第3章

电路分析的一般方法

3.1 结点分析法 Nodal Analysis

1.结点分析方程 Nodal Equations

2.观察法列写结点分析方程 Nodal Equations by Inspection

3.含电源支路的结点分析方程 Nodal Equations with source branch

3.2 网孔分析法 Mesh Analysis

1. 网孔分析方程 Mesh Equations

2.观察法列写网孔分析方程 Mesh Equations by Inspection

3.含电源支路的网孔分析方程 Mesh Equations with source branch

第3章

电路分析的一般方法

目标： 1.熟练应用结点分析法。

2.熟练应用网孔分析法。

3.根据电路特点选择最佳分析方法。

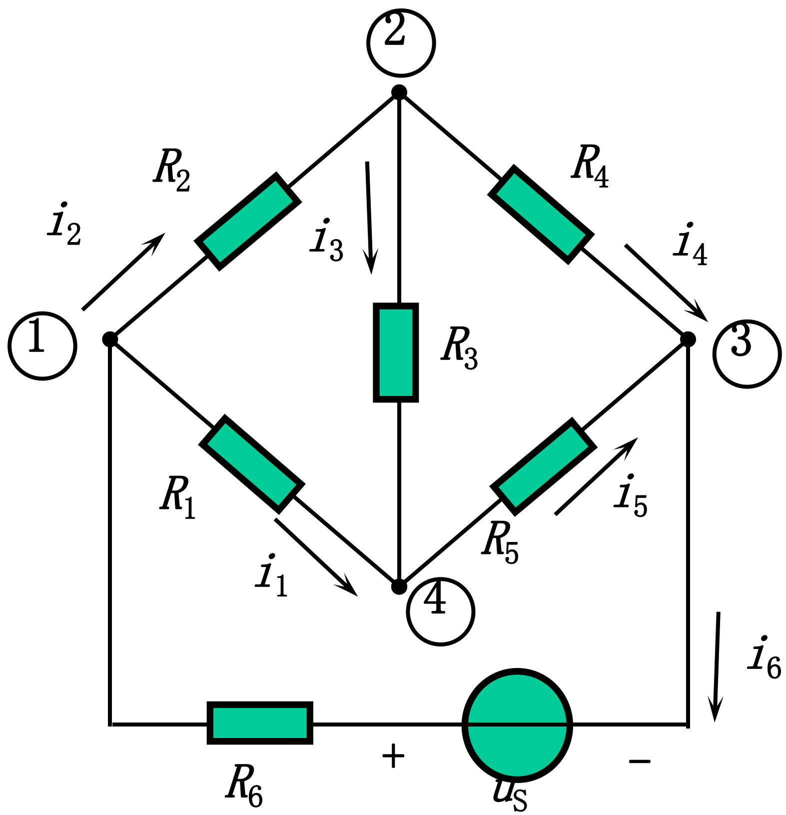
难点： 1.含电压源支路电路的结点方程。

2.含电流源支路电路的网孔方程。

讲授学时： 4

✦ 问题的提出

求图示电路中支路电流i_1-i_6（各支路电压与电流采用关联参考方向）。



可用支路电流法求解电路（n-1个KCL方程，b-n+1个KVL方程，共b个方程）。

问题：

方程数相对较多（6个方程）

复杂电路难以手工计算

计算机的存储能力与计算能力要求高

有必要寻找减少列写方程数量的方法。

1）求i_2；

解：对图中各节点、元件及元件的电压

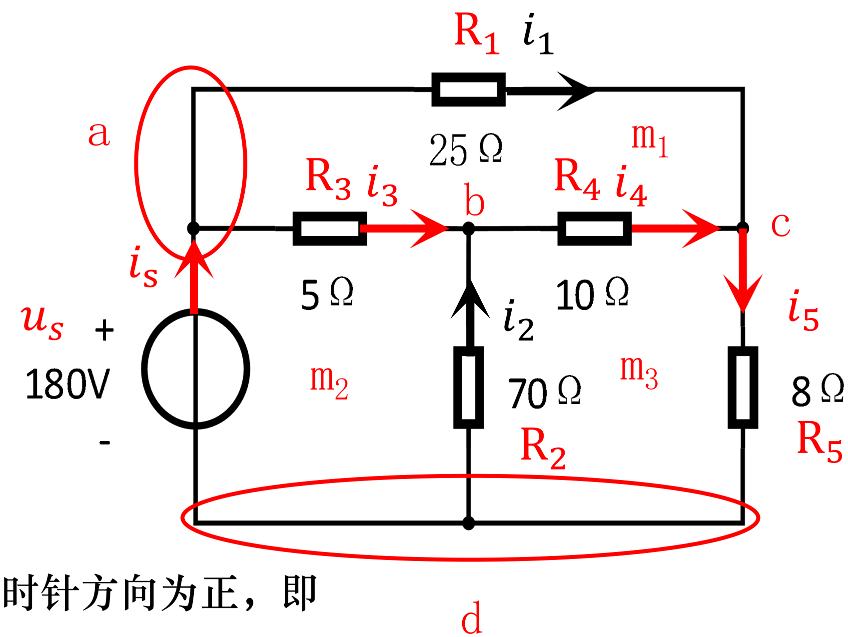
电流进行编号并注明方向，如图所示。

2)该电路b=6，n=4，m=b-n+1=3，因而可通过

列写3个独立kcl方程和3个KVL方程，同时应用欧姆定律，

求解六条支路的电流及各电阻两端电压。

对结点 a,b,c列写独立kcl方程，以电流流入结点为正，



即：$\begin{cases} i_s - i_1 - i_3 = 0 \\ i_2 + i_3 - i_4 = 0 \\ i_1 + i_4 - i_5 = 0 \end{cases}$

对三个网孔m1，m2，m3列写独立kVL方程，电压以网孔顺时针方向为正，即

$$\begin{cases} R_1 i_1 - R_4 i_4 - R_3 i_3 = 0 \\ R_3 i_3 - R_2 i_2 - u_s = 0 \\ R_2 i_2 + R_4 i_4 + R_5 i_5 = 0 \end{cases}$$

上述6个方程中，u_s和R_1~R_5已知，代入参数计算可得

$i_1 = 4A, i_2 = -2A, i_3 = 8A, i_4 = 6A, i_5 = 10A, i_s = 12A$

✦ 问题的提出

目的：找出求解线性电路的**分析方法** 。

对象：含独立源、受控源的**电阻网络**。

应用：主要用于复杂的线性电路的求解。

基础
- 电路的连接关系——KCL，KVL定律
- 元件特性——约束关系

习题1-30

1）求i_2；

解：对图中各节点、元件及元件的电压

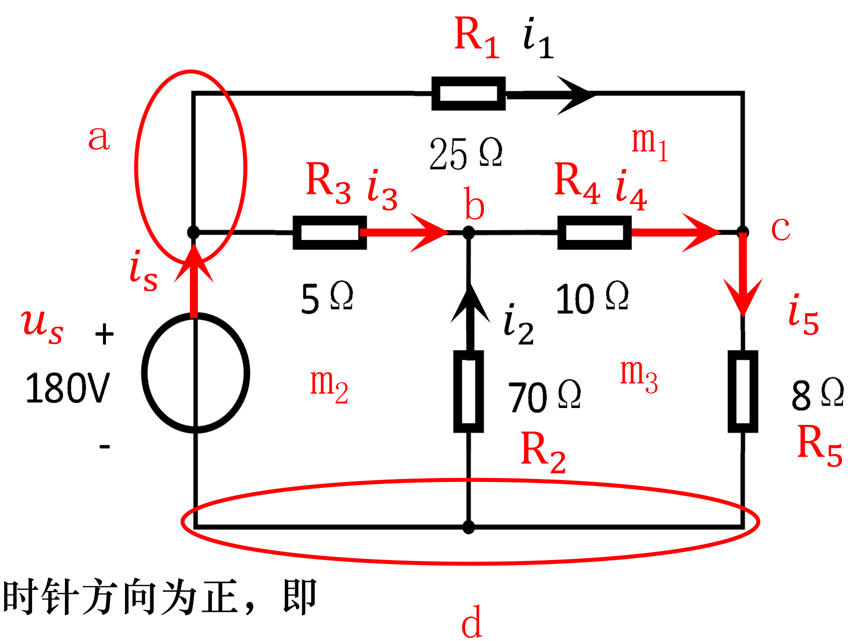
电流进行编号并注明方向，如图所示。

2)该电路b=6，n=4，m=b-n+1=3，因而可通过

列写3个独立kcl方程和3个KVL方程，同时应用欧姆定律，

求解六条支路的电流及各电阻两端电压。

对结点 a,b,c列写独立kcl方程，以电流流入结点为正，



即：$\begin{cases} i_s - i_1 - i_3 = 0 \\ i_2 + i_3 - i_4 = 0 \\ i_1 + i_4 - i_5 = 0 \end{cases}$

对三个网孔m1，m2，m3列写独立kVL方程，电压以网孔顺时针方向为正，即

$$\begin{cases} R_1 i_1 - R_4 i_4 - R_3 i_3 = 0 \\ R_3 i_3 - R_2 i_2 - u_s = 0 \\ R_2 i_2 + R_4 i_4 + R_5 i_5 = 0 \end{cases}$$

上述6个方程中，u_s和R_1~R_5已知，代入参数计算可得

$i_1 = 4A, i_2 =- 2A, i_3 = 8A, i_4 = 6A, i_5 = 10A, i_s = 12A$

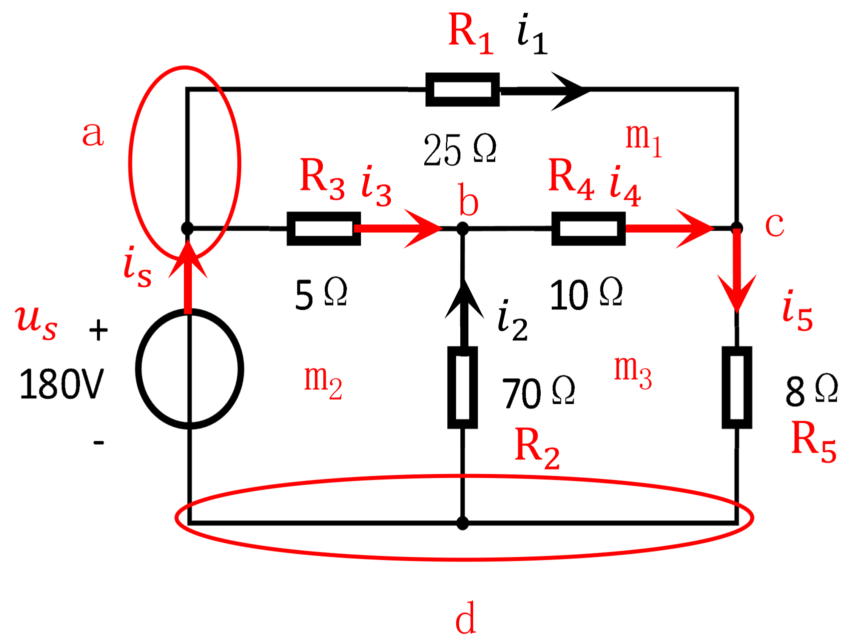
各支路的电压(方向与各自电流关联)均可用结点的电位差表示：

$$\begin{cases} u_1 = u_{ac} = u_{ad} - u_{cd} \\ u_2 = u_{db} =- u_{bd} \\ u_3 = u_{ab} = u_{ad} - u_{bd} \\ u_4 = u_{bc} = u_{bd} - u_{cd} \\ u_5 = u_{cd} \\ u_s = u_{ad} \end{cases}$$

1）求i_2；

各支路的电压(方向与各自电流关联)
均可用结点的电位差表示：

$$\begin{cases} u_1 = u_{ac} = u_{ad} - u_{cd} \\ u_2 = u_{db} = -u_{bd} \\ u_3 = u_{ab} = u_{ad} - u_{bd} \\ u_4 = u_{bc} = u_{bd} - u_{cd} \\ u_5 = u_{cd} \\ u_s = u_{ad} \end{cases}$$



