第二章回顾：

1 等效电路的概念

2 无源二端网络化简

3 戴维南和诺顿电路等效变换方法。

4 入端电阻

5 Y — Δ电路的等效变换

电路分析的三类方法

- 等效变换法（第2章）
- 电路方程法（一般分析方法）（第3章）
- 电路定理法（第4章）

三类方法的异同点

- 三类方法都是基于KVL、KCL和VCR
- 电路方程法（一般分析方法）是最普遍最重要的方法——适合于计算机大规模计算
- 等效变换法和电路定理法是两种取巧的办法

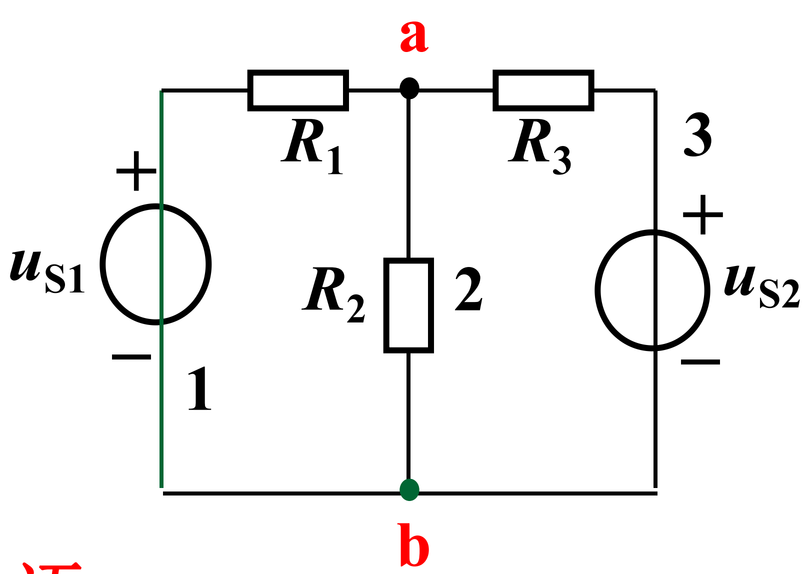
第三章　电路分析方程

电路分析方法：

$$\text{根据}\left\{\begin{array}{l} KCL \\ KVL \\ \text{支路关系} \quad \left\{\begin{array}{l} U = f(I) \\ I = f(U) \end{array}\right. \end{array}\right\} \Longrightarrow \text{列电路方程}$$

$$\Longrightarrow \text{解电路方程} \Longrightarrow \left\{\begin{array}{l} \text{电流} \\ \text{电压} \end{array}\right.$$

根据列方程时所选变量的不同可分为**支路分析法、节点分析法**和**回路分析法**。



$b = 3$

$n = 2$

$l = 3$

$m = 2$

常用术语

1. 支路 (branch)：电路中的每一分支。 (b)

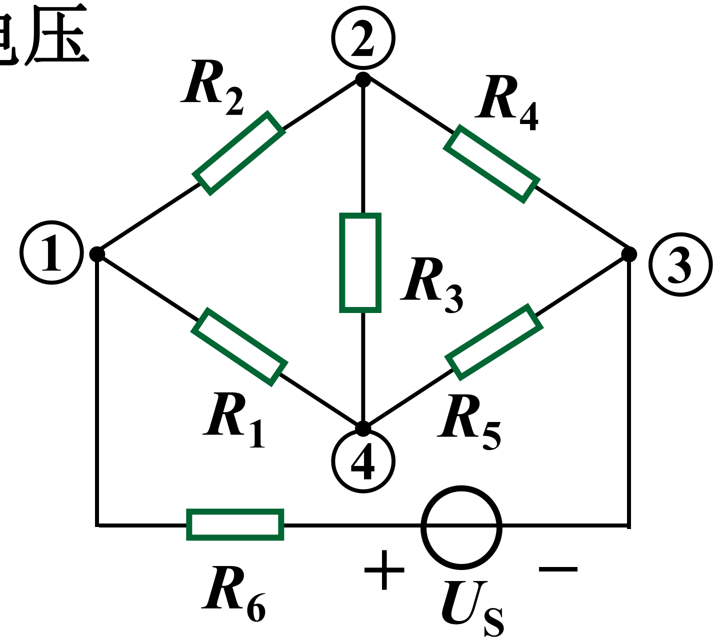
2. 节点 (node): 三条或三条以上支路的联接点。(n)

3. 回路(loop)：由支路组成的闭合路径。(l)

4. 网孔(mesh)：电路内部不含任何分支的回路。(m)

3.1 支路分析法

例图电路，求解各支路电流、支路电压



支路法:

依据KCL、KVL和VCR，列写出分析电路所需的方程组，求解分析电路的方法。

支路电流（支路电压）法:

以支路电流（支路电压）为待求量，依据KCL、KVL列方程求解分析电路的方法。

支路电流法的一般步骤：

(1) 标定各支路电流、支路电压的参考方向；

(2) 选定$(n–1)$个节点，列写其KCL方程；

(3) 选定$b–(n–1)$个独立回路，并指定回路的绕行方向；

(4) 对各独立回路列出形 $\sum R_k I_k = \sum U_{sk}$ 的KVL方程；

(5) 求解上述方程，得到b个支路电流；

(6) 其它分析。

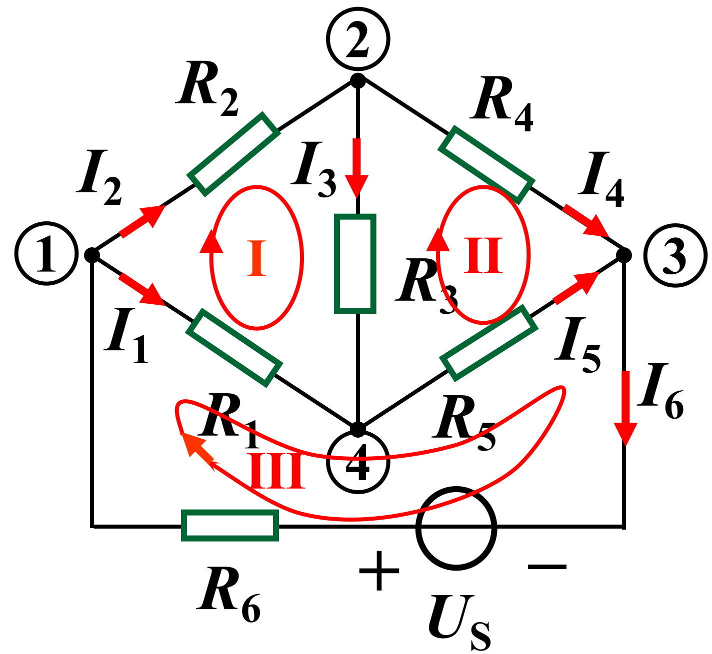
分析：

(1) 标定各支路电流、支路电压的参考方向

(2) 对节点，根据KCL列方程

独立方程数为 $n-1=4-1=3$ 个。

$$\left.\begin{aligned}&\text{节点 1：} & I_1+I_2-I_6&=0\\ &\text{节点 2：} & -I_2+I_3+I_4&=0\\ &\text{节点 3：} & -I_4-I_5+I_6&=0\end{aligned}\right\}\ (1)$$



(3) 对回路，根据KVL列方程

假定各回路绕行的参考方向

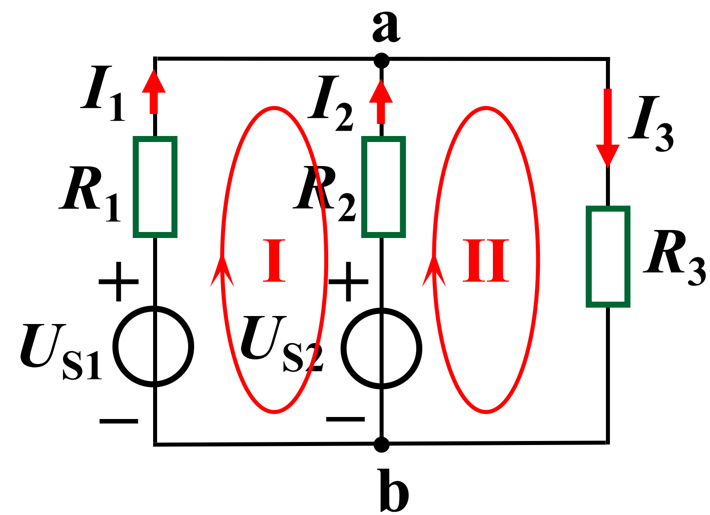
$$\left.\begin{aligned}&\text{I：} & -I_1R_1+I_2R_2+I_3R_3&=0\\ &\text{II：} & -I_3R_3+I_4R_4-I_5R_5&=0\\ &\text{III：} & I_1R_1+I_5R_5+I_6R_6&=U_S\end{aligned}\right\}\ (2)$$

解联立方程组(1)、(2)得电路的支路电流。

* 支路电压法？

- 例.求各支路电流及各电压源的功率，已知U_{S1}=130V, U_{S2}=117V，R_1=1Ω，R_2=0.6Ω，R_3=24Ω。

- 解　(1) $b = 3,\ n = 2$



$n - 1 = 1$ 个KCL方程：

节点a：$-I_1 - I_2 + I_3 = 0$

(2) $b - (n-1) = 2$个KVL方程：

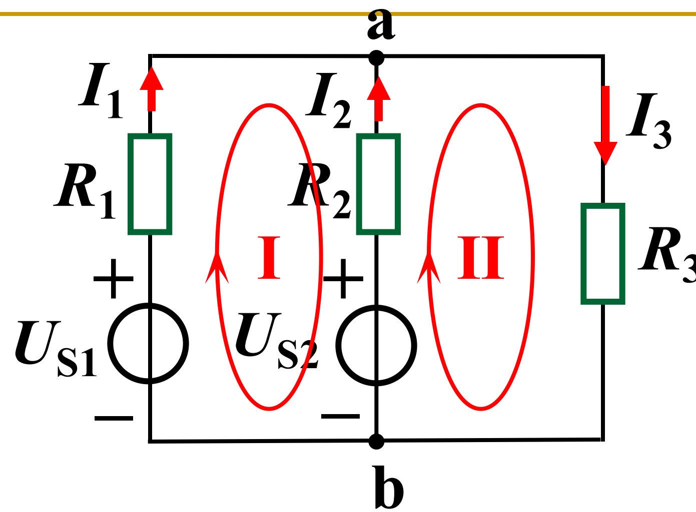
$$\sum U = \sum U_S$$

$$\left.\begin{aligned} R_1I_1 - R_2I_2 &= U_{S1} - U_{S2} \\ R_2I_2 + R_3I_3 &= U_{S2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left.\begin{aligned} I_1 - 0.6I_2 &= 130 - 117 = 13 \\ 0.6I_2 + 24I_3 &= 117 \end{aligned}\right\}$$

