

第1章 直流电路

1.1 知识要点总结

一、电路变量

1. 电流和电压的参考方向

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。为便于分析，引入了参考方向。它是人为假设的方向。当实际方向与参考方向一致时， $i > 0$ ，不一致时， $i < 0$ 。

两点间的电压等于两点的电位差。其实际方向为电压降的方向，即从高电位指向低电位。常用正、负极性来表征电压的方向。同样，为便于分析，可以人为假设电压的参考极性，当电压的实际极性与参考极性一致时， $u > 0$ ，反之， $u < 0$ 。

对任意一个二端元件（或二端电路），若电流和电压的参考方向相一致，则称为关联参考方向，否则为非关联参考方向。

2. 功率

对任意一个二端元件（或二端电路），当 u 、 i 为关联参考方向时

$$p = ui$$

当 u 、 i 为非关联参考方向时

$$p = -ui$$

计算出来的功率

$$P \begin{cases} > 0 & \text{吸收功率（负载）} \\ < 0 & \text{提供功率（电源）} \end{cases}$$

二、基尔霍夫定律

1. 适用于所有集总参数电路。

2. KCL 定律：该定律不仅适用于节点，还可以推广到任意一个闭合面。其方法是，先假定各支路电流的参考方向，然后根据 $\sum i(t) = 0$ 或 $\sum i_{\text{in}} = \sum i_{\text{out}}$ 计算。

3. KVL 定律：该定律不仅适用于闭合回路，也可以把它推广，应用于非闭合回路或某一条支路。其方法是，先假定回路绕行方向及各支路电压参考极性，然后由 $\sum u(t) = 0$ 计算。

三、电阻元件

1. 电阻的伏安特性（VAR）就是著名的欧姆定律，当 u 、 i 为关联参考方向时，为

$$u = Ri \quad \text{或} \quad i = Gu$$

当 u 、 i 为非关联参考方向时，为

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu$$

线性电阻有两个特殊情况——开路和短路。当电阻 $R = 0$ 时，可将其视为短路，此时电压恒等于零；当 $R = \infty$ 时，可将其视为开路，此时电流恒等于零。

2. 电阻串联时流过同一个电流，等效电阻等于各电阻之和，电阻串联常用于分压，其分压公式为

$$U_k = \frac{R_k}{\sum_i^n R_i} U_S$$

3. 电阻并联时两端承受同一个电压，等效电导等于各电导之和，电阻并联常用于分流。两个电阻并联的分流公式为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_S \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_S$$

四、独立源与受控源

1. 独立源

独立源的输出特性由其自身确定。其伏安关系如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 独立源电路符号及伏安关系

名称	电路模型	端口伏安关系	伏安关系曲线
电压源模型		$U = U_s - R_s I$	
电流源模型		$I = I_s - \frac{U}{R_s}$	
理想电压源		$U = U_s$ I 由外电路确定	
理想电流源		$I = I_s$ U 由外电路确定	

2. 受控源

受控源的输出特性受同一电路中某支路电压或电流的控制。其符号与伏安关系如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 受控源电路符号及伏安关系

名称	电路模型	端口伏安关系	伏安关系曲线
VCVS		$U_2 = \mu U_1$ I_2 由外电路确定	
CCVS		$U_2 = r I_1$ I_2 由外电路确定	
VCCS		$I_2 = g U_1$ U_2 由外电路确定	
CCCS		$I_2 = \beta I_1$ U_2 由外电路确定	

