第 2 章 线性直流电路

2.1. 求图示电路的 a b 端口的等效电阻。

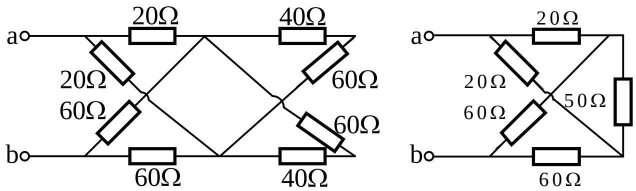


图 题 2.1

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

2.2. 图中各电阻均为 6Ω，求电路的 a b 端口的等效电阻。

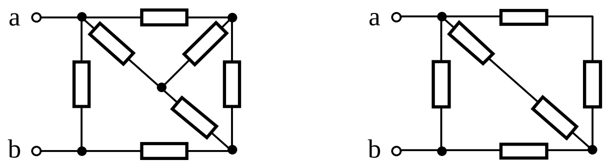
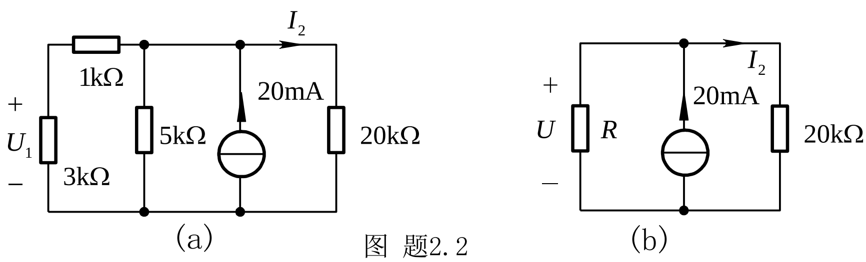


图 题 2.2

解：根据电桥平衡，去掉电桥电阻有

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

2.3 求图示电路的电压 U_1 及电流 I_2。



解：电路等效如图(b)所示。

图中等效电阻　$R=(1+3)\text{k}\Omega//5\text{k}\Omega=\dfrac{(1+3)\times5}{1+3+5}\text{k}\Omega=\dfrac{20}{9}\text{k}\Omega$

由分流公式得：$I_2=20\text{mA}\times\dfrac{R}{R+20\text{k}\Omega}=2\text{mA}$

电压　$U=20\text{k}\Omega\times I_2=40\text{V}$

再对图(a)使用分压公式得：　$U_1=\dfrac{3}{1+3}\times U=30\text{V}$

2.4 图示电路中要求$U_2/U_1=0.05$，等效电阻$R_{eq}=40\mathrm{k\Omega}$。求$R_1$和$R_2$的值。

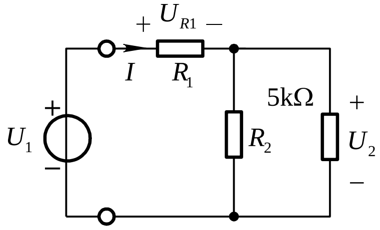


图 题2.3

解：设R_2与$5\mathrm{k\Omega}$的并联等效电阻为

$$R_3=\frac{R_2\times 5\mathrm{k\Omega}}{R_2+5\mathrm{k\Omega}} \tag{1}$$

由已知条件得如下联立方程：

$$\begin{cases}\dfrac{U_2}{U_1}=\dfrac{R_3}{R_1+R_3}=0.05 & (2)\\ R_{eq}=R_1+R_3=40\mathrm{k\Omega} & (3)\end{cases}$$

由方程(2)、(3)解得

$$R_1=38\mathrm{k\Omega}\qquad R_3=2\mathrm{k\Omega}$$

再将R_3代入(1)式得　　$R_2=\dfrac{10}{3}\mathrm{k\Omega}$

2.5 求图示电路的电流I。

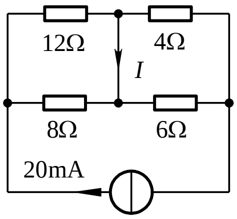


图 题 2.5

解：由并联电路分流公式，得

$$I_1=20\mathrm{mA}\times\frac{8\Omega}{(12+8)\Omega}=8\mathrm{mA}$$

$$I_2 = 20\text{mA} \times \frac{6\Omega}{(4+6)\Omega} = 12\text{mA}$$

由节点①的KCL得 $I = I_1 - I_2 = 8\text{mA} - 12\text{mA} = -4\text{mA}$

2.6 求图示电路的电压 U。

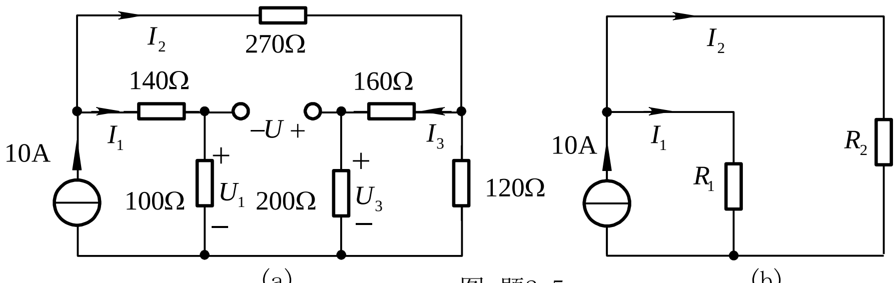


图　题2.5

解：首先将电路化简成图(b)。图中

$$R_1 = (140+100)\Omega = 240\Omega$$

$$R_2 = \left[270 + \frac{(200+160)\times 120}{(200+160)+120}\right]\Omega = 360\Omega$$