(3) 联立求解

$$\left.\begin{aligned} -I_1 - I_2 + I_3 &= 0 \\ I_1 - 0.6I_2 &= 13 \\ 0.6I_2 + 24I_3 &= 117 \end{aligned}\right\} \xRightarrow{\text{解之得}} \left\{\begin{aligned} I_1 &= 10\text{ A} \\ I_2 &= -5\text{ A} \\ I_3 &= 5\text{ A} \end{aligned}\right.$$

(4) 功率分析



$P_{U_{S1}}=-U_{S1}I_1=-130\times10=-1300$ W （发出功率）

$P_{U_{S2}}=-U_{S2}I_2=-117\times(-5)=585$ W （吸收功率）

验证功率守恒：

$P_{R_1吸}=R_1I_1^2=100$ W

$P_{R_2吸}=R_2I_2^2=15$ W

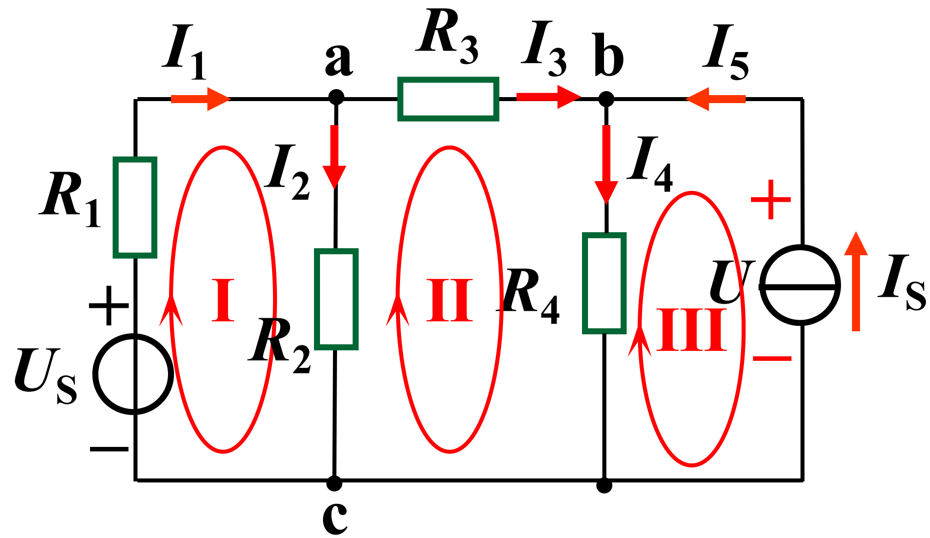
$P_{R_3吸}=R_3I_3^2=600$ W

$P_{吸}=715$ W

$P_{发}=P_{吸}$

含无伴电流源支路时支路电流方程的列写。

- 解： b=5, n=3



KCL方程：

$$\begin{cases} -I_1 + I_2 + I_3 = 0 & (1) \\ -I_3 + I_4 - I_5 = 0 & (2) \end{cases}$$

KVL方程：

$$\begin{cases} R_1I_1 + R_2I_2 = U_S & (3) \\ -R_2I_2 + R_3I_3 + R_4I_4 = 0 & (4) \\ -R_4I_4 + U = 0 & (5) \end{cases}$$

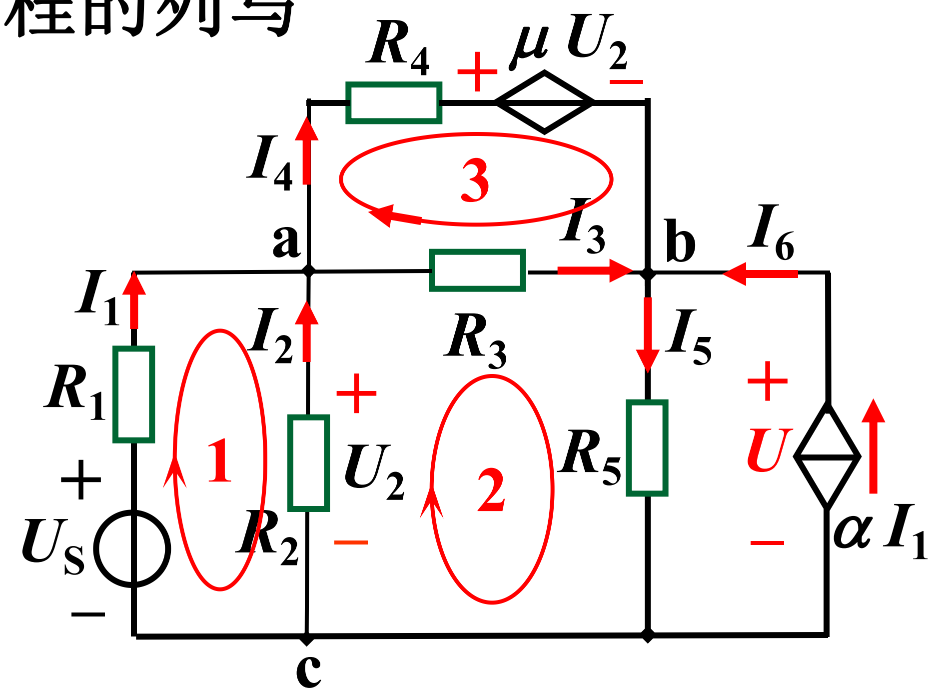
$$I_5 = I_S \qquad (6)$$

•含受控源电路的支路电流方程的列写

•解： 方程列写分两步：

（1） 先将受控源看作独立源列方程；

（2） 将控制量用未知量表示，消去中间变量。



$I_6 = \alpha I_1$ $U_2 = -R_2 I_2$

列KCL方程：

$-I_1 - I_2 + I_3 + I_4 = 0$ (1)

$-I_3 - I_4 + I_5 - \alpha I_1 = 0$ (2)

列KVL方程：

$R_1 I_1 - R_2 I_2 = U_S$ (3)

$R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_5 I_5 = 0$ (4)

$-R_3 I_3 + R_4 I_4 = -\mu(-R_2 I_2)$ (5)

3.2 节点分析法

*参考节点——在电路中任选一节点，设其电位为零（用⊥标记）。

*节点电位——节点与参考点的电压差。方向为从独立节点指向参考节点。

•<u>节点分析法</u>：以节点电位为未知量，依据KCL和元件的VCR，列方程并求解电路的分析方法。

（节点分析法中KVL自动满足）

注意：节点分析法的独立方程数为$(n-1)$个。与支路分析法相比，方程数可减少$b-(n-1)$个。

节点分析法的一般步骤：

(1) 选定参考节点，标定 n–1 个独立节点；

(2) 变戴维南电路为诺顿电路（熟练后可以省略）；

(3) 对 n–1 个独立节点，以节点电压为未知量，列写其KCL方程；

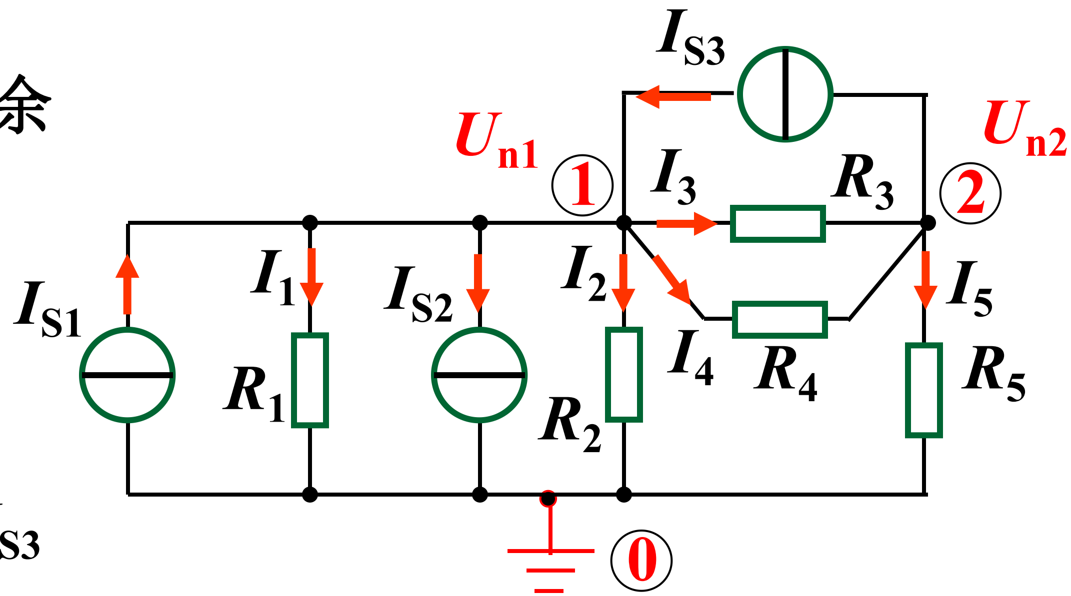
(4) 求解上述方程，得到 n–1 个节点电压；

(5) 求各支路电流(用节点电压表示)；

(6) 其它分析。

举例说明：

(1) 选定参考节点，标明其余 n-1个独立节点的电压



(2) 列KCL方程：

$$\sum I_R = \sum I_S$$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_{S1} - I_{S2} + I_{S3} \\ -I_3 - I_4 + I_5 = -I_{S3} \end{cases}$$