3. 电源的等效变换

(1) 如果满足 $U_s = R \cdot I_s$ ，则电压源 U_s 和电阻 R 的串联电路与电流源 I_s 和电阻 R 的并联电路互为等效电路。

(2) n 个电压源串联时, 对外可等效为一个电压源, 其值为所串联各电压源电压的代数和。

(3) n 个电流源并联时, 对外可等效为一个电流源, 其值为所并联各电流源电流的代数和。

(4) 电压源 u_s 与任何一个元件并联时, 其对外等效电路就是电压源 u_s , 若电压源并联电压源, 则要求两个电压源的极性和大小相同。

(5) 电流源 i_s 与任何一个元件串联时, 其对外等效电路就是电流源 i_s , 若电流源串联电流源, 则要求两个电流源的方向和大小相同。

(6) 受控源的等效变换与独立源的变换方法相同, 但应注意控制变量不能改变, 所以在受控源还保留时, 其控制支路也应保留在电路中。

1.2 本章重点与难点

1. 电压、电流参考方向及参考方向与功率的关系
2. 基尔霍夫定律 (KL): KCL、KVL
3. 电源的等效变换
4. 支路电流法
5. 叠加定理
6. 戴维南定理
7. 含受控源电路

1.3 重点分析方法与步骤

一、支路电流法

以支路电流为求解变量的分析方法称为支路电流法。假设电路具有 n 个节点、 b 条支路, 分析步骤如下。

- (1) 标出每个支路电流及参考方向;

(2) 确定所有独立节点, 利用 KCL 列出 $(n-1)$ 个独立的节点电流方程, n 个节点的电路只有 $(n-1)$ 个独立节点;

(3) 选定所有独立回路并指定每个回路的绕行方向, 再根据 KVL 列出 $b-(n-1)$ 个回路电压方程 (选择回路时首选网孔, 并注意避开含有电流源支路的回路);

(4) 联立求解 b 个方程式, 解出各支路电流;

(5) 根据要求, 由支路电流求得其他响应;

(6) 含受控源时, 先将受控源视为独立源来处理, 再增列控制量与支路电流之间的关系方程。

二、叠加定理

叠加定理适用于多个独立源作用下的线性电路。

当某一独立源单独作用时, 其余的独立源做置零处理, 即独立电压源短路, 独立电流源开路。求出各独立源单独作用时待求支路的电压 (或电流) 的分量后, 再进行叠加。叠加时, 当分量的方向与总量的方向一致时, 取正, 相反时, 取负。

当含有受控源时, 受控源不参与独立作用, 也不做置零处理, 始终保持在电路中。

叠加定理只限于线性电路的电流和电压的计算, 不适用于功率的计算。

三、戴维南定理

在电路分析中, 若只需求出复杂电路中某一特定支路的电流或电压时, 应用戴维南定理计算比较方便。该方法是, 先将待求支路断开, 求其余部分单口网络的戴维南等效电路, 分析步骤如下。

1. 求单口网络的开路电压: 在求解开路电压 u_{OC} 时, 根据电路特点, 选择基尔霍夫定律、支路电流法、叠加定理等分析方法进行计算。

2. 求解等效电阻 R_o : R_o 的求解方法有三种。

① 电阻等效变换法。当所有独立源置零后，单口网络内部仅含电阻，可利用电阻的串并联等效变换进行化简，求解无源网络的等效电阻。

② 外施电源法。如果置零后的单口网络内部含电阻和受控源，则在端口处外施电压源 u ，并计算端口处的伏安关系。对外加的电源来说，当 u 与 i 为非关联参考方向时，根据定义可算得端口的等效电阻为