由并联电路分流公式得

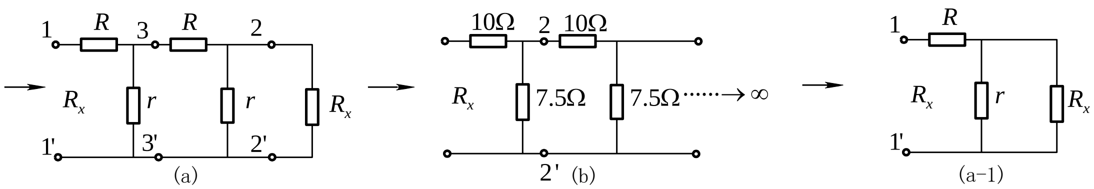
$$I_1 = 10\text{A} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6\text{A}$$

及 $I_2 = 10 - I_1 = 4\text{A}$

再由图(a)得 $I_3 = I_2 \times \dfrac{120}{360+120} = 1\text{A}$

由 KVL 得，$U = U_3 - U_1 = 200I_3 - 100I_1 = -400\text{V}$

2.7 求图示电路的等效电阻 R_x。



图题2.6

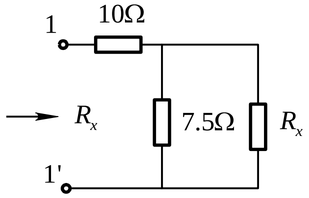
解：（a）设 R 和 r 为 1 级，则图题 2.6(a)为 2 级再加 R_x。将 $2-2'$ 端 R_x 用始端 $1-1'$ R_x 替代，则变为 4 级再加 R_x，如此替代下去，则变为无穷级。从始端 $1-1'$ 看等效电阻为 R_x，从 $3-3'$ 端看为 $\infty-1$ 级，也为 R_x，则图(a)等效为图(a-1)。

$$R_x = R + \frac{rR_x}{r+R_x} \qquad \text{解得} \qquad R_x = (R \pm \sqrt{R^2+4Rr})/2$$

因为电阻为正值，所以应保留正的等效电阻，

即 $$R_x = (R + \sqrt{R^2+4Rr})/2 \qquad (1)$$

（b）图(b)为无限长链形电路，所以从 $11'$ 和 $22'$ 向右看进去的等效电阻均为 R_x，故计算 R_x 的等效电路如图(b-1)所示。参照图(a-1)及式（1）得：



(b-1)

$$R_x = (R + \sqrt{R^2+4Rr})/2$$

代入数据得：$$R_x = \frac{10+\sqrt{10^2+4\times10\times7.5}}{2}\Omega = 15\Omega$$

所以 $$R_x = 15\Omega$$

2.8 求图示电路的最简等效电路。

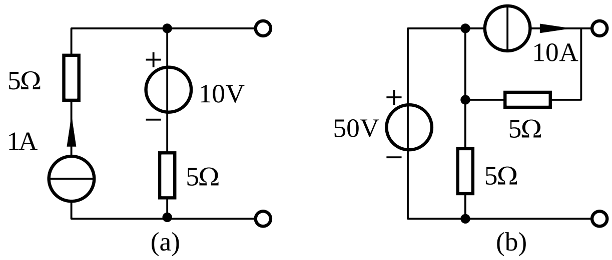
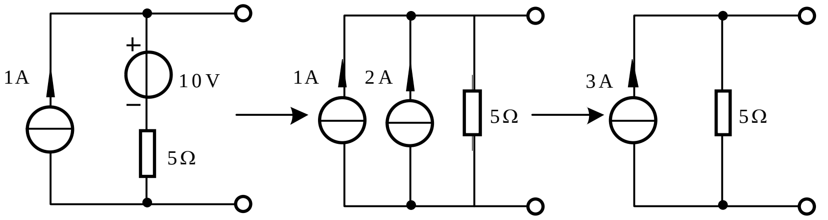


图 题 2.8

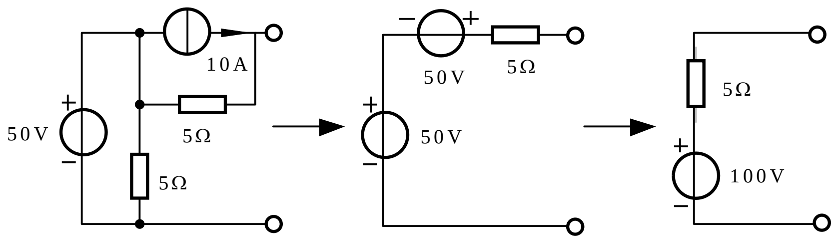
解（a）　电流源I_S与电阻 R 串联的一端口，其对外作用，可用电流源I_S等效代替，如图(a-1)；再将电压源与电阻的串联等效成电流源与电阻的串联，如图(a-2)；将两个并联的电流源电流相加得图最简等效电路(a-3)。



(a-1)　　(a-2)　　(a-3)