取其中1个结点，为参考点，利用KVL方程用n-1个结点电位就可以列出全部支路电压降。

b支路电压的问题→n-1结点的电位问题

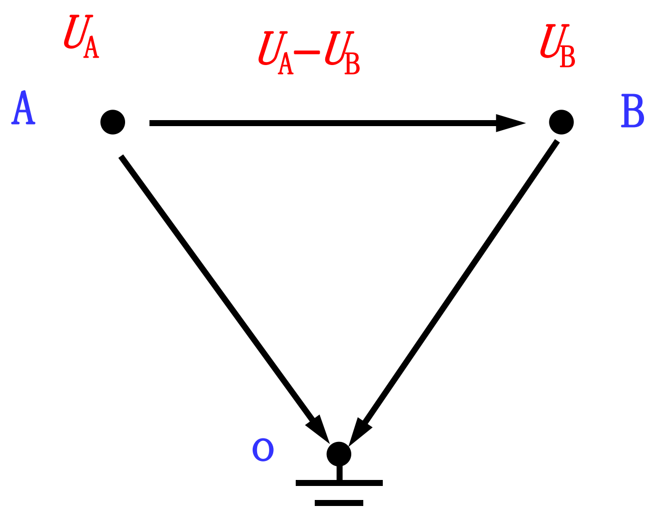
独立的KCL方程为n-1，问题可解。

3.1 结点分析法 Nodal analysis

- **节点分析法**是以**各节点的电位**作为未知变量来列写方程(节点方程)。
- 任选一个节点为**基准节点(参考节点)**，且电位恒取为零。其他节点的电位就是它们与基准节点之间的电压，称为**节点电压**。
- 以**(n–1)个独立节点**的电压为变量列写**(n–1)个独立KCL**方程
- 从节点方程求得节点电压以后，再求出各支路电压和电流。

为什么不用列写KVL方程？

由于电位的单值性，节点电压自动满足KVL方程。



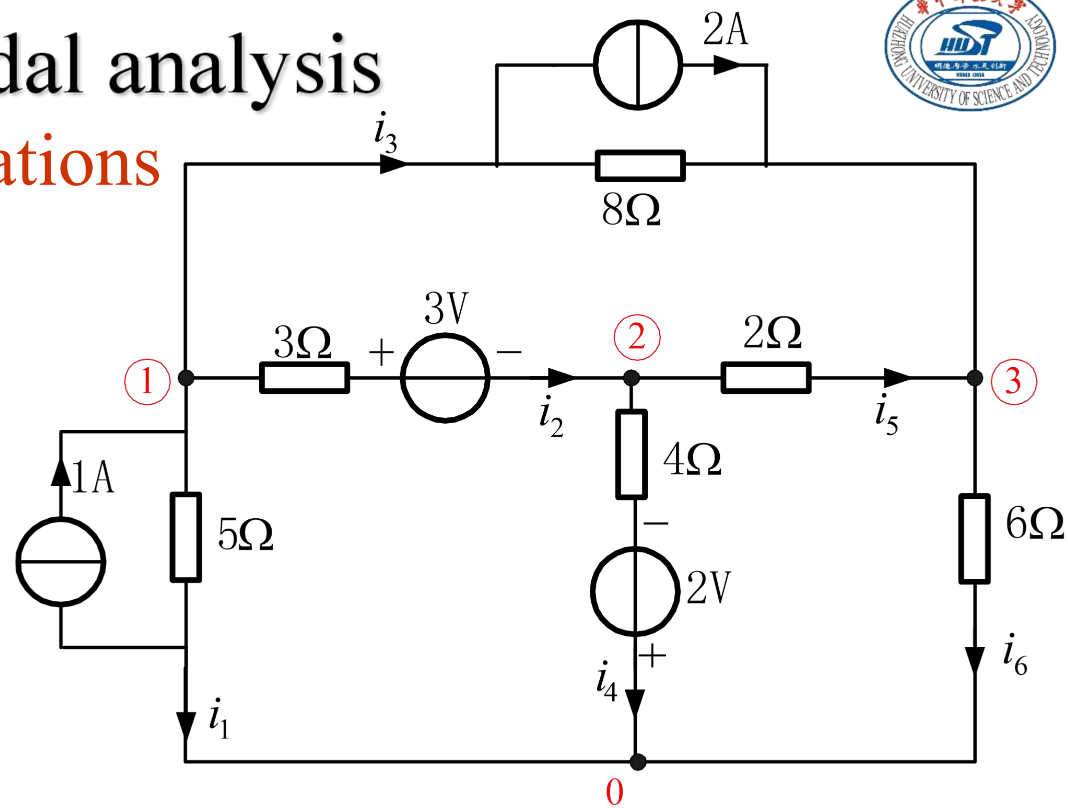
$$(U_A-U_B)+U_B-U_A=0$$

以节点电压为变量的KVL自动满足

只需列写以节点电压为变量的KCL方程。

3.1 结点分析法 Nodal analysis

1.结点方程 Nodal equations



$$i_1 = \frac{u_{n1}}{5} - 1$$

$$i_3 = \frac{u_{n1} - u_{n3}}{8} + 2$$

$$i_2 = \frac{u_{n1} - u_{n2} - 3}{3}$$

$$i_4 = \frac{u_{n2} + 2}{4}$$

$$i_5 = \frac{u_{n2} - u_{n3}}{2}$$

$$i_6 = \frac{u_{n3}}{6}$$

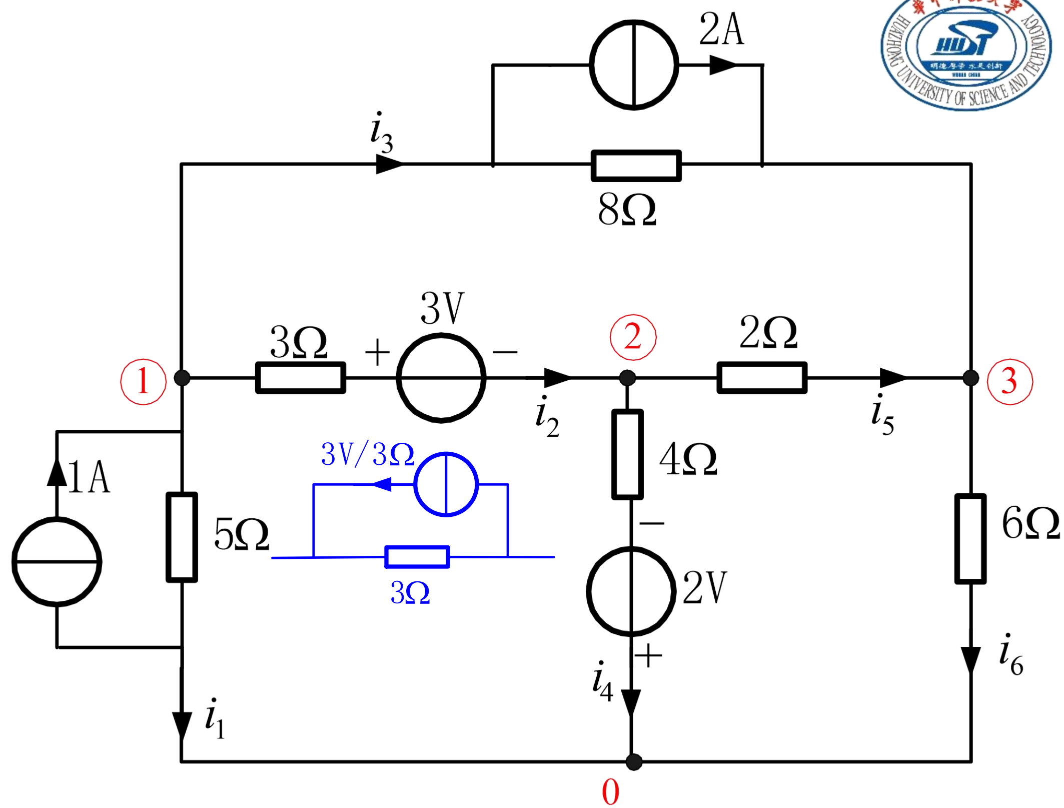
$$(\frac{u_{n1}}{5} - 1) + (\frac{u_{n1} - u_{n2} - 3}{3}) + (\frac{u_{n1} - u_{n3}}{8} + 2) = 0$$

$$-(\frac{u_{n1} - u_{n2} - 3}{3}) + (\frac{u_{n2} + 2}{4}) + (\frac{u_{n2} - u_{n3}}{2}) = 0$$

$$-(\frac{u_{n1} - u_{n3}}{8} + 2) - (\frac{u_{n2} - u_{n3}}{2}) + (\frac{u_{n3}}{6}) = 0$$

3.1 Nodal analysis

1.Nodal equations



$$(\frac{1}{5}+\frac{1}{3}+\frac{1}{8})u_{n1}-\frac{1}{3}u_{n2}-\frac{1}{8}u_{n3}$$

$$=1+\frac{3}{3}-2$$

$$-\frac{1}{3}u_{n1}+(\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2})u_{n2}-\frac{1}{2}u_{n3}$$

$$=-\frac{3}{3}-\frac{2}{4}$$

$$-\frac{1}{8}u_{n1}-\frac{1}{2}u_{n2}+(\frac{1}{8}+\frac{1}{2}+\frac{1}{6})u_{n3}$$

$$=2$$

$$(\frac{u_{n1}}{5}-1)+(\frac{u_{n1}-u_{n2}-3}{3})+(\frac{u_{n1}-u_{n3}}{8}+2)=0$$

$$-(\frac{u_{n1}-u_{n2}-3}{3})+(\frac{u_{n2}+2}{4})+(\frac{u_{n2}-u_{n3}}{2})=0$$

$$-(\frac{u_{n1}-u_{n3}}{8}+2)-(\frac{u_{n2}-u_{n3}}{2})+(\frac{u_{n3}}{6})=0$$

3.1 Nodal analysis

1.Nodal equations

$$\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{3}+\frac{1}{8}\right)u_{n1}-\frac{1}{3}u_{n2}-\frac{1}{8}u_{n3}$$

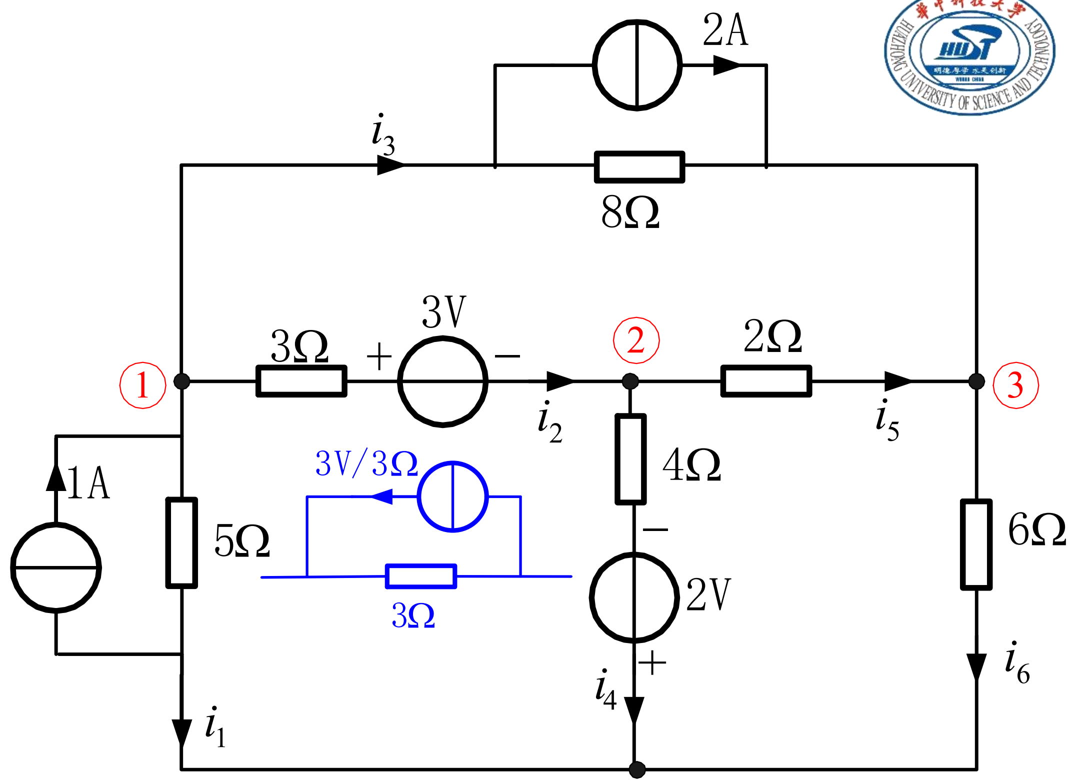
$$=1+\frac{3}{3}-2$$

$$-\frac{1}{3}u_{n1}+\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\right)u_{n2}-\frac{1}{2}u_{n3}$$

$$=-\frac{3}{3}-\frac{2}{4}$$

$$-\frac{1}{8}u_{n1}-\frac{1}{2}u_{n2}+\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{2}+\frac{1}{6}\right)u_{n3}$$

$$=2$$



$$G_{11}u_{n1}+G_{12}u_{n2}+G_{13}u_{n3}=i_{sn1}$$

$$G_{21}u_{n1}+G_{22}u_{n2}+G_{23}u_{n3}=i_{sn2}$$

$$G_{31}u_{n1}+G_{32}u_{n2}+G_{33}u_{n3}=i_{sn3}$$

$$\boxed{\boldsymbol{G}_n U_n=\boldsymbol{I}_{sn}}$$

$\boldsymbol{G}_n$: conductance matrix

结点电导矩阵

2.快速列写法

$$\boxed{\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{3}+\frac{1}{8}\right)u_{n1}-\frac{1}{3}u_{n2}-\frac{1}{8}u_{n3}}$$