代入支路特性：

$$\begin{cases} \dfrac{U_{n1}}{R_1} + \dfrac{U_{n1}}{R_2} + \dfrac{U_{n1} - U_{n2}}{R_3} + \dfrac{U_{n1} - U_{n2}}{R_4} = I_{S1} - I_{S2} + I_{S3} \\ -\dfrac{U_{n1} - U_{n2}}{R_3} - \dfrac{U_{n1} - U_{n2}}{R_4} + \dfrac{U_{n2}}{R_5} = -I_{S3} \end{cases}$$

整理，得

$$\begin{cases}(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4})U_{n1}-(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4})U_{n2}=I_{S1}-I_{S2}+I_{S3}\\ -(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4})U_{n1}+(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5})U_{n2}=-I_{S3}\end{cases}$$

令 $G_k=1/R_k$， k=1, 2, 3, 4, 5

上式简记为

$$\begin{cases}G_{11}U_{n1}+G_{12}U_{n2}=I_{Sn1}\\ G_{21}U_{n1}+G_{22}U_{n2}=I_{Sn2}\end{cases}$$

$\Leftarrow$ 标准形式的节点电压方程

其中:

$G_{11}=G_1+G_2+G_3+G_4$— 节点1的自电导，等于接在节点1上所有支路的电导之和。

$G_{22}=G_3+G_4+G_5$ — 节点2的自电导，等于接在节点2上所有支路的电导之和。

$G_{12}=G_{21}=-(G_3+G_4)$—节点1与节点2之间的互电导，等于接在节点1与节点2之间的所有支路的电导之和，并冠以负号。

* 自电导总为正，互电导总为负。

$I_{Sn1}=I_{S1}-I_{S2}+I_{S3}$ — 流入节点1的电流源电流的代数和。

$I_{Sn2}=-I_{S3}$ — 流入节点2的电流源电流的代数和。

* 流入节点取正号，流出取负号。

一般情况：

$$\begin{cases} G_{11}U_{n1}+G_{12}U_{n2}+\ldots+G_{1,n-1}U_{n,n-1}=I_{sn1} \\ G_{21}U_{n1}+G_{22}U_{n2}+\ldots+G_{2,n-1}U_{n,n-1}=I_{sn2} \\ \cdots\ \cdots\ \cdots\ \cdots \\ G_{n-1,1}U_{n1}+G_{n-1,2}U_{n2}+\ldots+G_{n-1,n-1}U_{n,n-1}=I_{sn,n-1} \end{cases}$$

矩阵形式

$$G_n U_n = I_{sn}$$

其中 G_{ii} —自电导，等于接在节点i上所有支路的电导之和(包括电压源与电阻串联支路)。总为正。

$G_{ij}=G_{ji}$—互电导，等于接在节点i与节点j之间的所支路的电导之和，并冠以负号。

I_{Sni}— 流入节点i的所有电流源电流的代数和(包括由电压源与电阻串联支路等效的电流源)。

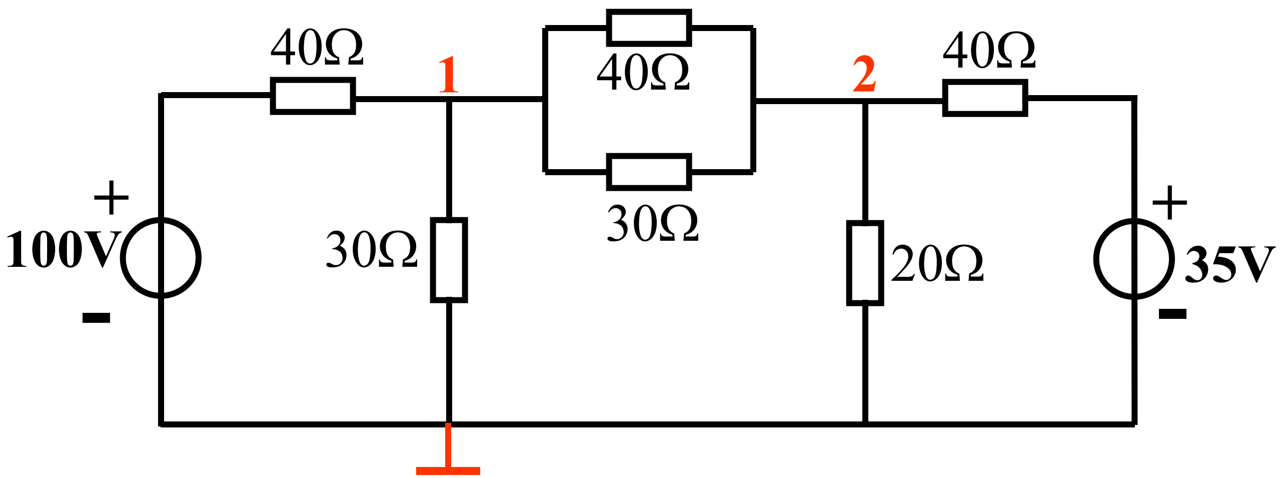
注：不含受控源的线性网络， 系数矩阵为对称阵。

节点法列方程特别注意：

- 所有的戴维南支路变成诺顿支路（包括受控源）（电压源与电阻串联的支路变成电流源与电阻并联支路）

  ——熟练后只用在头脑中变
- 与理想电流源串联的电阻不计入电导矩阵中
- 与理想电压源并联的电阻则要计入电导矩阵中

例1



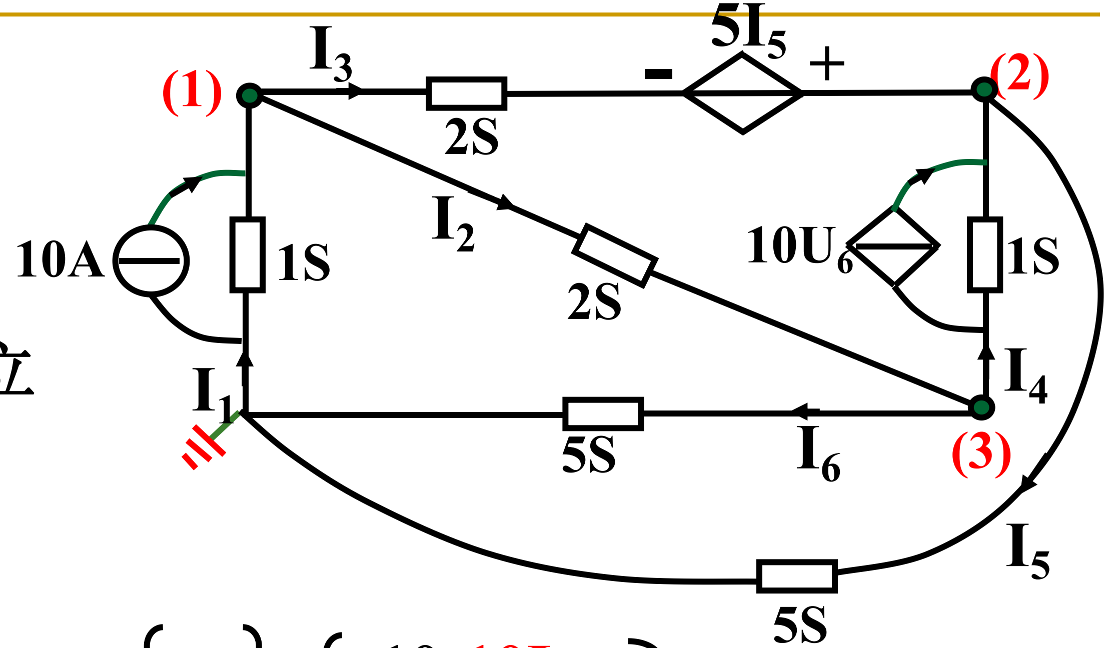
现场练习（观察法）

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{40}+\frac{1}{30}+\frac{1}{40}+\frac{1}{30} & -(\frac{1}{40}+\frac{1}{30}) \\ -(\frac{1}{40}+\frac{1}{30}) & \frac{1}{40}+\frac{1}{30}+\frac{1}{40}+\frac{1}{20} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \frac{100}{40} \\ \frac{35}{40} \end{pmatrix}$$

含受控源电路如何列节点电位方程?

- 1 含有受控源的支路列写方程时，先按独立源列方程;
- 2 用节点电位代替控制量
- 3 整理方程
- 4 求解

例2



先将受控电源视为独立电源写出初步的方程

$$\begin{bmatrix} 1+2+2 & -2 & -2 \\ -2 & 2+1+5 & -1 \\ -2 & -1 & 2+1+5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10-10I_5 \\ 10I_5+10U_6 \\ -10U_6 \end{bmatrix}$$

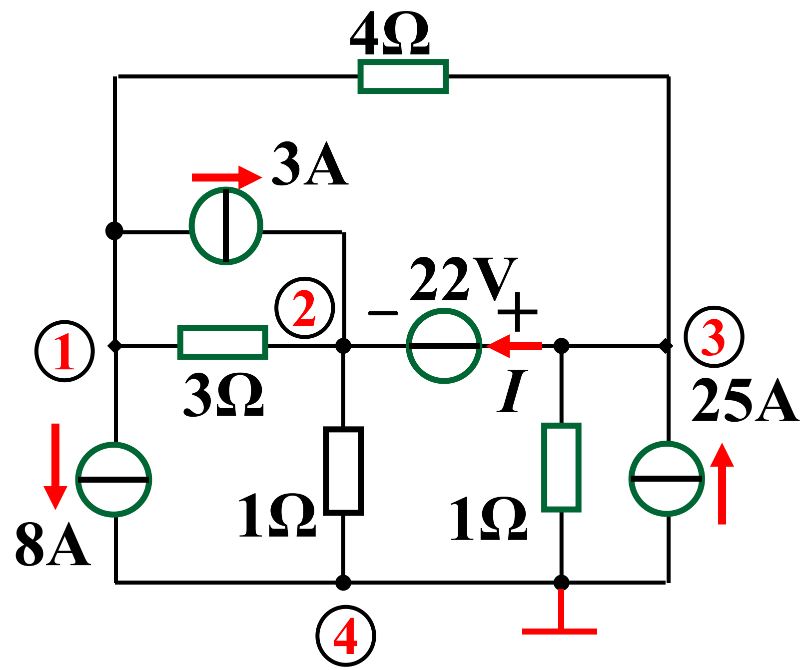
$$I_5=5U_2 \qquad\qquad U_6=U_3$$

$$\begin{bmatrix} 5 & -2 & -2 \\ -2 & 8 & -1 \\ -2 & -1 & 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10-50U_2 \\ 50U_2+10U_3 \\ -10U_3 \end{bmatrix}$$