$$R_o = \frac{u}{i}$$

③ 开路短路法。求取端口的短路电流 i_{sc} ，对端口来说，在 u_{oc} 与 i_{sc} 为关联参考方向时，可得端口的等效电阻为

$$R_o = \frac{u_{oc}}{i_{sc}}$$

3. 画出戴维南等效电路：开路电压与等效电阻串联，并将待求支路与等效电路连接，然后求出待求量。

1.4 填空题和选择题

一、填空题

1.4.1 当电压与电流取关联参考方向时，电阻元件的伏安关系为_____；当取非关联参考方向时，其伏安关系为_____。

1.4.2 理想电压源输出的_____值恒定，输出的_____值由外电路确定。

1.4.3 由 n 个节点、 b 条支路组成的电路，共有_____个独立 KCL 方程和_____个独立 KVL 方程。

1.4.4 图 1.4.1 所示电路中的电压 $U =$ _____，电流 $I =$ _____。

1.4.5 图 1.4.2 所示电路中的电压 $U =$ _____ V。

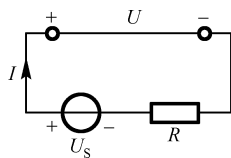


图 1.4.1 题 1.4.4 图

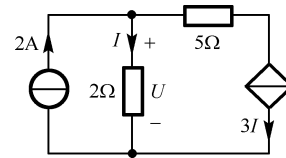


图 1.4.2 题 1.4.5 图

1.4.6 图 1.4.3 所示电路中，2A 电流源的功率为_____ W，流过 5Ω 电阻的电流 $I =$ _____ A。

1.4.7 图 1.4.4 所示部分电路中，已知电压表的读数为 4V，电流表的读数为 1A，则电阻 $R =$ _____ Ω。

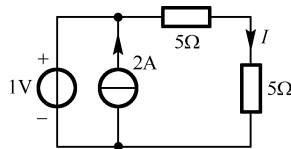


图 1.4.3 题 1.4.6 图

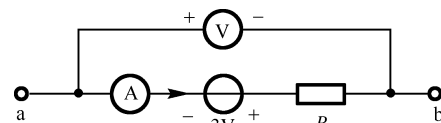


图 1.4.4 题 1.4.7 图

1.4.8 图 1.4.5 所示为某实际电流源的外部特性曲线，则该电流源的电流 $I_s =$ _____ A，内阻 $R_s =$ _____ Ω。

1.4.9 图 1.4.6 所示部分电路的 $I_3 =$ _____ A， $I_6 =$ _____ A。

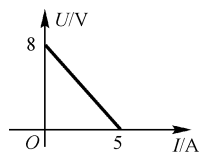


图 1.4.5 题 1.4.8 图

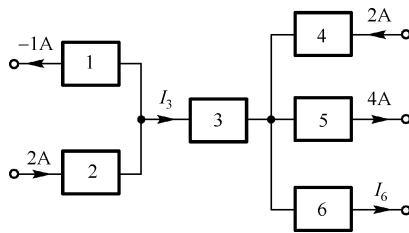


图 1.4.6 题 1.4.9 图

1.4.10 图 1.4.7 所示电路的等效电阻为 _____ Ω 。

1.4.11 在图 1.4.8 所示电路中, $I =$ _____ A。

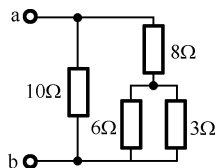


图 1.4.7 题 1.4.10 图

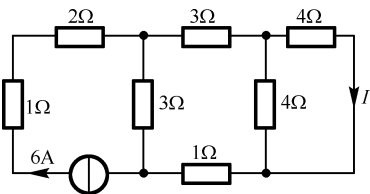


图 1.4.8 题 1.4.11 图

1.4.12 某一实际电压源外接负载, 当电流 $I = 0.5\text{A}$ 时, 负载两端电压为 4.8V , 当负载开路时, 电压为 5V , 则电压源内阻 $R_0 =$ _____ Ω , 短路电流 $I_{\text{SC}} =$ _____ A。

1.4.13 受控源可分为 _____、 _____、 _____、 _____。

1.4.14 图 1.4.9 所示电路 ab 端等效电阻 $R_{\text{ab}} =$ _____ Ω 。

1.4.15 图 1.4.10 所示电路的开路电压 $U_{\text{ab}} =$ _____ V, 等效电阻 $R_{\text{ab}} =$ _____ Ω 。

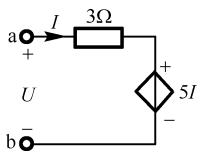


图 1.4.9 题 1.4.14 图

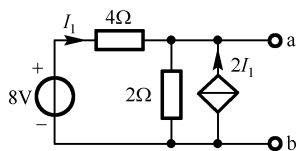


图 1.4.10 题 1.4.15 图

二、选择正确的答案填空

1.4.16 已知电路中两点间的电压 $U_{\text{ab}} = 10\text{V}$, 其中 a 点的电位 $V_{\text{a}} = 6\text{V}$, 则 b 点的电位 $V_{\text{b}} =$ _____ V。

