其应用。
- (3) 有源支路欧姆定律的应用。
- (4) 电路中电位的计算。

### 1.2.1 电路及电路模型

#### 1. 电路及其功能

电路是为了某种需要而将某些电工设备或元件按一定方式组合起来构成的电流通路。电路的功能一是进行能量的转换、传输和分配，二是实现信号的传递和处理等。

#### 2. 电路的组成

电路由电源、负载和中间环节 3 个部分组成。电源是提供电能的设备，其作用是将其其他形式的能量转换为电能；负载是取用电能的设备，其作用是将电能转换为其他形式的能量；中间环节包括开关、连接导线等，在电路中起传递、分配和控制电能的作用。

### 3. 电路模型

电路模型是由理想电路元件组成的电路，简称电路。理想电路元件（此后理想两字略去）是在一定条件下突出元件主要的电磁性质，忽略次要因素的理想化元件，如电阻、电感、电容、理想电压源、理想电流源等。不提供能量的元件称为无源元件，提供能量的元件称为有源元件。电路元件由相应的参数表征，用规定的图形符号表示。本书所分析的都是电路模型。

#### 1.2.2 电路的基本物理量

##### 1. 电流

电流是由电荷有规则的定向运动形成的，其大小为  $i = \frac{dq}{dt}$ ，方向规定为正电荷定向运动的方向（或负电荷运动的相反方向）。

电流的正方向或参考方向是为了分析电路方便而任意选定的电流方向。当电流的实际方向与参考方向一致时，电流为正值；当电流的实际方向与参考方向相反时，电流为负值。注意：只有在参考方向选定之后，电流的值才有正负之分。

##### 2. 电压和电动势

(1) 电压。电场力把单位正电荷从电路的一点移动到另一点所做的功，称为这两点间的电压，即  $u = \frac{dW}{dq}$ 。

电压的方向规定为电位降低的方向，电压的参考方向是任意选定的电压方向。

如果电流与电压参考方向一致，则称为关联参考方向；若电压与电流参考方向不一致，则称为非关联参考方向，如图 1.1 所示。



图 1.1 关联参考方向和非关联参考方向

(2) 电动势。电源力将单位正电荷由低电位端经过电源内部移动到高电位端所做的功称为电源的电动势，用  $e$  表示。电动势的实际方向与电压实际方向相反，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。

##### 3. 电功率

电场力在单位时间内所做的功称为电功率，简称功率，用  $p$  表示。在计算功率时，先要标出电压和电流的参考方向。当电压和电流参考方向关联时  $p = ui$ ；当电压和电流参考方向非关联时  $p = -ui$ 。注意，在功率计算公式中有两套正负符号：其一是公式本身的符号；其二是在参考方向选定之后，电压和电流有正值和负值。

电路元件是电源还是负载的判别有两种方法：

(1) 根据电流和电压的实际方向判别：若电流和电压的实际方向相同，电流从高电位端流向低电位端，则元件吸收功率，为负载；若电流和电压的实际方向相反，电流从低电位端流向高电位端，则元件放出功率，为电源。

(2) 根据电流和电压的参考方向计算功率, 再根据功率的符号来判别: 若  $p > 0$ , 则表示元件吸收功率, 为负载; 若  $p < 0$ , 则表示元件放出功率, 为电源。

### 1.2.3 电路元件的伏安关系

#### 1. 无源元件

常用的无源元件有电阻、电感和电容, 其符号如图 1.2 所示。

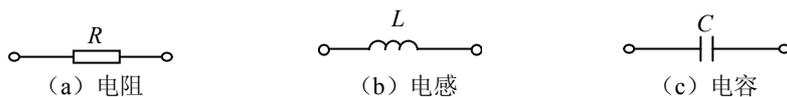


图 1.2 无源元件

(1) 电阻。电阻元件的伏安关系由欧姆定律确定: 当电压和电流参考方向关联时  $u = Ri$ , 参考方向非关联时  $u = -Ri$ 。电阻的功率  $P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$ 。

(2) 电感。电感的伏安关系为  $u = L \frac{di}{dt}$ , 因此电感对于直流相当于短路。如果电压和电流参考方向非关联时, 则  $u = -L \frac{di}{dt}$ 。电感中存储的磁场能量  $W_L = \frac{1}{2} Li^2$ 。

(3) 电容。电容的伏安关系为  $i = C \frac{du}{dt}$ , 因此电容对于直流相当于开路。如果电压和电流参考方向非关联时, 则  $i = -C \frac{du}{dt}$ 。电容中存储的电场能量  $W_C = \frac{1}{2} Cu^2$ 。

在运用元件的伏安关系时, 同样先要标出电压和电流的参考方向, 并且注意公式中也有两套正负符号: 其一是公式本身的符号; 其二是在参考方向选定之后, 电压和电流有正值和负值。

#### 2. 有源元件

有源元件有理想电压源和理想电流源, 其符号和伏安特性如图 1.3 所示。

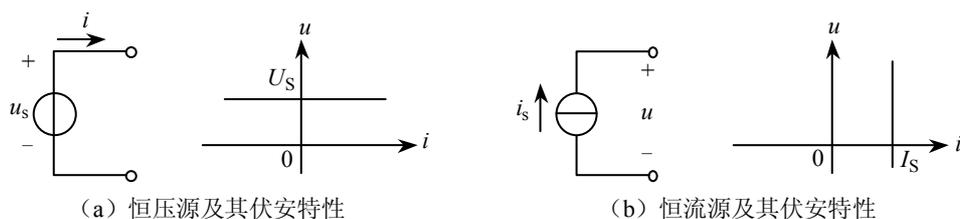


图 1.3 有源元件

(1) 理想电压源。理想电压源是一种能产生并能维持一定输出电压的理想电源元件, 又称恒压源。恒压源的电压  $u_s$  为确定的时间函数, 与流过的电流无关。直流恒压源的电压是定值  $U_s$ 。恒压源中的电流可为任意值, 其值由外电路决定。注意: 恒压源不能短路, 否则流过的电流为无限大。

(2) 理想电流源。理想电流源是一种能产生并能维持一定输出电流的理想电源元件, 又称恒流源。恒流源的电流  $i_s$  为确定的时间函数, 与两端的电压无关。直流恒流源的电流是定值  $I_s$ 。恒流源两端的电压可为任意值, 其值由外电路决定。注意: 恒流源不能开路, 否则其两端

的电压为无限大。

### 3. 实际电源的两种模型

实际电源有电压源和电流源两种模型，其符号如图 1.4 中虚线框内的电路所示。

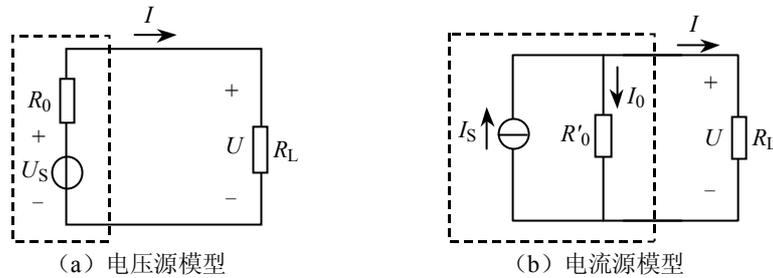


图 1.4 实际电源的两种电路模型

(1) 电压源。实际电压源可用一个恒压源  $U_S$  和内阻  $R_0$  串联的电路模型来表示，伏安关系为  $U_S = U + IR_0$ 。由于电压源的内阻  $R_0$  一般很小，所以电压源不允许短路，否则短路电流  $I_{SC} = \frac{U_S}{R_0}$  很大，内阻的功耗很大，会烧毁电源。