图题2.8

(b)　图(b)中与电压源并联的5Ω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。

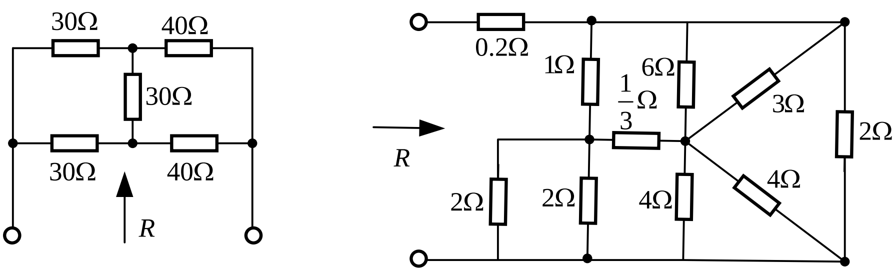


(b－1)　　(b－2)　　(b－3)

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。

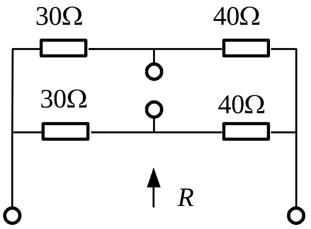
2.9 求图示电路的等效电阻 R。



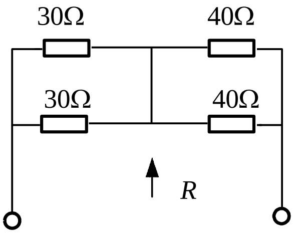
(a)　　(b)

图　题　2.9

解：　(a) 此电路为平衡电桥，桥 30Ω 电阻上的电流均为零，将其断开或短接不影响等效电阻，分别如图（a-1）和（a-2）所示。



(a－1)

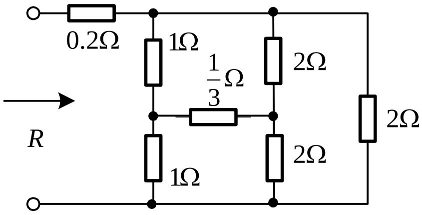


(a－2)

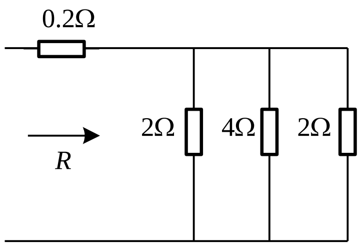
由图(a-1)得：　　　$R=\dfrac{(30+40)\Omega}{2}=35\Omega$

或由图(a-2)得　　　$R=\dfrac{30\Omega}{2}+\dfrac{40\Omega}{2}=35\Omega$

(b) 对图(b)电路，将 6Ω 和 3Ω 并联等效为 2Ω，2Ω 和 2Ω 并联等效为 1Ω，4Ω 和 4Ω 并联等效为 2Ω，得图(b-1)所示等效电路：



(b-1)



(b-2)

在图(b-1)中有一平衡电桥，去掉桥(1/3)Ω的电阻，再等效成图(b-2)，易求得

$$R=\left(0.2+\frac{1}{\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}}\right)\Omega=1\Omega$$

注释：利用平衡电桥特点，可以简化计算。

2.10 利用电源的等效变换，求图示电路的电流 I。

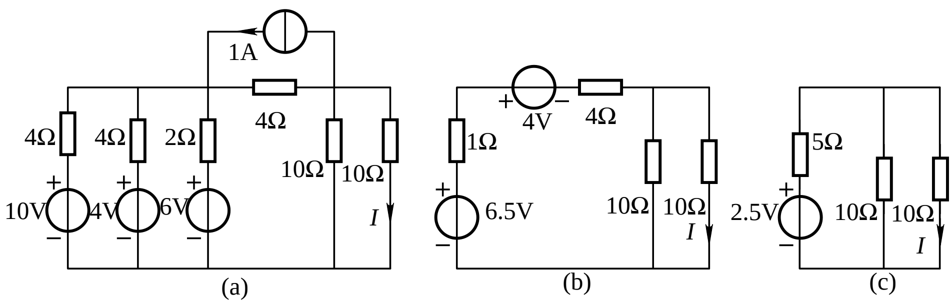


图 2.10

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）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

