

## 第 2 章 线性直流电路（作业部分）

2.1. 求图示电路的 a b 端口的等效电阻。

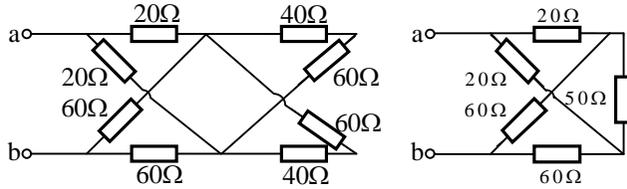


图 题 2.1

解：根据电桥平衡有  $R_{eq} = (20 + 60) \parallel (20 + 60) = 40\Omega$

2.2. 图中各电阻均为  $6\Omega$ ，求电路的 a b 端口的等效电阻。

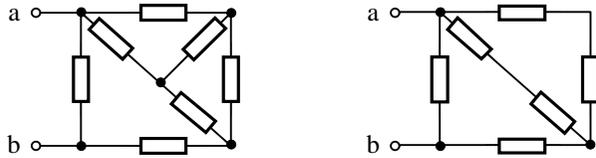


图 题 2.2

解：根据电桥平衡，去掉电桥电阻有

$$R_{eq} = [(6 + 6) \parallel (6 + 6) + 6] \parallel 6 = 4\Omega$$

2.8 求图示电路的最简等效电路。

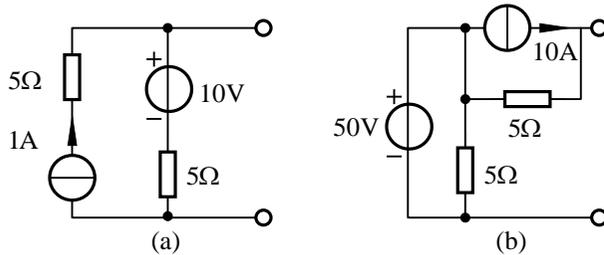
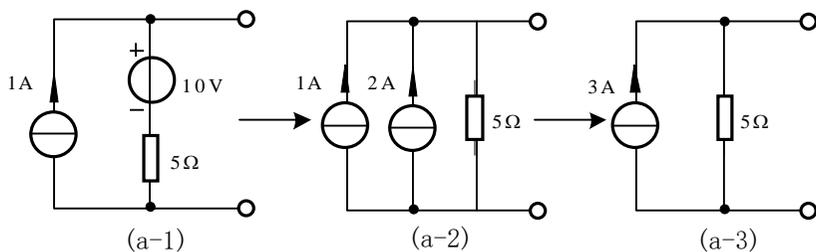


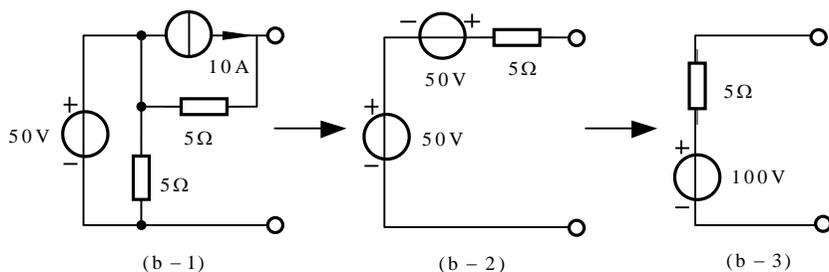
图 题 2.8

解 (a) 电流源  $I_s$  与电阻  $R$  串联的一端口，其对外作用，可用电流源  $I_s$  等效代替，如图 (a-1)；再将电压源与电阻的串联等效成电流源与电阻的串联，如图 (a-2)；将两个并联的电流源电流相加得图最简等效电路 (a-3)。