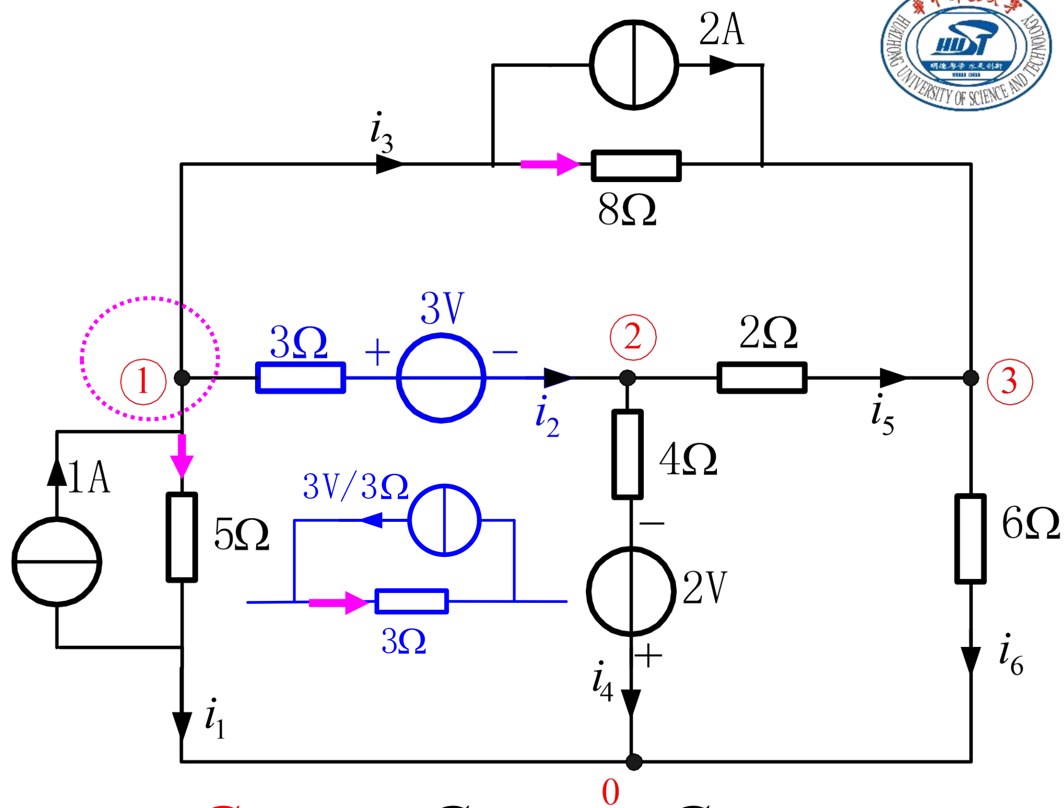
$$=1+\frac{3}{3}-2$$

$$-\frac{1}{3}u_{n1}+\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\right)u_{n2}-\frac{1}{2}u_{n3}$$

$$=-\frac{3}{3}-\frac{2}{4}$$

$$-\frac{1}{8}u_{n1}-\frac{1}{2}u_{n2}+\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{2}+\frac{1}{6}\right)u_{n3}$$

$$=2$$



$$G_{11}u_{n1}+G_{12}u_{n2}+G_{13}u_{n3}=i_{sn1}$$

$$G_{21}u_{n1}+G_{22}u_{n2}+G_{23}u_{n3}=i_{sn2}$$

$$G_{31}u_{n1}+G_{32}u_{n2}+G_{33}u_{n3}=i_{sn3}$$

G_{kk} : Self-conductance 自电导——k结点上各支路电导之和

G_{kj} : Mutual-conductance 互电导 ——k、j结点间支路电导的负值

i_{snk} : Equivalent nodal current source—流入k结点所有电流源代数和

将上述结论推广到有*n*-1个独立节点的仅含电阻、电流源的电路

$$\begin{cases} G_{11}u_{n1}+G_{12}u_{n2}+\ldots+G_{1n}u_{nn}=i_{Sn1} \\ G_{21}u_{n1}+G_{22}u_{n2}+\ldots+G_{2n}u_{nn}=i_{Sn2} \\ \cdots\ \cdots\ \cdots\ \cdots \\ G_{n1}u_{n1}+G_{n2}u_{n2}+\ldots+G_{nn}u_{nn}=i_{Snn} \end{cases}$$

其中

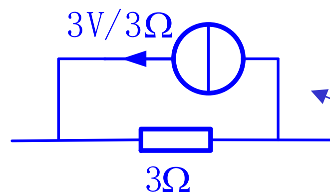
G_{ii} —自电导，等于接在节点i上所有支路的电导之和，总为正。

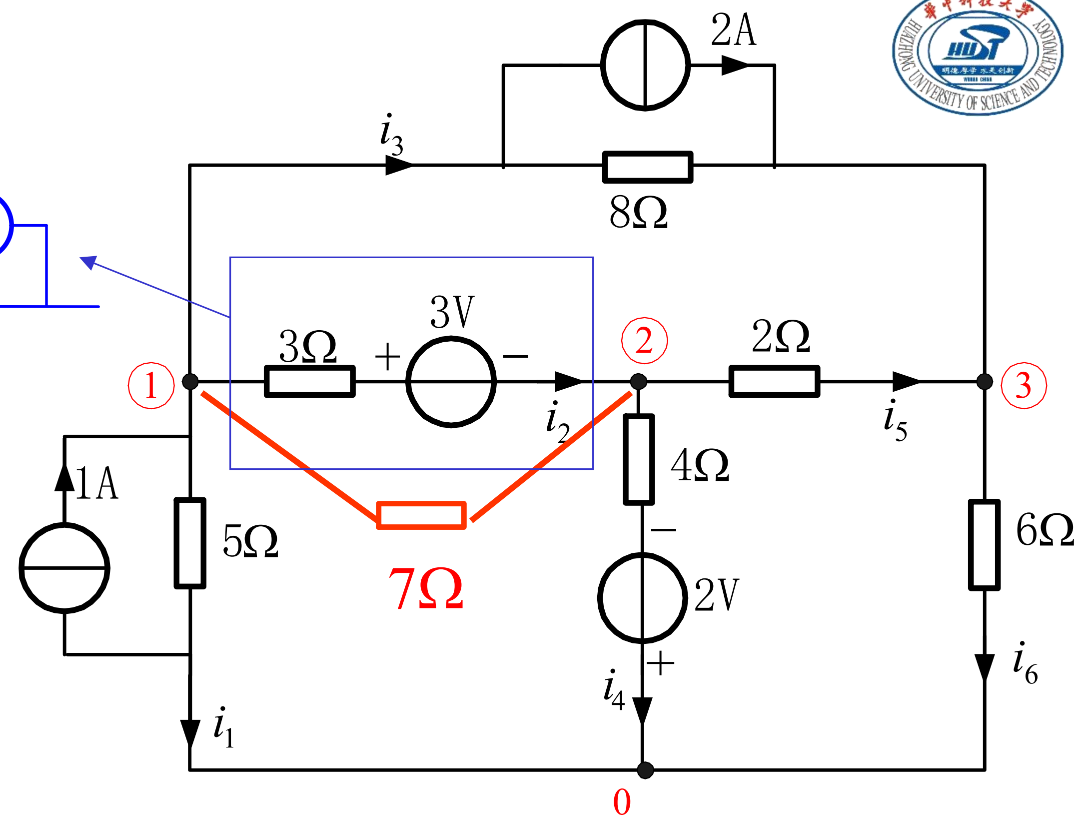
$G_{ij}=G_{ji}$ —互电导，等于接在节点i与节点j之间的支路的电导之和，并冠以负号。

i_{Sni} — 等效电流源流入节点i的所有电流源电流的代数和。

* 当电路含受控源时，系数矩阵一般不再为对称阵。

2.快速列写法



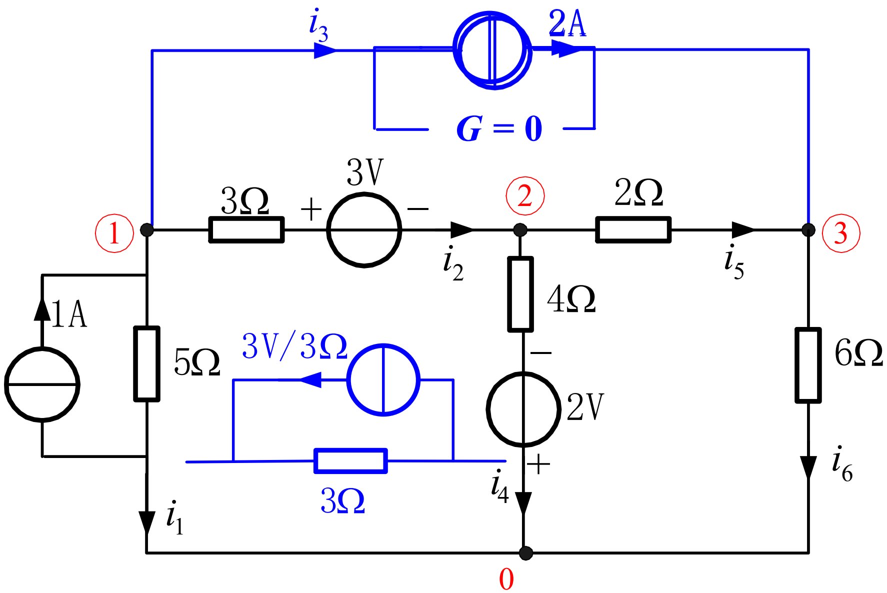


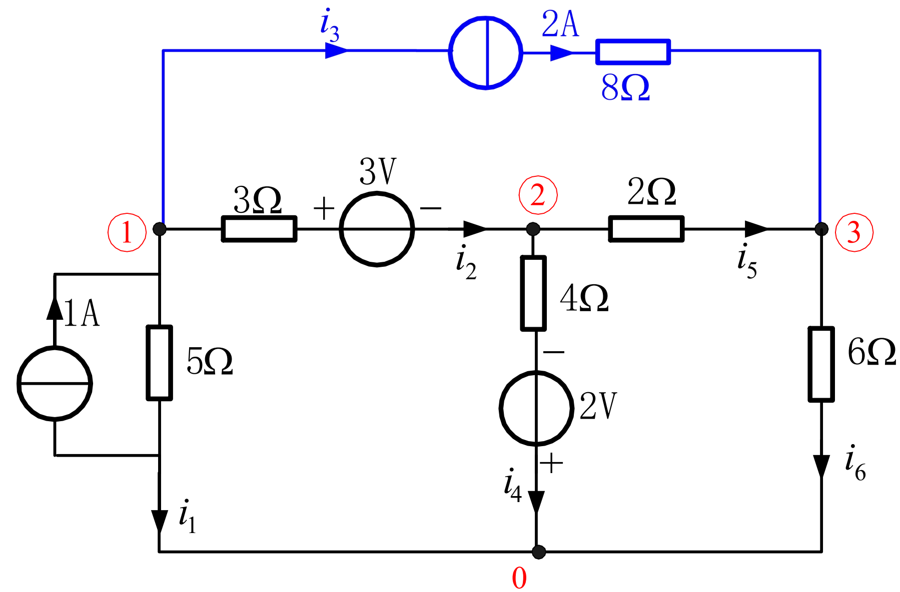
? Parallel 7-Ω

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{3}+\frac{1}{7}+\frac{1}{5}+\frac{1}{8} & -\frac{1}{3}-\frac{1}{7} & -\frac{1}{8} \\ -\frac{1}{3}-\frac{1}{7} & \frac{1}{3}+\frac{1}{7}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{8} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2}+\frac{1}{6}+\frac{1}{8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{n1} \\ u_{n2} \\ u_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{3}{3}-2 \\ -\frac{3}{3}-\frac{2}{4} \\ 2 \end{bmatrix}$$