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

2.11 列写图示电路的支路电流方程。

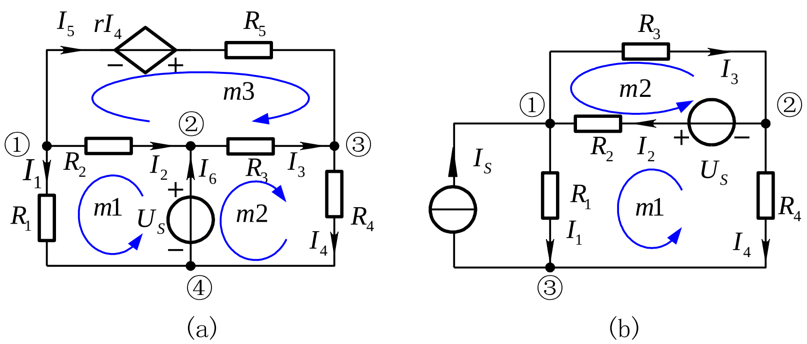


图　题2. 11

解：(a)对独立节点列 KCL 方程

节点①：　$I_1+I_2+I_5=0$

节点②：　$-I_2+I_3-I_6=0$

节点③：　$-I_3+I_4-I_5=0$

对网孔列 KVL 方程

网孔 $m1$:　$R_1I_1-R_2I_2=U_S$

网孔 $m2$:　$R_3I_3+R_4I_4=U_S$

网孔 $m3$:　$R_2I_2+R_3I_3-R_5I_5=-rI_4$

(b)对独立节点列 KCL 方程

节点①: $I_1-I_2+I_3=I_S$

节点②：$I_2-I_3+I_4=0$

对网孔列 KVL 方程，电流源所在支路的电流是已知的，可少列一个网孔的 KVL 方程。

网孔 $m1$: $R_1I_1+R_2I_2-R_4I_4=U_S$

网孔 $m2$: $R_2I_2+R_3I_3=U_S$

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。

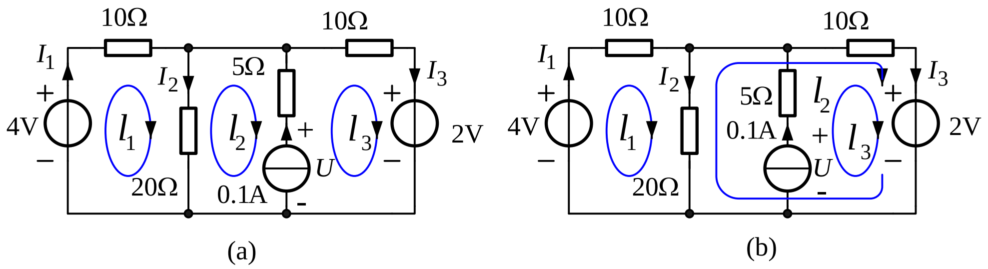


图 题 2.12

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 $m1$: $10\Omega I_1+20\Omega I_2=4\text{V}$

网孔 $m2$: $-20\Omega I_2-5\Omega\times 0.1=-U$

网孔 $m3$: $5\Omega\times 0.1\text{A}+10\Omega I_3=U-2\text{V}$

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

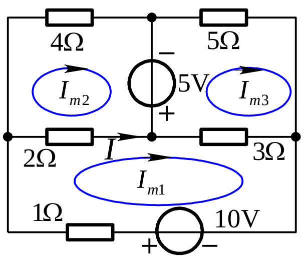
对图示回路列 KVL 方程

回路 $l1$: $10\Omega I_1+20\Omega I_2=4\text{V}$

回路 $l2$: $-20\Omega I_2+10\Omega I_3=-2\text{V}$

回路 $l3$: $5\Omega\times 0.1\text{A}+10\Omega I_3=U-2\text{V}$

2.13 用回路电流法求图示电路的电流 I。



图题2. 13

解：选网孔为独立回路，如图所示，所列方程如下：

$$\begin{cases}(1+2+3)\Omega\times I_{m1}-2\Omega\times I_{m2}-3\Omega\times I_{m3}=10\text{V}\\ -2\Omega\times I_{m1}+(2+4)\Omega\times I_{m2}=5\text{V}\\ -3\Omega I_{m1}+(3+5)\Omega\times I_{m3}=-5\text{V}\end{cases}$$

联立解得 $I_{m1}=2.326\text{A}$ ， $I_{m2}=1.61\text{A}$ ， $I_{m3}=1.71\text{A}$ 。

利用回路电流求得支路电流 $I=I_{m1}-I_{m2}=0.717\text{A}$

2.14 用回路电流法求图示电路的电流 I。

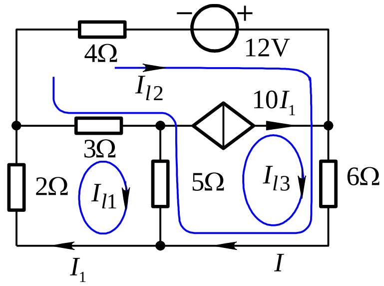


图2. 14

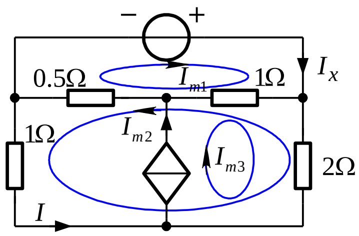
解：　选如图所示独立回路，其中受控电流源只包含在 $l3$ 回路中，其回路电流 $I_{l1}=10I_1$，并且可以不用列写该回路的KVL方程。回路电流方程如下：

$$\begin{cases}(2+3+5)\Omega\times I_{l1}-(3+5)\Omega\times I_{l2}-5\Omega\times I_{l3}=0\\ -(3+5)\Omega\times I_{l1}+(3+4+6+5)\Omega\times I_{l2}+(5+6)\Omega\times I_{l3}=12\text{V}\\ I_{l3}=10I_{l1}\end{cases}$$

联立解得　　　　$I_{l1}=1\text{A}$，$I_{l2}=-5\text{A}$，$I_{l3}=10\text{A}$

所求支路电流　　　　$I=I_{l2}+I_{l3}=5\text{A}$

2.15 用回路电流法求图示电路的电流 I_x。



图题2. 15

解：适当选取独立回路使受控电流源只流过一个回路电流，如图所示。对图示三个回路所列的 KVL 方程分别为

$$\begin{cases}(0.5+1)\Omega\times I_{m1}+(0.5+1)\Omega\times I_{m2}-1\Omega\times I_{m3}=5\text{V}\\ (1+0.5)\Omega\times I_{m1}+(0.5\Omega+1\Omega+2\Omega+1\Omega)\times I_{m2}-3\Omega\times I_{m3}=0\\ I_{m3}=2I\end{cases}$$

由图可见，控制量和待求电流支路所在回路均只有一个回路电流经过，即 $I_{m2}=I$，$I_{m1}=I_x$。这样上式可整理成

$$\begin{cases}(0.5\Omega+1\Omega)\times I_x+(0.5\Omega+1\Omega)\times I-1\Omega\times 2I=5\text{V}\\ (1\Omega+0.5\Omega)\times I_x+(0.5\Omega+1\Omega+2\Omega+1\Omega)\times I-3\Omega\times 2I=0\end{cases}$$