(2) 电流源。实际电流源可用一个恒流源  $I_S$  与内阻  $R'_0$  并联的电路模型来表示，伏安关系为  $I_S = I + \frac{U}{R'_0}$ 。由于电流源的内阻  $R_0$  一般很大，所以电流源不允许开路，否则开路电压  $U_{OC} = I_S R'_0$  很高，内阻的功耗很大，会烧毁电源。

## 1.2.4 电气设备的额定值与电路的工作状态

### 1. 电气设备的额定值

电气设备的额定值是电气设备长期正常使用时允许施加的电压、电流及功率等的最大值。电压过高会使绝缘材料击穿，电流和功率过大会使设备过热损坏。不同电气设备所标的额定值不同。电气设备的电压、电流和功率的实际值不一定等于它的额定值。

### 2. 电路的工作状态

典型电路如图 1.5 所示。

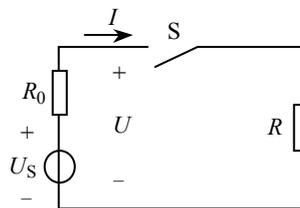


图 1.5 电路的工作状态

(1) 负载状态。图 1.5 中，开关 S 合上时电路的工作状态称为负载状态，这时电路的主要特征为  $I = \frac{U_S}{R_0 + R}$ ， $U = IR$ ， $U = U_S - IR_0$ ， $P = P_E - P_0$ ，其中  $P_E = U_S I$  为电源产生的功率，

$P_0 = I^2 R_0$  为电源内阻损耗的功率,  $P = UI$  为电源输出的功率。

(2) 开路(空载)状态。图 1.5 中, 开关 S 断开时电路的工作状态称为开路(空载)状态, 这时电路的主要特征为  $I = 0$ ,  $U = U_{OC} = U_S$ ,  $P = P_E = P_0 = 0$ 。

(3) 短路状态。图 1.5 中, 电源两端直接接通时的工作状态称为短路状态, 这时电路的主要特征为  $U = 0$ ,  $I = I_{SC} = \frac{U_S}{R_0}$ ,  $P = 0$ ,  $P_E = P_0 = 0$ 。

### 1.2.5 基尔霍夫定律

#### 1. 名词

(1) 支路。电路中两点之间通过同一电流的不分叉的一段电路称为支路。

(2) 节点。电路中 3 条或 3 条以上支路的连接点称为节点。

(3) 回路。电路中任一闭合的路径称为回路。

#### 2. 基尔霍夫电流定律(KCL)

表述一: 在任一瞬时, 流入电路某一节点的电流之和必定等于从该节点流出的电流之和, 即  $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$ 。

表述二: 在任一瞬时, 通过任一个节点的电流的代数和恒等于零, 即  $\sum I = 0$ 。

运用上式列方程时, 可假定流入节点的电流为正, 流出节点的电流为负; 也可以作相反的假定, 即设流出节点的电流为正, 流入节点的电流为负。

基尔霍夫电流定律可推广到包围部分电路的任一假设的闭合面, 不论被包围部分的电路结构如何, 流入此封闭面的电流代数和恒等于零。

#### 3. 基尔霍夫电压定律(KVL)

表述一: 在任一瞬时, 电路中任一回路沿绕行方向升高的电压之和等于降低的电压之和, 即  $\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$ 。

表述二: 在任一瞬间, 电路中任一回路沿绕行方向各段电压的代数和恒等于零, 即  $\sum U = 0$ 。

运用上式列方程时, 一般假设电压参考方向与回路绕行方向一致时电压前取正号, 电压参考方向与回路绕行方向相反时电压前取负号。

对于电阻电路, 在任一回路绕行方向上, 回路中电阻上电压降的代数和等于回路中电压源电压的代数和, 即  $\sum IR = \sum U_S$ 。

运用上式列方程时, 电流参考方向与回路绕行方向一致时  $IR$  前取正号, 相反时取负号; 电压源电压方向与回路绕行方向一致时  $U_S$  前取负号, 相反时取正号。

基尔霍夫电压定律可推广到不闭合的电路上, 但要将开口处的电压列入方程。

### 1.2.6 电位的概念及计算

电路中某一点到参考点之间的电压, 称作该点的电位。电路中两点间的电压也可用这两点间的电位差来表示, 即  $U_{ab} = U_a - U_b$ 。

电路中任意两点间的电压是不变的, 与参考点的选择无关。电位是一个相对量, 其值随参考点选择的不同而不同。

## 1.3 习题解答

1.1 在如图 1.6 所示各电路中,

- (1) 元件 1 消耗 10W 功率, 求电压  $U_{ab}$ 。
- (2) 元件 2 消耗 -10W 功率, 求电压  $U_{ab}$ 。
- (3) 元件 3 产生 10W 功率, 求电流  $I$ 。
- (4) 元件 4 产生 -10W 功率, 求电流  $I$ 。

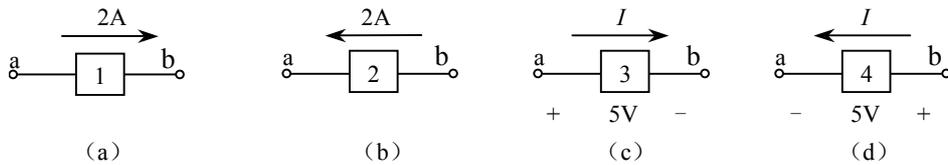


图 1.6 习题 1.1 的图

**分析** 本题考查电流、电压参考方向的关联性和功率, 题目不难, 但一不小心就容易出错。运用功率公式计算时, 电压和电流参考方向关联时采用公式  $P=UI$ , 非关联时采用公式  $P=-UI$ 。此外, 由于元件 3 产生 10W 功率, 故  $P=-10\text{ W}$ ; 元件 4 产生 -10W 功率, 故  $P=-(-10)=10\text{ W}$ , 实际上元件 4 吸收了 10W 功率。