图题2.8

(b) 图(b)中与电压源并联的 $5\Omega$ 电阻不影响端口电压、电流。电路的化简过程如图(b-1)至图(b-3)所示。



图题2.8

注释：在最简等效电源中最多含两个元件：电压源与串联电阻或电流源与并联电阻。

2.10 利用电源的等效变换，求图示电路的电流  $I$ 。

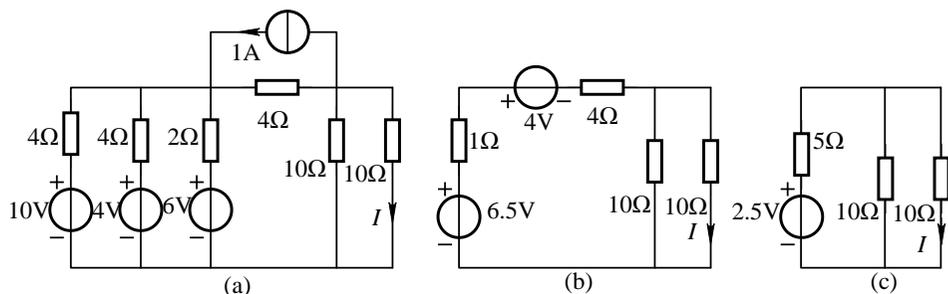
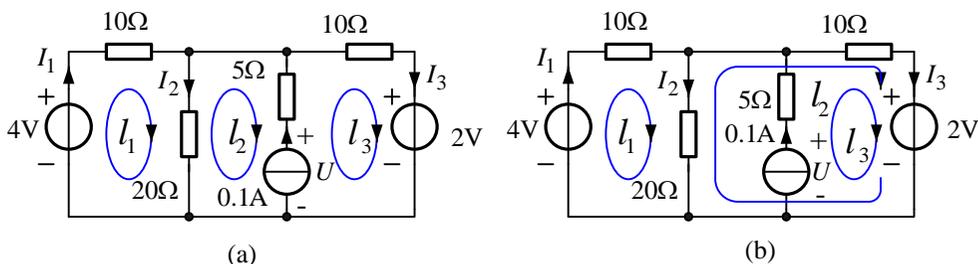


图 2.10

解：先将电路中的三个并联电压源支路等效变换为一个电压源支路，同时将电流源支路等效变换为电压源支路如图 2.10 (b) 所示，再应用电压源及电阻的串联等效变换为图 2.10 (c)，由图 (c) 可得

$$I = \frac{2.5}{5 + 10 \parallel 10} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \text{ A}$$

2.12 图示电路，分别按图(a)、(b)规定的回路列出支路电流方程。



图题 2.12

解：图(a)、(b)为同一电路模型，选取了不同的回路列支路电流方程。图(a)选取网孔作为回路，网孔2和网孔3包含电流源，电流源的电压  $U$  是未知的，对包含电流源的回路列 KVL 方程时必须将此未知电压列入方程。图(b)所取回路只让回路3包含电流源，如果不特别求取电流源电压，可以减少一个方程。