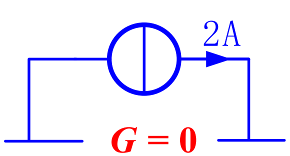
3.Nodal analysis **with source branch**

a. With current source branch（电流源支路）





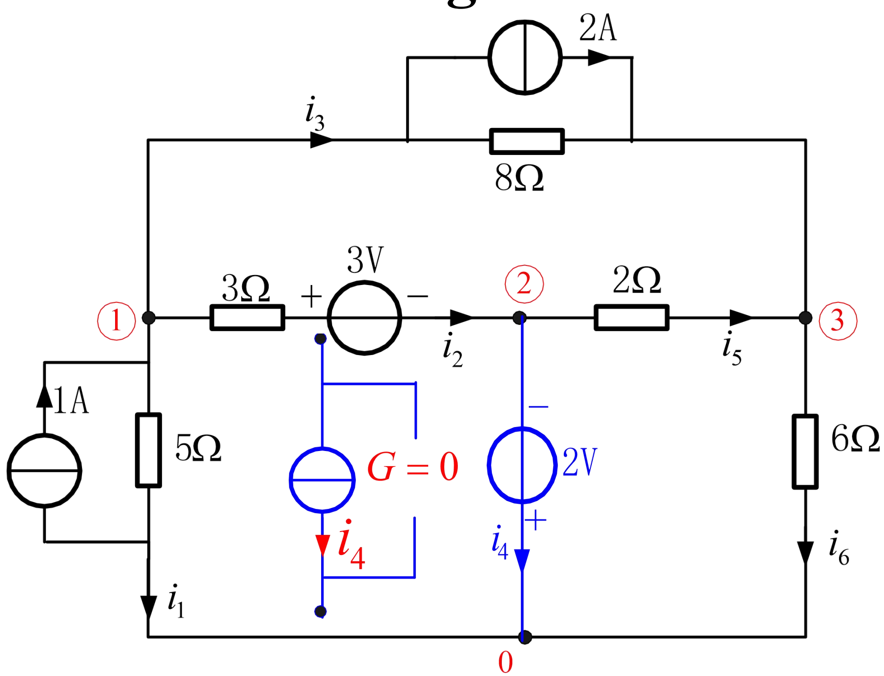
电流源支路视为电导为零的诺顿支路！



$$\begin{bmatrix} \quad & \quad & \quad \\ & & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{n1} \\ u_{n2} \\ u_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \quad \\ \\ \end{bmatrix}$$

3.Nodal analysis **with source branch**

b. With voltage source branch（电压源支路）



方法1：电压源支路视为电导为零的诺顿支路

3个方程

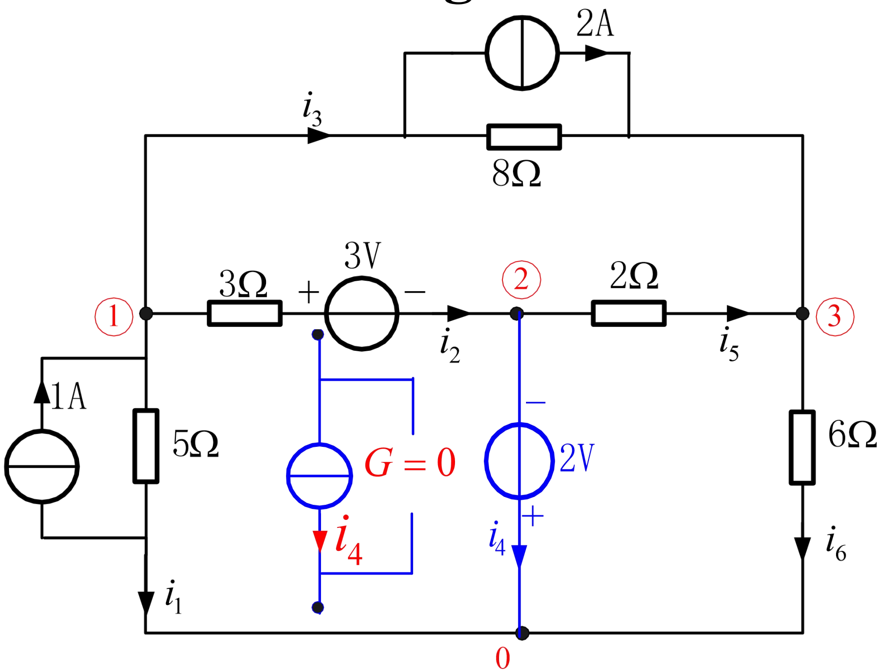
方法2：不列写电位已知的结点的方程

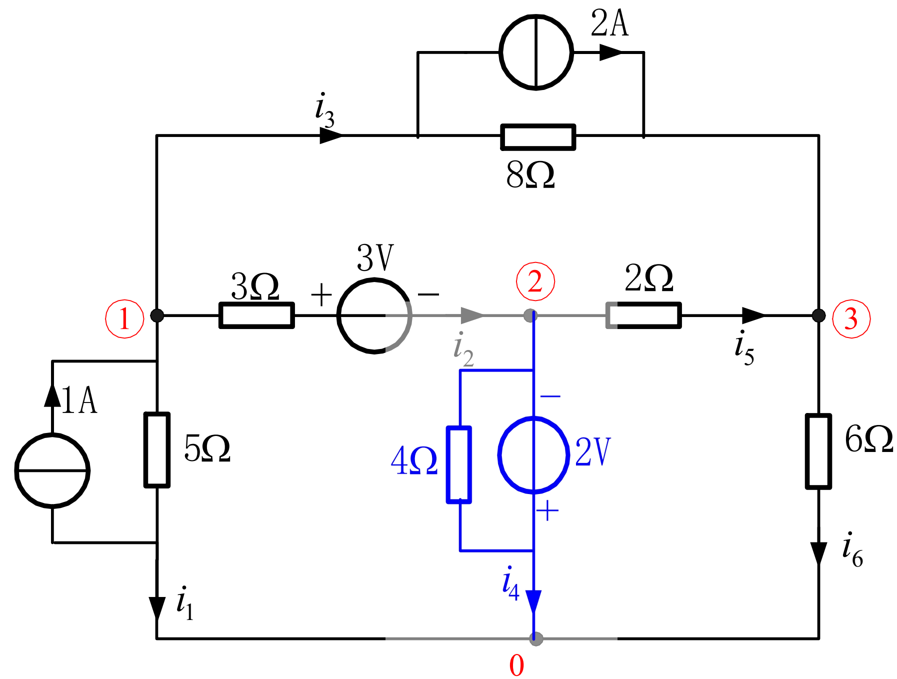
2个方程

$$\begin{bmatrix} \quad \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{n1} \\ u_{n2} \\ u_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \quad \end{bmatrix} \qquad u_{n2} = -2$$

3.Nodal analysis **with source branch**

b. With voltage source branch（电压源支路）



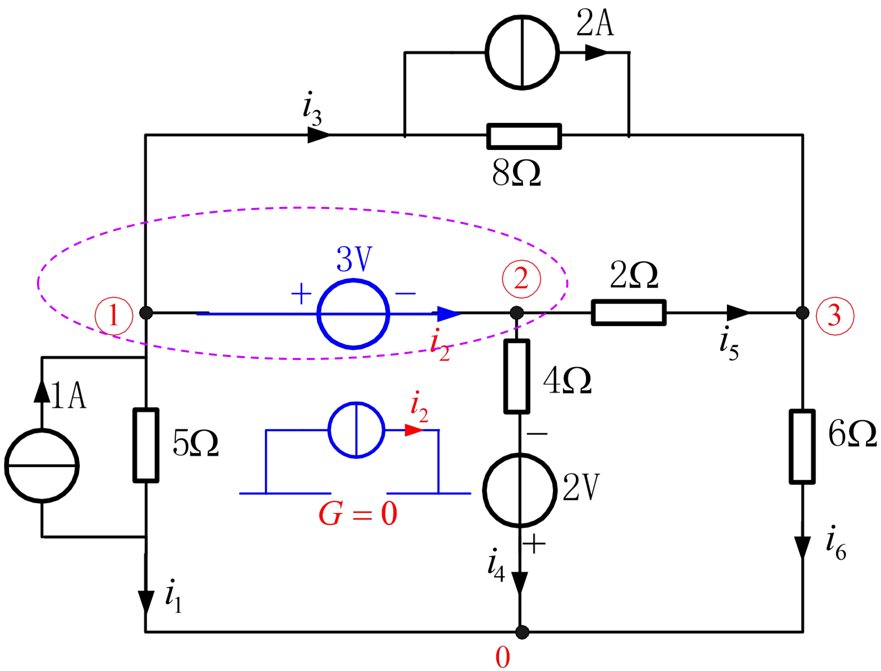


$$\begin{bmatrix} \frac{1}{3}+\frac{1}{5}+\frac{1}{8} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{8} \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{3}+\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{8} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2}+\frac{1}{6}+\frac{1}{8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{n1} \\ u_{n2} \\ u_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{3}{3}-2 \\ -\frac{3}{3}-i_4 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$u_{n2}=-2$$

3.Nodal analysis **with source branches**

b. With voltage source branch (电压源支路)



方法1： 电压源支路视为电导为零的诺顿支路

4个方程

方法2： 列写广义结点方程

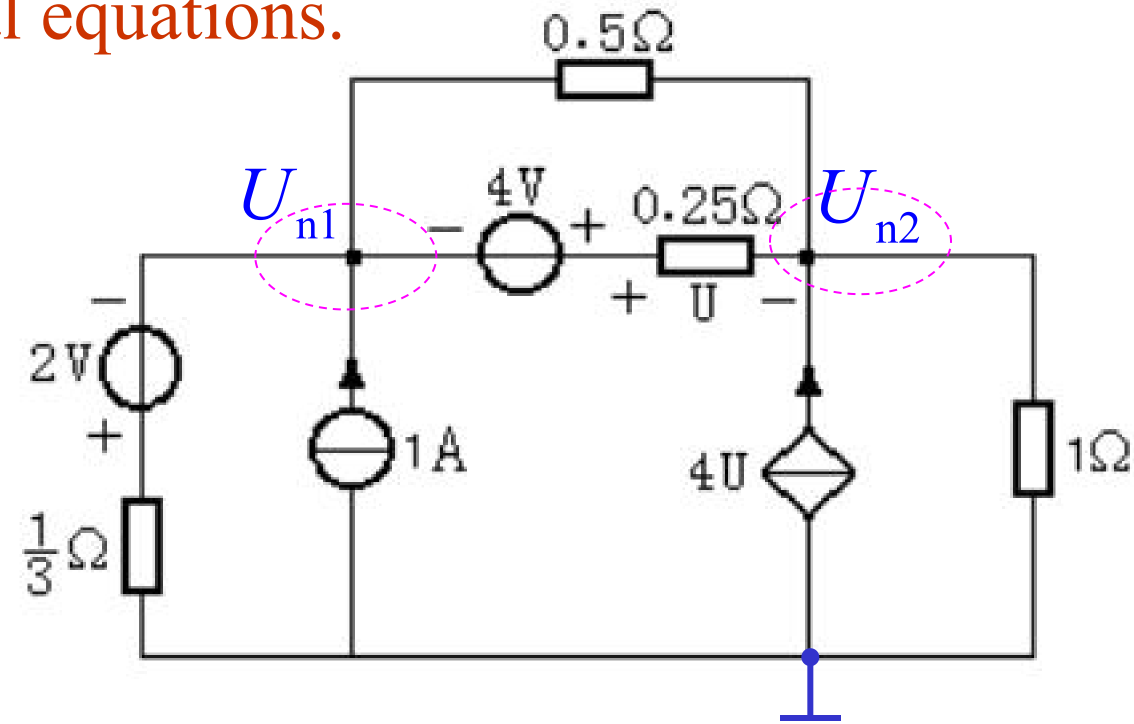
$$\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{8}\right)u_{n1}+\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\right)u_{n2}-\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{2}\right)u_{n3}$$
$$=1-2-\frac{2}{4}$$