**解** (1) 元件 1 的电流与电压是关联参考方向, 根据功率计算公式得:

$$U_{ab} = \frac{P}{I} = \frac{10}{2} = 5 \text{ (V)}$$

(2) 元件 2 的电流与电压是非关联参考方向, 根据功率计算公式得:

$$U_{ab} = -\frac{P}{I} = -\frac{-10}{2} = 5 \text{ (V)}$$

(3) 元件 3 的电流与电压是关联参考方向, 根据功率计算公式得:

$$I = \frac{P}{U_{ab}} = \frac{-10}{5} = -2 \text{ (A)}$$

(4) 元件 4 的电流与电压是关联参考方向, 根据功率计算公式得:

$$I = \frac{P}{U_{ab}} = \frac{-(-10)}{5} = 2 \text{ (A)}$$

1.2 求如图 1.7 所示各电路中各电源的功率, 并指出是吸收功率还是放出功率。

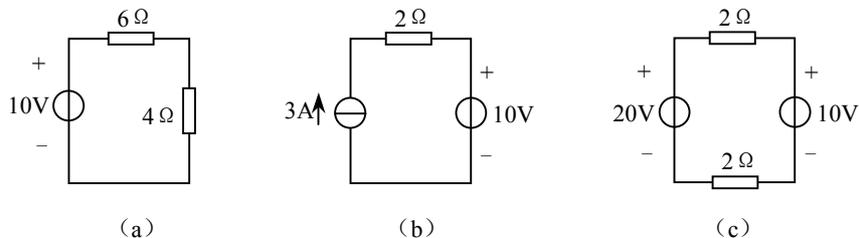


图 1.7 习题 1.2 的图

**分析** 计算电路时, 应先标出各待求元件或支路电流和电压的参考方向, 根据元件或支路电流和电压参考方向的关联关系确定待求量。一般情况下, 参考方向可直接标在原电路图中, 不必另画电路图。

**解** 标出各待求元件电流和电压的参考方向, 如图 1.8 所示。

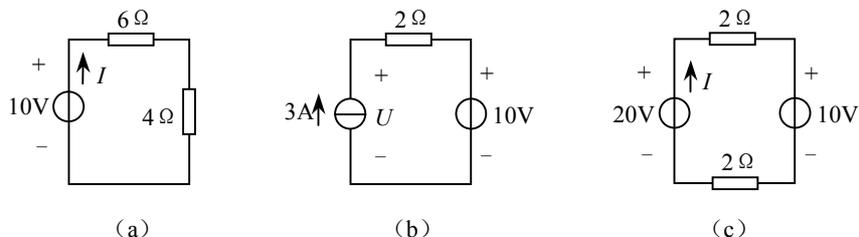


图 1.8 习题 1.2 解答用图

(1) 如图 1.8 (a) 所示, 电路中的电流为:

$$I = \frac{10}{6+4} = 1 \text{ (A)}$$

所以, 10V 电源的功率为:

$$P = -10I = -10 \times 1 = -10 \text{ (W)}$$

$P < 0$ , 故 10V 电源放出功率。

(2) 如图 1.8 (b) 所示电路中, 3A 电源的电压为:

$$U = 2 \times 3 + 10 = 16 \text{ (V)}$$

所以, 3A 电源的功率为:

$$P_1 = -3U = -3 \times 16 = -48 \text{ (W)}$$

10V 电源的功率为:

$$P_2 = 10 \times 3 = 30 \text{ (W)}$$

根据计算结果可知, 3A 电源放出功率, 10V 电源吸收功率。

(3) 如图 1.8 (c) 所示电路中的电流为:

$$I = \frac{20-10}{2+2} = 2.5 \text{ (A)}$$

所以, 20V 电源的功率为:

$$P_1 = -20I = -20 \times 2.5 = -50 \text{ (W)}$$

10V 电源的功率为:

$$P_2 = 10I = 10 \times 2.5 = 25 \text{ (W)}$$

根据计算结果可知, 20V 电源放出功率, 10V 电源吸收功率。

1.3 在图 1.9 中, 5 个元件电流和电压的参考方向如图中所示, 今通过实验测量, 得知  $I_1 = -4\text{A}$ ,  $I_2 = 6\text{A}$ ,  $I_3 = 10\text{A}$ ,  $U_1 = 140\text{V}$ ,  $U_2 = -90\text{V}$ ,  $U_3 = 60\text{V}$ 。

(1) 试标出各电流的实际方向和各电压的实际极性 (可另画一图)。

(2) 判断哪些元件是电源? 哪些是负载?

(3) 计算各元件的功率, 电源发出的功率和负载取用的功率是否平衡?

**分析** 本题共 3 个小题。第 (1) 小题应掌握电流、电压的实际方向与参考方向的关系:

当实际方向与参考方向一致时,其实验测量值或计算值为正值,当实际方向与参考方向相反时,其实验测量值或计算值为负值。第(2)小题判别元件是电源还是负载,这里可根据电流和电压的实际方向判别:若电流和电压的实际方向相同,电流从高电位端流向低电位端,则元件吸收功率,为负载;若电流和电压的实际方向相反,电流从低电位端流向高电位端,则元件放出功率,为电源。第(3)小题计算各元件功率,用参考方向计算,所有元件的功率之和应等于零,则功率平衡,否则说明计算有误或实验数据有错。

**解** (1) 先根据参考方向和 KVL 计算元件 4、5 的电压,分别为:

$$U_4 = U_3 - U_1 = 60 - 140 = -80 \text{ (V)}$$

$$U_5 = -U_2 - U_3 = -(-90) - 60 = 30 \text{ (V)}$$

根据实验测量值或计算值,可标出各元件电流、电压的实际方向,如图 1.10 所示。

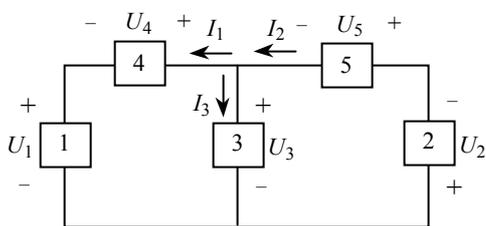


图 1.9 习题 1.3 的图

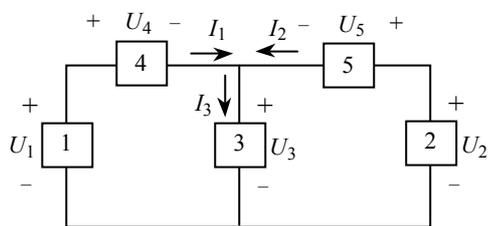


图 1.10 习题 1.3 解答用图

(2) 根据电流和电压的实际方向可知元件 1、2 为电源,元件 3、4、5 为负载。

(3) 根据参考方向计算各元件的功率,分别为:

$$P_1 = U_1 I_1 = 140 \times (-4) = -560 \text{ (W)}$$

$$P_2 = U_2 I_2 = (-90) \times 6 = -540 \text{ (W)}$$

$$P_3 = U_3 I_3 = 60 \times 10 = 600 \text{ (W)}$$

$$P_4 = U_4 I_1 = (-80) \times (-4) = 320 \text{ (W)}$$

$$P_5 = U_5 I_2 = 30 \times 6 = 180 \text{ (W)}$$

所有元件的功率之和为:

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = -560 - 540 + 600 + 320 + 180 = 0$$

可见功率平衡。

1.4 在图 1.11 中,已知  $I_1 = 3\text{mA}$ ,  $I_2 = 1\text{mA}$ 。试确定元件 N 中的电流  $I_3$  和它两端的电压  $U_3$ ,并说明它是电源还是负载。校验整个电路中的功率是否平衡。

**分析** 电路有 2 个节点、3 条支路和 3 个回路,欲求元件 N 的电流和电压,必须应用基尔霍夫定律。

**解** 设元件 N 上端节点为 a,左边回路的方向为顺时针方向,如图 1.12 所示。对节点 a 列 KCL 方程,为:

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$I_3 = I_2 - I_1 = 1 - 3 = -2 \text{ (mA)}$$