解得　　　　$I_x=5\text{A}$

2.16 图示电路，列出回路电流方程，求 μ 为何值时电路无解。

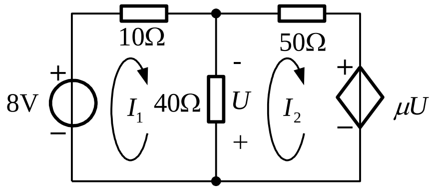


图 题2.16

解：选图示回路列回路电流方程：

$$\begin{cases} (10+40)\Omega\times I_1-40\Omega\times I_2=8\text{V} \\ \text{-}40\Omega\times \text{I}_1+(40+50)\Omega\times I_2=-\mu\times 40\Omega\times(I_2-I_1) \end{cases}$$

整理得：

$$\begin{cases} 50\Omega\times I_1-40\Omega\times I_2=8\text{V} \\ -4(1+\mu)\Omega\times I_1+(9+4\mu)\Omega\times I_2=0 \end{cases}$$

当上述方程系数矩阵行列式为零时，方程无解，

令 $\begin{vmatrix} 50 & -40 \\ -4(1+\mu) & (9+4\mu) \end{vmatrix}=0$ 得： $\mu=-7.25$

注释：含受控源的线性电路可能存在无解情况

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。

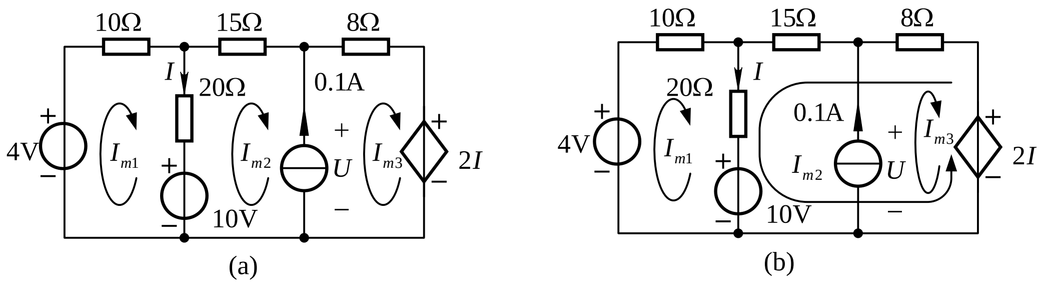


图 题 2.17

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：

$$\begin{cases} (10+20)\Omega\times I_{m1}-20\Omega\times I_{m2}=4\text{V}-10\text{V} \\ -20\Omega\times I_{m1}+(20+15)\Omega\times I_{m2}+U=10\text{V} \\ 8\Omega\times I_{m3}+2\Omega\times I-U=0 \end{cases} \tag{1}$$

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

$$\begin{cases} (10+20)\Omega \times I_{m1} + 20\Omega \times I_{m2} = 4\text{V} - 10\text{V} & (1) \\ 20\Omega \times I_{m1} + (8+15+20)\Omega \times I_{m2} - 8\Omega \times I_{m3} - 2\Omega \times I = -10\text{V} & (2) \end{cases}$$

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

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

2.18 图示电路中当以④为参考点时，各节点电压为 U_{n1}=7V，U_{n2}=5V，U_{n3}=4V，U_{n4}=0。求以①为参考点时的各节点电压。

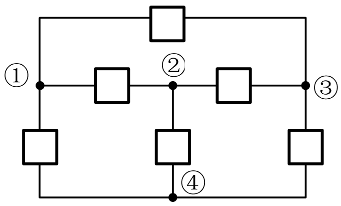


图 题 2.18

解：以节点①为参考点的各节点电压相对以节点④为参考点的节点电压降低了 $\Delta U = U_{n1} - U_{n4} = 7\text{V}$。则

$$U'_{n1} = 0$$
$$U'_{n2} = U_{n2} - \Delta U = 5\text{V} - 7\text{V} = -2\text{V}$$
$$U'_{n3} = U_{n3} - \Delta U = 4\text{V} - 7\text{V} = -3\text{V}$$
$$U_{n4} = U_{n4} - \Delta U = 0 - 7\text{V} = -7\text{V}$$

注释：当参考点改变时，各节点电压均改变同一量值。

2.19 图示直流电路中，已知节点②的电压为$U_{n2}=15\text{V}$，求图中电压源U_S的量值。

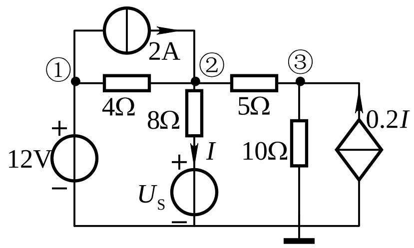


图 题 2.19

提示：当电路中含有理想电压源时，若其负极性端与参考节点相连，则其正极性端所接节点的电位就是该电压源的源电压，可以不必列写该节点的节点电压方程。本例是节点电压法的反问题。首先还须列写节点电压方程，然后根据给定的节点电压求出电压源电压。

解：节点①的电位为12V，对节点②、③列写节点电压方程如下：

$$-\frac{12}{4}+(\frac{1}{4}+\frac{1}{8}+\frac{1}{5})U_{n2}-\frac{1}{5}U_{n3}=2+\frac{U_S}{8}$$

$$-\frac{1}{5}\times U_{n2}+(\frac{1}{5}+\frac{1}{10})U_{n3}=0.2\times\frac{U_{n2}-U_S}{8}$$