3个方程

$$\begin{bmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_{n1}\\u_{n2}\\u_{n3}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \\ \\ \end{bmatrix}$$

$$u_{n1}-u_{n2}=3$$

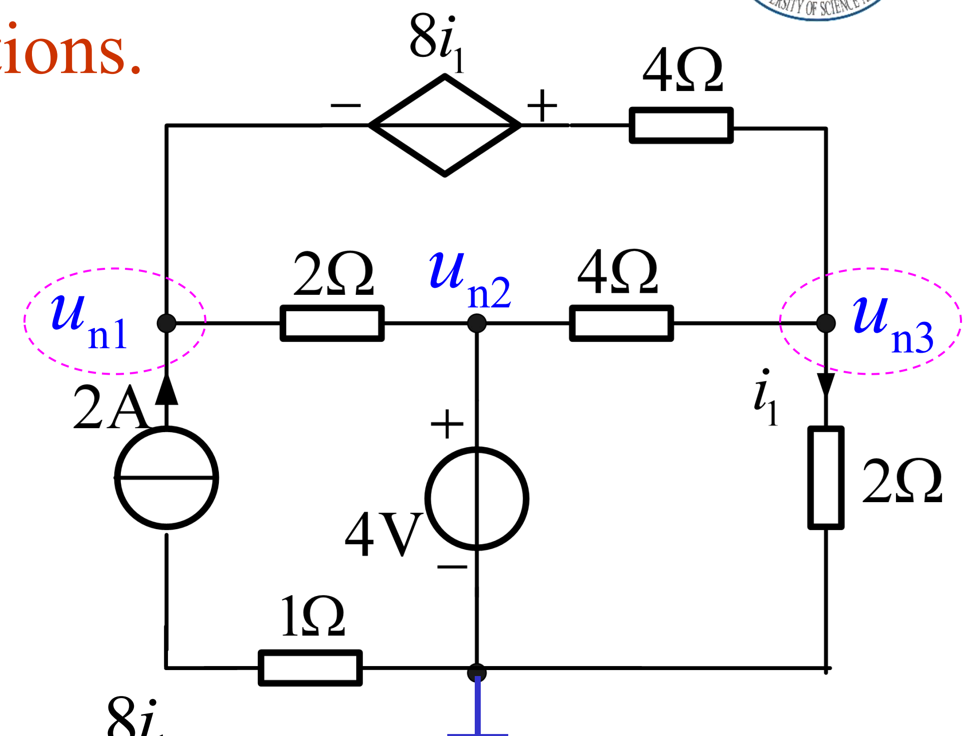
例1： Obtain the nodal equations.



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

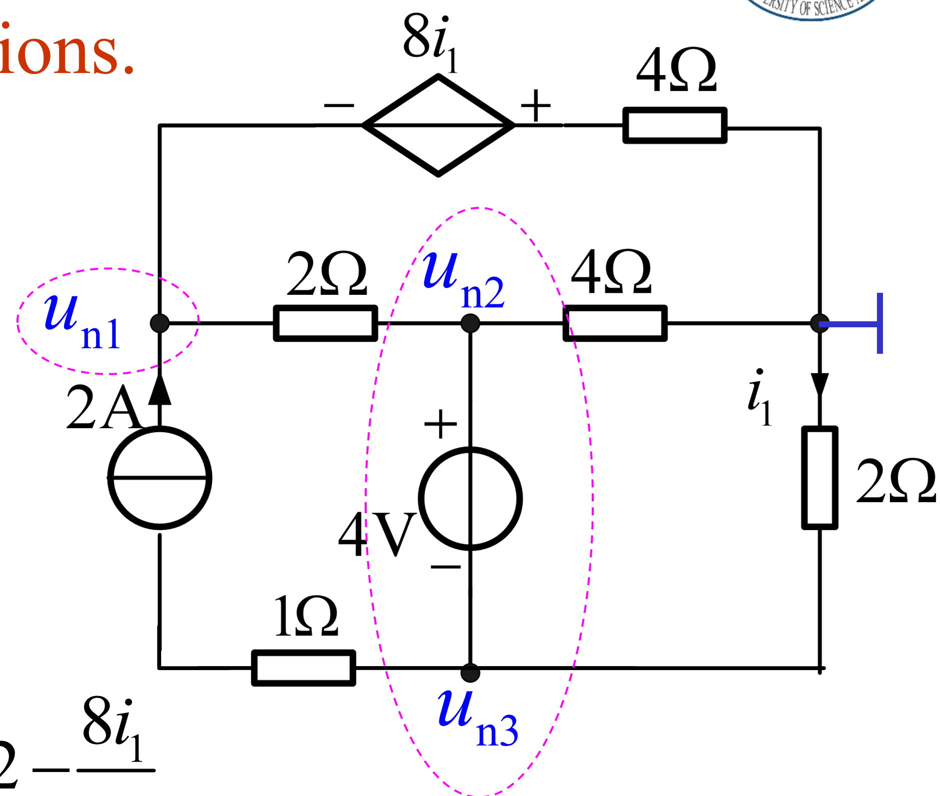
讨论 ——目标1：结点分析法应用

例2：Obtain the nodal equations.



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

例3：Obtain the nodal equations.



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

习题1-30

1）求i_2；

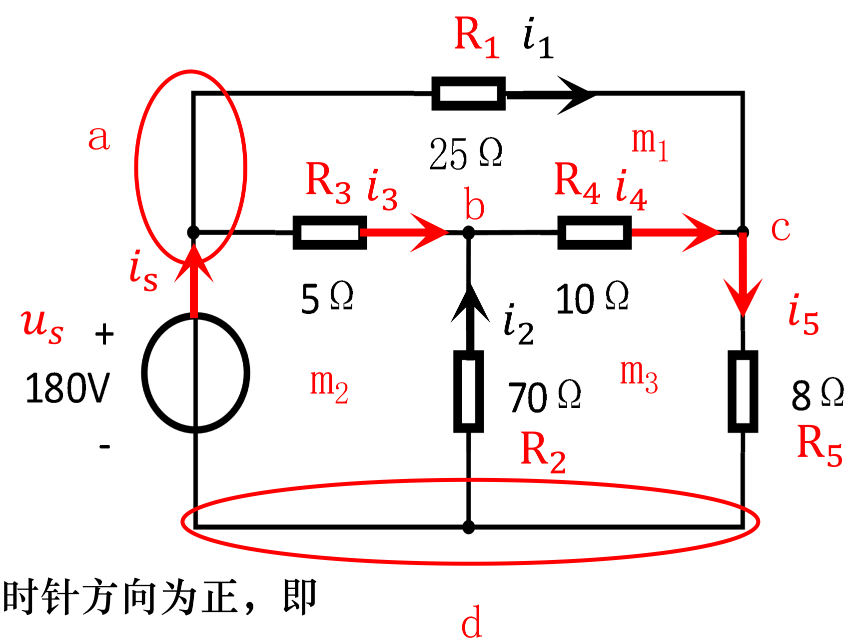
解：对图中各节点、元件及元件的电压

电流进行编号并注明方向，如图所示。

2)该电路b=6，n=4，m=b-n+1=3，因而可通过

列写3个独立kcl方程和3个KVL方程，同时应用欧姆定律，

求解六条支路的电流及各电阻两端电压。



对结点 a,b,c列写独立kcl方程，以电流流入结点为正，

即：$\begin{cases} i_s - i_1 - i_3 = 0 \\ i_2 + i_3 - i_4 = 0 \\ i_1 + i_4 - i_5 = 0 \end{cases}$

对三个网孔m1，m2，m3列写独立kVL方程，电压以网孔顺时针方向为正，即

$$\begin{cases} R_1 i_1 - R_4 i_4 - R_3 i_3 = 0 \\ R_3 i_3 - R_2 i_2 - u_s = 0 \\ R_2 i_2 + R_4 i_4 + R_5 i_5 = 0 \end{cases}$$

上述6个方程中，u_s和R_1~R_5已知，代入参数计算可得

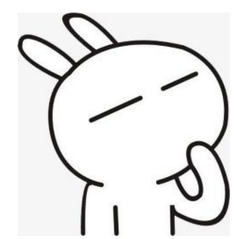
$i_1 = 4A, i_2 =- 2A, i_3 = 8A, i_4 = 6A, i_5 = 10A, i_s = 12A$

各支路的电压(方向与各自电流关联)均可用结点的电位差表示：

$$\begin{cases} u_1 = u_{ac} = u_{ad} - u_{cd} \\ u_2 = u_{db} =- u_{bd} \\ u_3 = u_{ab} = u_{ad} - u_{bd} \\ u_4 = u_{bc} = u_{bd} - u_{cd} \\ u_5 = u_{cd} \\ u_s = u_{ad} \end{cases}$$

3.1 结点分析法 Nodal analysis

- **节点分析法是以各节点的电位作为未知变量来列写方程(节点方程)。**
- **任选一个节点为基准节点(参考节点)，且电位恒取为零。其他节点的电位就是它们与基准节点之间的电压，称为节点电压。**
- **以(n–1)个独立节点的电压为变量列写(n–1)个独立KCL方程**
- **从节点方程求得节点电压以后，再求出各支路电压和电流。**

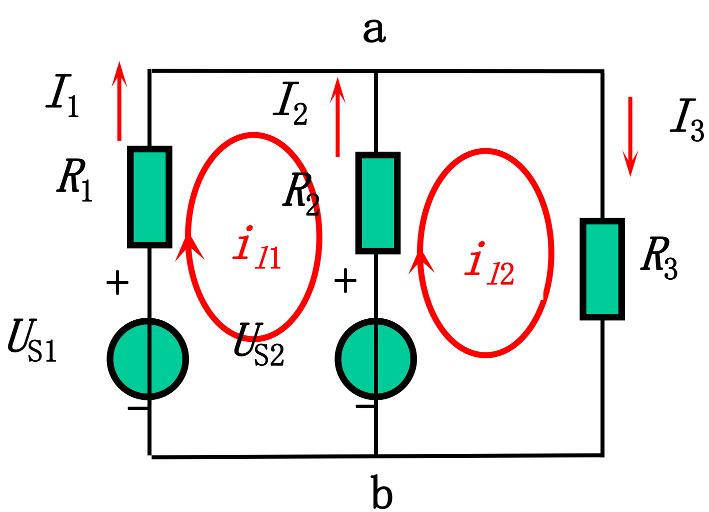


节点分析法：节点电位(变量)->支路电压—>节点KCL方程

?? 网孔 电流(变量)->支路电流—>网孔KVL方程

3.2 网孔分析法Mesh analysis

基本思想：以假想的网孔电流为未知量列写网孔的KVL方程。若网孔电流已求得，则各支路电流可用网孔电流线性组合表 示。



选图示的两个独立网孔， 设网孔电流分别为i_{l1}、 i_{l2}。

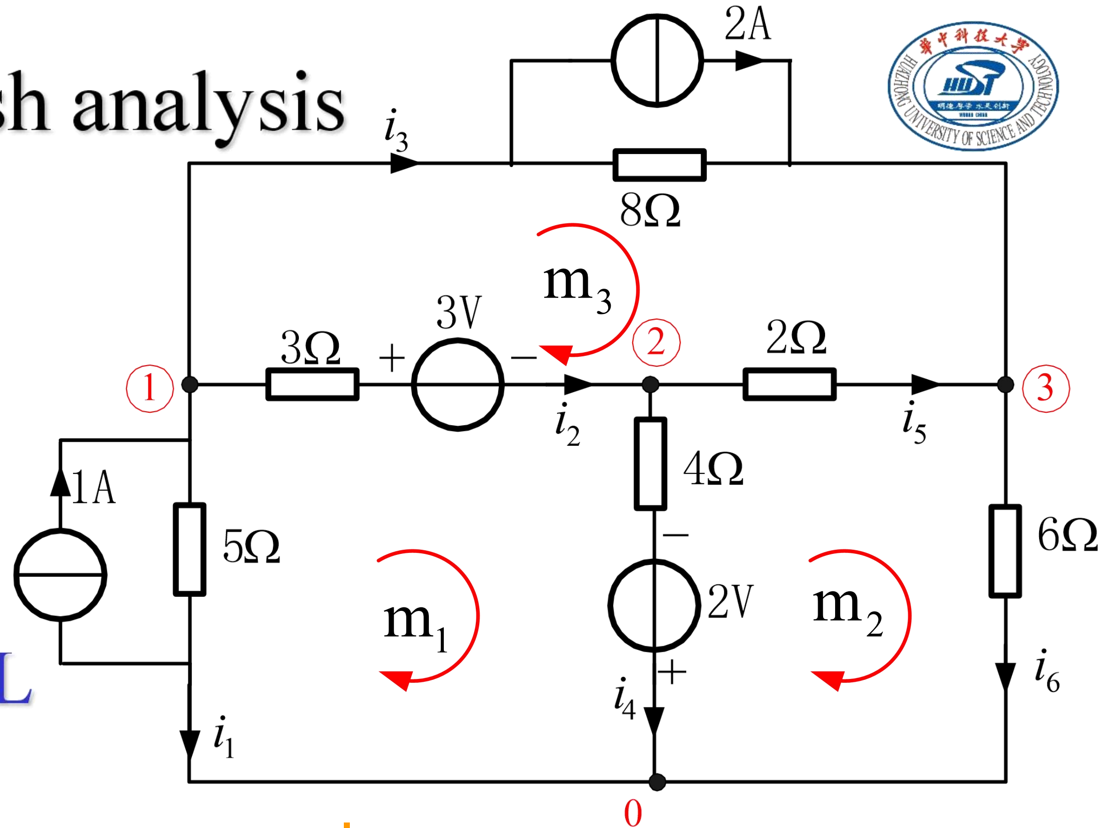
支路电流可由网孔电流表出

$I_1 = i_{l1}$　　$I_2 = i_{l2} - i_{l1}$　　$I_3 = i_{l2}$

网孔电流是在独立网孔中闭合的，对每个相关节点均流进一次，流出一次，所以**KCL自动满足**。若以网孔电流为未知量列方程来求解电路，只需对独立网孔列写KVL方程。

