

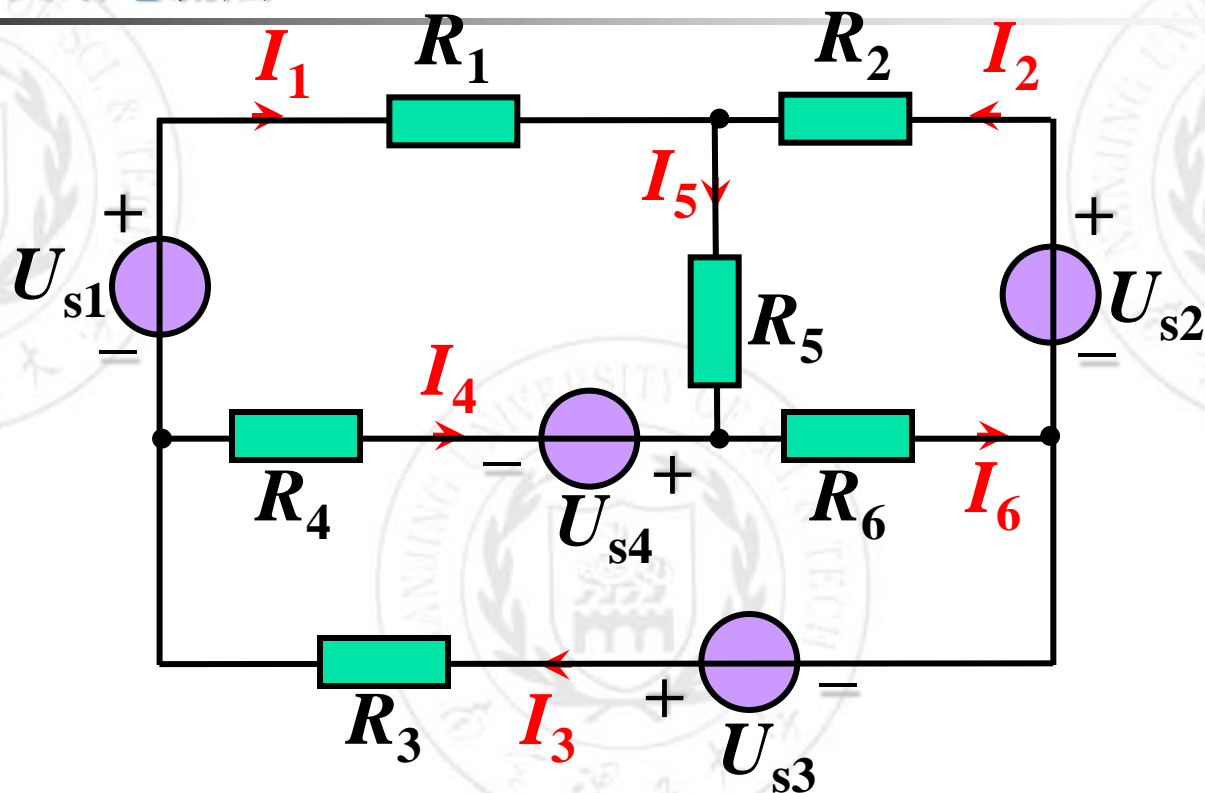
目 录

3.1 支路电流法

3.2 网孔电流法和回路电流法

3.3 节点电压法

3.1 支路电流法



■ **第1步：**选定各支路电流参考方向，各节点KCL方程如下：

节点 1: $I_1 - I_3 + I_4 = 0$

节点 2: $-I_1 - I_2 + I_5 = 0$

节点 3: $I_2 + I_3 - I_6 = 0$

节点 4: $-I_4 - I_5 + I_6 = 0$

3.1 支路电流法

$$1: I_1 - I_3 + I_4 = 0$$

$$2: -I_1 - I_2 + I_5 = 0$$

$$3: I_2 + I_3 - I_6 = 0$$

$$4: -I_4 - I_5 + I_6 = 0$$

可见：上述四个节点的KCL方程不是相互独立的

若选图中所示电路中的节点4为参考节点，则节点1、2、3为独立节点，其对应的KCL方程必将独立，

即：

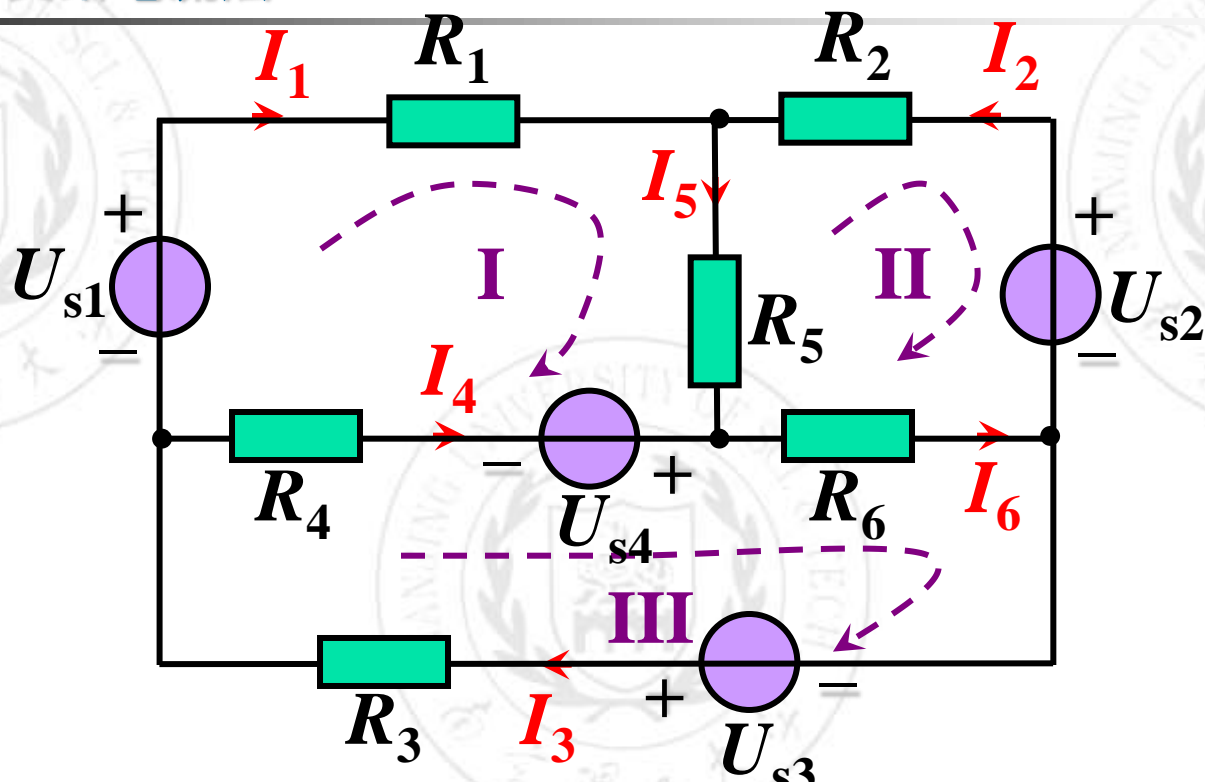
$$1: I_1 - I_3 + I_4 = 0$$

$$2: -I_1 - I_2 + I_5 = 0$$

$$3: I_2 + I_3 - I_6 = 0$$

第2步：对 $(n-1)$ 个独立节点列KCL方程

3.1 支路电流法

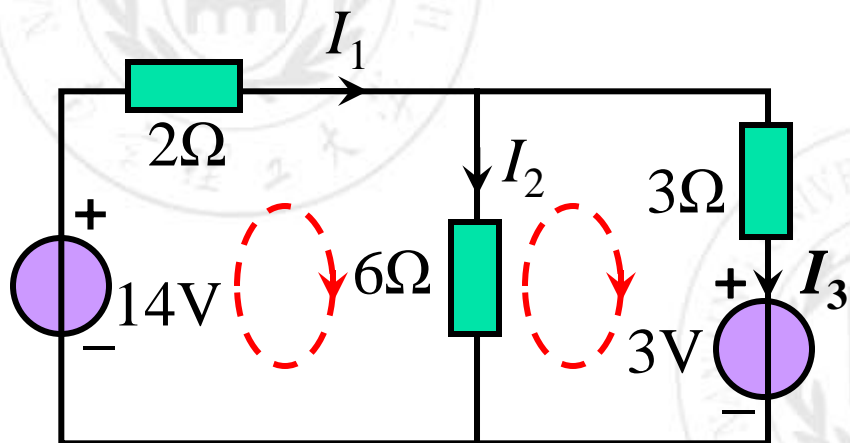


■ 第3步：对 $b-(n-1)$ 个独立回路列关于支路电流的KVL方程

■ 第4步：求解

3.1 支路电流法

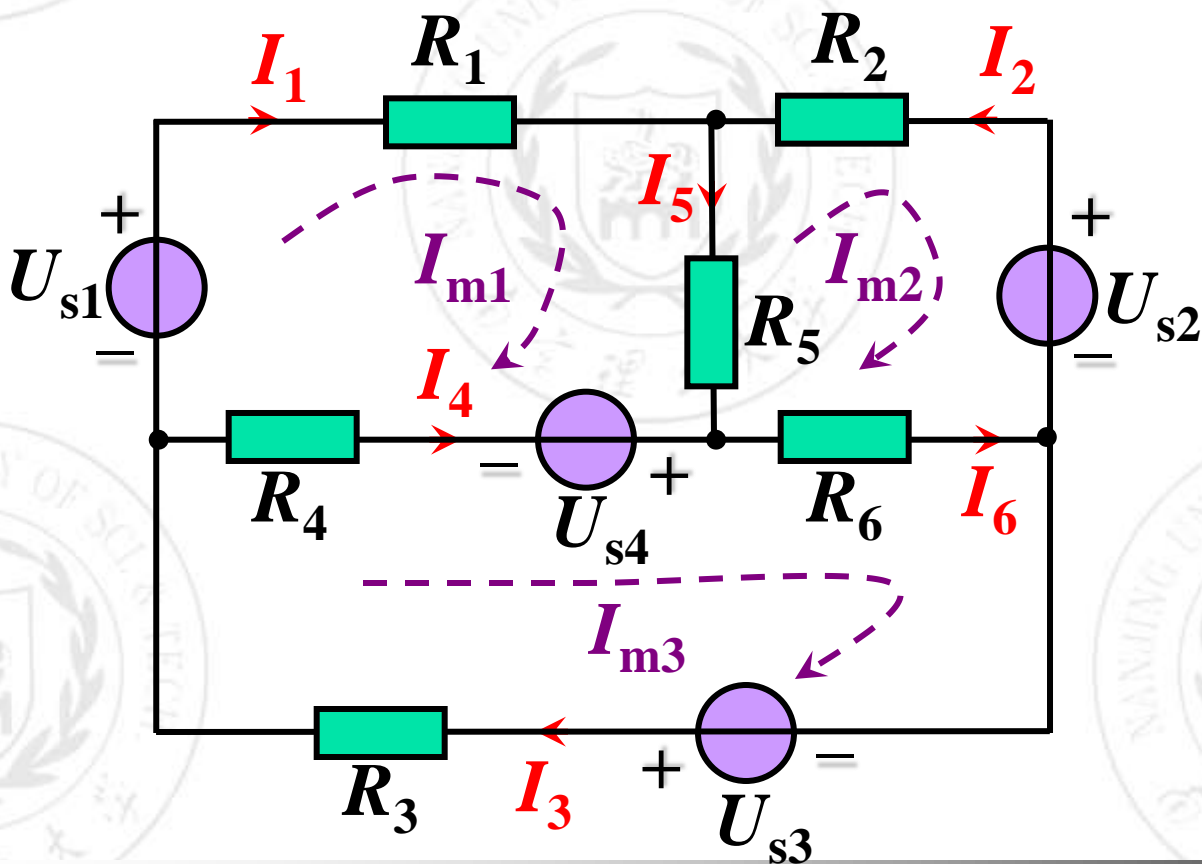
例：用支路电流法求电路中各支路电流。



3.2 网孔电流法和回路电流法

■ 网孔电流法

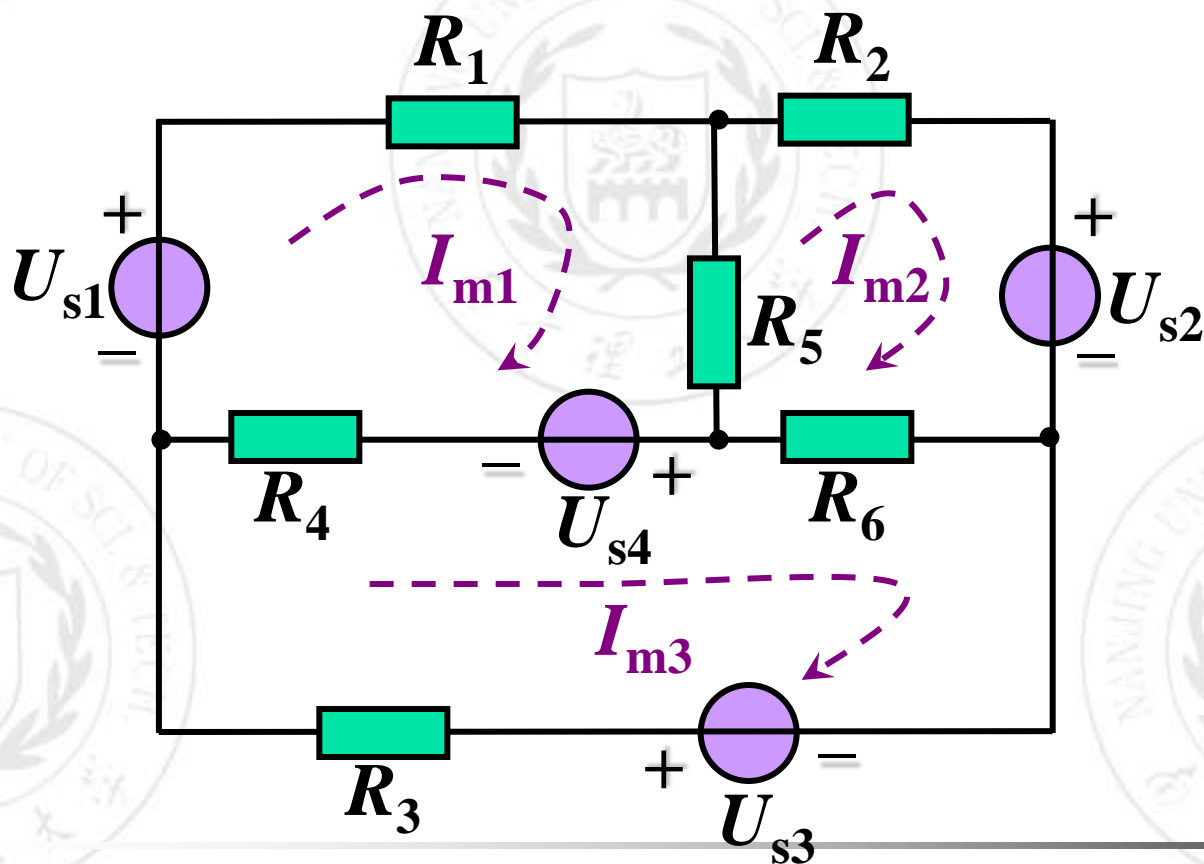
■ **网孔电流：**是假想沿着电路中网孔边界流动的电流，
如图中所示闭合虚线电流 I_{m1} 、 I_{m2} 、 I_{m3}



3.2 网孔电流法和回路电流法

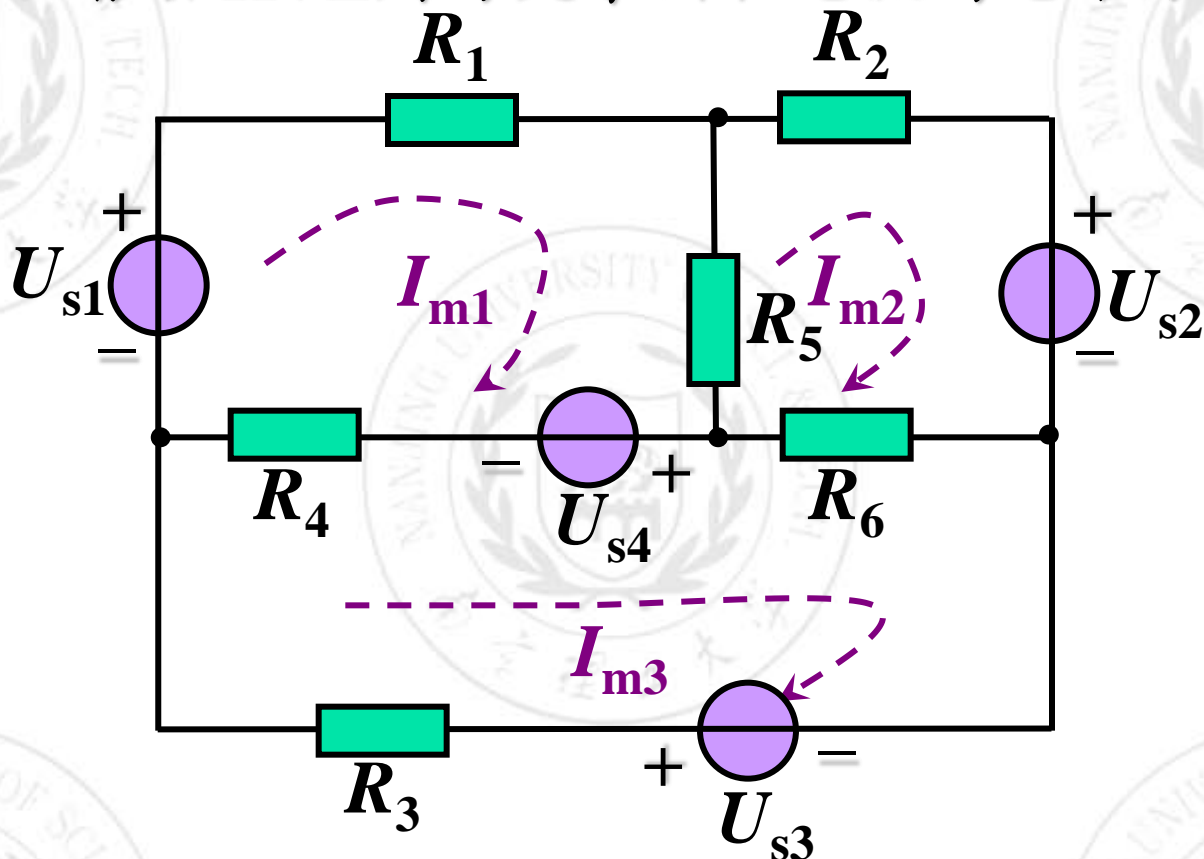
基本步骤

- **第1步：** 指定网孔电流的参考方向，并以此作为列写KVL方程的回路绕行方向



3.2 网孔电流法和回路电流法