对左边回路列 KVL 方程,为:

$$10I_1 + 30 - U_3 = 0$$

$$U_3 = 10I_1 + 30 = 10 \times 3 + 30 = 60 \text{ (V)}$$

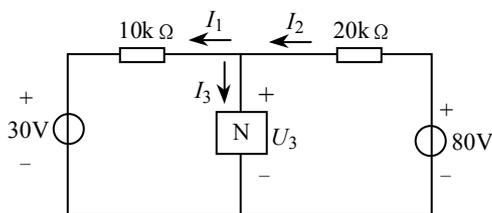


图 1.11 习题 1.4 的图

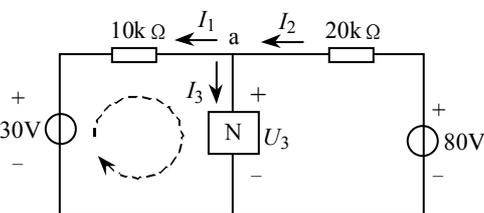


图 1.12 习题 1.4 解答用图

根据参考方向计算元件 N 的功率，为：

$$P_3 = U_3 I_3 = 60 \times (-2) = -120 \text{ (mW)}$$

可见元件 N 放出功率，为电源。

30V 电源的功率为：

$$P_1 = 30I_1 = 30 \times 3 = 90 \text{ (mW)}$$

80V 电源的功率为：

$$P_2 = -80I_1 = -80 \times 1 = -80 \text{ (mW)}$$

10kΩ 电阻的功率为：

$$P_4 = 10I_1^2 = 10 \times 3^2 = 90 \text{ (mW)}$$

20kΩ 电阻的功率为：

$$P_5 = 20I_2^2 = 20 \times 1^2 = 20 \text{ (mW)}$$

所有元件的功率之和为：

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 90 - 80 - 120 + 90 + 20 = 0$$

可见功率平衡，其中 30V 电源的功率  $P_1 > 0$ ，说明该电源实际上处于负载状态。

1.5 用如图 1.13 所示电路可以测量并绘制实际电源的伏安特性曲线。今测得某直流电压源的空载电压为  $U_{OC} = 225 \text{ V}$ ；负载时的电流和电压分别为  $I = 10 \text{ A}$ 、 $U = 220 \text{ V}$ 。试绘制此电源的伏安特性曲线，并建立此电源的电压源模型及电流源模型。

**分析** 电源的电压源模型为恒压源  $U_S$  和内阻  $R_0$  串联，电流源模型为恒流源  $I_S$  与内阻  $R'_0$  并联。由图 1.4 可知， $U_S$  就等于电源的开路电压  $U_{OC}$ ， $I_S$  就等于电源的短路电流  $I_{SC}$ ，所以，建立电源的电压源模型和电流源模型，实际上就是求电源的开路电压  $U_{OC}$ 、短路电流  $I_{SC}$ 、内阻  $R_0$  和  $R'_0$ 。

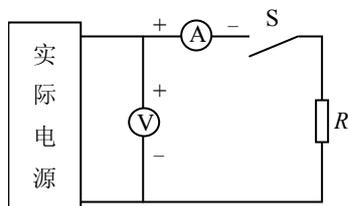


图 1.13 习题 1.5 的图

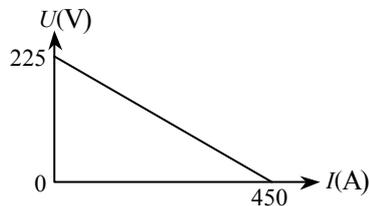


图 1.14 习题 1.5 解答用图

**解** (1) 求电源的电压源模型。由题意可知：

$$U_S = U_{OC} = 225 \text{ (V)}$$

根据电压源的伏安关系  $U_S = U + IR_0$ ，得：

$$R_0 = \frac{U_S - U}{I} = \frac{225 - 220}{10} = 0.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

(2) 求电源的电流源模型。

$$I_S = I_{SC} = \frac{U_S}{R_0} = \frac{225}{0.5} = 450 \text{ (A)}$$

根据电流源的伏安关系  $I_S = I + \frac{U}{R'_0}$ , 得:

$$R'_0 = \frac{U}{I_S - I} = \frac{220}{450 - 10} = 0.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

(3) 画电源的伏安特性曲线, 如图 1.14 所示。

1.6 一直流发电机, 其额定电压为  $U_N = 220 \text{ V}$ , 额定功率为  $P_N = 2.2 \text{ kW}$ 。

(1) 试求该发电机的额定电流  $I_N$  和额定负载电阻  $R_N$ 。

(2) 将 10 只 220V、40W 的灯泡并联作为该发电机的负载, 这些灯泡是否能正常工作? 为什么?

**分析** 本题考查电气设备的额定值及其应用。电气设备的额定电流  $I_N$ 、额定电压  $U_N$  和额定功率  $P_N$  之间的关系为  $P_N = U_N I_N$ 。至于电气设备是否能正常工作, 则取决于其实际的电流、电压和功率等是否与额定值相等, 若相等, 则设备能正常工作, 否则设备不能正常工作。

**解** (1) 该发电机的额定电流  $I_N$  为:

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{2.2 \times 10^3}{220} = 10 \text{ (A)}$$

额定负载电阻  $R_N$  为:

$$R_N = \frac{U_N}{I_N} = \frac{220}{10} = 22 \text{ (}\Omega\text{)}$$

(2) 将 10 只 220V、40W 的灯泡并联作为该发电机的负载时, 因为这些灯泡的实际电压与额定电压相等, 所以它们能正常工作。

**注意:** 本题中的发电机并没有工作在额定状态, 这是因为 10 只 220V、40W 的灯泡只需要  $10 \times 40 = 400 \text{ W}$  功率, 所以发电机也就只发出 400W 功率。

1.7 一直流电源, 其开路电压为 110V, 短路电流为 44A。现将一个 220V、40W 的电烙铁接在该电源上, 该电烙铁能否正常工作? 它实际消耗多少功率?

**分析** 本题求得电源的电压源模型或电流源模型后, 再求出电烙铁的电阻, 即可求出流过电烙铁的电流, 进而可求出电烙铁实际消耗的功率, 并根据实际功率来判断电烙铁能否正常工作。

**解** 电源的内阻为:

$$R_0 = \frac{U_S}{I_S} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}} = \frac{110}{44} = 2.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

电烙铁的电阻为:

$$R = \frac{U_N^2}{P_N} = \frac{220^2}{40} = 1210 \text{ (}\Omega\text{)}$$

由于  $R_0 \ll R$ ,  $R_0$  可忽略不计, 因此流过电烙铁的电流为:

$$I = \frac{U_S}{R_0 + R} = \frac{U_{OC}}{R_0 + R} \approx \frac{U_{OC}}{R} = \frac{110}{1210} = \frac{1}{11} \text{ (A)}$$