- A. 4V B. -4V C. 16V D. 10V

1.4.17 电路如图 1.4.11 所示, U_{S} 为理想电压源, 若外电路不变, 仅电阻 R 变化时, 将会引起 _____。

- A. 端电压 U 的变化 B. 输出电流 I 的变化
C. 电阻 R 支路电流的变化 D. 上述三者同时变化

1.4.18 图 1.4.12 所示电路中, A 点的电位 $V_{\text{A}} =$ _____ V。

- A. 4V B. 8V C. 2V D. 6V

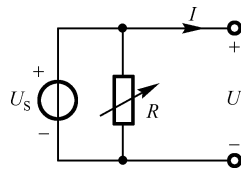


图 1.4.11 题 1.4.17 图

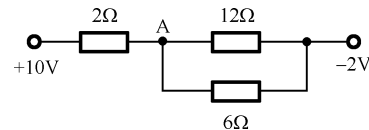


图 1.4.12 题 1.4.18 图

1.4.19 独立电源置零, 即将电压源 _____, 将电流源 _____。

- A. 短路 短路 B. 开路 开路
C. 短路 开路 D. 开路 短路

1.4.20 有三个电阻并联, 已知 $R_1 = 50\Omega$, $R_2 = 25\Omega$, $R_3 = 20\Omega$ 。在三个并联电阻两端外加电流为 $I_{\text{S}} = 0.33\text{A}$ 的电流源, 则对应各电阻支路的电流分别为 _____。

- A. $I_{\text{R1}} = 150\text{mA}$, $I_{\text{R2}} = 120\text{mA}$, $I_{\text{R3}} = 60\text{mA}$
B. $I_{\text{R1}} = 60\text{mA}$, $I_{\text{R2}} = 120\text{mA}$, $I_{\text{R3}} = 150\text{mA}$
C. $I_{\text{R1}} = 173.7\text{mA}$, $I_{\text{R2}} = 86.8\text{mA}$, $I_{\text{R3}} = 69.5\text{mA}$
D. $I_{\text{R1}} = 69.5\text{mA}$, $I_{\text{R2}} = 86.8\text{mA}$, $I_{\text{R3}} = 173.7\text{mA}$

1.4.21 某二端网络的开路电压为 16V , 短路电流为 2A , 则在该端口外接 4Ω 电阻时的端口电压为 _____。

- A. 5.3V B. 8V C. 10.6V D. 16V

1.4.22 某含源单口网络的短路电流为 12A , 接上 9Ω 负载电阻时

的输出电流为 8A ，则该单口网络的内阻 R_0 为_____。

- A. 4Ω
- B. 4.5Ω
- C. 16Ω
- D. 18Ω

1.4.23 已知三个串联电阻上的电压分别为 $U_{R1} = 10\text{V}$ ， $U_{R2} = 8\text{V}$ ， $U_{R3} = 6\text{V}$ ，串联电路的总功率 $P = 48\text{W}$ ，则对应三个电阻的阻值分别为_____。

- A. $R_1 = 5\Omega$ ， $R_2 = 4\Omega$ ， $R_3 = 3\Omega$
- B. $R_1 = 4.8\Omega$ ， $R_2 = 6\Omega$ ， $R_3 = 8\Omega$
- C. $R_1 = 2.08\Omega$ ， $R_2 = 1.33\Omega$ ， $R_3 = 0.75\Omega$
- D. $R_1 = 3\Omega$ ， $R_2 = 4\Omega$ ， $R_3 = 5\Omega$

1.5 习题 1

1.5.1 电路元件如图 1.5.1 所示, 其电压 $U = 12\text{V}$, 电流 $I_{ba} = -2\text{A}$ 。
问: 电压 U_{ab} 的值为多少? 电流 I 的值为多少? 电压、电流的实际方向呢? 求此元件的功率, 并指出此元件是起电源作用还是起负载作用。