将$U_{n2}=15\text{V}$代入上式，整理得

$$\begin{cases}8.625-0.2U_{n3}=5+0.125U_S\\-3+0.3U_{n3}=0.375-0.025U_S\end{cases}$$

解得：
$$U_S=\frac{165}{13}=12.69\text{V}$$

2.20 用节点电压法求图示电路 5A 电流源发出的功率。

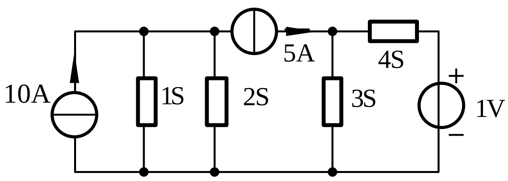


图 题 2.20

解：取节点③为参考节点，对节点①和②列节点电压方程。

$$\begin{cases}(1+2)\text{S}\times U_{n1}=(10-5)\text{A}\\(3+4)\text{S}\times U_{n2}=(5+4)\ \text{A}\end{cases}$$

解得：
$$U_{n1}=5/3\text{V}, U_{n2}=9/7\text{V}$$

$$U = -U_{n1} + U_{n2} = 0.38\,\mathrm{V}$$

$$P = U \times 5 = 1.9\mathrm{W}$$

2.21 图示电路，用节点电压法求 1A 电流源发出的功率。

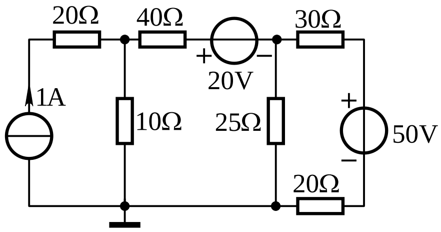


图 题 2.21

解：1A 电流源与 20Ω 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：

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

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

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

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

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

2.22 图示直流电路，求图中各个节点电压。

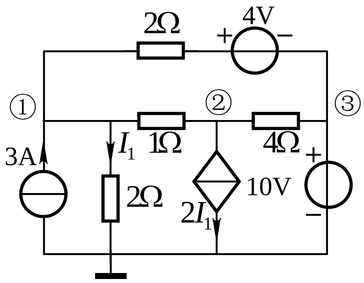


图 题 2.22

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

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

节点③： $U_{n3} = 10\mathrm{V}$

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

2.23 图示线性直流电路，试用回路法或节点法求两个独立电源各自发出的功率。

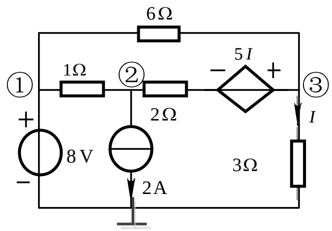


图 题 2.23

节点①：$U_{n1}=8\text{V}$

节点②：$-\dfrac{1}{1\Omega}U_{n1}+(\dfrac{1}{1\Omega}+\dfrac{1}{2\Omega})U_{n2}-\dfrac{1}{2\Omega}U_{n3}=-2\text{A}-\dfrac{5I}{2\Omega}$

节点③：$-\dfrac{1}{6\Omega}U_{n1}-\dfrac{1}{2\Omega}U_{n2}+(\dfrac{1}{6\Omega}+\dfrac{1}{2\Omega}+\dfrac{1}{3\Omega})U_{n3}=-2\text{A}+\dfrac{5I}{2\Omega}$

$I=\dfrac{U_{n3}}{3\Omega}$

解得：$U_{n1}=8\text{V},U_{n2}=\dfrac{4}{3}\text{V},U_{n3}=12\text{V}\Rightarrow p_{i_{\text{S}}}=-8/3\text{W},p_{U_{\text{S}}}=48\text{W}$