两个节点之间含一纯电压源如何列节点电位方程？

- 方法1 增加电压源支路电流
  （增加一个未知量，增加一个方程）
- 方法2 选取电压源两个节点中任一节点为参考点，则另一节点电位已知，不用列写该节点KCL方程
  （减少一个未知量，减少一个方程）
- 方法3 超节点法
  建立一个包围纯电压源的封闭面（包含两个节点），列写该封闭面的KCL方程
  （未知量不变，方程总数目不变，只是减少一个节点KCL方程）

- 例3. 电路如图所示，求节点电压U_1、U_2、U_3。
- 解一：以节点④ 为参考节点



节点电压方程如下

$$
\begin{cases}
(\frac{1}{3}+\frac{1}{4})U_1-\frac{1}{3}U_2-\frac{1}{4}U_3=-11 \\
-\frac{1}{3}U_1+(\frac{1}{3}+1)U_2=3+I \\
-\frac{1}{4}U_1+(\frac{1}{4}+1)U_3=25-I \\
U_3-U_2=22
\end{cases}
$$

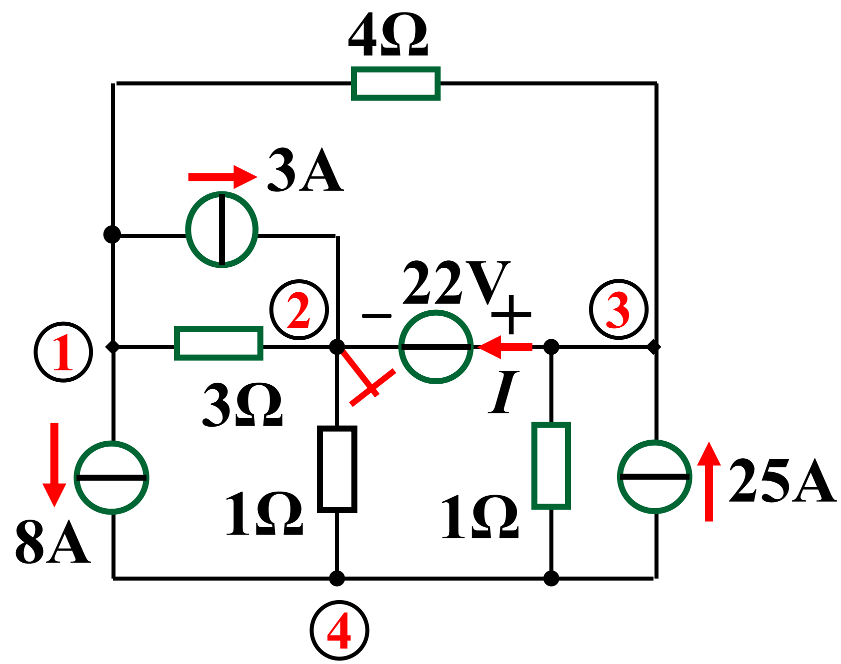
解得 ⇒

$$
\begin{cases}
U_1=-11.93\text{V} \quad U_2=-2.5\text{V} \\
U_3=19.5\text{V} \quad I=-2.36\text{ A}
\end{cases}
$$

- 解二：以节点②为参考节点，即U_2=0

节点电压方程如下

$$\begin{cases}(\frac{1}{3}+\frac{1}{4})U_1-\frac{1}{4}U_3=-11\\ -U_3+(1+1)U_4=-17\\ U_3=22\end{cases}$$

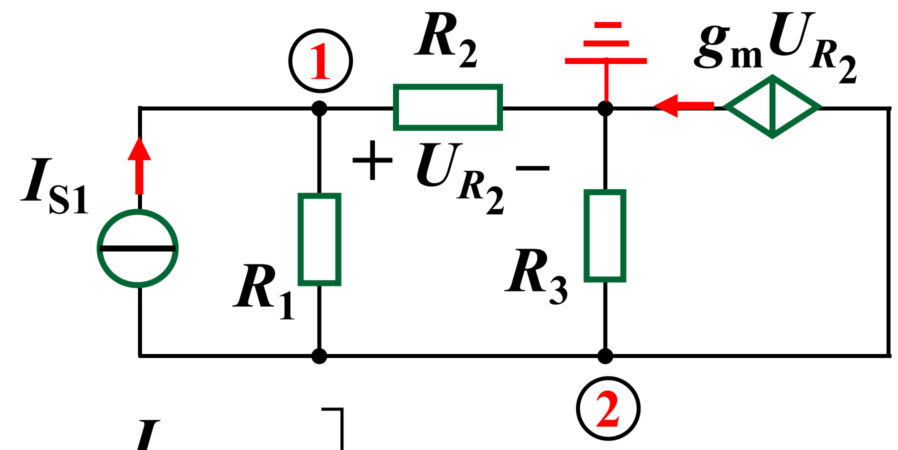


解得：

$$\begin{cases}U_1=-9.43\text{V} \qquad U_4=2.5\text{V}\\ U_3=22\text{V} \qquad I=-2.36\text{ A}\end{cases}$$

- 解三：超节点（板书）

- 例4. 列写下图含VCCS电路的节点电压方程。



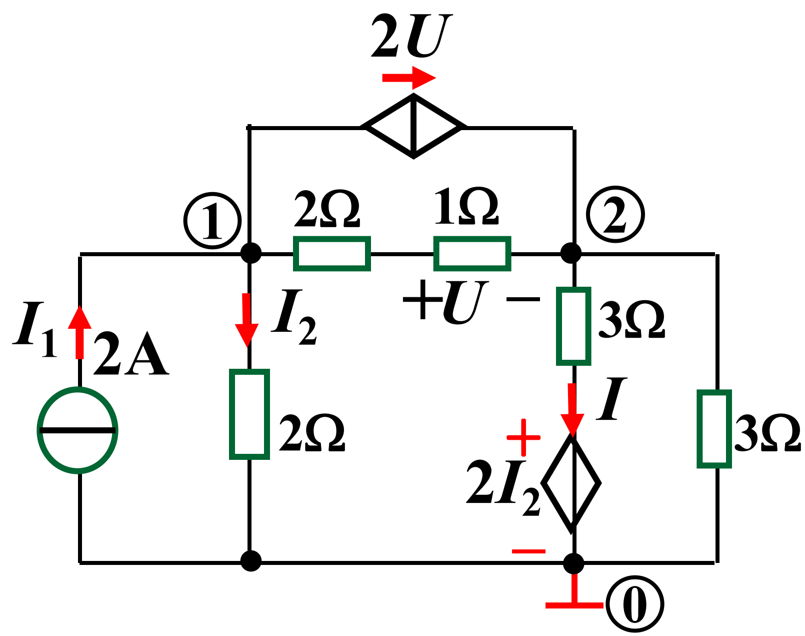
- 解： (1) 先把受控源当作独立源列方程；

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_1} \\ -\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{S1} \\ -gU_{R2}-I_{S1} \end{bmatrix}$$

(2) 用节点电压表示控制量 $U_{R_2}=U_1$代入上式，并整理得：

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_1} \\ g-\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{S1} \\ -I_{S1} \end{bmatrix}$$

- 例5. 电路如图所示，用节点电压法求电流 I。



- 解：　列写节点电压方程

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{3}+\frac{1}{2} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{3}+\frac{1}{3}+\frac{1}{3} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 2-2U \\ 2U+\frac{2I_2}{3} \end{bmatrix}$$

用节点电压表示受控源的控制量为：

$$U=\frac{U_1-U_2}{3}\times 1=\frac{U_1-U_2}{3} \qquad I_2=\frac{U_1}{2}$$

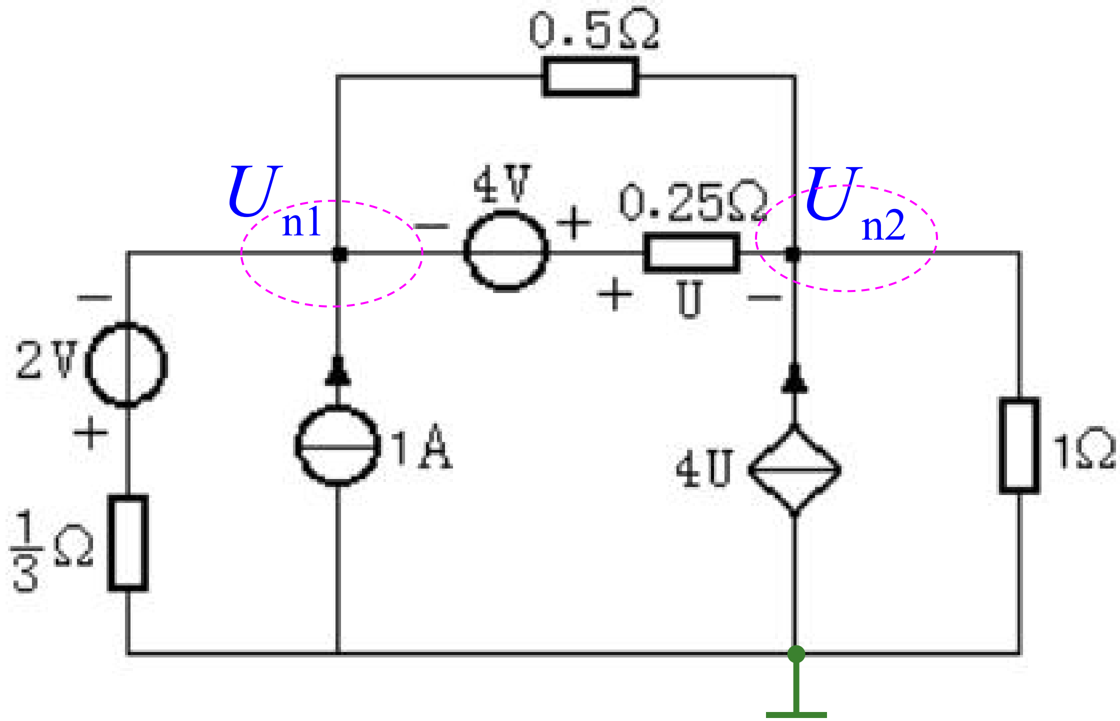
$$\begin{bmatrix} \frac{3}{2} & -1 \\ -\frac{4}{3} & \frac{5}{3} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