第2步：根据KVL列写关于网孔电流的电路方程



$$\begin{cases} R_1 I_{m1} + R_5 (I_{m1} - I_{m2}) + U_{s4} + R_4 (I_{m1} - I_{m3}) - U_{s1} = 0 \\ R_2 I_{m2} + U_{s2} + R_6 (I_{m2} - I_{m3}) + R_5 (I_{m2} - I_{m1}) = 0 \\ R_4 (I_{m3} - I_{m1}) - U_{s4} + R_6 (I_{m3} - I_{m2}) - U_{s3} + R_3 I_{m3} = 0 \end{cases}$$

3.2 网孔电流法和回路电流法

$$\begin{cases} R_1 I_{m1} + R_5 (I_{m1} - I_{m2}) + U_{s4} + R_4 (I_{m1} - I_{m3}) - U_{s1} = 0 \\ R_2 I_{m2} + U_{s2} + R_6 (I_{m2} - I_{m3}) + R_5 (I_{m2} - I_{m1}) = 0 \\ R_4 (I_{m3} - I_{m1}) - U_{s4} + R_6 (I_{m3} - I_{m2}) - U_{s3} + R_3 I_{m3} = 0 \end{cases}$$



$$\begin{cases} (R_1 + R_4 + R_5) I_{m1} - R_5 I_{m2} - R_4 I_{m3} = U_{s1} - U_{s4} \\ -R_5 I_{m1} + (R_2 + R_5 + R_6) I_{m2} - R_6 I_{m3} = -U_{s2} \\ -R_4 I_{m1} - R_6 I_{m2} + (R_3 + R_4 + R_6) I_{m3} = U_{s3} + U_{s4} \end{cases}$$



$$\begin{bmatrix} R_1 + R_4 + R_5 & -R_5 & -R_4 \\ -R_5 & R_2 + R_5 + R_6 & -R_6 \\ -R_4 & -R_6 & R_3 + R_4 + R_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{s1} - U_{s4} \\ -U_{s2} \\ U_{s3} + U_{s4} \end{bmatrix}$$