2.24 用改进节点电压法求图示电路的电流 I。

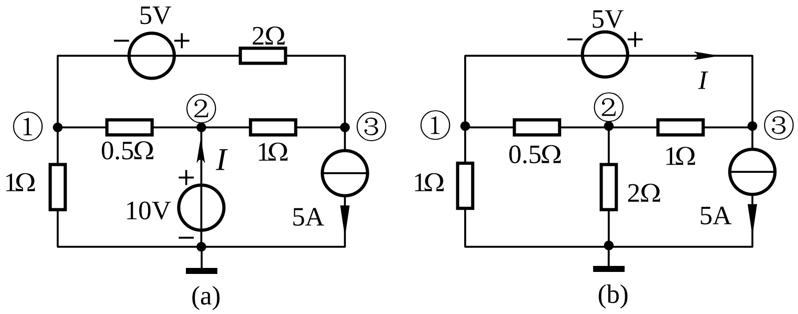


图 题 2.24

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。

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

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

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

根据电压源特性列补充方程 $U_{n2}=10\text{V}$

解得 $I=11\text{A}$

(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。

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

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

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

根据电压源特性列补充方程　$U_{n3}-U_{n1}=5\text{V}$

解得　$I=8\text{A}$

2.25 用节点电压法求电流 I_1。

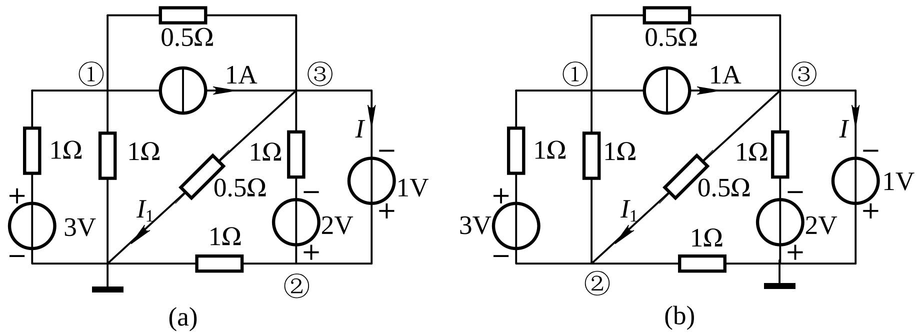


图 2.25

提示：图中存在一个仅含电压源的支路，即纯电压源支路。此类电路随着参考节点选取的不同，节点方程数目也不同。例如，图 3.7（a）所选参考节点方式，纯电压源支路电阻为零，不能用节点电压来表示支路电流。因此需将未知电流 I 设为变量列入 KCL 方程中。图 3.7（b）选择电压源的一端为参考点，则另一端的节点电压便是已知量，问题可以得到简化。

解：对图（a）电路，节点方程为

$$(\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{0.5})U_{\text{n1}}-\frac{1}{0.5}U_{\text{n3}}=\frac{3\text{V}}{1\Omega}-1\text{A}$$

$$(\frac{1}{1}+\frac{1}{1})U_{\text{n2}}-\frac{1}{1}U_{\text{n3}}=\frac{2\text{V}}{1\Omega}+I$$

$$-\frac{1}{0.5}U_{\text{n1}}-\frac{1}{1}U_{\text{n2}}+(\frac{1}{1}+\frac{1}{0.5}+\frac{1}{0.5})U_{\text{n3}}=1\text{A}-\frac{2\text{V}}{1\Omega}-I$$

补充：　$U_{\text{n2}}-U_{\text{n3}}=1\text{V}$

解得：　$U_{n1}=0.625\text{V},U_{n2}=1.25\text{V},U_{n3}=0.25\text{V},I_1=\dfrac{U_{n2}}{0.5}=0.5\text{A}$

对图(b)电路，节点③的电压$U_{n3}=-1\text{V}$为已知，则不必对节点③列写方程，只对节点①②列写方程即可。此时的节点电压方程为：

$$\begin{cases}(\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{0.5})U_{n1}-(\frac{1}{1}+\frac{1}{1})U_{n2}-\frac{1}{0.5}(-1)=\frac{3\text{V}}{1\Omega}-1\text{A}\\ -(\frac{1}{1}+\frac{1}{1})U_{n1}+(\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{0.5})U_{n2}-\frac{1}{0.5}(-1)=-\frac{3\text{V}}{1\Omega}\end{cases}$$

解得：　$U_{n1}=-0.625\text{V},U_{n2}=-1.25\text{V},U_{n3}=-1\text{V},I_1=\dfrac{U_{n3}-U_{n2}}{0.5}0.5\text{A}$

2.26 用任意方法求图示电路的电流I_1和I_2。

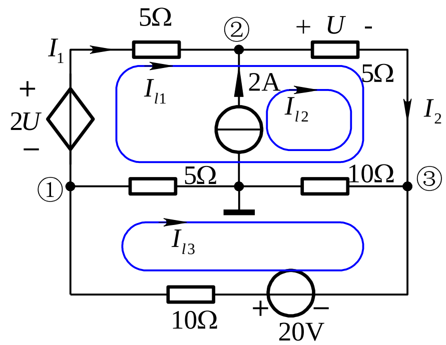


图　题2. 26

解：解法一：用节点电压法

$$节点①:(\frac{1}{5\Omega}+\frac{1}{5\Omega}+\frac{1}{10\Omega})U_{n1}-\frac{1}{5\Omega}U_{n2}-\frac{1}{10\Omega}U_{n3}=-\frac{2U}{5\Omega}+\frac{20\text{V}}{10\Omega} \quad (1)$$

$$节点②:-\frac{1}{5\Omega}U_{n1}+(\frac{1}{5\Omega}+\frac{1}{5\Omega})U_{n2}-\frac{1}{5\Omega}U_{n3}=\frac{2U}{5\Omega}+2\text{A} \quad (2)$$

$$节点③:-\frac{1}{10\Omega}U_{n1}-\frac{1}{5\Omega}U_{n2}+(\frac{1}{10\Omega}+\frac{1}{10\Omega}+\frac{1}{5\Omega})U_{n3}=-\frac{20\text{V}}{10\Omega} \quad (3)$$

用节点电压表示控制量电压　$U_{n2}-U_{n3}=U$　(4)

解得

$$U_{n1}=\frac{10}{3}\text{V},U_{n2}=35\text{V},U_{n3}=\frac{40}{3}\text{V}$$

$$I_2=\frac{U_{n2}-U_{n3}}{5\Omega}=\frac{13}{3}\text{A},\ I_1=I_2-2\text{A}=\frac{7}{3}\text{A},$$

解法二：用回路电流法，取回路如图所示。

回路$l1$：　$(5+5+10+5)\Omega I_{l1}+(5+10)\Omega I_{l2}-(5+10)\Omega I_{l3}=2U$　(1)

回路$l2$：　$I_{l2}=2\text{A}$　(2)

回路$l3$：　$-(5+10)\Omega I_{l1}-10\Omega I_{l2}+(5+10+10)\Omega I_{l3}=20\text{V}$　(3)

用回路电流表示控制量$U=(I_{l1}+I_{l2})\times 5\Omega$　(4)