解之： $U_1=\frac{20}{7}\text{V}$, $\quad U_2=\frac{16}{7}\text{V}$

所求电流为： $I=\dfrac{U_2-2I_2}{3}=\dfrac{U_2-2\times\frac{U_1}{2}}{3}=-\dfrac{4}{21}\text{A}=-0.19\ \text{A}$

结点分析法应用

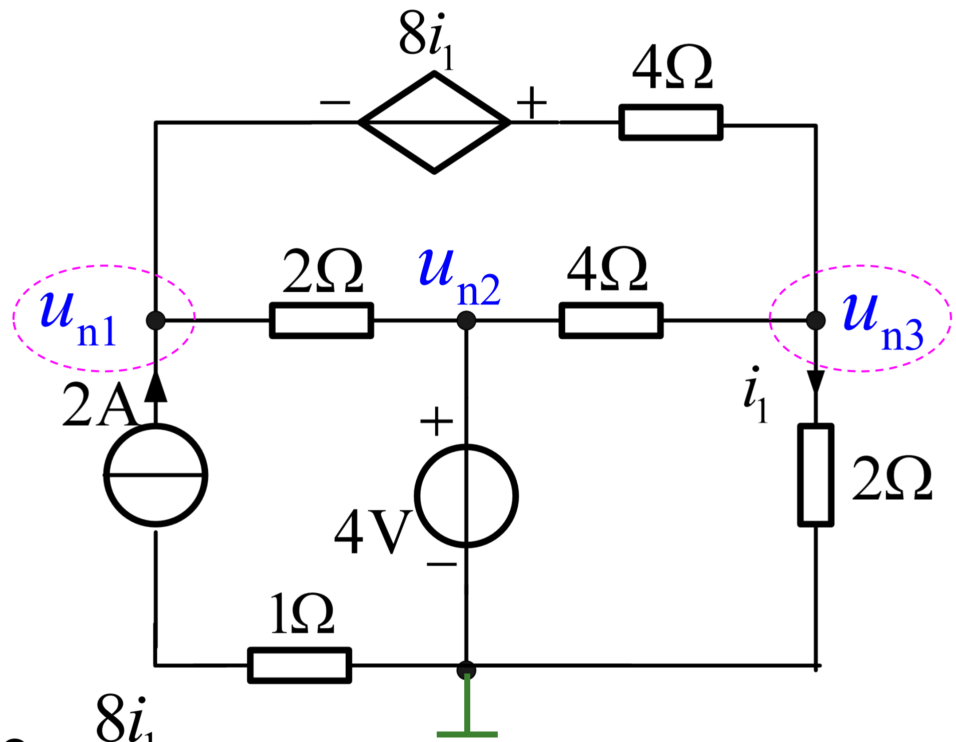
习题1：



$$\begin{cases} (3+2+4)U_{n1}-(2+4)U_{n2}=1-6-16 \\ -(2+4)U_{n1}+(2+4+1)U_{n2}=16+4U \\ U=U_{n1}-U_{n2}+4 \end{cases}$$

结点分析法应用

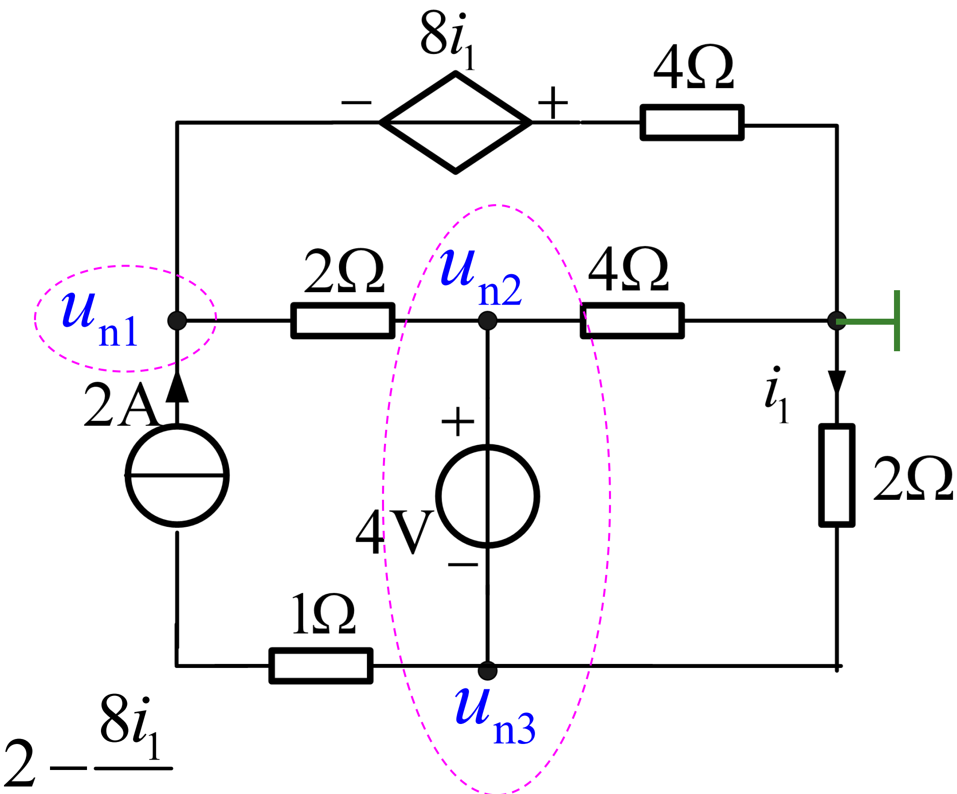
习题2：



$$\begin{cases} \left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+0\right)u_{n1}-\frac{1}{2}u_{n2}-\frac{1}{4}u_{n3}=2-\frac{8i_1}{4} \\ -\frac{1}{4}u_{n1}-\frac{1}{4}u_{n2}+\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\right)u_{n3}=\frac{8i_1}{4} \\ u_{n2}=4 \qquad i_1=\frac{1}{2}u_{n3} \end{cases}$$

结点分析法应用

习题3：



$$
\begin{cases}
(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+0)u_{n1}-\frac{1}{2}u_{n2}-0u_{n3}=2-\frac{8i_1}{4} \\
-(\frac{1}{2}+0)u_{n1}+(\frac{1}{4}+\frac{1}{2})u_{n2}+(0+\frac{1}{2})u_{n3}=-2 \\
u_{n2}-u_{n3}=4 \qquad i_1=-\frac{1}{2}u_{n3}
\end{cases}
$$

节点分析法的一般步骤：

(1) 选定参考节点，标定 n–1 个独立节点；

(2) 变戴维南电路为诺顿电路；

(3) 对 n–1 个独立节点，以节点电压为未知量，列写其KCL方程；

(4) 求解上述方程，得到 n–1 个节点电压；

(5) 求各支路电流(用节点电压表示)；

(6) 其它分析。

作业

3-4，3-11，3-14，3-16

3.3 回路分析法

基本思想：

为减少未知量(方程)的个数，可以假想每个回路中有一个回路电流（虚拟），各支路电流可用回路电流线性组合表示。各个支路电流自动满足KCL关系，因此只用列写各个回路的KVL方程。

回路分析法： 以回路电流为未知量，列写KVL方程分析电路的方法（只适用于平面网络）。

回路分析法的一般步骤：

（1）选定$m=b-(n-1)$个回路（网孔数），并确定其绕行方向；

（2）诺顿电路变成戴维南电路（熟练后可以省略）；

(3)对m个回路，标注回路电流及其参考方向，以回路电流为未知量，列写其KVL方程；

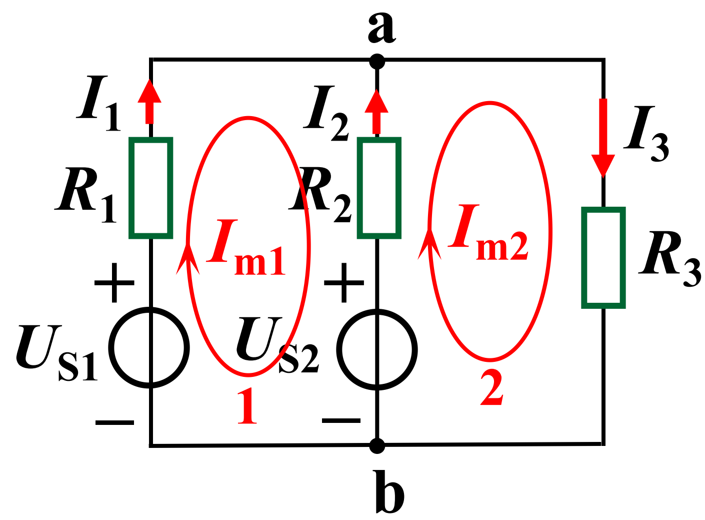
（4）求解上述方程，得到m个回路电流；

（5）求各支路电流(用回路电流表示)；

（6）其它分析。

- 例：求电路各支路电流。
- 分析：

$b = 3$，$n = 2$， $m = b - (n-1) = 2$



∵ 回路电流分别为I_{m1}、I_{m2}

∴支路电流 $I_1 = I_{m1}$， $I_2 = I_{m2} - I_{m1}$， $I_3 = I_{m2}$

注意：$I_1 + I_2 - I_3 = 0$恒成立

据KVL：回路1：$R_1 I_{m1} + R_2(I_{m1} - I_{m2}) = U_{S1} - U_{S2}$

回路2：$R_2(I_{m2} - I_{m1}) + R_3 I_{m2} = U_{S2}$

整理得：

$$\left.\begin{aligned} (R_1 + R_2) I_{m1} - R_2 I_{m2} &= U_{S1} - U_{S2} \\ -R_2 I_{m1} + (R_2 + R_3) I_{m2} &= U_{S2} \end{aligned}\right\} (1)$$