3.2 网孔电流法和回路电流法

R_{kk} ——第 k 个网孔的自电阻，值恒正

R_{kj} —— k 网孔和 j 网孔公共支路上的互电阻（可正可负）

U_{Skk} —— k 网孔内所有电压源电位升的代数和

网孔电流列向量

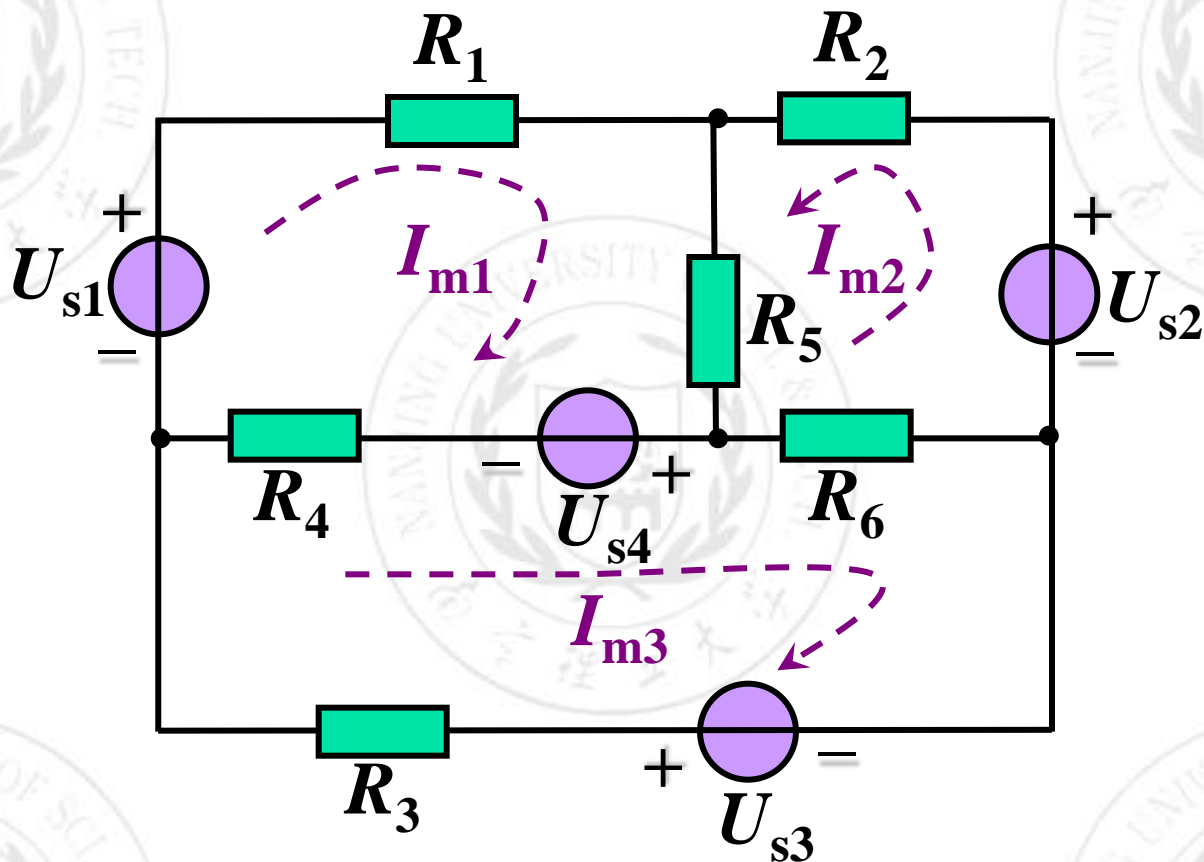
网孔电阻矩阵

网孔电压源列向量

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_4 + R_5 & -R_5 & -R_4 \\ -R_5 & R_2 + R_5 + R_6 & -R_6 \\ -R_4 & -R_6 & R_3 + R_4 + R_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_{m3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{s1} - U_{s4} \\ -U_{s2} \\ U_{s3} + U_{s4} \end{bmatrix}$$

3.2 网孔电流法和回路电流法

● 思考：若 I_{m2} 改成逆时针方向，电路方程需要改变吗？



■ 电路中仅含电压源的网孔法

✚ 第1步：选取各网孔电流绕行方向

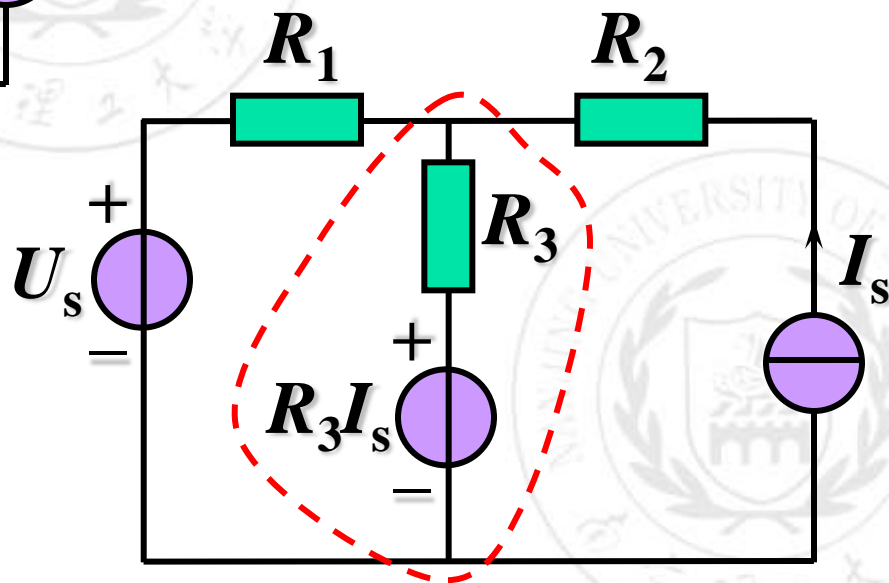
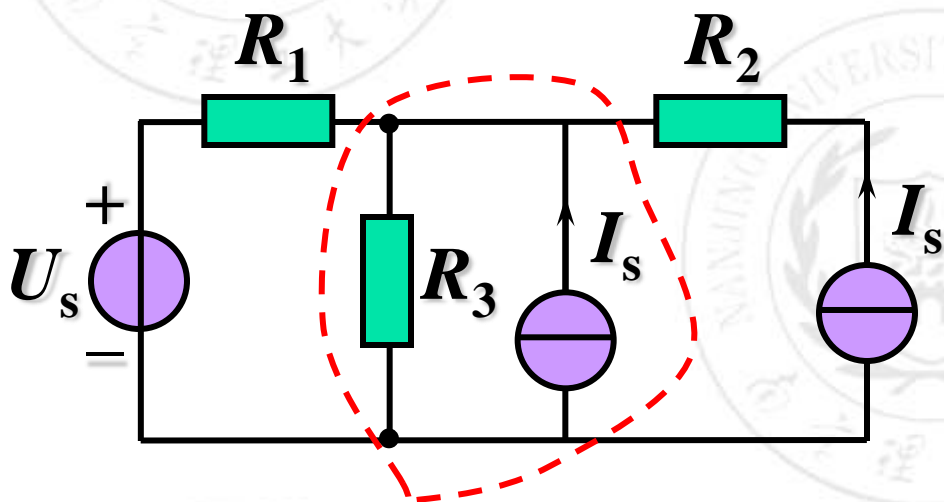
✚ 第2步：利用直接观察法形成方程

✚ 第3步：求解

3.2 网孔电流法和回路电流法

■ 电路中含电流源的网孔法

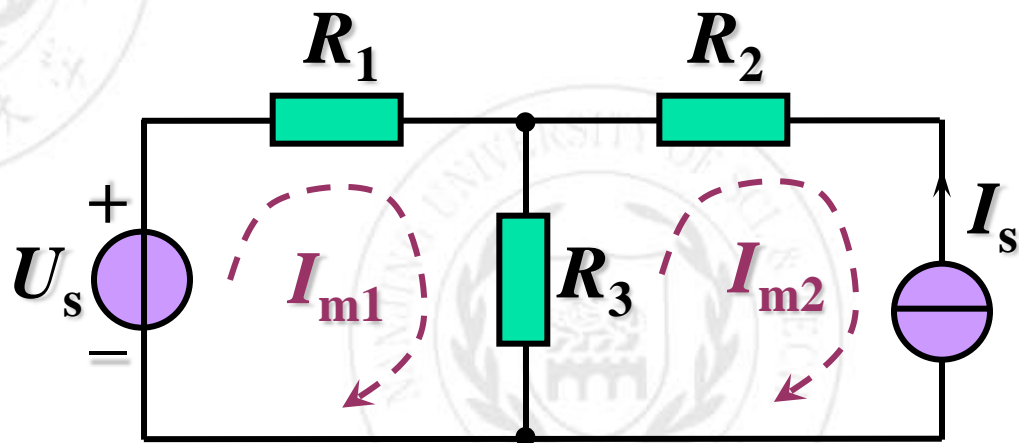
■ 第1类情况：含实际电流源：作一次等效变换



3.2 网孔电流法和回路电流法

第2类情况：含理想电流源支路

理想电流源位于边沿支路



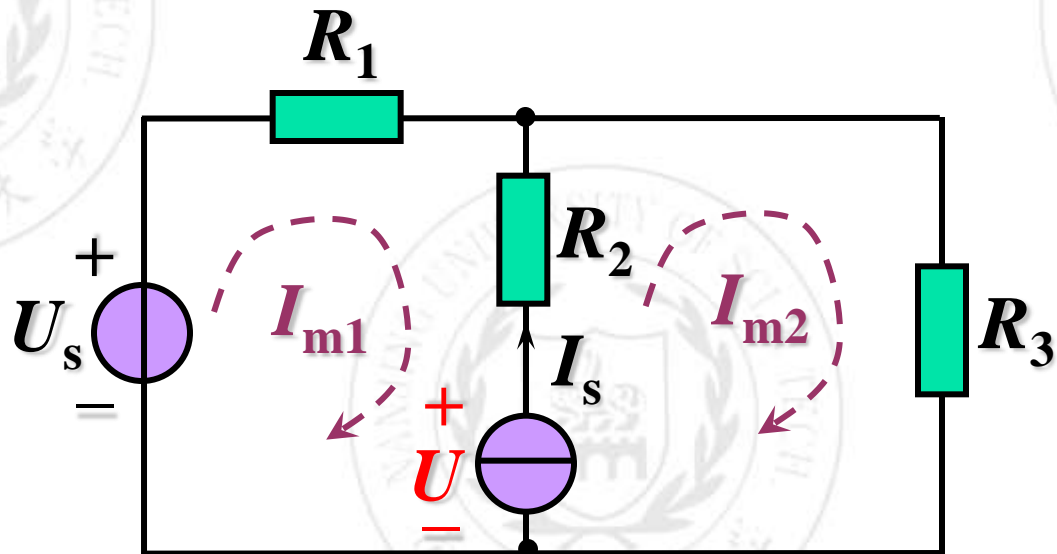
a: 选取网孔电流绕行方向，其中含理想电流源支路的网孔电流为已知量： $I_{m2} = -I_s$