3.4 网孔分析法Mesh analysis

1.Mesh currents



$i_1 = -i_{m1}$　　$i_2 = i_{m1} - i_{m3}$

$i_3 = i_{m3}$　　$i_4 = i_{m1} - i_{m2}$

$i_5 = i_{m2} - i_{m3}$　　$i_6 = i_{m2}$

Results of applying KCL

2. Mesh equations

$$\begin{cases} 5(i_{m1}-1)+[3(i_{m1}-i_{m3})+3]+[4(i_{m1}-i_{m2})-2]=0 \\ [4(i_{m2}-i_{m1})+2]+2(i_{m2}-i_{m3})+6i_{m2}=0 \\ 8(i_{m3}-2)+2(i_{m3}-i_{m2})+[3(i_{m3}-i_{m1})-3]=0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_{11}i_{m1}+R_{12}i_{m2}+R_{13}i_{m3}=u_{sm1} \\ R_{21}i_{m1}+R_{22}i_{m2}+R_{23}i_{m3}=u_{sm2} \\ R_{31}i_{m1}+R_{32}i_{m2}+R_{33}i_{m3}=u_{sm3} \end{cases}$$

R_{kk} :自电阻 Self-resistance

R_{kj} :互电阻 Mutual-resistance

u_{smk} :网孔电压源 Mesh voltage source

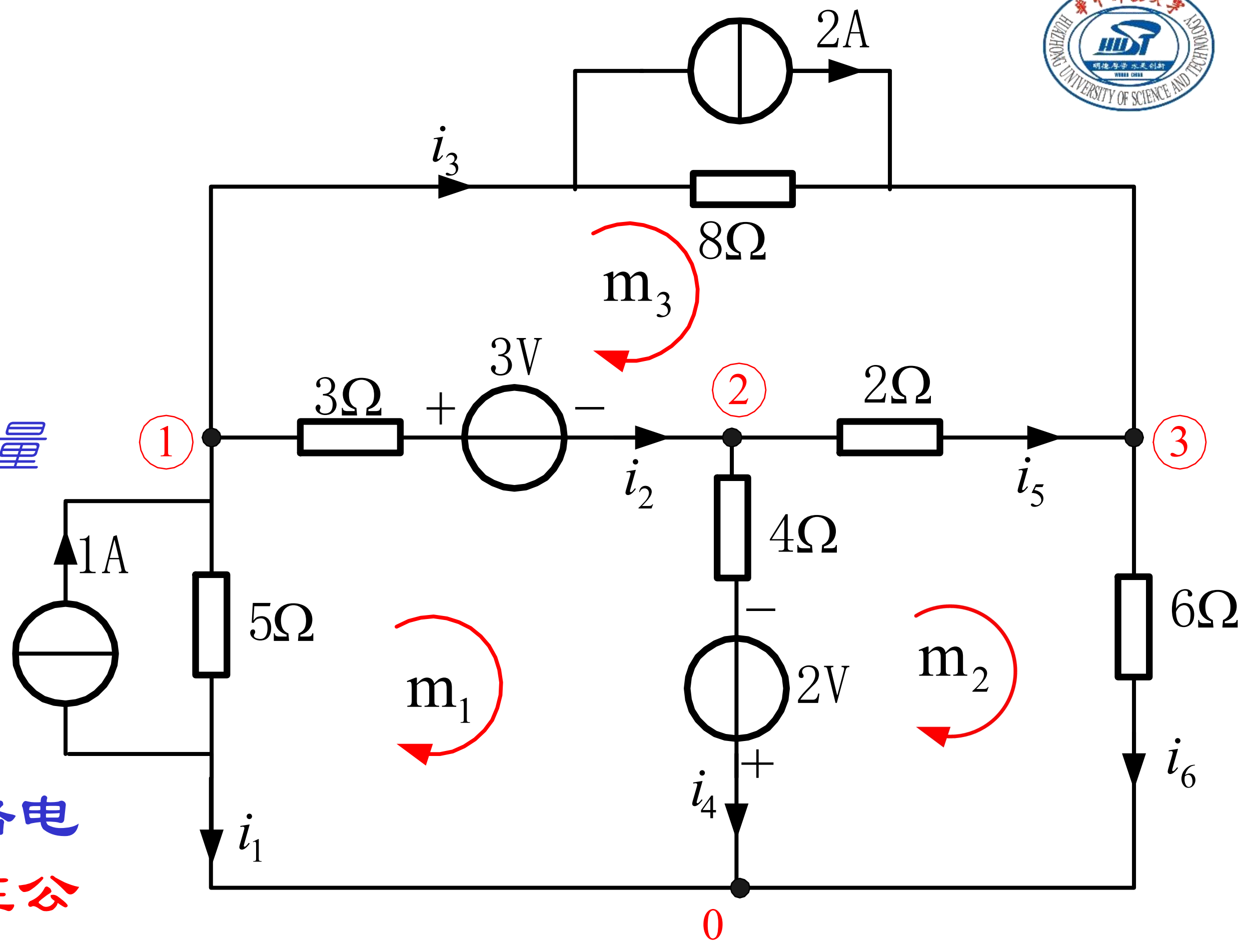
3. 快速列写法

$$R_m I_m = U_{sm}$$

R_m 网孔电阻矩阵

I_m 网孔电流列向量

U_{sm} *网孔等效电压源列向量*



R_{kk}：k网孔内各支路电阻之和（总为正）

R_{kj}：k、j网孔公共支路电阻之和（当网孔在公共支路方向相同时取正号；否则为负号）

u_{smk}：k网孔内各电压源代数和（与网孔绕向反为正）

$$\begin{cases} (5+3+4)i_{m1} - 4i_{m2} - 3i_{m3} = 5\times 1 - 3 + 2 \\ -4i_{m1} + (4+2+6)i_{m2} - 2i_{m3} = -2 \\ -3i_{m1} - 2i_{m2} + (8+2+3)i_{m3} = 2\times 8 + 3 \end{cases}$$

推广到有 l 个网孔仅含电阻、独立电压源的电路

$$R_{11}i_{l1}+R_{12}i_{l2}+\cdots+R_{1l}\,i_{ll}=u_{Sl1}$$

$$R_{21}i_{l1}+R_{22}i_{l2}+\cdots+R_{2l}\,i_{ll}=u_{Sl2}$$

$$\cdots$$

$$R_{l1}i_{l1}+R_{l2}i_{l2}+\cdots+R_{ll}\,i_{ll}=u_{Sll}$$

其中

R_{kk}: 第k个网孔的自电阻（为正），$k=1$，2，…，l

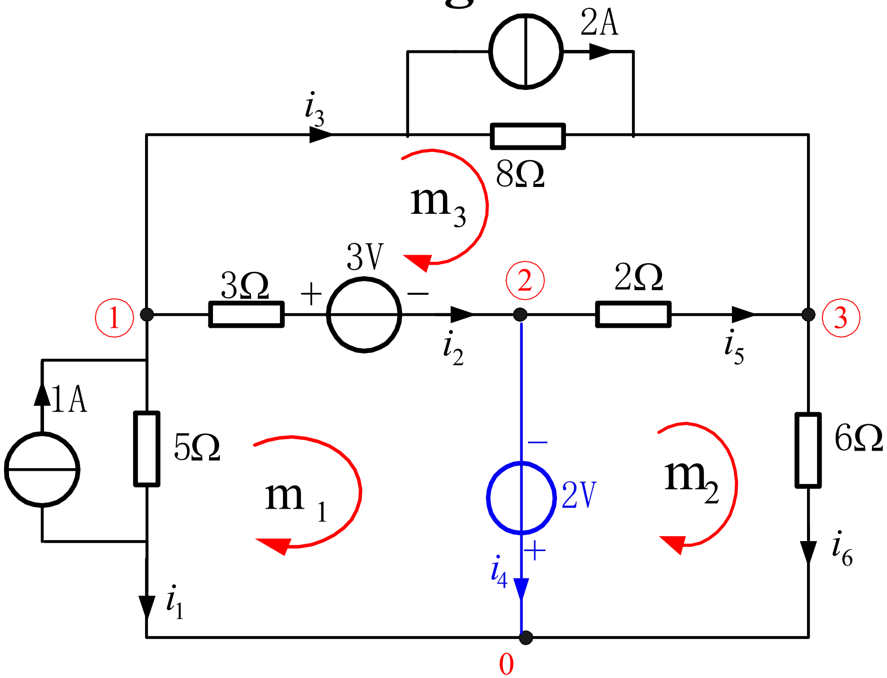
R_{jk}: 第j个网孔和第k个网孔的互电阻

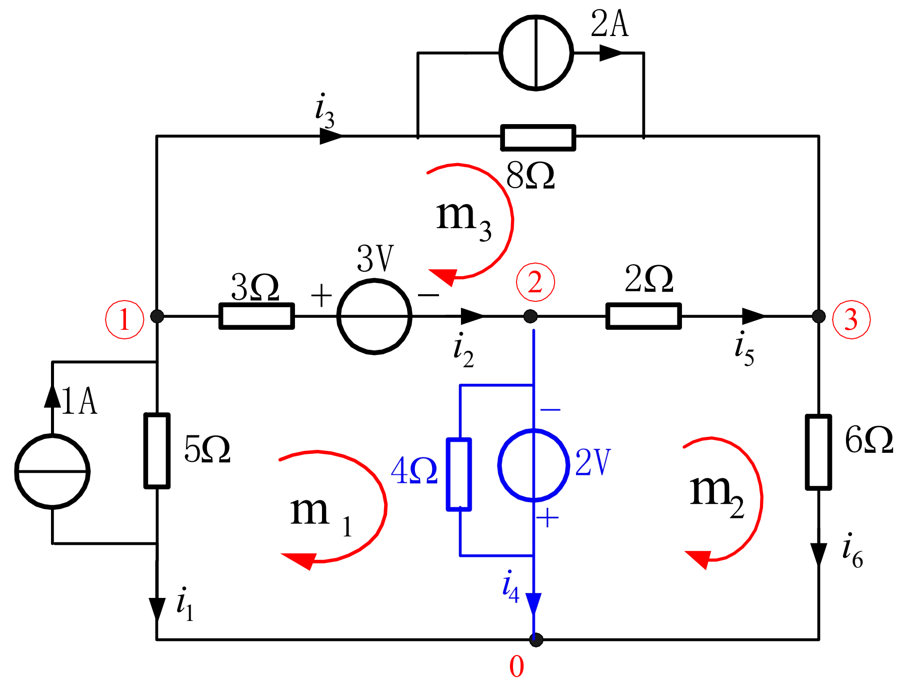
- $+$ ：流过互阻的两个网孔电流方向相同
- $-$ ：流过互阻的两个网孔电流方向相反
- 0 ：无关