(a) 对节点①列 KCL 方程：  $-I_1 + I_2 + I_3 = 0.1\text{A}$

对图示网孔列 KVL 方程

网孔  $m_1$ ：  $10\Omega I_1 + 20\Omega I_2 = 4\text{V}$

网孔  $m_2$ ：  $-20\Omega I_2 - 5\Omega \times 0.1 = -U$

网孔  $m_3$ ：  $5\Omega \times 0.1\text{A} + 10\Omega I_3 = U - 2\text{V}$

(b) 对节点①列 KCL 方程：  $-I_1 + I_2 + I_3 = 0.1\text{A}$

对图示回路列 KVL 方程

回路  $l_1$ ：  $10\Omega I_1 + 20\Omega I_2 = 4\text{V}$

回路  $l_2$ ：  $-20\Omega I_2 + 10\Omega I_3 = -2\text{V}$

回路  $l_3$ ：  $5\Omega \times 0.1\text{A} + 10\Omega I_3 = U - 2\text{V}$

2.14 用回路电流法求图示电路的电流  $I$ 。

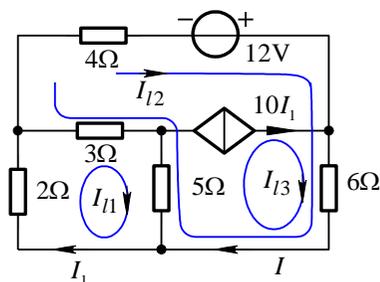


图2.14

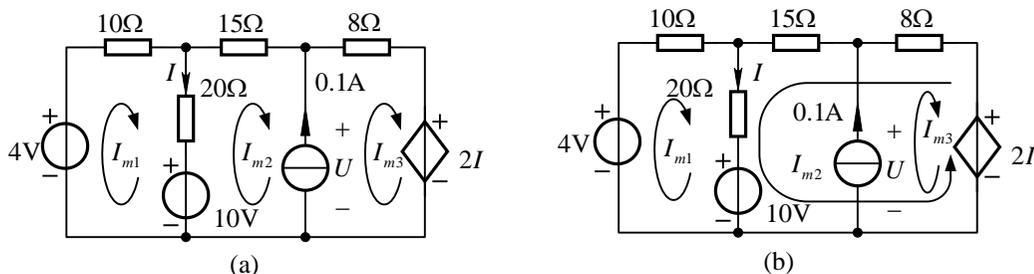
解：选如图所示独立回路，其中受控电流源只包含在 $I_3$ 回路中，其回路电流 $I_{11} = 10I_1$ ，并且可以不用列写该回路的KVL方程。回路电流方程如下：

$$\begin{cases} (2+3+5)\Omega \times I_{11} - (3+5)\Omega \times I_{12} - 5\Omega \times I_{13} = 0 \\ -(3+5)\Omega \times I_{11} + (3+4+6+5)\Omega \times I_{12} + (5+6)\Omega \times I_{13} = 12V \\ I_{13} = 10I_{11} \end{cases}$$

联立解得  $I_{11} = 1A, I_{12} = -5A, I_{13} = 10A$

所求支路电流  $I = I_{12} + I_{13} = 5A$

2.17 图示电路，分别按图(a)、(b)规定的回路列出回路电流方程。



图题 2.17

解：图(a)、(b)为同一电路模型，选取了不同的回路列回路电流方程。

(a) 在图(a)中以网孔作为独立回路。电流源的两端电压  $U$  是未知的，应将其直接列入回路电流方程：

$$\begin{cases} (10+20)\Omega \times I_{m1} - 20\Omega \times I_{m2} = 4V - 10V \\ -20\Omega \times I_{m1} + (20+15)\Omega \times I_{m2} + U = 10V \\ 8\Omega \times I_{m3} + 2\Omega \times I - U = 0 \end{cases}$$

(1)

补充方程  $-I_{m2} + I_{m3} = 0.1 \quad \text{A}$

(2)

将控制量用回路电流来表示： $I = I_{m1} - I_{m2}$

(3)

将(1)、(2)式代入(3)式，整理得：

$$\begin{cases} 30\Omega \times I_{m1} - 20\Omega \times I_{m2} = -6\text{V} \\ -20\Omega \times I_{m1} + 35\Omega \times I_{m2} + U = 10\text{V} \\ 2\Omega \times I_{m1} - 2\Omega \times I_{m2} + 8\Omega \times I_{m3} - U = 0 \\ -I_{m2} + I_{m3} = 0.1\text{A} \end{cases}$$

(b) 适当选取独立回路使电流源只流过一个回路电流，如图(b)所示。这样该回路电流  $I_{m3}$  便等于电流源  $0.1\text{A}$ 。因此减少一个待求的回路电流。对图(b)所示三个回路所列的 KVL 方程分别为

$$\begin{cases} (10+20)\Omega \times I_{m1} + 20\Omega \times I_{m2} = 4\text{V} - 10\text{V} & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 20\Omega \times I_{m1} + (8+15+20)\Omega \times I_{m2} - 8\Omega \times I_{m3} - 2\Omega \times I = -10\text{V} & (2) \end{cases}$$

消去控制量： $I = I_{m1} + I_{m2}$

(3)