电烙铁实际消耗的功率为:

$$P = I^2 R = \left(\frac{1}{11}\right)^2 \times 1210 = 10 \text{ (W)}$$

因为电烙铁实际消耗的功率与额定功率不相等, 所以电烙铁不能正常工作。

1.8 求如图 1.15 所示电路 a、b 两点之间的电压  $U_{ab}$ 。

**分析** 本题考查基尔霍夫定律的推广运用。在运用基尔霍夫定律列方程时, 先要在电路图中标出电流、电压的参考方向和所选回路的绕行方向。KCL 可推广到包围部分电路的任一假设的闭合面, KVL 可推广到不闭合的电路上。

**解** 设电流的参考方向和所选回路的绕行方向如图 1.16 所示。根据 KCL, 有:

$$I_1 = 0$$

根据 KVL 列出如图 1.16 所示两个回路的方程, 为:

$$\begin{aligned} 3I + I + 2I + 3I + I + 2I &= 12 - 6 \\ 3I + 6 + I + 2I + 3I_1 - U_{ab} &= 0 \end{aligned}$$

解之, 得:

$$\begin{aligned} I &= \frac{12 - 6}{3 + 1 + 2 + 3 + 1 + 2} = 0.5 \text{ (A)} \\ U_{ab} &= 3I + 6 + I + 2I + 3I_1 = 3 \times 0.5 + 6 + 0.5 + 2 \times 0.5 + 3 \times 0 = 9 \text{ (V)} \end{aligned}$$

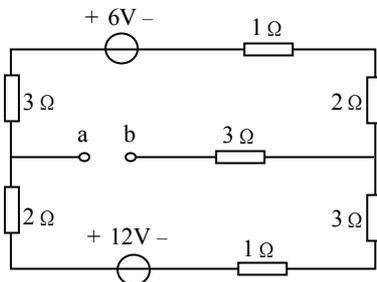


图 1.15 习题 1.8 的图

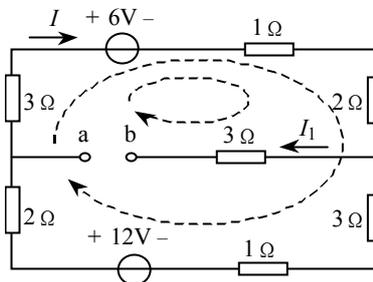


图 1.16 习题 1.8 解答用图

1.9 在如图 1.17 所示的电路中, 已知  $U_S = 10 \text{ V}$ ,  $R_0 = 0.1 \Omega$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ 。求开关 S 在不同位置时, 电流表和电压表的读数各为多少?

**分析** 开关 S 在不同位置时, 电路分别处于不同的工作状态: 在位置 1 时处于负载状态, 在位置 2 时处于开路状态, 在位置 3 时处于短路状态。

**解** (1) 开关 S 打在位置 1 时, 电路处于负载状态。由于  $R_0 \ll R$ ,  $R_0$  可忽略不计, 因此电压表的读数为:

$$U = U_S - IR_0 \approx U_S = 10 \text{ (V)}$$

电流表的读数为:

$$I = \frac{U_S}{R_0 + R} \approx \frac{U_S}{R} = \frac{10}{1000} = 0.01 \text{ (A)} = 10 \text{ (mA)}$$

(2) 开关 S 打在位置 2 时, 电路处于开路状态, 因此电压表的读数为:

$$U = U_S = 10 \text{ (V)}$$

电流表的读数为:

$$I = 0 \text{ (mA)}$$

(3) 开关 S 打在位置 3 时, 电路处于短路状态, 因此电压表的读数为:

$$U = 0 \text{ (V)}$$

电流表的读数为:

$$I = I_{SC} = \frac{U_S}{R_0} = \frac{10}{0.1} = 100 \text{ (A)}$$

1.10 求如图 1.18 所示电路中负载吸收的功率。

**分析** 欲求负载吸收的功率, 必须先求出负载的电流和电压, 而负载的电流和电压可利用基尔霍夫定律求出。

**解** 设负载的电流、电压参考方向关联, 即设负载两端电压的参考方向为上正下负, 根据基尔霍夫定律得:

$$I = 2 + 3 = 5 \text{ (A)}$$

$$U = -20 - 2I - 10 \times 2 + 60 = -20 - 2 \times 5 - 10 \times 2 + 60 = 10 \text{ (V)}$$

所以, 负载吸收的功率为:

$$P = UI = 10 \times 5 = 50 \text{ (W)}$$

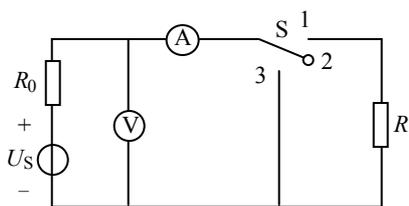


图 1.17 习题 1.9 的图

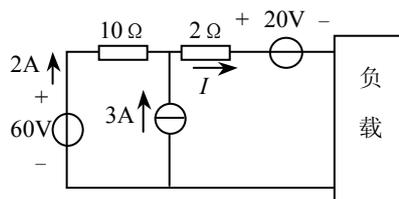


图 1.18 习题 1.10 的图

1.11 求如图 1.19 所示电路中的电压  $U_{ac}$  和  $U_{bd}$ 。

**分析** 本题在运用 KVL 求得电路中的电流后, 将 KVL 推广到不闭合的电路, 即可求出电压  $U_{ac}$  和  $U_{bd}$ 。

**解** 设电流的参考方向和回路的绕行方向如图 1.20 所示。根据 KVL, 有:

$$2I + 4I + I + 3I = 12 + 18 - 20$$

$$I = \frac{12 + 18 - 20}{2 + 4 + 1 + 3} = 1 \text{ (A)}$$

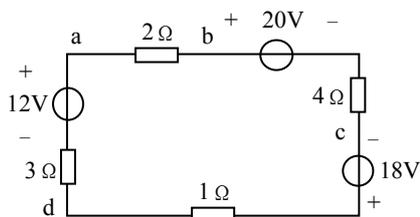


图 1.19 习题 1.11 的图

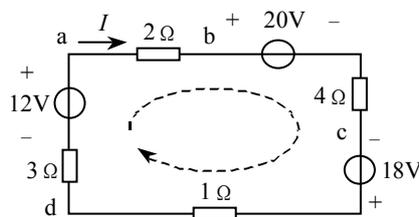


图 1.20 习题 1.11 解答用图

所以, 根据 KVL, 得:

$$U_{ac} = 2I + 20 + 4I = 2 \times 1 + 20 + 4 \times 1 = 26 \text{ (V)}$$

$$U_{bd} = 20 + 4I - 18 + I = 20 + 4 \times 1 - 18 + 1 = 7 \text{ (V)}$$

1.12 在如图 1.21 所示的电路中, 已知  $U_{S1} = 12\text{V}$ ,  $U_{S2} = 8\text{V}$ ,  $R_1 = 0.2 \Omega$ ,  $R_2 = 1 \Omega$ ,  $I_1 = 5\text{A}$ , 求  $U_{ab}$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $R_3$ 。

**分析** 本题可先对左边回路运用 KVL 求出电流  $I_2$ , 接着运用 KCL 求出电流  $I_3$ , 最后可运用 KVL 和欧姆定律求出电压  $U_{ab}$  和电阻  $R_3$ 。

**解** 设所选回路的绕行方向如图 1.22 所示。根据 KVL, 有:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = U_{S1} - U_{S2}$$

$$I_2 = \frac{I_1 R_1 - U_{S1} + U_{S2}}{R_2} = \frac{5 \times 0.2 - 12 + 8}{1} = -3 \text{ (A)}$$