b: 对不含有电流源支路的网孔根据直接观察法列方程：

c: 求解

3.2 网孔电流法和回路电流法

理想电流源位于公共支路



a: 选取网孔电流绕行方向，虚设电流源电压 U

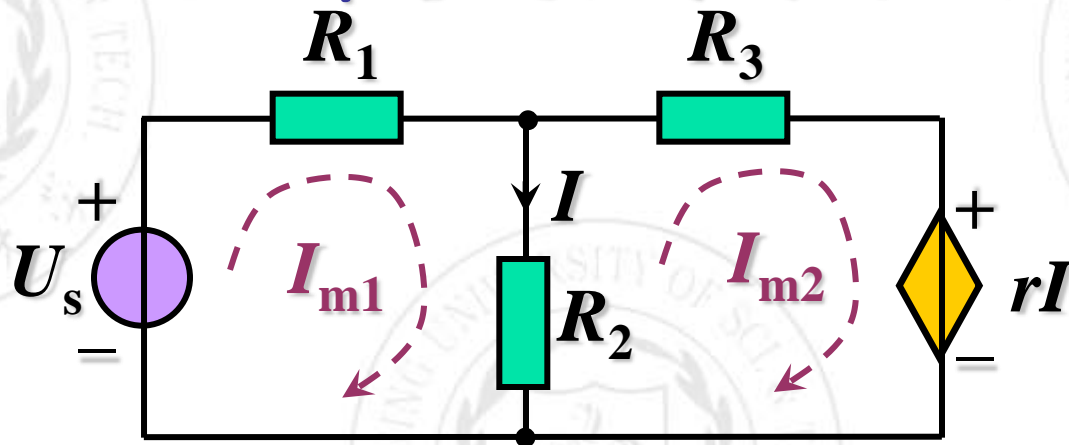
b: 根据直接观察法列方程：

c: 添加约束方程：

d: 求解

3.2 网孔电流法和回路电流法

■ 电路中含受控源的网孔法



✚ a: 选取网孔电流绕行方向

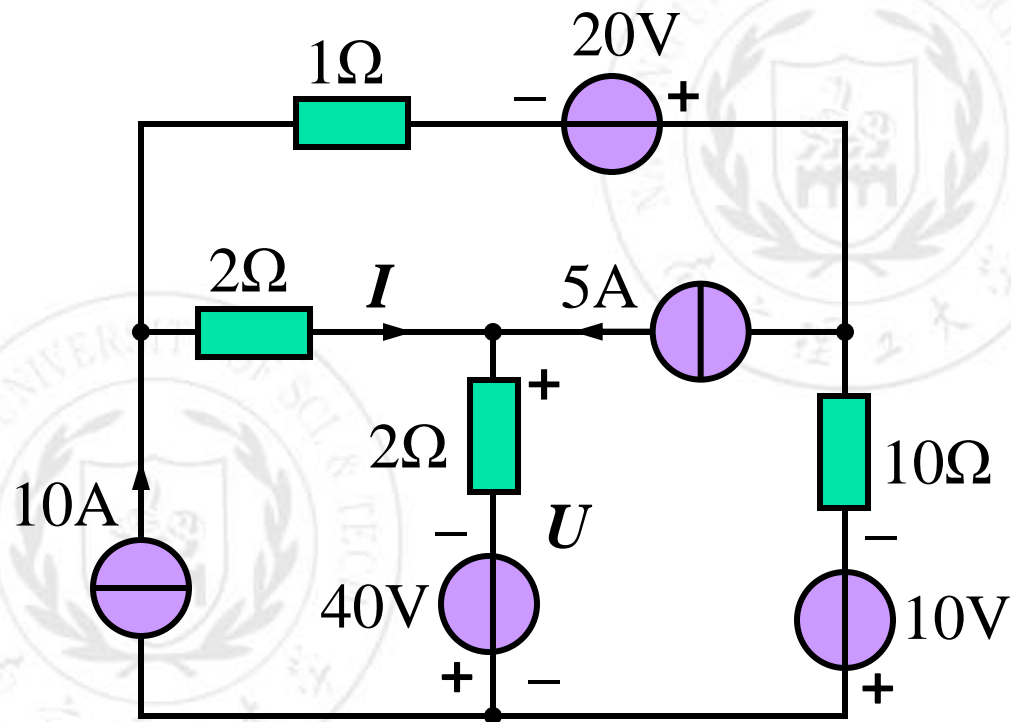
✚ b: 先将受控源作独立电源处理，利用直接观察法列方程：

✚ c: 再将控制量用未知量表示：

✚ d: 整理求解：

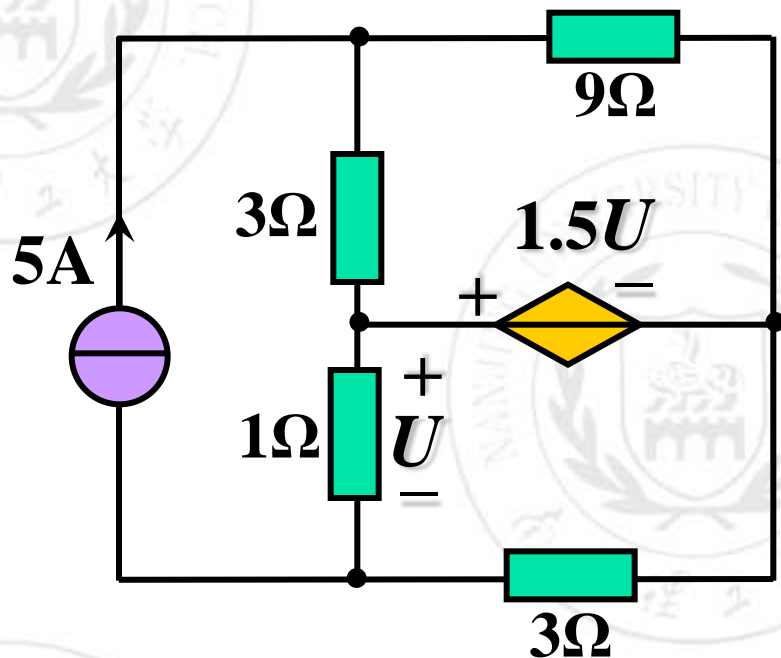
3.2 网孔电流法和回路电流法

**例：用网孔分析法求
电流 I 和电压 U 。**



3.2 网孔电流法和回路电流法

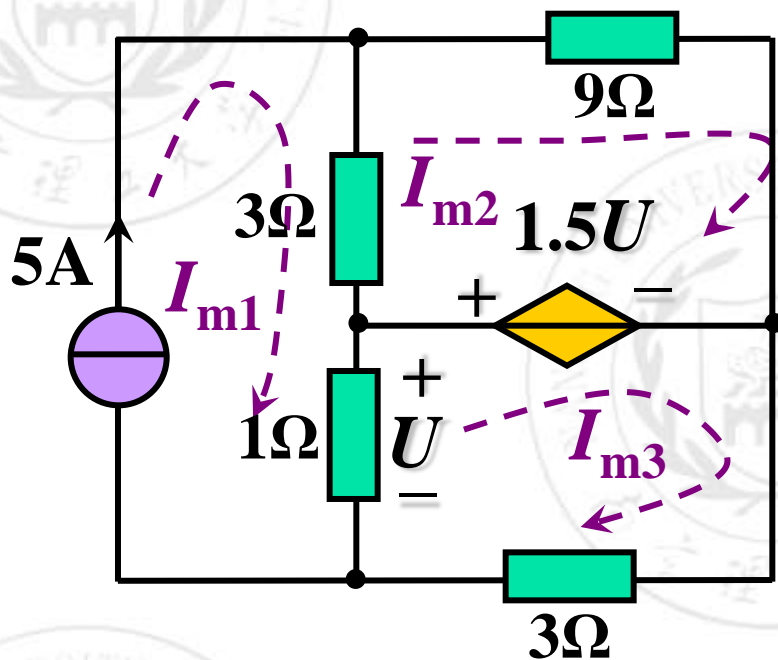
例：求受控电压源发出的功率



电桥平衡只是相对于
无源电路而言。

3.2 网孔电流法和回路电流法

例：求受控电压源发出的功率

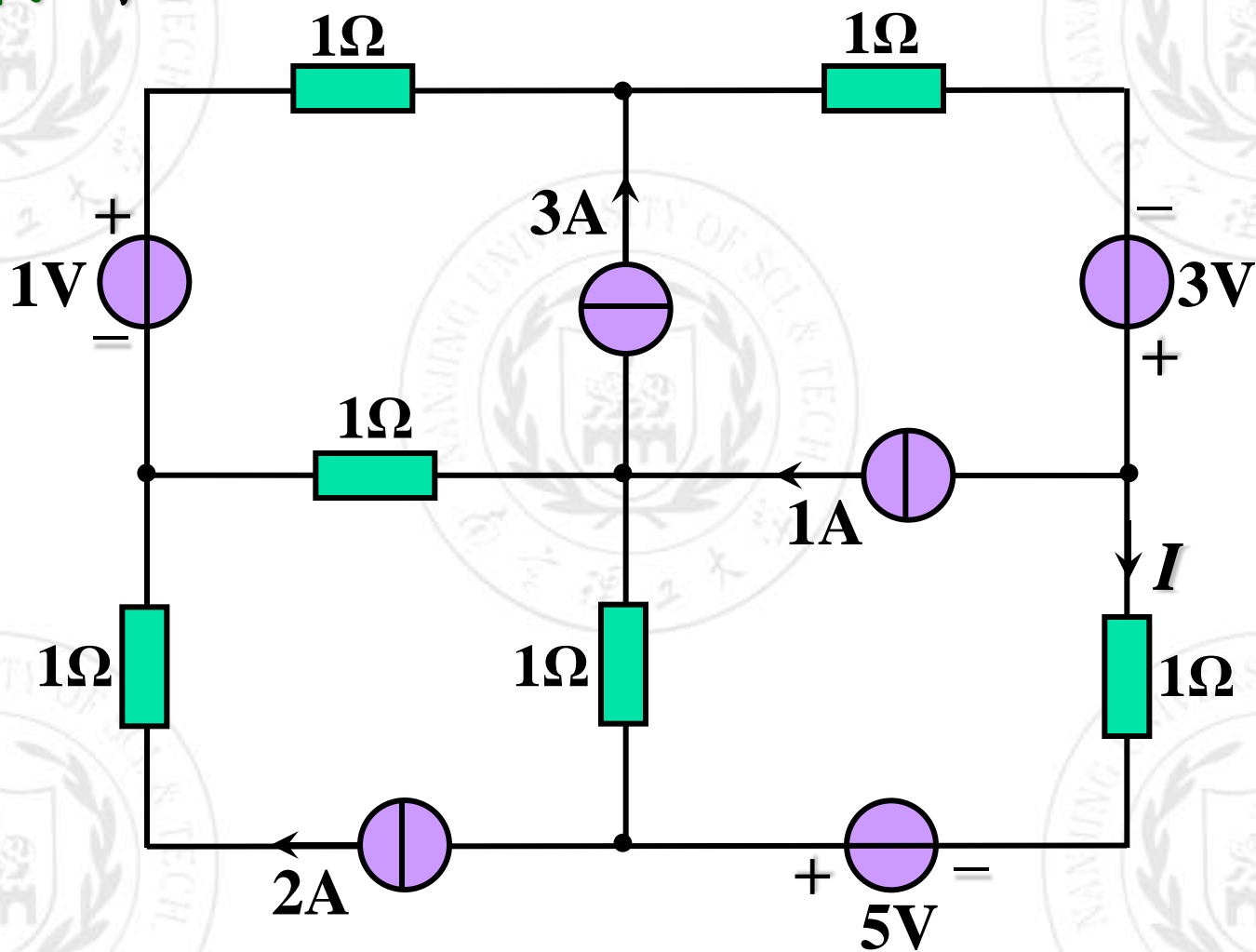


■ 回路电流法

- 适用于含多个理想电流源支路的电路.
- 回路电流是在一个回路中连续流动的假想电流.
- 一个具有 b 条支路和 n 个节点的电路, 其独立回路数为 $(b-n+1)$.
- 以回路电流作为电路独立变量进行电路分析的方法称为回路电流法.