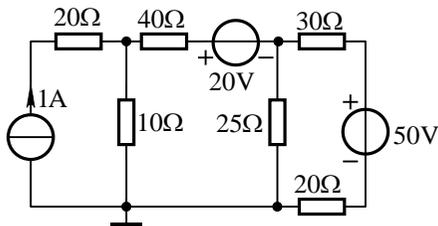
补充方程： $I_{m3} = 0.1\text{A}$

(4)

将式(3)、(4)式代入(1)、(2)式整理得

$$\begin{cases} 30\Omega \times I_{m1} + 20\Omega \times I_{m2} = -6\text{V} \\ 18\Omega \times I_{m1} + 41\Omega \times I_{m2} = -9.2\text{V} \end{cases}$$

2.21 图示电路，用节点电压法求  $1\text{A}$  电流源发出的功率。



图题 2.21

解：1A 电流源与  $20\Omega$  电阻相串联的支路对外作用相当于 1A 电流源的作用。对节点①、②列出节点电压方程如下：

$$\text{节点①: } \left(\frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{40\Omega}\right)U_{n1} - \frac{1}{40\Omega}U_{n2} = 1\text{A} + \frac{20\text{V}}{40\Omega}$$

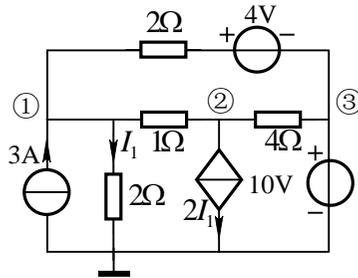
$$\text{节点②: } -\frac{1}{40\Omega}U_{n1} + \left(\frac{1}{40\Omega} + \frac{1}{25\Omega} + \frac{1}{50\Omega}\right)U_{n2} = -\frac{20\text{V}}{40\Omega} + \frac{50\text{V}}{50\Omega}$$

解得  $U_{n1} = 14\text{V}$ ， $U_{n2} = 10\text{V}$

电流源电压  $U = 20\Omega \times 1\text{A} + U_{n1} = 34\text{V}$

电流源发出功率  $P = U \times 1\text{A} = 34\text{W}$

2.22 图示直流电路，求图中各个节点电压。



图题 2.22

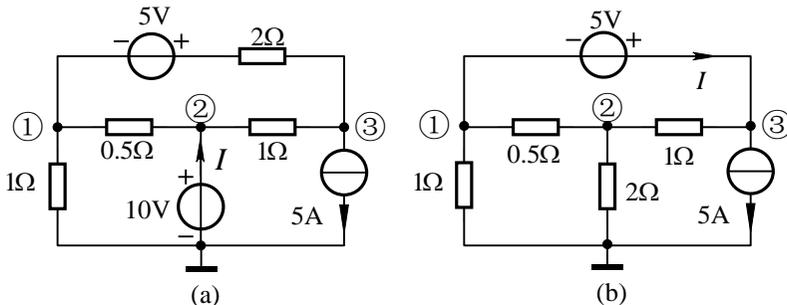
$$\text{节点①: } \left(\frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{1\Omega}\right)U_{n1} - \frac{1}{1\Omega}U_{n2} - \frac{1}{2\Omega}U_{n3} = \frac{4\text{V}}{2\Omega} - 3\text{A}$$

$$\text{节点②: } -\frac{1}{1\Omega}U_{n1} + \left(\frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{1\Omega}\right)U_{n2} - \frac{1}{4\Omega}U_{n3} = -2I_1$$

$$\text{节点③: } U_{n3} = 10\text{V}$$

解得： $U_{n1} = 6\text{V}$ ， $U_{n2} = 2\text{V}$ ， $U_{n3} = 10\text{V}$

2.24 用改进节点电压法求图示电路的电流  $I$ 。



图题 2.24

解：(a) 对图(a)电路，选①、②、③节点电压及电流  $I$  为待求量列

KCL 方程。

$$\text{节点①: } \left(\frac{1}{1\Omega} + \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{0.5\Omega}\right)U_{n1} - \frac{1}{0.5\Omega}U_{n2} - \frac{1}{2\Omega}U_{n3} = -\frac{5V}{2\Omega}$$

$$\text{节点②: } -\frac{1}{0.5\Omega}U_{n1} + \left(\frac{1}{0.5\Omega} + \frac{1}{1\Omega}\right)U_{n2} - \frac{1}{1\Omega}U_{n3} = I$$

$$\text{节点③: } -\frac{1}{2\Omega}U_{n1} - \frac{1}{1\Omega}U_{n2} + \left(\frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{1\Omega}\right)U_{n3} = \frac{5V}{2\Omega} - 5A$$