对节点 a 列 KCL 方程, 有:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 5 - 3 = 2 \text{ (A)}$$

根据 KVL, 得:

$$U_{ab} = U_{S1} - I_1 R_1 = 12 - 5 \times 0.2 = 11 \text{ (V)}$$

根据欧姆定律, 得:

$$R_3 = \frac{U_{ab}}{I_3} = \frac{11}{2} = 5.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

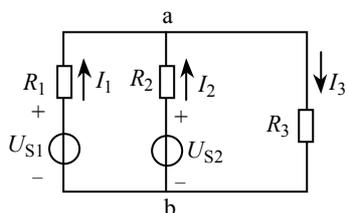


图 1.21 习题 1.12 的图

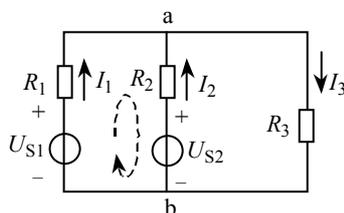


图 1.22 习题 1.12 解答用图

1.13 计算如图 1.23 所示电路各电源的功率。

**分析** 本题运用 KCL 和 KVL 求出通过电压源的电流和电流源两端的电压后, 即可运用功率计算公式求出各电源的功率。

**解** 设各电流、电压的参考方向和所选回路的绕行方向如图 1.24 所示。对左边回路列 KVL 方程, 有:

$$24I_2 + 6 + 18 = 0$$

$$I_2 = \frac{-6 - 18}{24} = -1 \text{ (A)}$$

根据 KCL, 有:

$$I_1 + I_2 - 2 = 0$$

$$I_1 = 2 - I_2 = 2 - (-1) = 3 \text{ (A)}$$

对右边回路列 KVL 方程, 有:

$$2 \times 2 + U - 6 = 0$$

$$U = 6 - 2 \times 2 = 2 \text{ (V)}$$

6V 电源的功率为:

$$P_1 = -6I_1 = -6 \times 3 = -18 \text{ (W)}$$

18V 电源的功率为:

$$P_2 = 18I_2 = 18 \times (-1) = -18 \text{ (W)}$$

3A 电源的功率为:

$$P_3 = 2U = 2 \times 2 = 4 \text{ (W)}$$

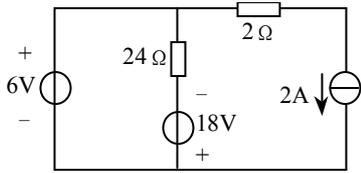


图 1.23 习题 1.13 的图

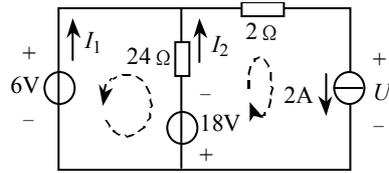


图 1.24 习题 1.13 解答用图

1.14 指出如图 1.25 所示电路有多少节点和支路, 并求电压  $U_{ab}$  和电流  $I$ 。

分析 本题将 KCL 推广到封闭曲面即可求出电流  $I$ , 进而可求出电压  $U_{ab}$ 。

解 电路有 2 个节点和 3 条支路。作封闭曲面如图 1.26 所示, 根据 KCL, 得:

$$I = 0 \text{ (A)}$$

所以:

$$U_{ab} = 6I = 6 \times 0 = 0 \text{ (V)}$$

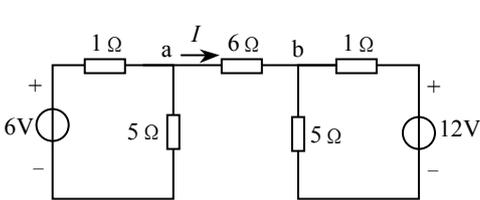


图 1.25 习题 1.14 的图

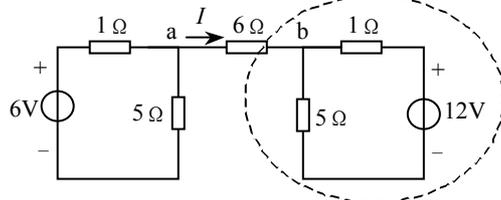


图 1.26 习题 1.14 解答用图

1.15 在如图 1.27 所示电路中, 已知流过电阻  $R$  的电流  $I = 0$ , 求  $U_{S2}$ 。

分析 本题运用 KCL 和 KVL 求出左右两条支路的电流后, 即可求出  $U_{S2}$ 。

解 设各电流的参考方向和所选回路的绕行方向如图 1.28 所示。根据 KCL 得:

$$I_1 - I_2 + I = 0$$

由于  $I = 0$ , 故得:

$$I_1 = I_2$$

根据 KVL, 得:

$$I_1 + 3I_2 = U_{S1} - U_{S3}$$

所以:

$$I_1 = I_2 = \frac{U_{S1} - U_{S3}}{1 + 3} = \frac{10 - 5}{4} = 1.25 \text{ (A)}$$

根据 KVL, 得:

$$U_{S2} = RI + 3I_2 + U_{S3} = 0 + 3 \times 1.25 + 5 = 8.75 \text{ (V)}$$

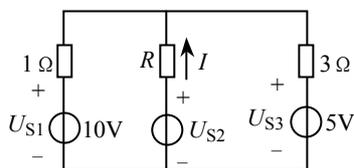


图 1.27 习题 1.15 的图

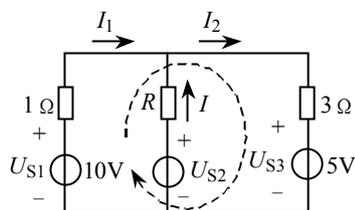


图 1.28 习题 1.15 解答用图

1.16 在如图 1.29 所示电路中, 已知  $U_2 = 6\text{V}$ , 求  $U_1$ 、 $U_3$ 、 $U_4$  和  $U_{ac}$ , 并比较 a、b、c、d、e 各点电位的高低。

分析 本题先运用欧姆定律求出电压  $U_1$ 、 $U_3$ 、 $U_4$  和  $U_{ac}$ , 即可运用电位的概念求出 a、b、c、d、e 各点的电位, 然后根据电位值比较各点电位的高低。

解 根据欧姆定律, 得:

$$I = \frac{U_2}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ (A)}$$

所以:

$$U_1 = 1I = 3 \text{ (V)}$$

$$U_3 = 3I = 3 \times 3 = 9 \text{ (V)}$$

$$U_4 = 4I = 4 \times 3 = 12 \text{ (V)}$$

$$U_{ac} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 3 + 6 + 9 + 12 = 30 \text{ (V)}$$