3.2 网孔电流法和回路电流法

例：求 I



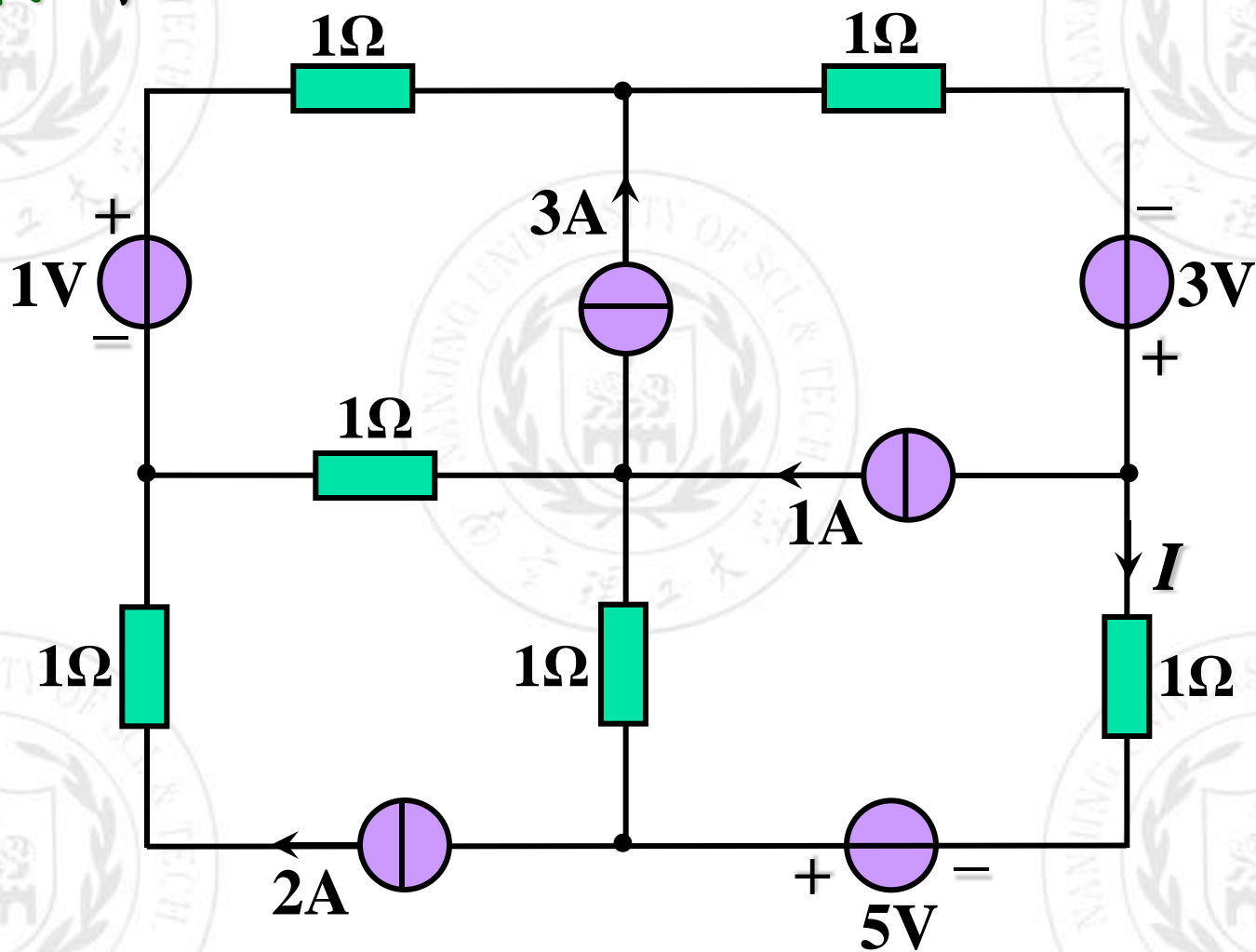
3.2 网孔电流法和回路电流法

解：

a: 适当选取回路，使独立电流源支路只有一个回路
电流流过：

3.2 网孔电流法和回路电流法

例：求 I



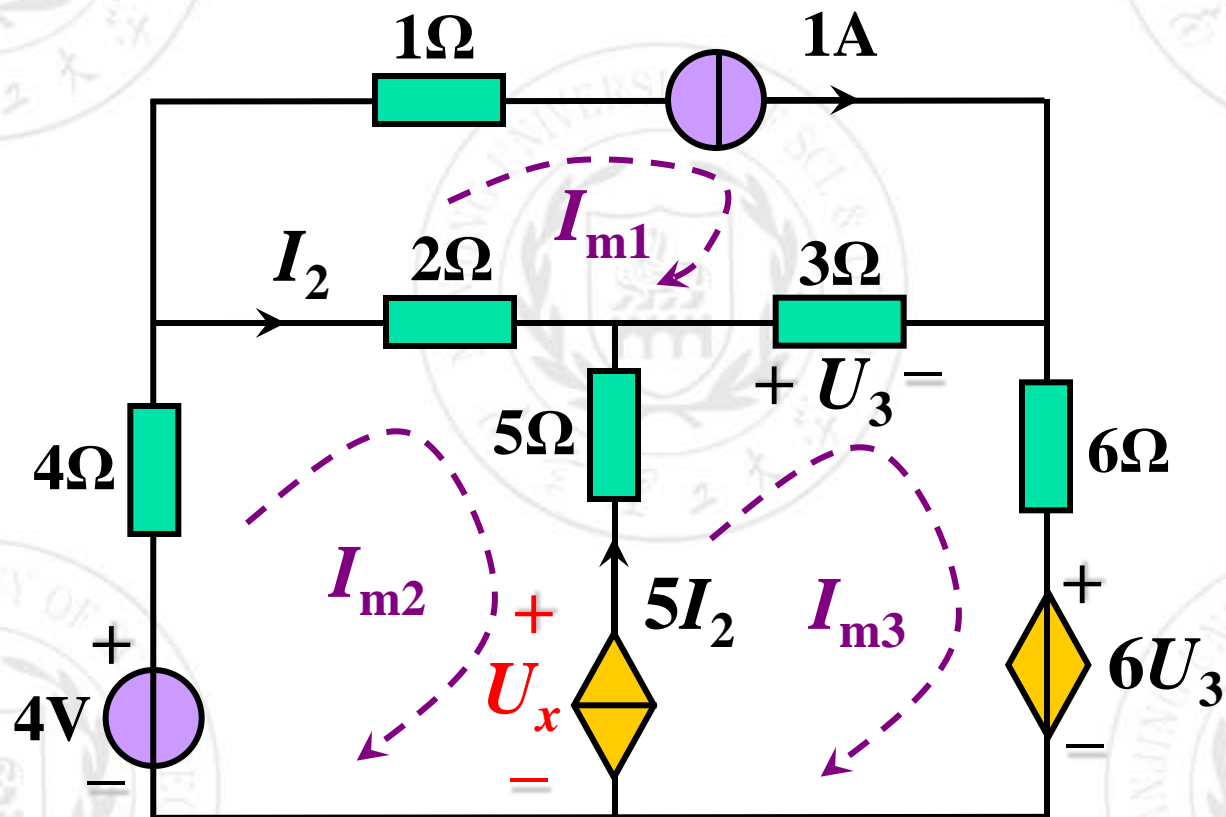
3.2 网孔电流法和回路电流法

解：

a: 适当选取回路，使独立电流源支路只有一个回路
电流流过：

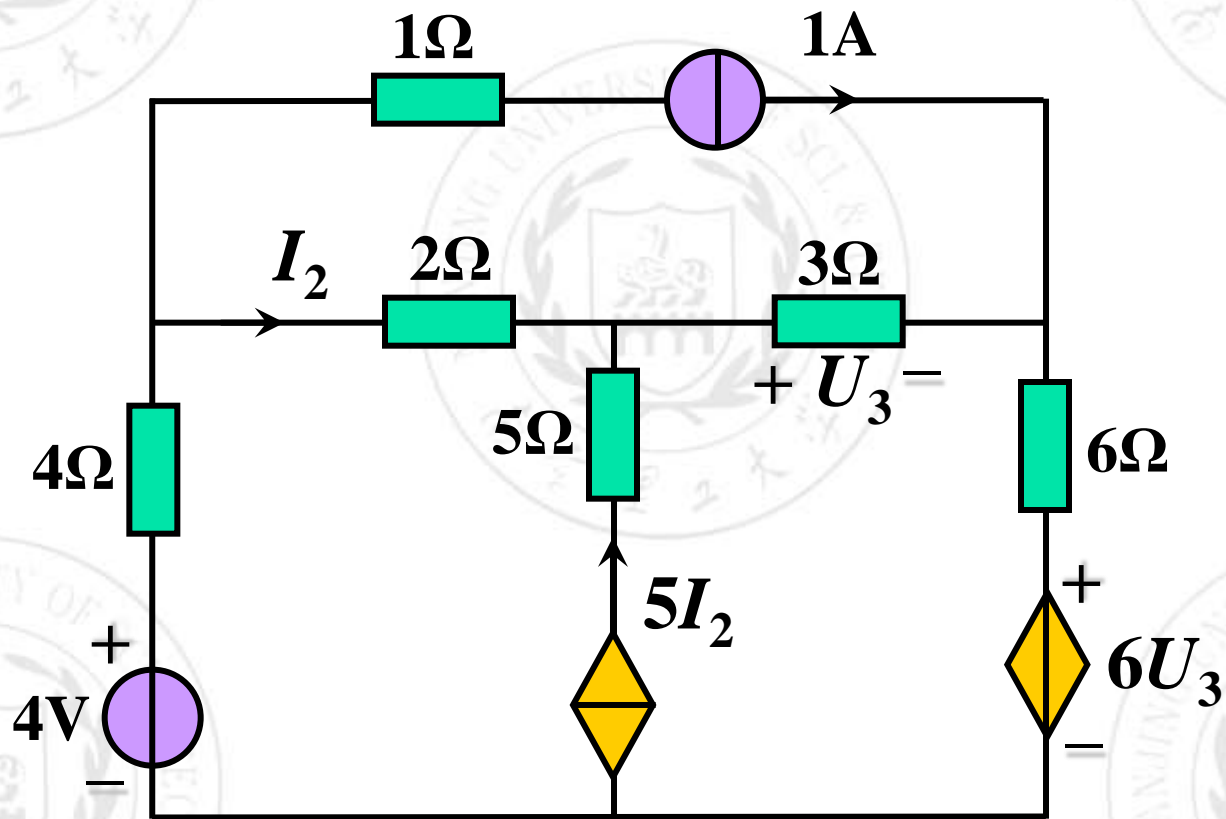
3.2 网孔电流法和回路电流法

例：列写网孔电流方程



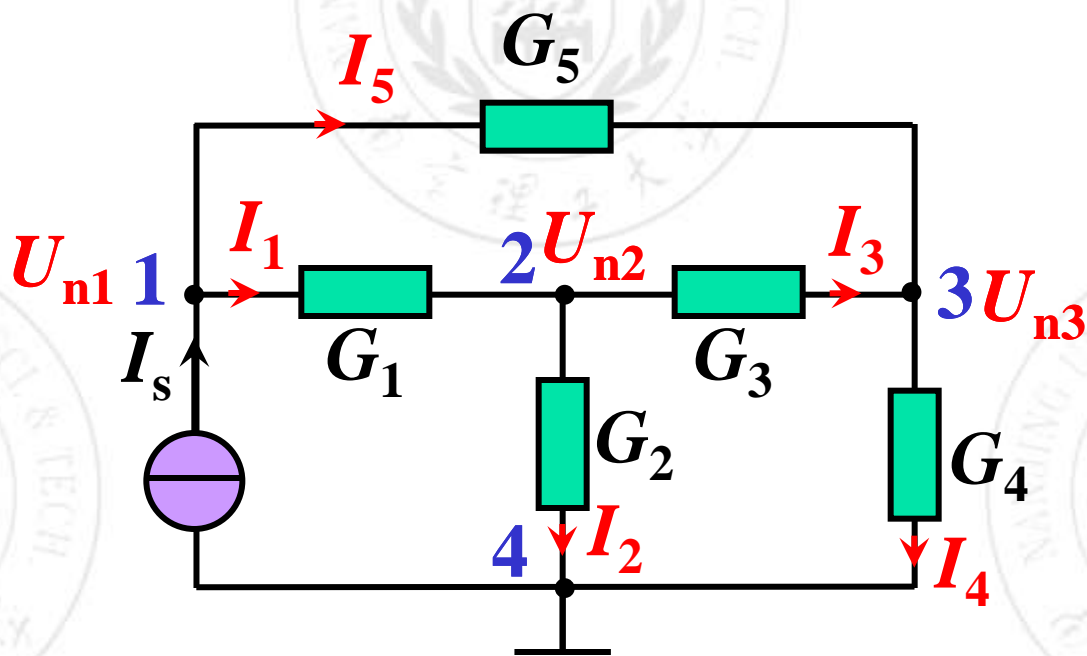
3.2 网孔电流法和回路电流法

例：列写回路电流方程



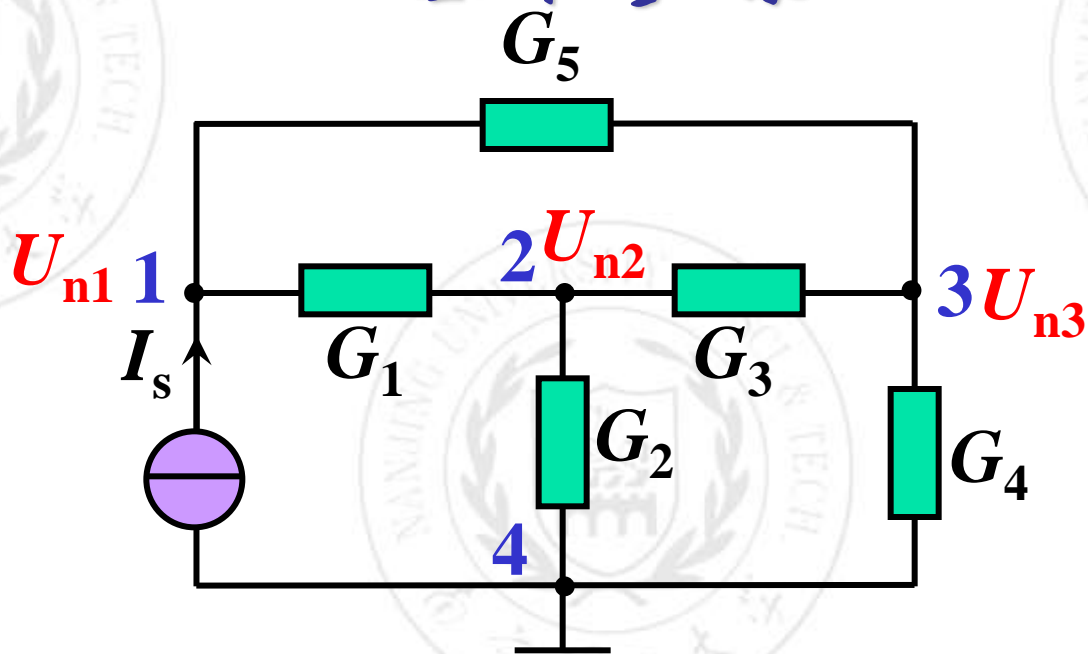
■ 节点电压

任意选择电路中某一节点作为参考节点，其余节点与此参考节点间的电压分别称为对应的节点电压，节点电压的参考极性均以参考节点为负极性端，以所对应节点为正极性端。



3.3 节点电压法

基本步骤



■ 第1步：适当选取参考点(选择联接支路数最多的节点)

■ 第2步：根据KCL列出关于节点电压的电路方程：

节点1: $G_1(U_{n1} - U_{n2}) + G_5(U_{n1} - U_{n3}) - I_s = 0$

节点2: $G_1(U_{n2} - U_{n1}) + G_2U_{n2} + G_3(U_{n2} - U_{n3}) = 0$

节点3: $G_3(U_{n3} - U_{n2}) + G_4U_{n3} + G_5(U_{n3} - U_{n1}) = 0$

3.3 节点电压法

$$G_1(U_{n1} - U_{n2}) + G_5(U_{n1} - U_{n3}) - I_s = 0$$