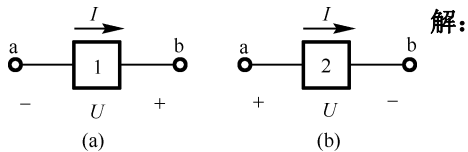


图 1.5.1 习题 1.5.1 电路图

解:

1.5.3 如图 1.5.3 电路, 计算图中的未知电流。

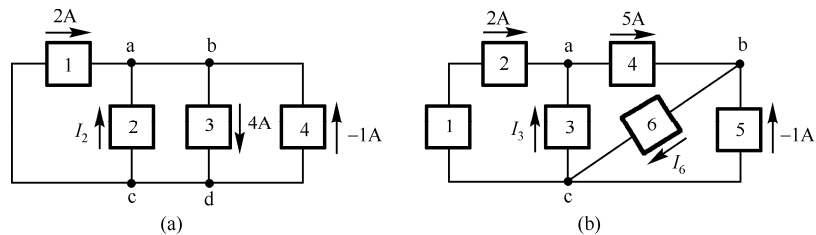


图 1.5.3 习题 1.5.3 电路图

解:

1.5.2 计算图 1.5.2 中各元件的未知量, 其中 P 表示元件吸收的功率。

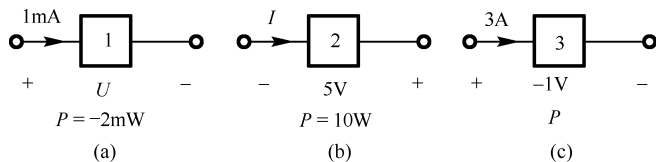


图 1.5.2 习题 1.5.2 电路图

1.5.4 如图 1.5.4 电路，计算图中的未知电压。

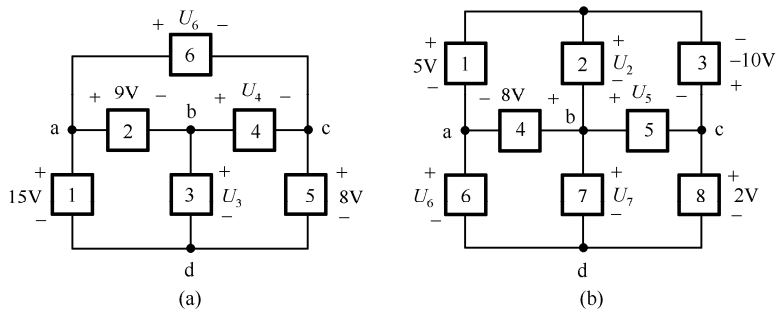


图 1.5.4 习题 1.5.4 电路图

解：

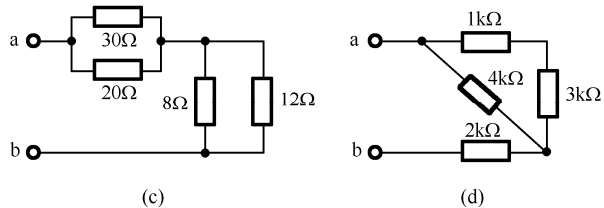
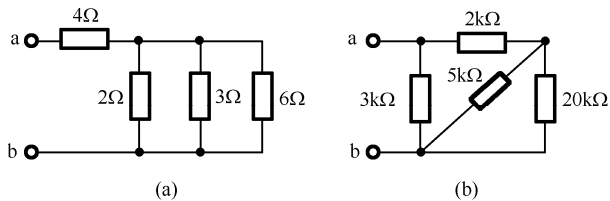