由于 c 点为电位参考点, 故:

$$U_c = 0 \text{ (V)}$$

其他各点的电位分别为:

$$U_a = U_1 + U_2 = 3 + 6 = 12 \text{ (V)}$$

$$U_b = U_2 = 6 \text{ (V)}$$

$$U_d = -U_3 = -9 \text{ (V)}$$

$$U_e = -U_3 - U_4 = -9 - 12 = -21 \text{ (V)}$$

根据计算结果, 可知 a、b、c、d、e 各点电位的高低关系为:

$$U_a > U_b > U_c > U_d > U_e$$

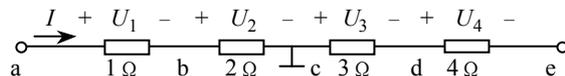


图 1.29 习题 1.16 的图

1.17 试求如图 1.30 所示电路中 a 点的电位。

分析 本题运用 KCL 和 KVL 求出电路中的各个电流后, 即可运用电位的概念求出 a 点的电位。

解 设各电流的参考方向及所作封闭曲面如图 1.31 所示, 根据 KCL, 得:

$$I_1 = 0 \text{ (A)}$$

根据 KVL, 得:

$$I = \frac{3}{1+2} = 1 \text{ (A)}$$

所以 a 点电位为:

$$U_a = -3 + 2I + 6 - 4I_1 = -3 + 2 \times 1 + 6 - 4 \times 0 = 5 \text{ (V)}$$

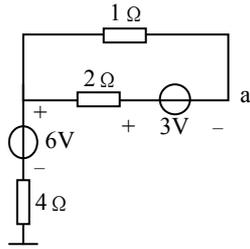


图 1.30 习题 1.17 的图

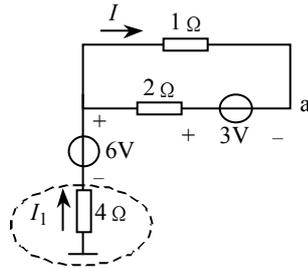


图 1.31 习题 1.17 解答用图

1.18 试求如图 1.32 所示电路中 a 点和 b 点的电位。如将 a、b 两点直接连接或接一电阻, 对电路工作有无影响?

**分析** 将 a、b 两点直接连接或接一电阻是否对电路工作产生影响, 取决于 a、b 两点之间的电位  $U_a$  和  $U_b$ : 若  $U_a = U_b$ , 则将 a、b 两点直接连接或接一电阻, 在 a、b 之间没有电流通过, 故对电路工作没有影响; 若  $U_a \neq U_b$ , 则将 a、b 两点直接连接或接一电阻, 在 a、b 之间有电流通过, 对电路工作有影响。

**解** a 的电位为:

$$U_a = \frac{12}{6+12} \times 18 = 12 \text{ (V)}$$

b 的电位为:

$$U_b = \frac{8}{8+8} \times 24 = 12 \text{ (V)}$$

因为  $U_a = U_b$ , 所以将 a、b 两点直接连接或接一电阻对电路工作没有影响。

1.19 在如图 1.33 所示电路中, 已知 a 点电位为  $U_a = -10 \text{ V}$ , 求电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 。

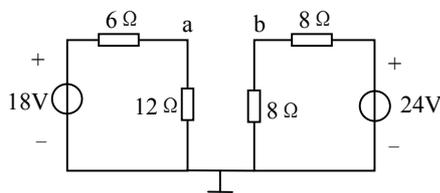


图 1.32 习题 1.18 的图

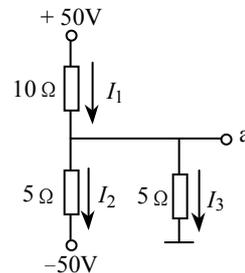


图 1.33 习题 1.19 的图

**分析** 因为电路中任意两点之间的电压等于这两点的电位之差, 故本题可根据电位的概念直接运用欧姆定律来求电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 。

解 根据欧姆定律, 得:

$$I_1 = \frac{50 - U_a}{10} = \frac{50 - (-10)}{10} = 6 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{U_a - (-50)}{5} = \frac{-10 - (-50)}{5} = 8 \text{ (A)}$$

$$I_3 = \frac{U_a}{5} = \frac{-10}{5} = -2 \text{ (A)}$$

1.20 在如图 1.34 所示电路中, 如果  $15\Omega$  电阻上的电压降为  $30\text{V}$ , 其极性如图所示, 求电阻  $R$  及  $a$  点电位。

分析 欲求电阻  $R$ , 应先求出  $R$  的电流和电压。欲求  $R$  的电流和电压, 应先求出  $5\Omega$  电阻和  $15\Omega$  电阻的电流。 $5\Omega$  电阻的电流可用欧姆定律计算,  $15\Omega$  电阻和  $R$  的电流可用 KCL 计算, 而  $R$  的电压可用 KVL 计算。

解 设各支路电流的参考方向及节点名称如图 1.35 所示。根据欧姆定律, 得:

$$I_1 = \frac{30}{15} = 2 \text{ (A)}$$

对节点  $a$  和节点  $b$  列 KCL 方程并解之, 得:

$$I_2 = 5 + I_1 = 5 + 2 = 7 \text{ (A)}$$

$$I_3 = I_2 - 2 - 3 = 7 - 2 - 3 = 2 \text{ (A)}$$

根据 KVL, 得  $a$  点的电位为:

$$U_a = -5I_2 - 30 + 100 = -5 \times 7 - 30 + 100 = 35 \text{ (V)}$$

根据欧姆定律, 得:

$$R = \frac{U_a}{I_3} = \frac{35}{2} = 17.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

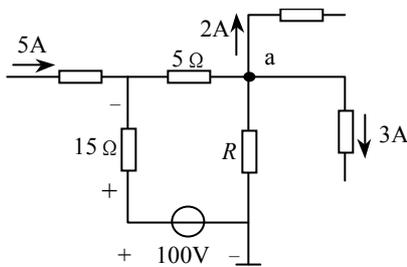


图 1.34 习题 1.20 的图

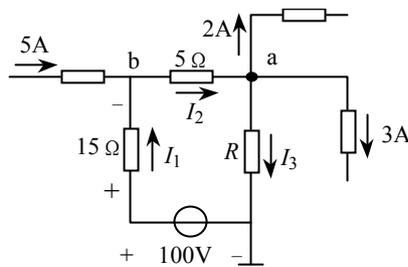


图 1.35 习题 1.20 解答用图

## 1.4 习题与考研试题精选

1-1 将两只  $220\text{V}$ 、 $100\text{W}$  的灯泡串联, 接在  $220\text{V}$  的电源上, 试求两只灯泡消耗的功率各是多少?

1-2 求如图 1.36 所示 3 个电路中各电源的功率, 并指出是吸收功率还是放出功率。

1-3 电路如图 1.37 所示, 已知部分元件参数, 求  $I$ 、 $I_1$ 、 $U_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $U_{ab}$ 、 $U_{cd}$ , 并计算电阻  $R_1$ 、电压源  $U_S$ 、电流  $I_S$  的功率, 说明该电源是吸收功率还是放出功率。