u_{Slk}: 第k个网孔中所有电压源电压升的代数和。

4.Mesh analysis with source branches

a. With voltage source branch



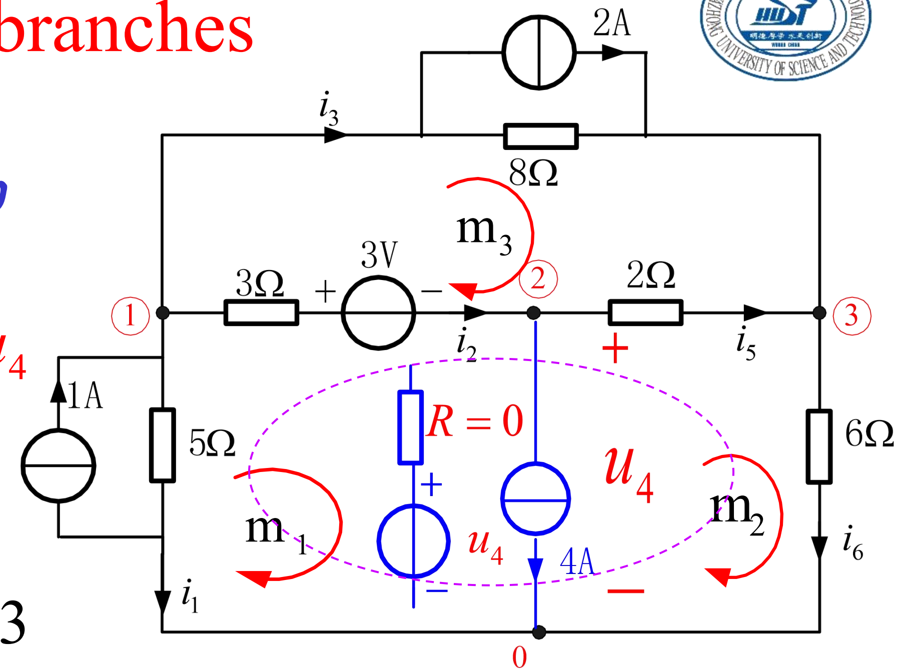


$$\begin{cases} (5+3)\ i_{m1} - 0i_{m2} - 3i_{m3} = 5\times1-3+2 \\ 0i_{m1} + (2+6)\ i_{m2} - 2i_{m3} = -2 \\ -3i_{m1} - 2i_{m2} + (8+2+3)i_{m3} = 2\times8+3 \end{cases}$$

电压源支路——视为电阻为零的戴维南支路

4.Mesh analysis with source branches

b. With current source branch



- 电流源支路——视为电阻为零的戴维南支路

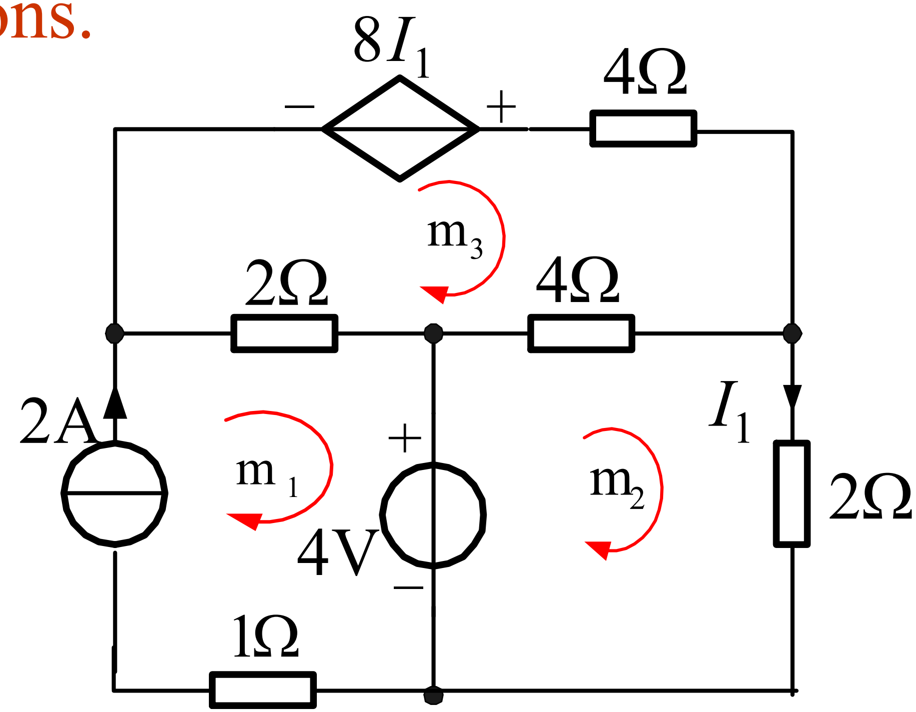
$$
\begin{cases}
(5+3)\ i_{m1} - 0i_{m2} - 3i_{m3} = 5\times 1 - 3 - u_4 \\
0i_{m1} + (2+6)\ i_{m2} - 2i_{m3} = u_4 \\
-3i_{m1} - 2i_{m2} + (8+2+3)i_{m3} = 2\times 8 + 3 \\
i_{\mathrm{m}1} - i_{\mathrm{m}2} = 4 \quad (4\text{个方程})
\end{cases}
$$

- 应用网孔的KVL——广义网孔（3个方程）

$$
\begin{cases}
(5+3)\ i_{m1} + (2+6)i_{m2} - (3+2)i_{m3} = 5\times 1 - 3 \\
-3i_{m1} - 2i_{m2} + (8+2+3)i_{m3} = 2\times 8 + 3 \\
i_{\mathrm{m}1} - i_{\mathrm{m}2} = 4
\end{cases}
$$

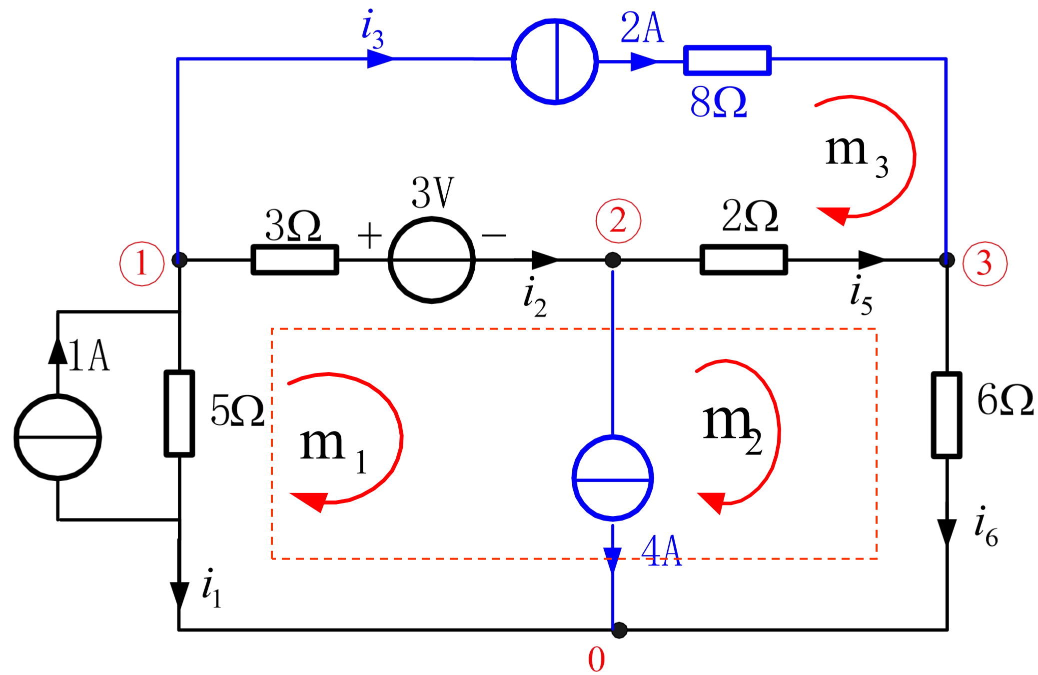
讨论 ——目标2：网孔分析法应用

例4：Obtain the mesh equations.



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

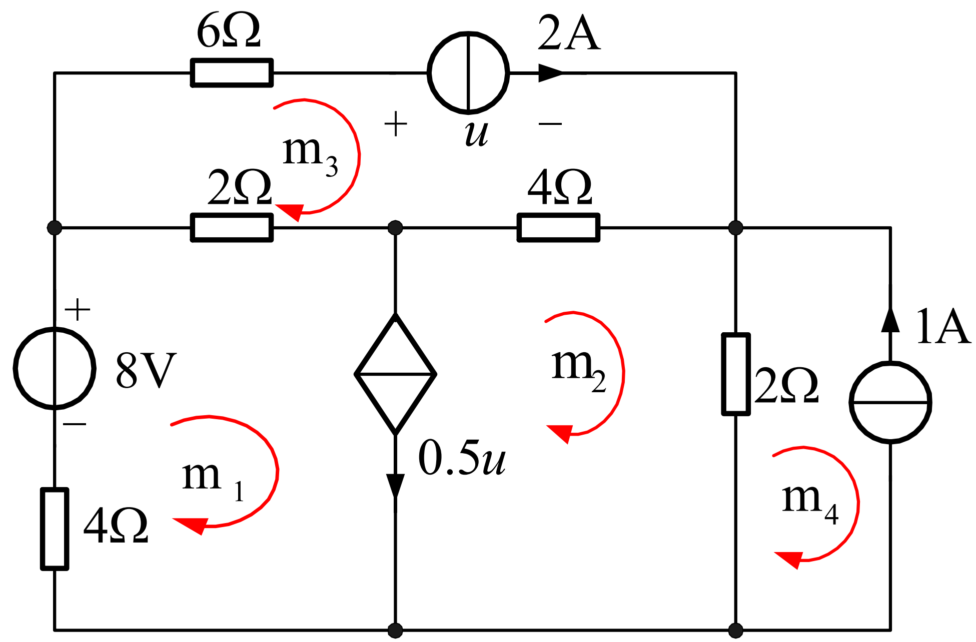
例4：Obtain the mesh equations.



网孔分析法：

$$
\begin{cases}
i_{m1} - i_{m2} = 4 \\
(5+3)\ i_{m1} + (2+6) i_{m2} - (3+2) i_{m3} = 5\times 1 - 3 \\
i_{m3} = 2
\end{cases}
$$

例5：Calculate the power of each source (include the VCCS).



网孔分析法：

$$\begin{cases} i_{m1} - i_{m2} = 0.5u \\ i_{m3} = 2 \\ i_{m4} = -1 \\ (4+2)\ i_{m1} + (4+2)i_{m2} - (2+4)i_{m3} - 2i_{m4} = 8 \\ -2i_{m1} - 4i_{m2} + (2+4+6)i_{m3} - 0i_{m4} = -u \end{cases}$$

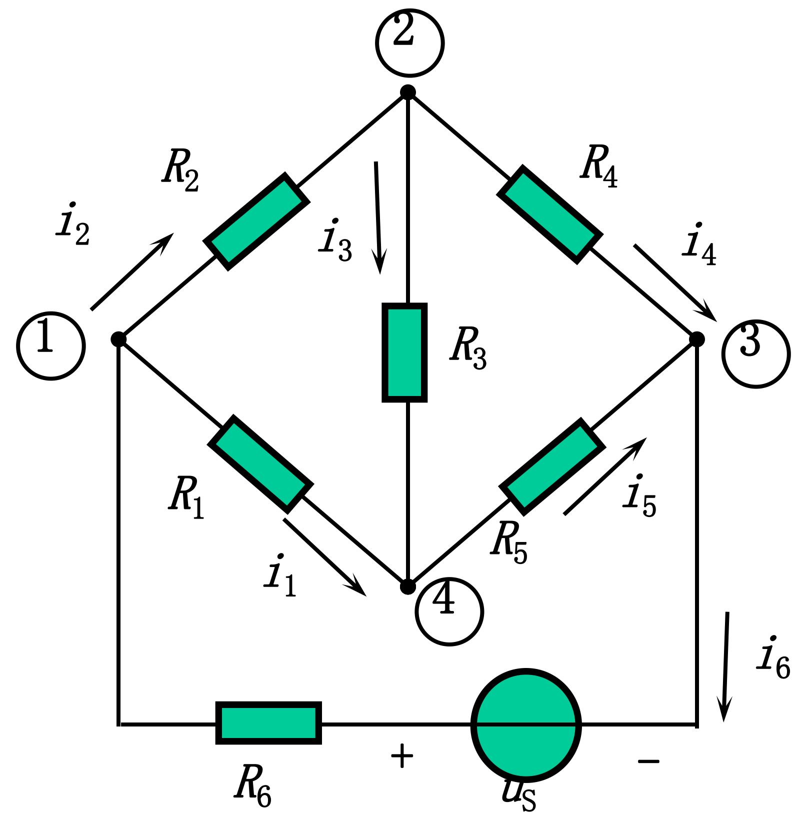
$$p_{8V} = 8i_{m1} \qquad p_{2A} = -ui_{m3} = -\left[2(i_{m1} - i_{m3}) + 4(i_{m2} - i_{m3})\right]i_{m3}$$

$$p_{0.5u} = -0.5u\left[4(i_{m2} - i_{m3}) + 2(i_{m2} - i_{m4})\right] \qquad p_{1A} = 1 \times 2(i_{m2} - i_{m4})$$