将(4)式代入(1)式，解得$I_{l1}=\dfrac{7}{3}\text{A}$，　$I_{l3}=3\text{A}$

$I_1=I_{l1}=\dfrac{7}{3}\text{A},\ \ I_2=I_{l1}+I_{l2}=\dfrac{13}{3}\text{A}$

2.27 求图示电路的输出电压U_o。

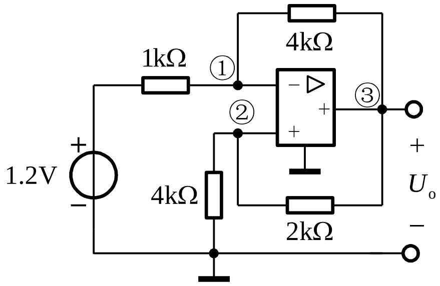


图　题2.27

解：列节点电压方程：

$$(\frac{1}{1\text{k}\Omega}+\frac{1}{4\text{k}\Omega})U_{n1}-\frac{1}{4\text{k}\Omega}U_{n3}=\frac{1.2\text{V}}{1\text{k}\Omega}$$

$$(\frac{1}{4\text{k}\Omega}+\frac{1}{2\text{k}\Omega})U_{n2}-\frac{1}{2\text{k}\Omega}U_{n3}=0$$

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。

2.28　求图示电路运算放大器的输出电流I_o。

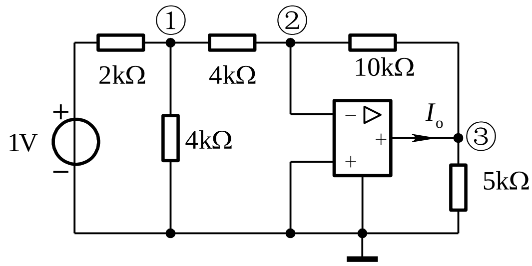


图 题2.28

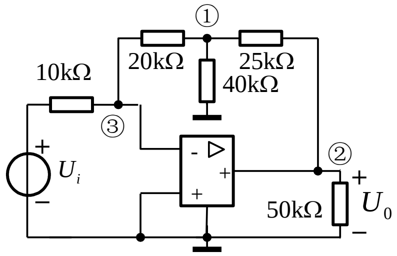
解：列节点电压方程：

$$\begin{cases}(\dfrac{1}{2\text{k}\Omega}+\dfrac{1}{4\text{k}\Omega}+\dfrac{1}{4\text{k}\Omega})U_{n1}-\dfrac{1}{4\text{k}\Omega}U_{n2}=\dfrac{1\text{V}}{2\text{k}\Omega}\\ -\dfrac{1}{4\text{k}\Omega}U_{n1}+(\dfrac{1}{4\text{k}\Omega}+\dfrac{1}{10\text{k}\Omega})U_{n2}-\dfrac{1}{10\text{k}\Omega}U_{n3}=0\\ -\dfrac{1}{10\text{k}\Omega}U_{n2}+(\dfrac{1}{10\text{k}\Omega}+\dfrac{1}{5\text{k}\Omega})U_{n3}=I_{\text{o}}\end{cases}$$

由运算放大器端口特性得，　$U_{n2}=0$

解得：　$I_{\text{o}}=-0.375\text{A}$

2.29　用节点分析法求图示电路的电压增益$U_{\text{o}}/U_{\text{i}}$。



图题 2.29

解：设运放输出端电流为I_{o}。如图所示，列节点电压方程：

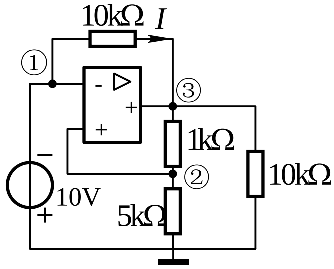
$$\begin{cases}(\dfrac{1}{20\text{k}\Omega}+\dfrac{1}{40\text{k}\Omega}+\dfrac{1}{25\text{k}\Omega})U_{n1}-\dfrac{1}{25\text{k}\Omega}U_{n2}-\dfrac{1}{20\text{k}\Omega}U_{n3}=0\\ -\dfrac{1}{20\text{k}\Omega}U_{n1}+(\dfrac{1}{10\text{k}\Omega}+\dfrac{1}{20\text{k}\Omega})U_{n3}=\dfrac{U_i}{10\text{k}\Omega}\end{cases}$$

由运算放大器端口特性得　$U_{n3}=0$

解得　　　$U_o = U_{n2} = -5.75U_i$，即 $U_o / U_i = -5.75$

注释：若不求运算放大器的输出端电流，可以不用对输出端列写 KCL 方程，仍可求得其它节点电压。

2.30　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 5kΩ 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，1kΩ 电阻上的电流与 5kΩ 电阻上的电流相等为 –0.002A，据此可以求出

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

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

2.31 求图示电路的输入电阻 R_{ab}。

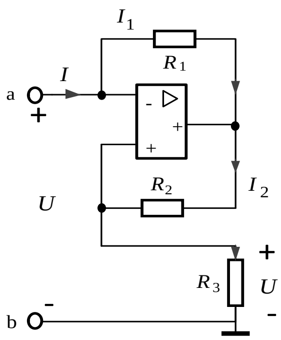


图 题 2.31

$$I = I_1$$

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 = 0$$

$$\frac{U}{I_2} = R_3$$

$$R_{ab} = \frac{U}{I} = -R_1 R_3 / R_2$$