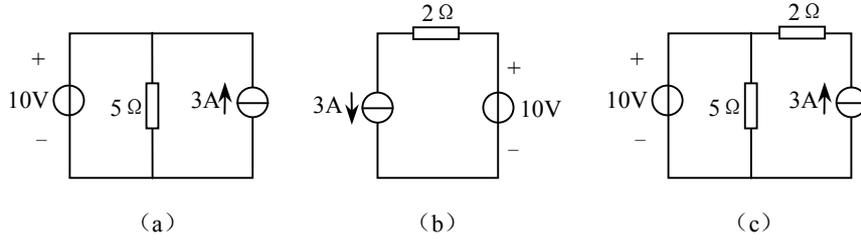


图 1.36 习题 1-2 的图

1-4 电路如图 1.38 所示, 求电压  $U$ 。

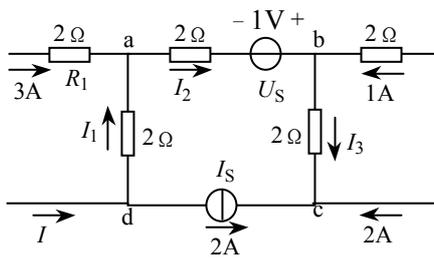


图 1.37 习题 1-3 的图

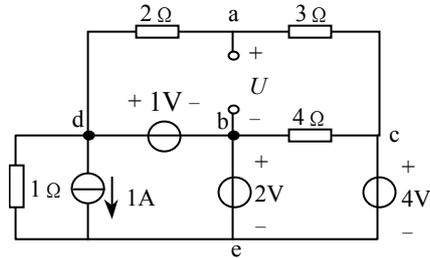


图 1.38 习题 1-4 的图

1-5 电路如图 1.39 所示, 求电流  $I$ 。

1-6 电路如图 1.40 所示, 求电流  $I_1$ 、 $I_2$ 。

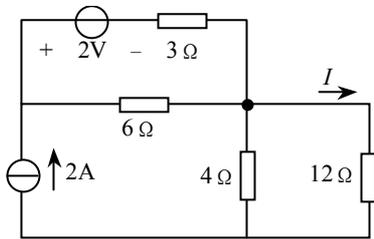


图 1.39 习题 1-5 的图

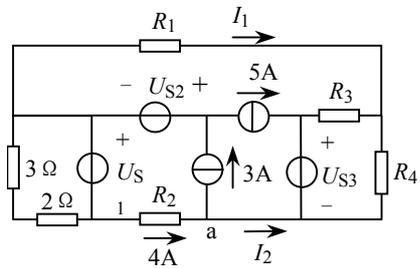


图 1.40 习题 1-6 的图

1-7 电路如图 1.41 所示, 求电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  和 6V 电源的功率。

1-8 电路如图 1.42 所示, 试求:

(1) 10A 电源和 8V 电源的功率。

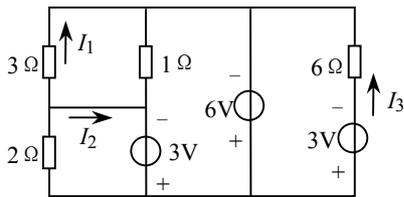


图 1.41 习题 1-7 的图

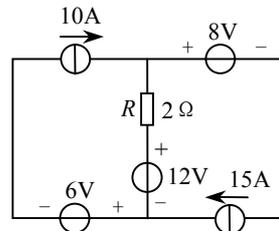


图 1.42 习题 1-8 的图

(2) 若电阻  $R = 0$ ，则  $10\text{A}$  电源和  $8\text{V}$  电源的功率各变为多少？

1-9 电路如图 1.43 所示， $N$  为二端网络，已知电流  $I_2 = 2\text{A}$ ，流入二端网络  $N$  的电流  $I = 4\text{A}$ ，求电阻  $R$  及输入到二端网络  $N$  的功率  $P$ 。

1-10 电路如图 1.44 所示，已知电阻  $R$  的电压为  $U = 12\text{V}$ ，电流为  $I = 0.4\text{A}$ ，求电源电压  $U_S$ 。

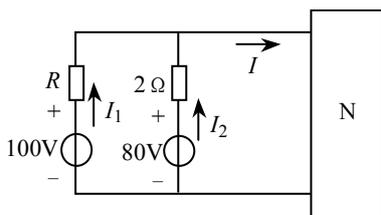


图 1.43 习题 1-9 的图

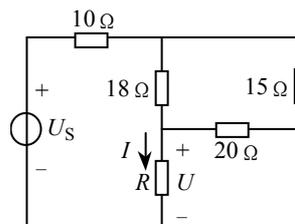


图 1.44 习题 1-10 的图

1-11 求如图 1.45 所示电路中的电流  $I_1$  和  $I_2$ 。

1-12 求如图 1.46 所示电路中的电流  $I$  和电压  $U$ 。

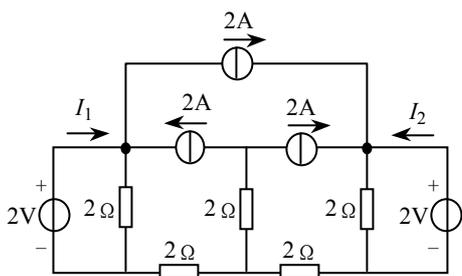


图 1.45 习题 1-11 的图

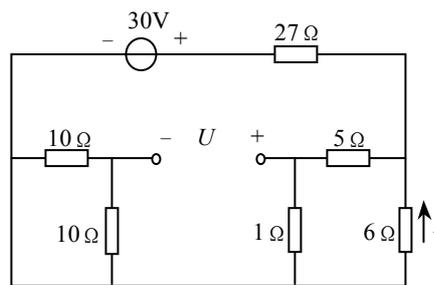


图 1.46 习题 1-12 的图

1-13 电路如图 1.47 所示，求电流  $I$  及  $a$  点的电位  $U_a$ 。

1-14 求如图 1.48 所示电路在开关  $S$  断开和闭合两种情况下  $a$  点的电位  $U_a$ 。

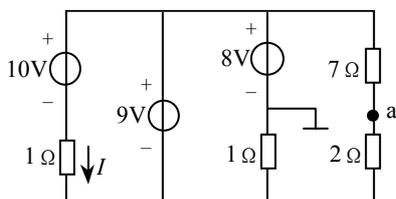


图 1.47 习题 1-13 的图

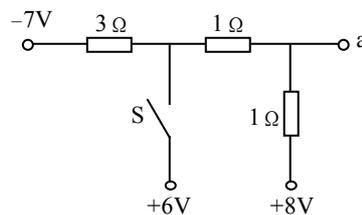


图 1.48 习题 1-14 的图

1-15 求如图 1.49 所示电路中  $a$  点的电位  $U_a$ 。

1-16 电路如图 1.50 所示，试求以下两种情况下  $a$ 、 $b$  两点的电位  $U_a$  和  $U_b$ 。

(1) 开关  $S_1$  闭合， $S_2$  断开。

(2) 开关  $S_1$  断开， $S_2$  闭合。

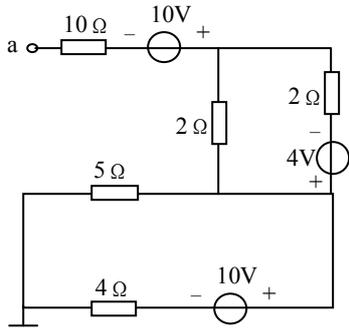


图 1.49 习题 1-15 的图

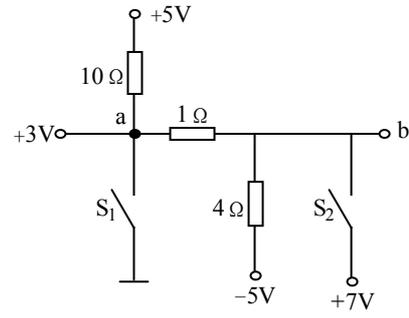


图 1.50 习题 1-16 的图