节点分析法与网孔分析法比较

✦ 问题的提出

求图示电路中支路电流i_1-i_6（各支路电压与电流采用关联参考方向）。



可用支路电流法求解电路（n-1个KCL方程，b-n+1个KVL方程，共b个方程）。

问题：

方程数相对较多（6个方程）

复杂电路难以手工计算

计算机的存储能力与计算能力要求高

有必要寻找减少列写方程数量的方法 。

节点分析法与网孔分析法比较

节点分析法

- 节点分析法是以各节点的电位作为未知变量来列写方程(节点方程)。
- 任选一个节点为基准节点(参考节点)，且电位恒取为零。其他节点的电位就是它们与基准节点之间的电压，称为节点电压。
- 以(n–1)个独立节点的电压为变量列写(n–1)个独立KCL方程
- 从节点方程求得节点电压以后，再求出各支路电压和电流。

网孔分析法

- 网孔分析法是以假想的各网孔的电流作为未知变量来列写方程(节点方程)。
- 以平面电路中的网孔为对象，假想各网孔环路电流(称为网孔电流)沿网孔流动，各支路电流用网孔电流表示。
- 以(b-n+1)个网孔的网孔电流为变量列写(b-n+1)个独立KVL方程
- 从网孔方程求得网孔电流以后，再求出各支路电压和电流。

$$\begin{cases} G_{11}u_{n1}+G_{12}u_{n2}+\ldots+G_{1n}u_{nn}=i_{Sn1} \\ G_{21}u_{n1}+G_{22}u_{n2}+\ldots+G_{2n}u_{nn}=i_{Sn2} \\ \cdots\ \cdots\ \cdots\ \cdots \\ G_{n1}u_{n1}+G_{n2}u_{n2}+\ldots+G_{nn}u_{nn}=i_{Snn} \end{cases}$$

$$\boxed{G_nU_n = I_{sn}}$$

注意：包含受控电源的电路，系数矩阵一般不再为对称阵

G_n 结点电导矩阵

U_n 节点电位列向量

I_{sn} 节点等效电流源列向量

G_{ii} 一自电导，等于接在节点i上所有支路的电导之和。

$G_{ij}=G_{ji}$一互电导，等于节点i 与节点j之间支路的电导之和负值。注意负号

I_{Sni} 一 等效电流源流入节点i的所有电流源电流的代数和

$$\begin{cases} R_{11}i_{l1}+R_{12}i_{l2}+\cdots+R_{1l}\ i_{l1}=u_{Sl1} \\ R_{21}i_{l1}+R_{22}i_{l2}+\cdots+R_{2l}\ i_{l1}=u_{Sl2} \\ \cdots \\ R_{l1}i_{l1}+R_{l2}i_{l2}+\cdots+R_{ll}\ i_{l1}=u_{Sll} \end{cases}$$

$$R_mI_m = U_{sm}$$

R_m 网孔电阻矩阵

I_m 网孔电流列向量

U_{sm} *网孔等效电压源列向量*

R_{ii} 一自电阻，等于i网孔内各支路电阻之和。

R_{ij} 一互电阻，网孔公共支路电阻之和负值。注意负号

U_{smi} 一等效电压源网孔内各电压源代数和，与网孔绕向相反时取正。

节点分析法与网孔分析法比较

节点法

特殊支路的处理：

1. 电流源支路：

先利用电流源串联元件时的等效变换，再将电流源支路视为并联电导为零的诺顿支路。

2. 电压源支路：

1）视为电导为零的诺顿支路；增加电压源支路的电流为新未知量。

2）将电压源支路利用广义结点列KCL方程。

网孔法

特殊支路的处理：

1. 电压源支路：

先利用电压源并联元件时的等效变换，再将压源支路视为串联电阻为零的戴维南支路。

2. 电流源支路：

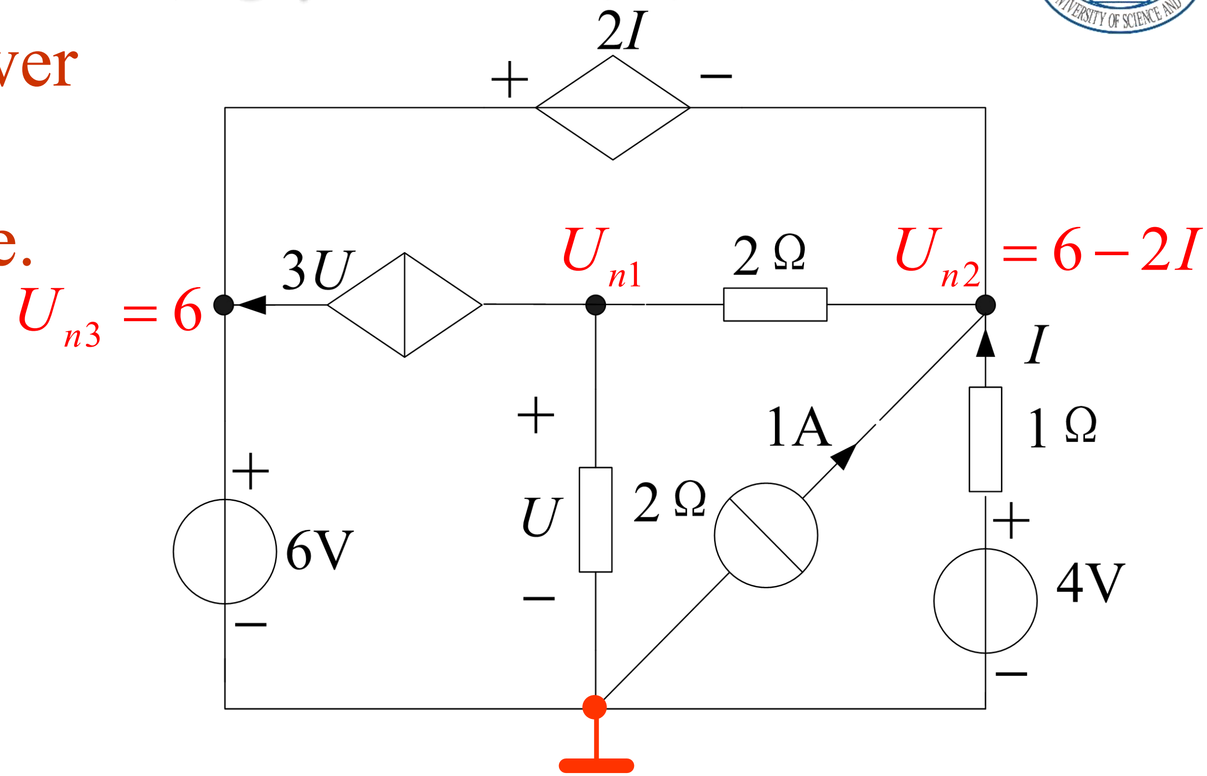
1）视为电阻为零的戴维南支路；增加电压源支路的电压为新未知量。

2）将包含电流源支路的网孔利用广义网孔列KVL方程。

注意：包含受控电源的电路，系数矩阵一般不再为对称阵

讨论 ——目标3：合理选择分析法

例6： Find the power supplies by each independent source.



Nodal analysis：

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\right)U_{n1}-\frac{1}{2}U_{n2}-0\cdot U_{n3}=-3U=-3U_{n1} \\ I=-\frac{U_{n2}-4}{1}=-\frac{6-2I-4}{1} \end{cases}$$

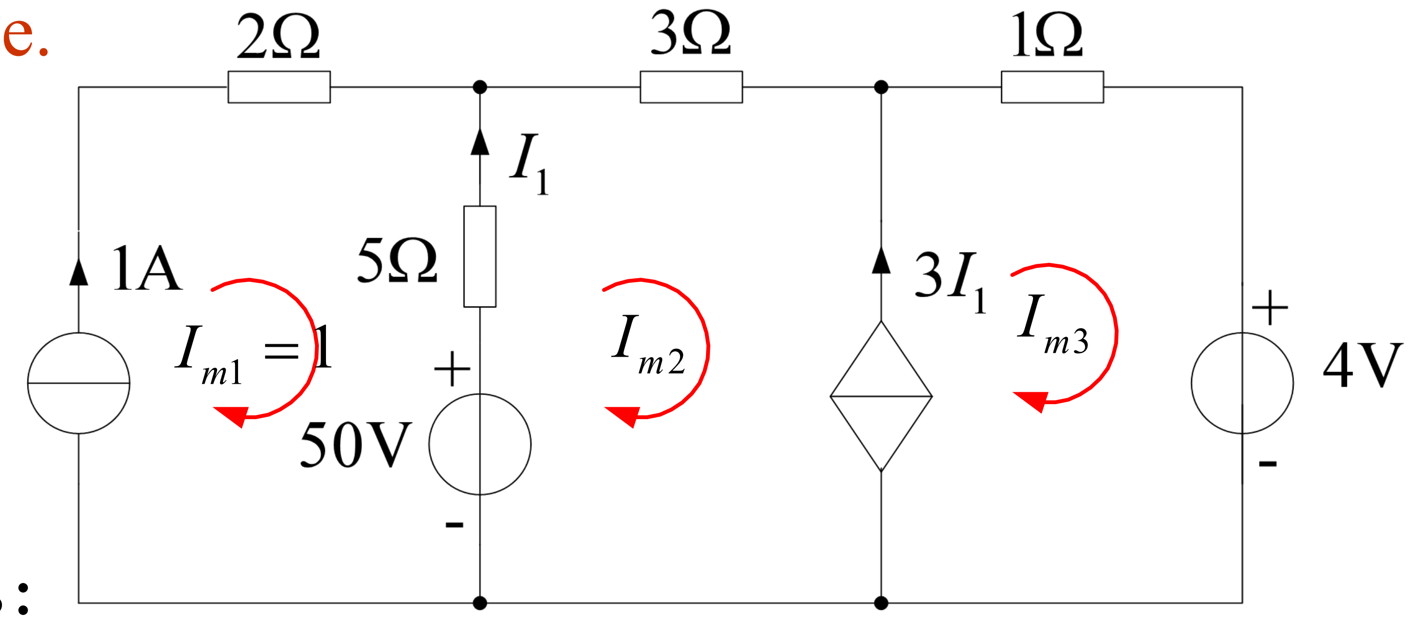
$$P_{6V}=6\times\left(\frac{U_{n1}}{2}-1-I\right)$$

$$P_{4V}=4\times I$$

$I=2\text{A}\qquad U_{n2}=2\text{V}\qquad U_{n1}=\frac{1}{4}\text{V}$

$$P_{1A}=1\times U_{n2}$$

例7：Find the current I_1 and the power supplies by the current source.



Mesh analysis：

$$\begin{cases}(3+5)I_{m2}+1\times I_{m3}-5I_{m1}=50-4\\ I_{m3}-I_{m2}=3I_1\\ I_{m2}-I_{m1}=I_1\end{cases}$$

$$I_1=3.5$$
$$I_{m2}=4.5$$
$$I_{m3}=15$$

$$P_{1A}=1\times(2\times1-5I_1+50)\qquad P_{50V}=50I_1\qquad P_{4V}=-4I_{m3}$$

节点法、网孔法的比较

（1） 方程数的比较

节点法：n-1

网孔法：b-n+1

选取方程数较少的方法

（2）对于非平面电路，网孔法不适用，选独立节点较容易。

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

作 业

- 3.3节：3-7，3-11，3-14
- 3.4节：3-28，3-30
- 综合：3-38，3-40