图 1.5.5 习题 1.5.5 电路图

解：

1.5.5 电路如图 1.5.5 所示，求 ab 端等效电阻。



1.5.6 电路如图 1.5.6 所示。(1) 求图 1.5.6(a)中的电压 U_S ;
 (2) 求图 1.5.6(b)中的 U 和 I 。

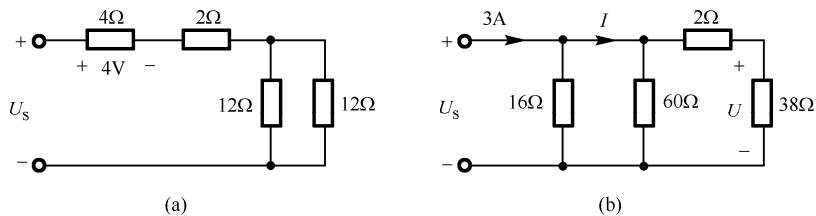


图 1.5.6 习题 1.5.6 电路图

解:

1.5.7 滑线电阻分压器电路如图 1.5.7(a)所示, 已知 $R = 5k\Omega$, 额定电流为 $0.4A$, 外加电压 $500V$, $R_1 = 1k\Omega$, 求: (1) 输出电压 U_o ;
 (2) 如果误将内阻为 0.5Ω , 最大量程为 $2A$ 的电流表连接在输出端口, 如图 1.5.7(b)所示, 将发生什么结果?

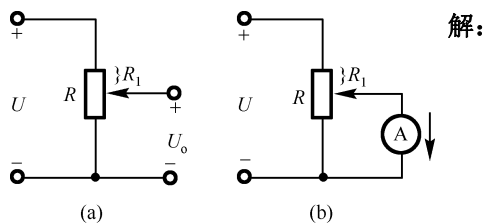


图 1.5.7 习题 1.5.7 电路图

解:

1.5.8 有一块满偏电流 $I_g = 1\text{mA}$ ，线圈电阻 $R_g = 1\text{k}\Omega$ 的小量程电流表。(1) 通过串联分压电阻，把它改装成满偏电压 $U = 10\text{V}$ 的电压表，如图 1.5.8(a)所示；(2) 通过并联分流电阻，把它改装成满偏电流 $I = 10\text{mA}$ 的电流表，如图 1.5.8(b)所示。试确定 R_1 、 R_2 的阻值。

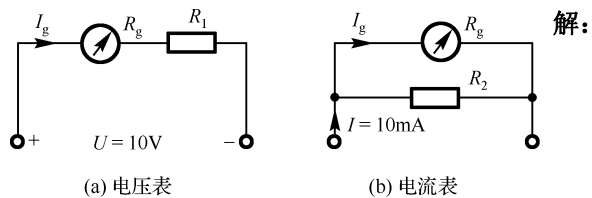


图 1.5.8 习题 1.5.8 电路图

1.5.9 判断下列的连接是否允许。如果不允许，请说明理由；如果允许，将电路简化（画出最简等效电路）。

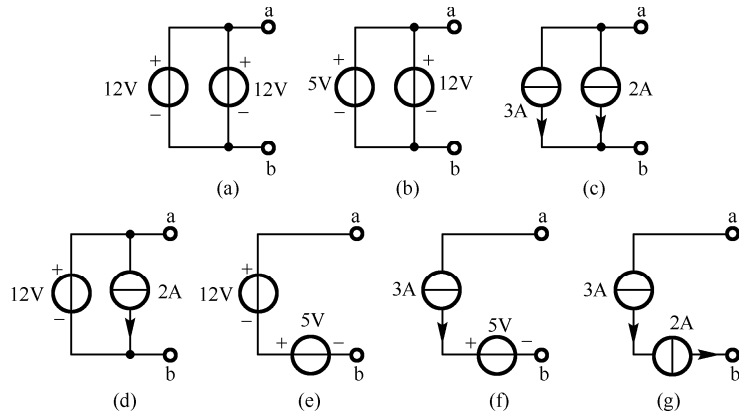


图 1.5.9 习题 1.5.9 电路图

解:

1.5.10 将图 1.5.10 所示电路化为最简形式。

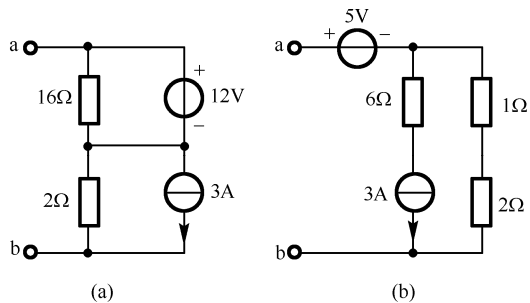


图 1.5.10 习题 1.5.10 电路图

解:

1.5.11 用电源等效变换求图 1.5.11 所示电路中的电压 U 。

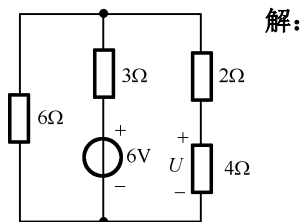
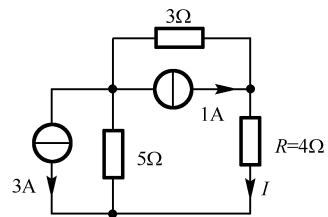


图 1.5.11 习题 1.5.11 电路图

解:

1.5.12 用电源等效变换求图 1.5.12 所示电路中的电流 I 及电阻 R 吸收的功率。



解:

图 1.5.12 习题 1.5.12 电路图

1.5.13 求图 1.5.13 所示电路的 A 点和 B 点的电位。

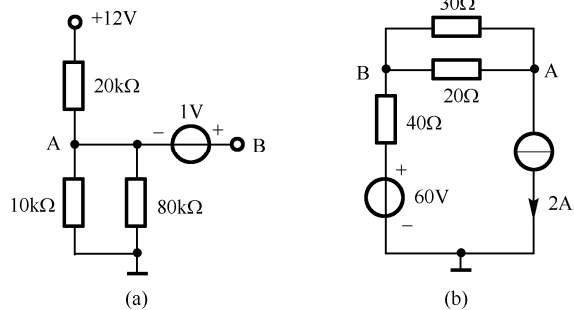
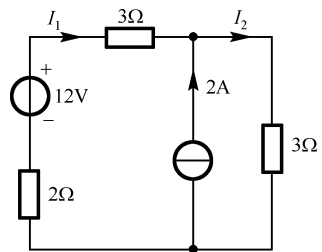


图 1.5.13 习题 1.5.13 电路图

解:

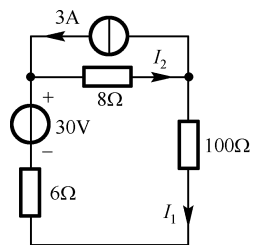
1.5.14 利用支路电流法求图 1.5.14 所示电路中的各支路电流。



解:

图 1.5.14 习题 1.5.14 电路图

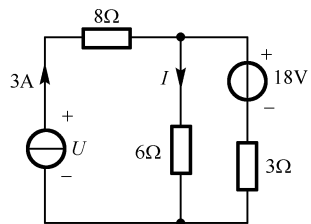
1.5.15 利用支路电流法求图 1.5.15 所示电路中的电流 I_1 及 I_2 。



解:

图 1.5.15 习题 1.5.15 电路图

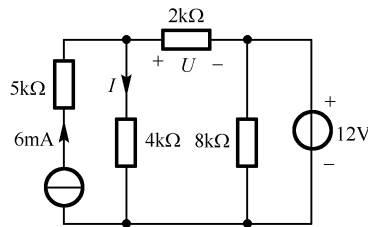
1.5.16 用叠加定理求图 1.5.16 所示电路中的电压 U 和电流 I 。



解:

图 1.5.16 习题 1.5.16 电路图

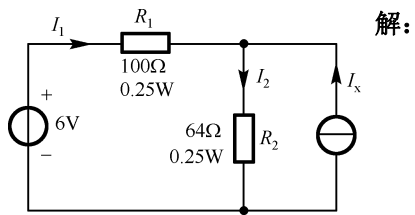
1.5.17 用叠加定理求图 1.5.17 所示电路中的电压 U 和电流 I ，并求 $5\text{k}\Omega$ 电阻和 $8\text{k}\Omega$ 电阻的功率。



解:

图 1.5.17 习题 1.5.17 电路图

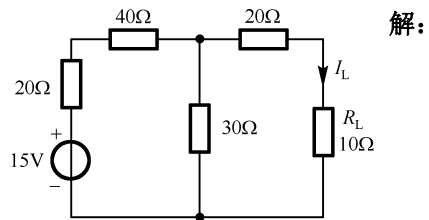
1.5.18 电路如图 1.5.18 所示，确定电流源 I_x 的最大值，保证每个电阻上的功率不超过额定值而导致过热。



解：

图 1.5.18 习题 1.5.18 电路图

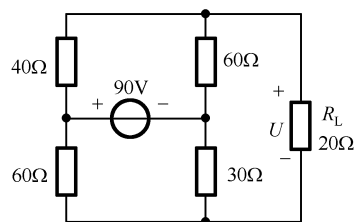
1.5.19 用戴维南定理求图 1.5.19 所示电路的电流 I_L 。



解：

图 1.5.19 习题 1.5.19 电路图

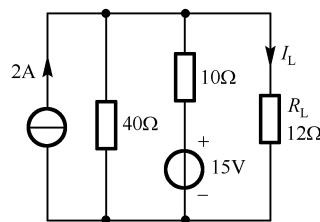
1.5.20 用戴维南定理求图 1.5.20 所示电路的电压 U 。



解:

图 1.5.20 习题 1.5.20 电路图

1.5.21 用诺顿定理求图 1.5.21 所示电路的电流 I_L 。



解:

图 1.5.21 习题 1.5.21 电路图

1.5.22 试求图 1.5.22 所示电路的电流 I_1 、 I_2 及受控源功率。

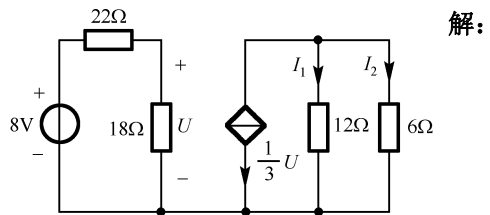


图 1.5.22 习题 1.5.22 电路图

1.5.23 用叠加定理求图 1.5.23 所示电路的电流 I 和电压 U 。

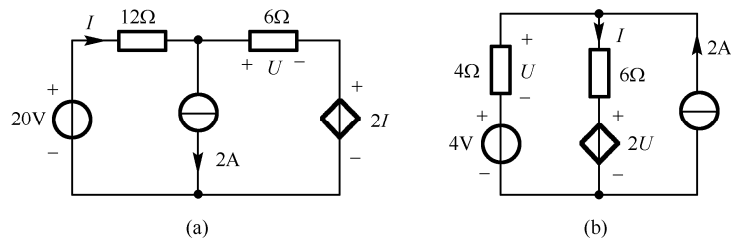
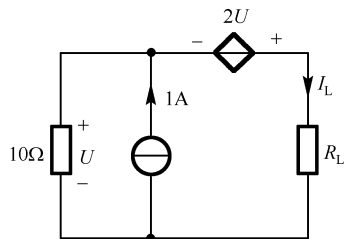


图 1.5.23 习题 1.5.23 电路图

解:

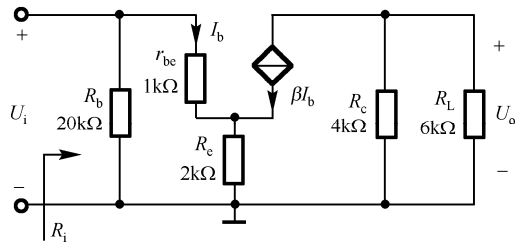
1.5.24 在图 1.5.24 所示电路中，试用戴维南定理分别求出 $R_L = 15\Omega$ 和 $R_L = 30\Omega$ 时的电流 I_L 和功率 P_L 。



解:

图 1.5.24 习题 1.5.24 电路图

1.5.25 试用外施电源法求图 1.5.25 所示电路输入端口的等效电阻 R_i ， $\beta = 50$ 。



解:

图 1.5.25 习题 1.5.25 电路图