根据电压源特性列补充方程  $U_{n2} = 10V$

解得  $I = 11A$

(b) 对图(b)电路, 选①、②、③节点电压及电流  $I$  为待求量列 KCL 方程。

$$\text{节点①: } \left(\frac{1}{1\Omega} + \frac{1}{0.5\Omega}\right) \times U_{n1} - \frac{1}{0.5\Omega} \times U_{n2} = -I$$

$$\text{节点②: } -\frac{1}{0.5\Omega} \times U_{n1} + \left(\frac{1}{0.5\Omega} + \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{1\Omega}\right) \times U_{n2} - \frac{1}{1\Omega} \times U_{n3} = 0$$

$$\text{节点③: } -\frac{1}{1\Omega} \times U_{n2} + \frac{1}{1\Omega} \times U_{n3} = I - 5A$$

根据电压源特性列补充方程  $U_{n3} - U_{n1} = 5V$

解得  $I = 8A$

2.27 求图示电路的输出电压  $U_o$ 。

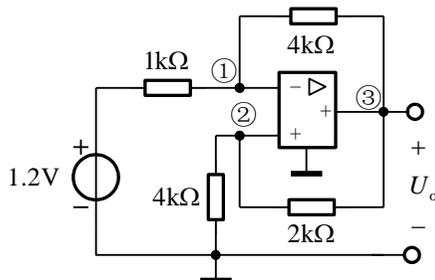


图 题2.27

解: 列节点电压方程:

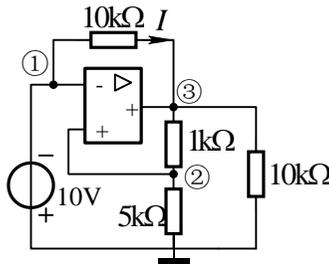
$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{1\text{k}\Omega} + \frac{1}{4\text{k}\Omega}\right)U_{n1} - \frac{1}{4\text{k}\Omega}U_{n3} &= \frac{1.2\text{V}}{1\text{k}\Omega} \\ \left(\frac{1}{4\text{k}\Omega} + \frac{1}{2\text{k}\Omega}\right)U_{n2} - \frac{1}{2\text{k}\Omega}U_{n3} &= 0 \end{aligned}$$

由运算放大器的端口特性，得  $U_{n1} = U_{n2}$

解得 
$$U_{n1} = \frac{48}{35}\text{V} = 1.371\text{V}, U_{n3} = \frac{72}{35}\text{V} = 2.057\text{V}$$

注释：对含运算放大器的电路宜采用节点电压法。

2.29 求图示电路中的电流  $I$ 。



图题 2.30

**提示：**对于含有理想运算放大器的电路，一般来讲都可从其理想特性虚短、虚断入手观察可得到哪些条件。

解：根据已知条件，节点①的节点电压

$$U_{n1} = -10\text{V}$$

根据理想运算放大器的虚短特性有

$$U_{n2} = U_{n1} = -10\text{V},$$

所以  $5\text{k}\Omega$  电阻上的电流为

$$U_{n2} / 5\text{k}\Omega = -0.002\text{A}$$

再根据运算放大器虚断的性质， $1\text{k}\Omega$  电阻上的电流与  $5\text{k}\Omega$  电阻上的电流相等为  $-0.002\text{A}$ ，据此可以求出

$$U_{n3} = 6\text{k}\Omega \times (-0.002\text{A}) = -12\text{V}$$

所以电流

$$I = \frac{U_{n1} - U_{n3}}{10\text{k}\Omega} = \frac{-10\text{V} + 12\text{V}}{10\text{k}\Omega} = 0.2\text{mA}$$