$$G_1(U_{n2} - U_{n1}) + G_2U_{n2} + G_3(U_{n2} - U_{n3}) = 0$$

$$G_3(U_{n3} - U_{n2}) + G_4U_{n3} + G_5(U_{n3} - U_{n1}) = 0$$



$$(G_1 + G_5)U_{n1} - G_1U_{n2} - G_5U_{n3} = I_s$$

$$-G_1U_{n1} + (G_1 + G_2 + G_3)U_{n2} - G_3U_{n3} = 0$$

$$-G_5U_{n1} - G_3U_{n2} + (G_3 + G_4 + G_5)U_{n3} = 0$$



$$\begin{bmatrix} G_1 + G_5 & -G_1 & -G_5 \\ -G_1 & G_1 + G_2 + G_3 & -G_3 \\ -G_5 & -G_3 & G_3 + G_4 + G_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.3 节点电压法

G_{kk} ——第k个节点的自电导

G_{kj} ——k节点和j节点公共支路上的互电导（一律为负）

I_{Skk} ——流入节点k的所有电流源电流的代数和（流入取正）

节点电压列
向量

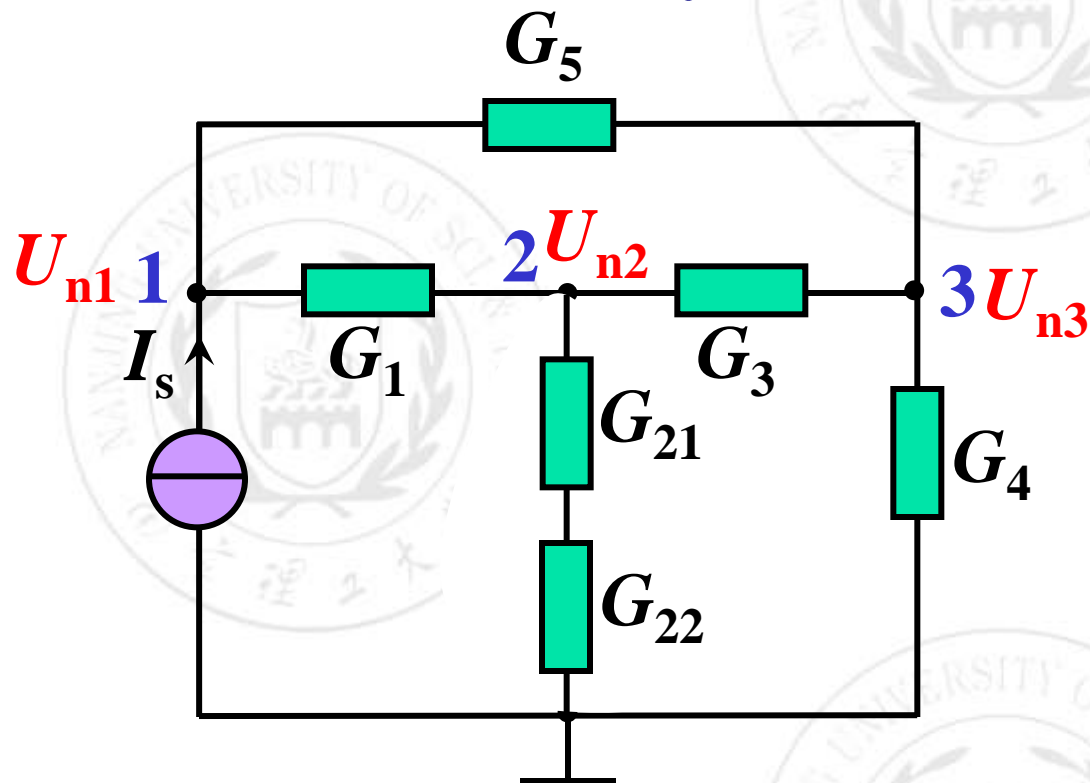
节点电压列
向量

节点电导矩阵

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_5 & -G_1 & -G_5 \\ -G_1 & G_1 + G_2 + G_3 & -G_3 \\ -G_5 & -G_3 & G_3 + G_4 + G_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.3 节点电压法