由此得标准形式的方程：

$$\left.\begin{aligned} R_{11}I_{m1}+R_{12}I_{m2}=U_{Sm1} \\ R_{21}I_{m1}+R_{22}I_{m2}=U_{Sm2} \end{aligned}\right\} \textbf{(2)}$$

一般情况，对于具有 $m = b-(n-1)$ 个独立回路的电路，有

$$\begin{cases} R_{11}I_{m1}+R_{12}I_{m2}+\ldots+R_{1l}I_{ml}=U_{Sm1} \\ R_{21}I_{m1}+R_{22}I_{m2}+\ldots+R_{2l}I_{ml}=U_{Sm2} \\ \qquad \ldots \\ R_{l1}I_{m1}+R_{l2}I_{m2}+\ldots+R_{ll}I_{ml}=U_{Sml} \end{cases}$$

矩阵形式

$$R_l I_l = U_{sl}$$

其中：

R_{kk}：自电阻(为正)，等于回路k中所有电阻之和。 $k=1,2,\ldots,l$

R_{jk}：回路j、回路k之间的互电阻。

R_{jk}:互电阻
- $+$: 流过互阻两个回路电流方向相同
- $-$: 流过互阻两个回路电流方向相反
- 0 : 无关

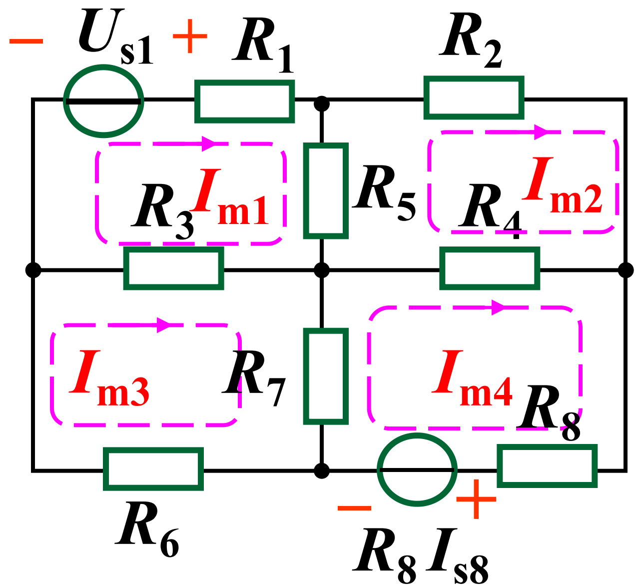
U_{skk}：回路k中所有电压源电压的代数和。 $k=1,2,\ldots,l$

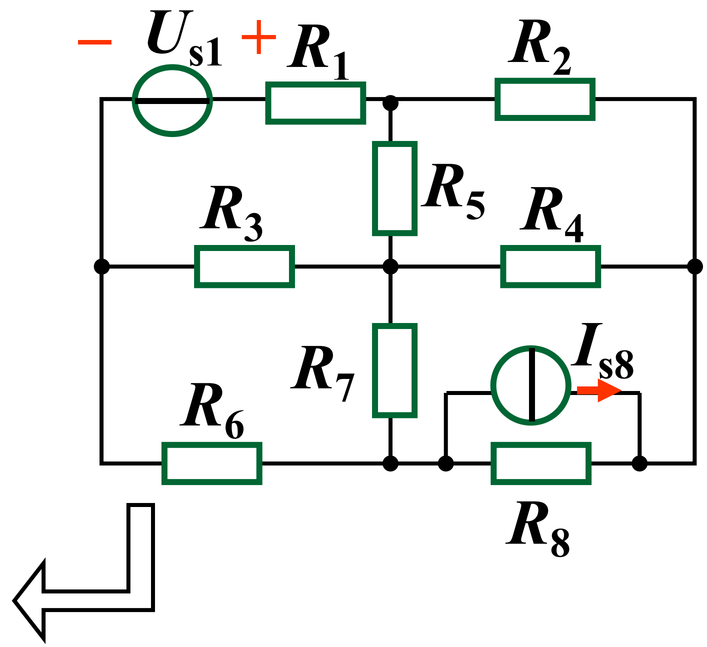
U_{skk}:等效电源
- $+$ ：电压源电压方向与该回路电流方向相反
- $-$ ：电压源电压方向与该回路电流方向相同
- 0 ：该回路无电压源

特例：不含受控源的线性网络 $R_{jk}=R_{kj}$，系数矩阵为对称阵。

- 例1. 列写图示电路的回路方程

- 解：对原电路作电源等效变换。





回路方程为：

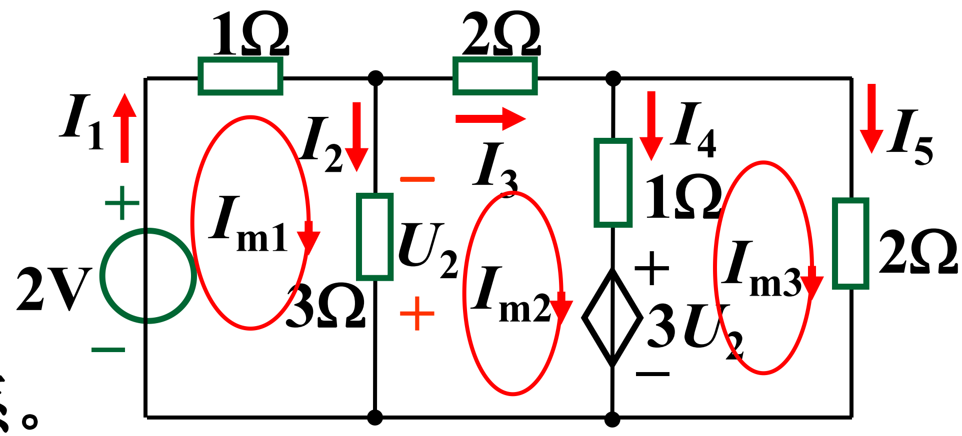
$$
\begin{bmatrix} R_1+R_3+R_5 & -R_5 & -R_3 & 0 \\ -R_5 & R_2+R_4+R_5 & 0 & -R_4 \\ -R_3 & 0 & R_3+R_6+R_7 & -R_7 \\ 0 & -R_4 & -R_7 & R_4+R_7+R_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \\ I_{m4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{s1} \\ 0 \\ 0 \\ -R_8 I_{S8} \end{bmatrix}
$$

含受控源电路如何列回路方程?

- 1 含有受控源的支路列写方程时，先按独立源列方程；
- 2 用回路电流代替控制量
- 3 整理方程
- 4 求解

- 例2. 用回路法求含有受控电压源电路的各支路电流。

- 解：(1)将受控源看作独立电源建立方程；



$$①\begin{cases} 4I_{m1}-3I_{m2}=2 \\ -3I_{m1}+6I_{m2}-I_{m3}=-3U_2 \\ -I_{m2}+3I_{m3}=3U_2 \end{cases}$$

(2)找出控制量和回路电流关系。

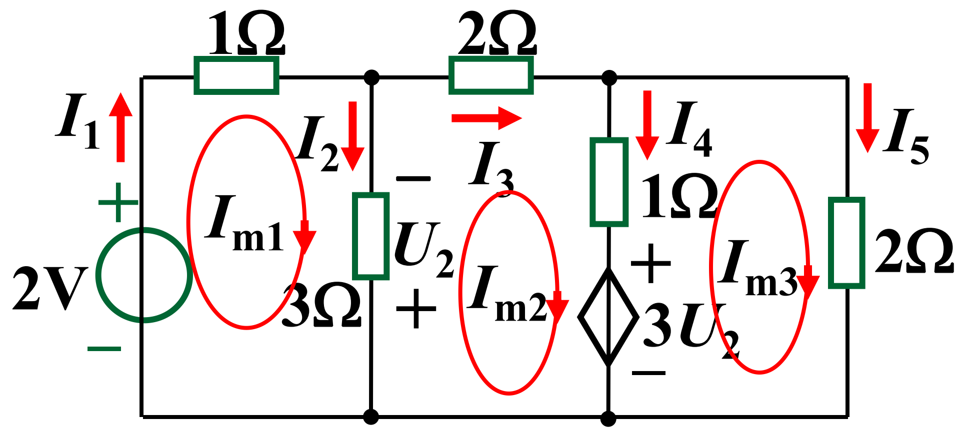
$$② \quad U_2=3(I_{m2}-I_{m1})$$

将②代入①，整理得

$$\begin{bmatrix} 4 & -3 & 0 \\ -12 & 15 & -1 \\ 9 & -10 & 3 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \xRightarrow{\text{解得}} \begin{cases} I_{m1}=1.19\text{A} \\ I_{m2}=0.92\text{A} \\ I_{m3}=-0.51\text{A} \end{cases}$$

- 例2. 用回路法求含有受控电压源电路的各支路电流。

各支路电流为：



$I_1 = I_{m1} = 1.19\text{A},$

$I_2 = I_{m1} - I_{m2} = 0.27\text{A},$

$I_3 = I_{m2} = 0.92\text{A},$

$I_4 = I_{m2} - I_{m3} = 1.43\text{A},$

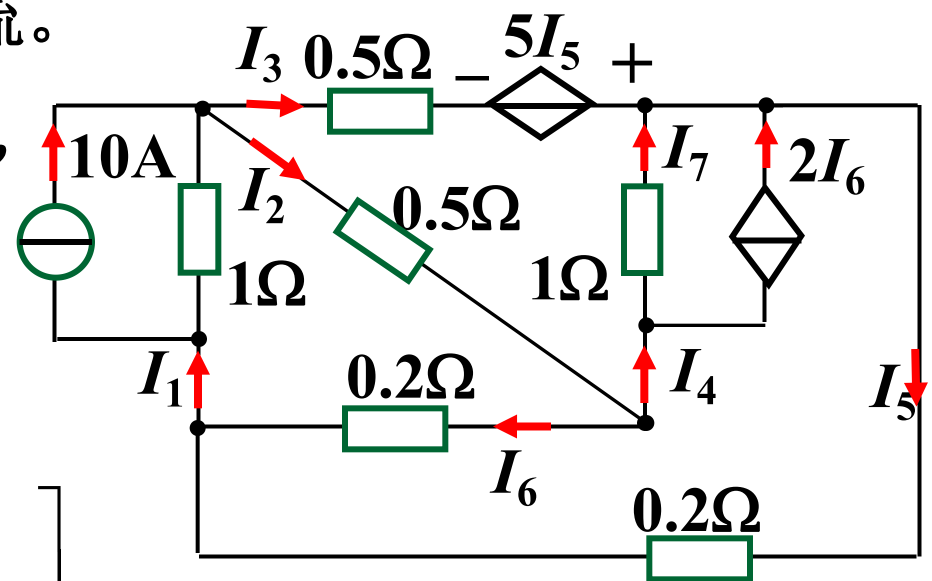
$I_5 = I_{m3} = -0.51\text{A}.$

$$\begin{cases} I_{m1} = 1.19\text{A} \\ I_{m2} = 0.92\text{A} \\ I_{m3} = -0.51\text{A} \end{cases}$$

校核：

$1 \times I_1 + 2I_3 + 2I_5 = 2.01$ $\quad (\sum U_{R\text{降}} = \sum E_{\text{升}})$

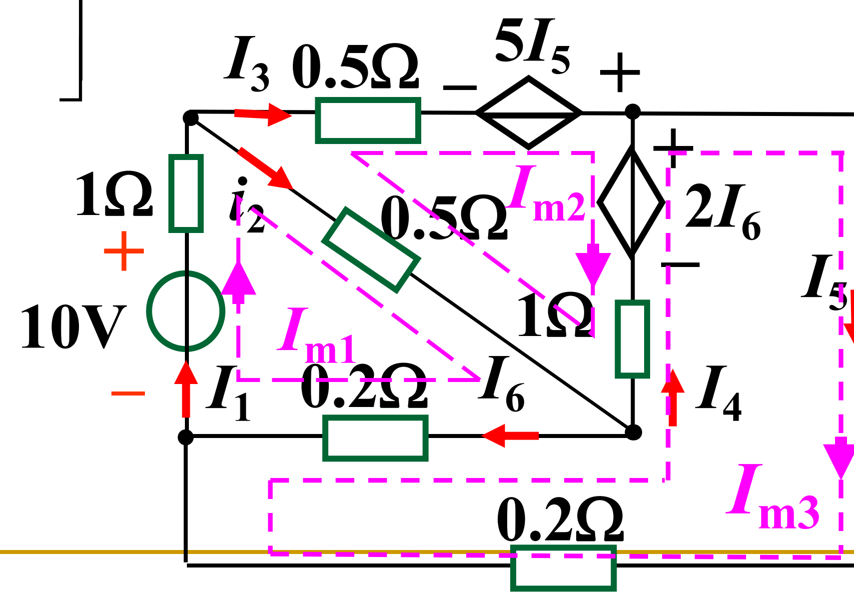
- 例3 用回路电流法求各支路电流。
- 解：(1)将电流源转换为电压源，选网孔为独立回路



例3.3.1 图

(2) 列回路电流方程

$$\begin{bmatrix} 1.7 & -0.5 & -0.2 \\ -0.5 & 2 & -1 \\ -0.2 & -1 & 1.4 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 10 \\ 5I_5-2I_6 \\ 2I_6 \end{bmatrix}$$



将控制量：

$I_5 = I_{m3}$，$I_6 = I_{m1} - I_{m3}$代入上式，

有：$$\begin{bmatrix} 1.7 & -0.5 & -0.2 \\ -0.5 & 2 & -1 \\ -0.2 & -1 & 1.4 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 10 \\ 5I_{m3}-2(I_{m1}-I_{m3}) \\ 2(I_{m1}-I_{m3}) \end{bmatrix}$$

整理得：$$\begin{bmatrix} 1.7 & -0.5 & -0.2 \\ 1.5 & 2 & -8 \\ -2.2 & -1 & 3.4 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 10 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

解之：$I_{m1}=1.353$ A, $I_{m2}-14.092$ A, $I_{m3}=-3.269$ A

用回路电流求各支路电流。

$I_1=I_{m1}=1.353\text{A}$，

$I_3=I_{m2}=-14.092\text{A}$ ，

$I_5=I_{m3}=-3.269\text{A}$

$I_2=I_{m1}-I_{m2}=15.445\text{A}$，

$I_4=I_{m3}-I_{m2}=10.823\text{A}$ ，

$I_6=I_{m1}-I_{m3}=15.445\text{A}$，

$I_7=I_4-2I_6=1.579\text{A}$

两个网孔共一纯电流源如何列回路方程？

- 方法1 增加电流源支路电压

  （增加一个未知量，增加一个方程）

- 方法2 选取的回路中只有一个回路含电流源，则不用列写该回路KVL方程

  （减少一个未知量，减少一个方程）

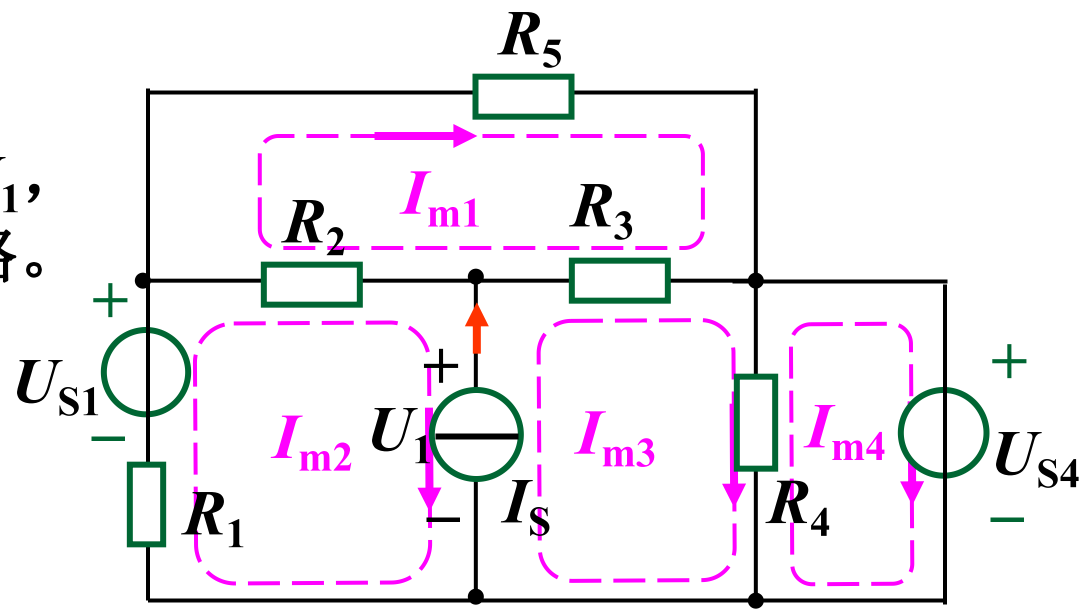
- 方法3 超回路法

  建立一个包围纯电流源的回路（包含两个网孔），列写该超回路的KVL方程

- 例4. 电路如下图所示，试列写回路方程。

方法一：增电压法

- 解：设电流源电压为U_1，选回路为独立回路。



$I_S = I_{m3} - I_{m2}$

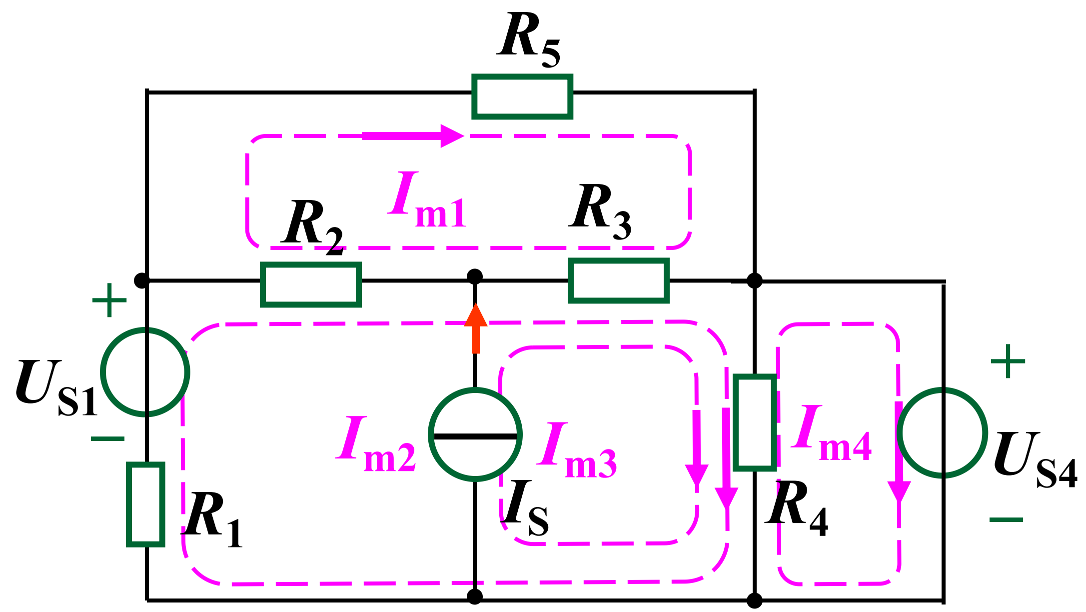
$$\begin{bmatrix} R_2+R_3+R_5 & -R_2 & -R_3 & 0 \\ -R_2 & R_1+R_2 & 0 & 0 \\ -R_3 & 0 & R_3+R_4 & -R_4 \\ 0 & 0 & -R_4 & R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \\ I_{m4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ U_{s1}-U_1 \\ U_1 \\ -U_{s4} \end{bmatrix}$$