问：如果 G_2 支路有两个电导串在一起，那么下面方程中的参数该怎么修改？



■ 电路中仅含电流源的节点法

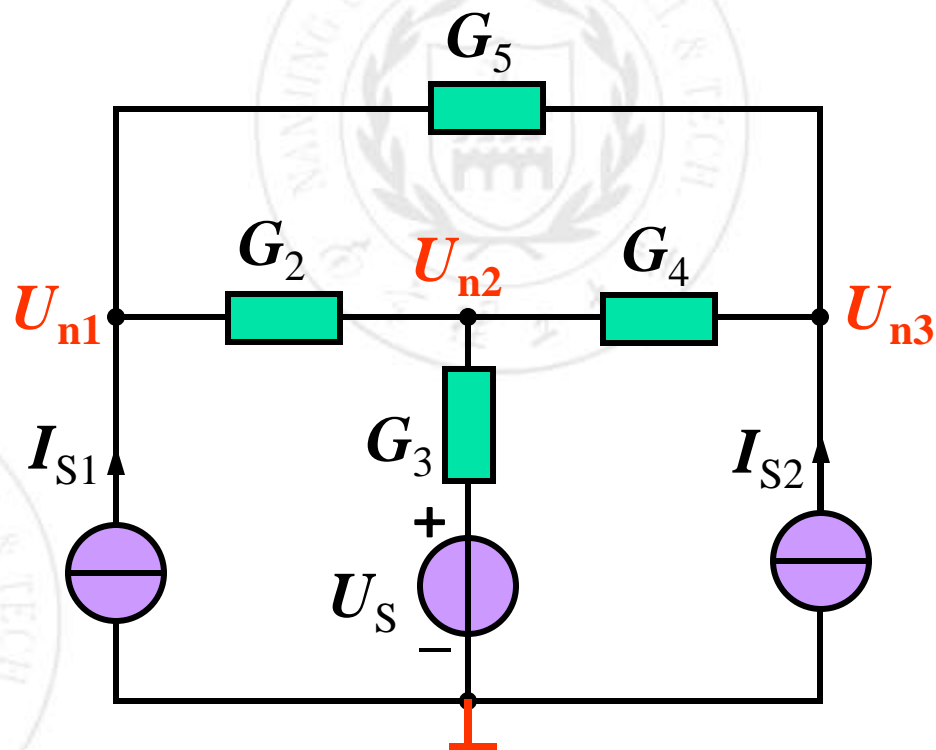
■ 第1步：适当选取参考点。

■ 第2步：利用直接观察法形成方程。

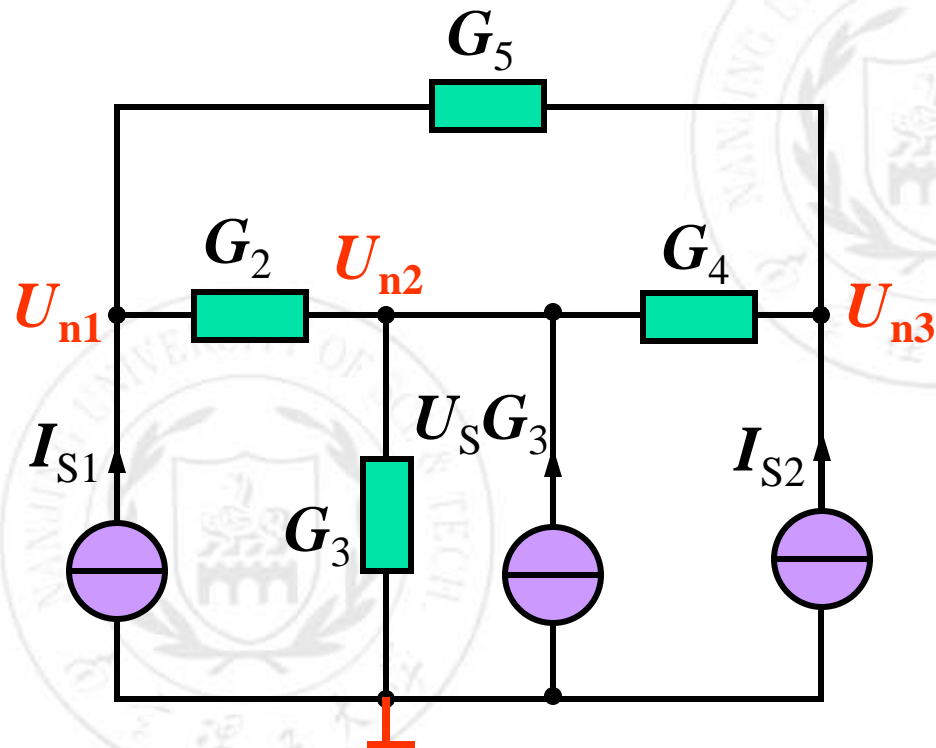
■ 第3步：联立求解。

■ 电路中含电压源的节点法

■ 第1类情况：含实际电压源：作一次等效变换。

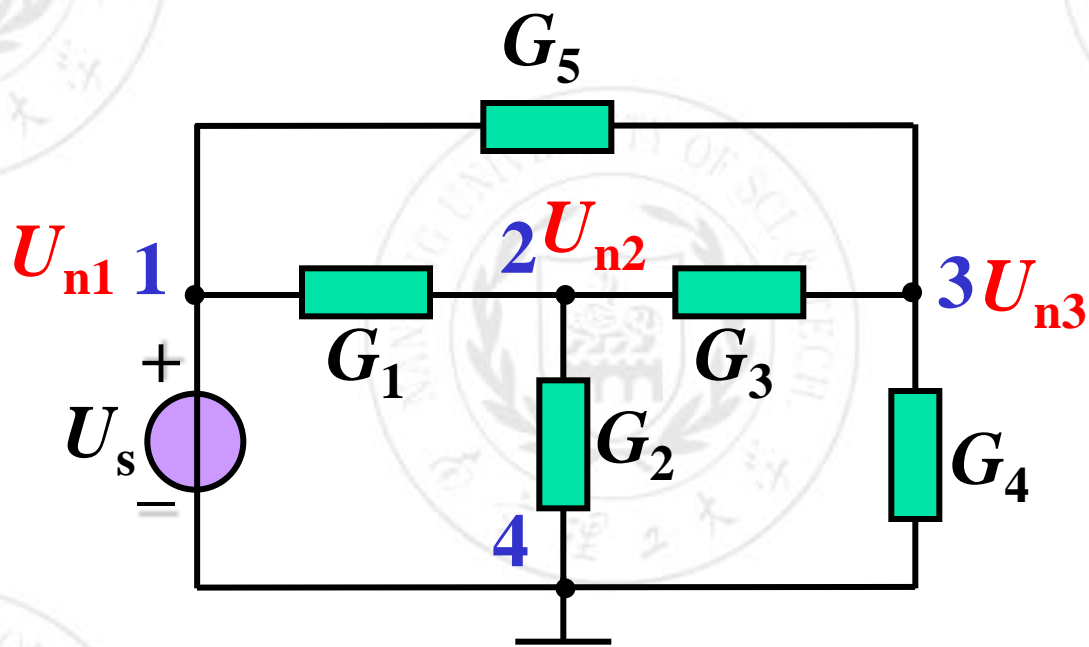


原电路等效为：



3.3 节点电压法

第2类情况：含理想电压源支路

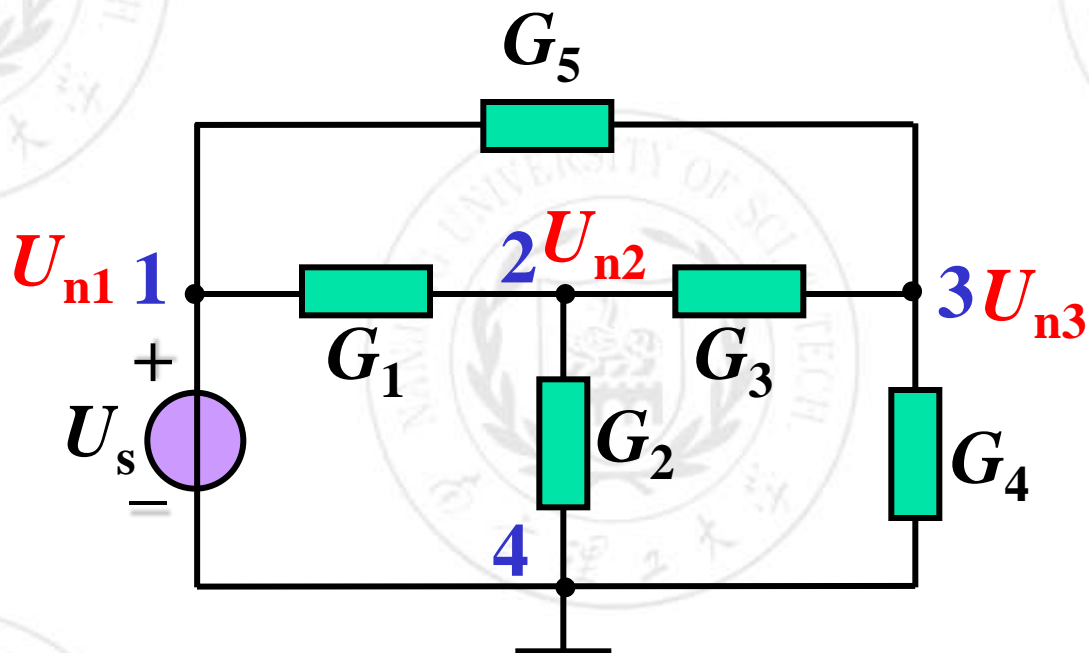


a: 选取电压源的一端作参考点: $U_{n1} = U_s$

b: 对不含有电压源支路的节点利用直接观察法列方程

3.3 节点电压法

第2类情况：含理想电压源支路

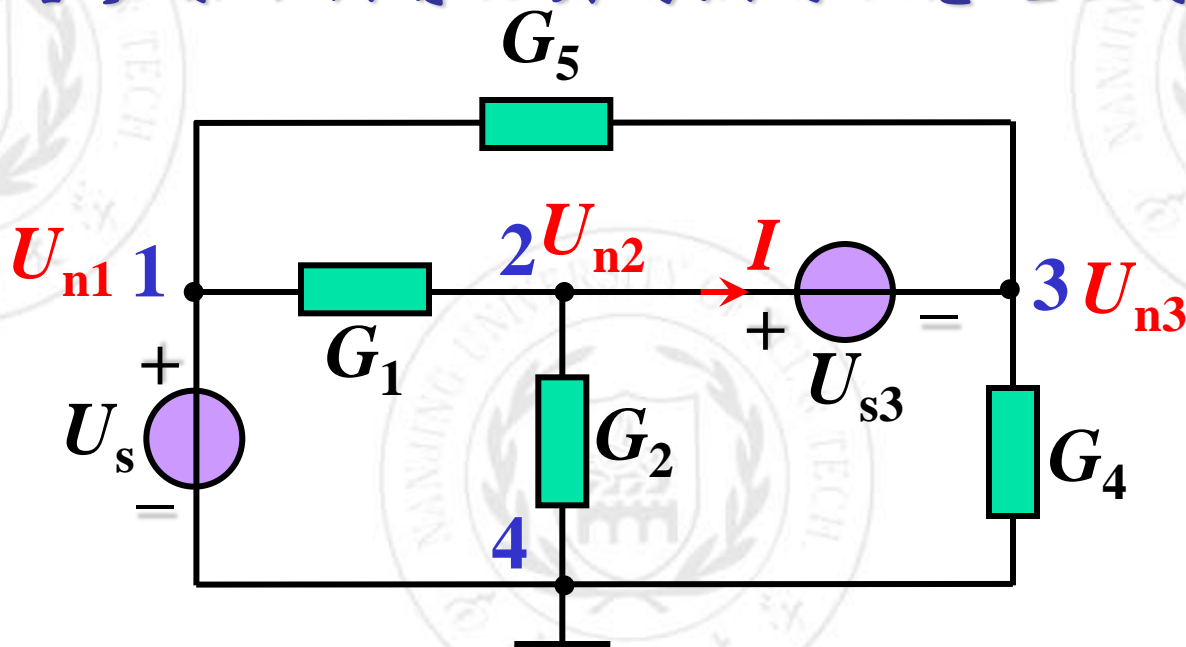


b: 对不含有电压源支路的节点利用直接观察法列方程

c: 求解

3.3 节点电压法

■ 含多条不具有公共端点的理想电压源支路



■ a: 适当选取其中一个电压源的端点作参考点: 令 $U_{n4} = 0$,