方法二和方法三 板书

- 例4. 电路如下图所示，试列写回路方程。

方法二：（板书）

$I_S = I_{m3}$

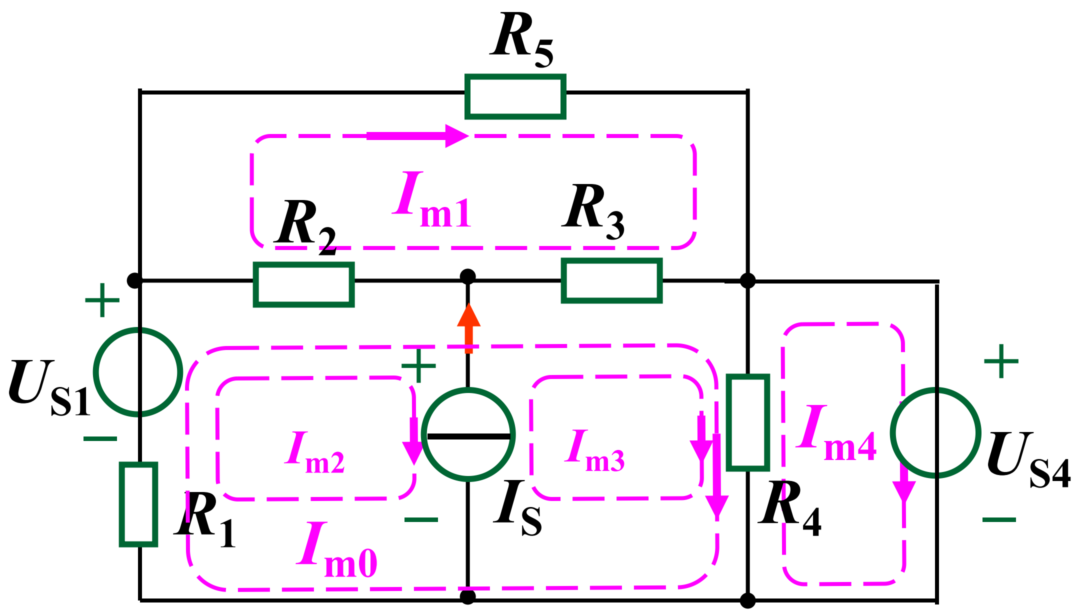


- 例4. 电路如下图所示，试列写回路方程。

方法三：超网孔

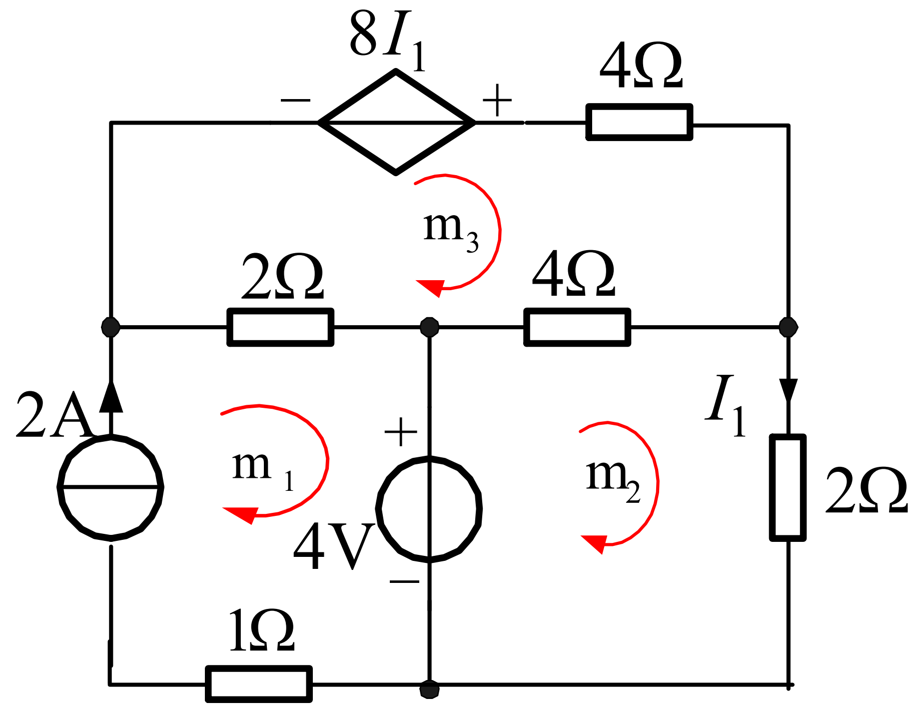
（板书）

$I_S = I_{m3} - I_{m2}$



网孔分析法应用

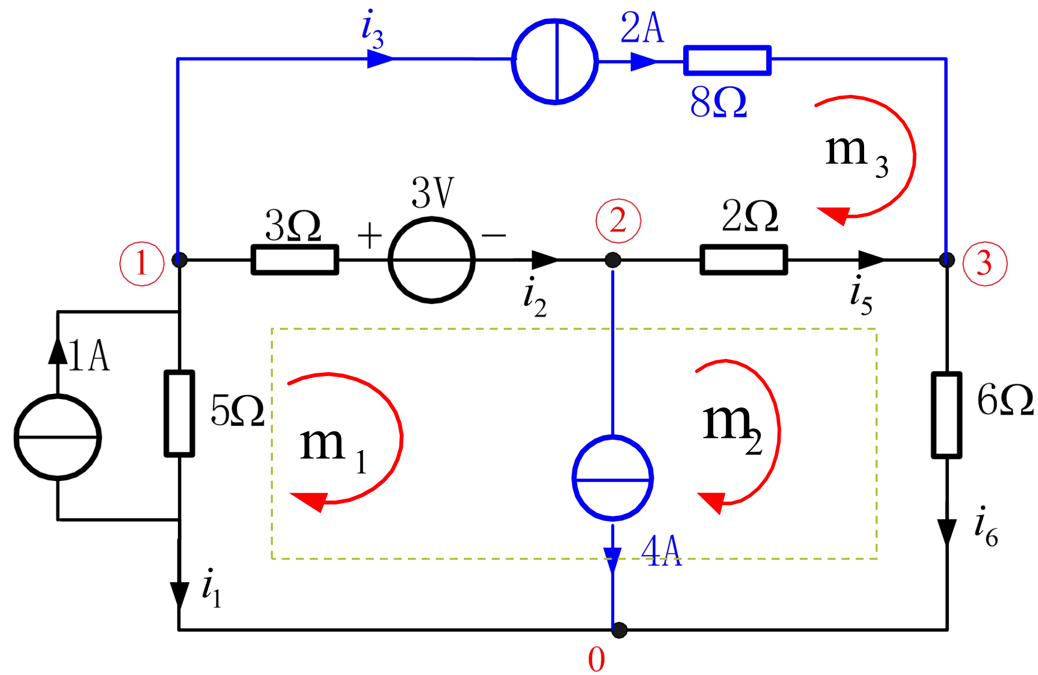
例5



$$
\begin{cases}
I_{m1} = 2 \\
-0I_{m1} + (0+4+2)I_{m2} - 4I_{m3} = 4 \\
-2I_{m1} - 4I_{m2} + (4+4+2)I_{m3} = 8I_1 \\
I_1 = I_{m2}
\end{cases}
$$

网孔分析法应用

例6

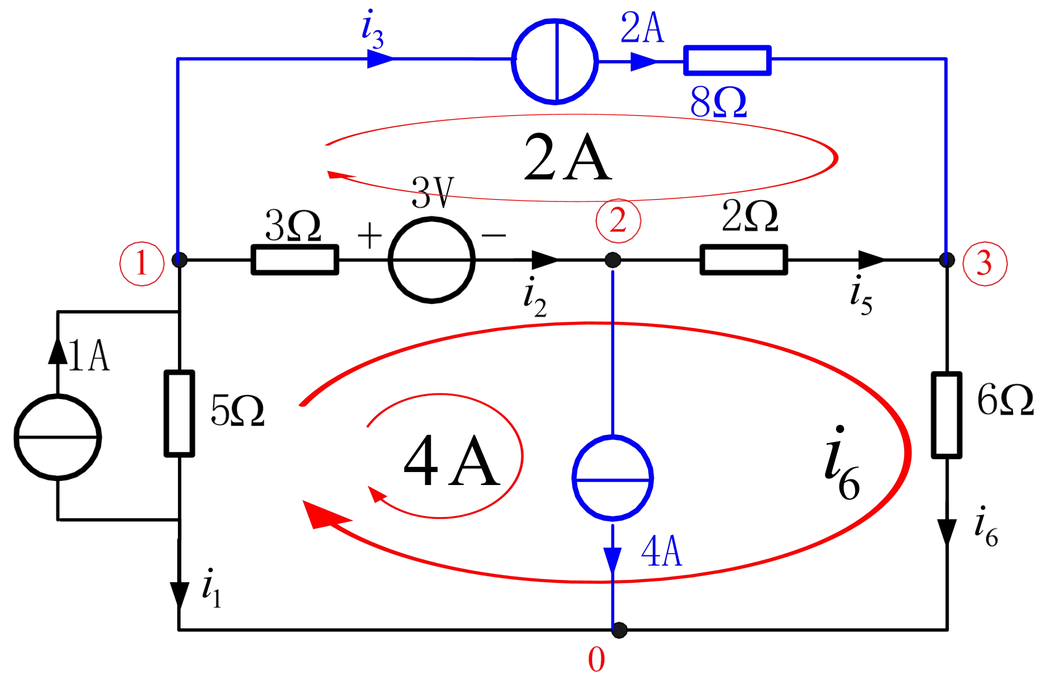


网孔分析法：

$$\begin{cases} i_{m1} - i_{m2} = 4 \\ (5+3)\ i_{m1} + (2+6) i_{m2} - (3+2) i_{m3} = 5\times1-3 \\ i_{m3} = 2 \end{cases}$$

网孔分析法应用

例6



回路分析法：

$$(5+3+2+6)\ i_6+(3+5)\times 4-(3+2)\times 2=5\times 1-3$$

支路法、回路法和节点法的比较：

(1) 方程数的比较

	KCL方程	KVL方程	方程总数
支路法	$n-1$	$b-(n-1)$	b
回路法	0	$b-(n-1)$	$b-(n-1)$
节点法	$n-1$	0	$n-1$

(2) 对于非平面电路，选独立回路不容易，而独立节点较容易。

(3) 回路法、节点法易于编程。目前用计算机分析网络(电网，集成电路设计等)采用节点法较多。

本章小结：

了解支路分析法

熟练运用节点分析法、回路分析法求解各种含独立源和受控源的电路

作业

3-20，3-21，3-22

实验安排

- 时间：

  第7周 周三 9-10节，第8周 周三 9-12节

- 地点：

  西二楼三楼306A实验室

- 实验指导书：

  电工技术实验指导书