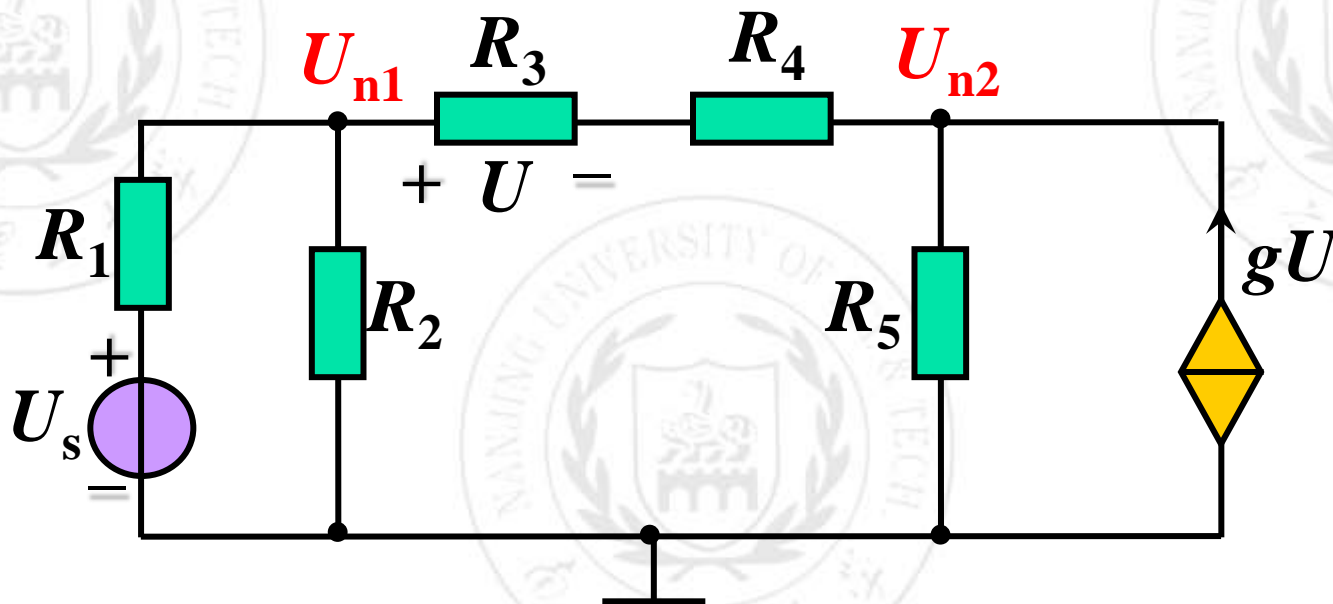
则 $U_{n1} = U_{s1}$

■ b: 虚设电压源电流为 I , 利用直接观察法形成方程:

■ c: 添加约束方程:

3.3 节点电压法

■ 含受控源时的节点法



✚ a: 选取参考节点

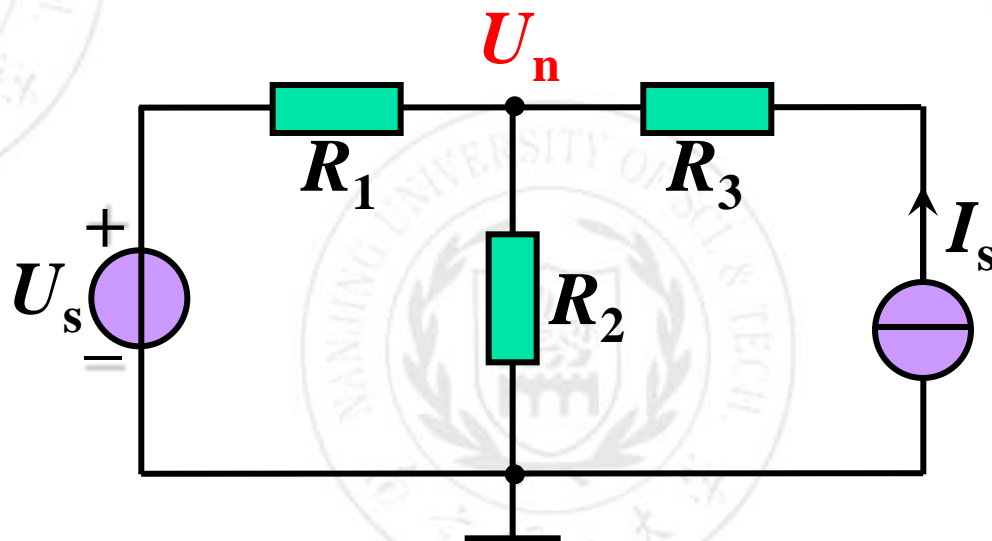
✚ b: 先将受控源作独立电源处理，利用直接观察法列方程

✚ c: 再将控制量用未知量表示:

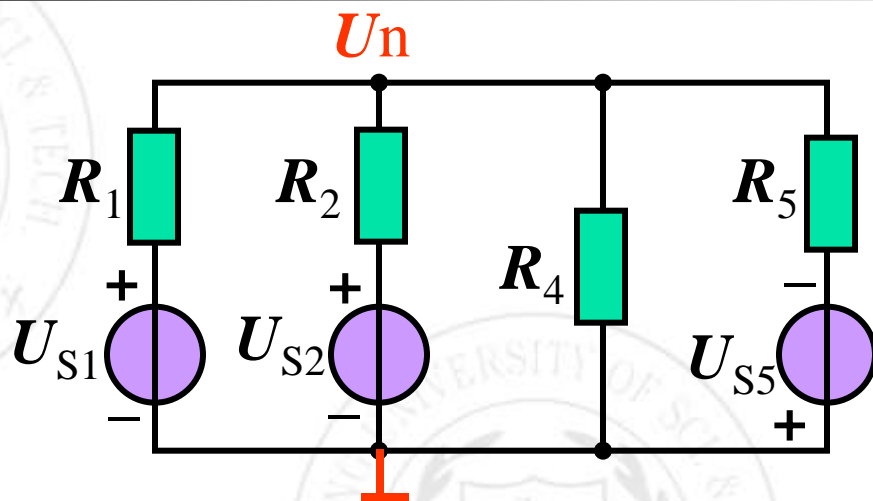
✚ d: 整理:

3.3 节点电压法

■ 含电流源串联电阻时的节点法



3.3 节点电压法



$$U_n = \frac{\frac{U_{S1}}{R_1} + \frac{U_{S2}}{R_2} - \frac{U_{S5}}{R_5}}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right)}$$

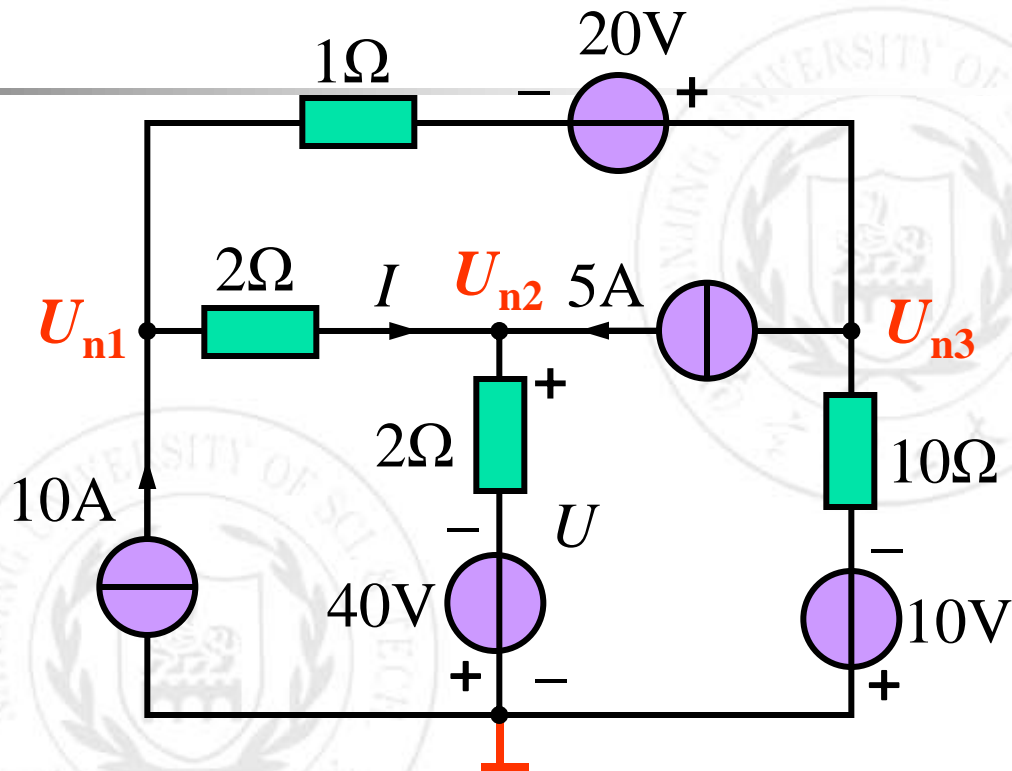
一般形式

$$U_n = \frac{\sum I_s}{\sum G}$$

弥尔曼定理

3.3 节点电压法

例：用节点电压法
求电流 I 和电压 U 。



3.3 节点电压法

例2:用节点电压法
求各节点电压。

