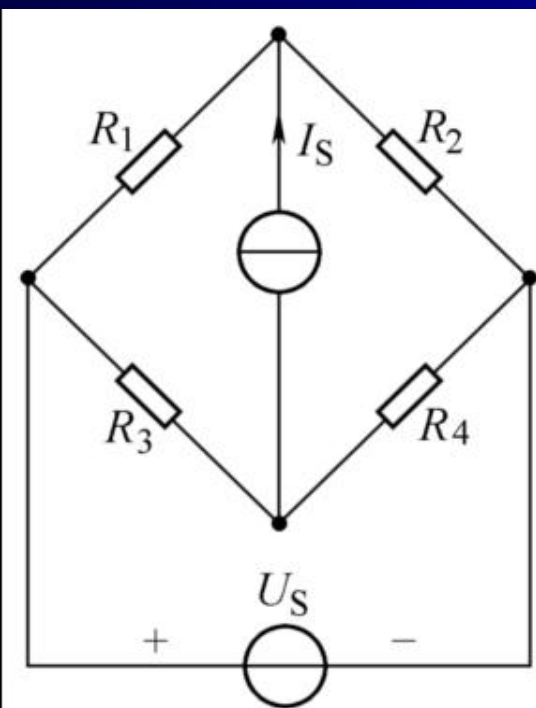
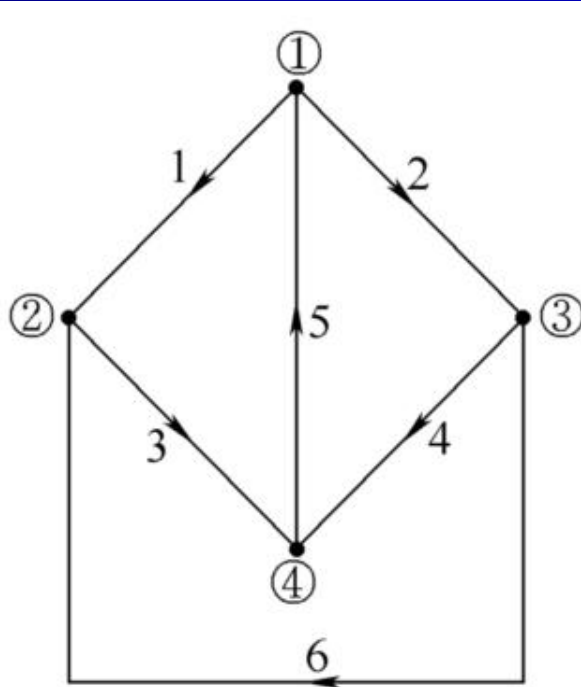


# 第3章 电路的基本分析方法

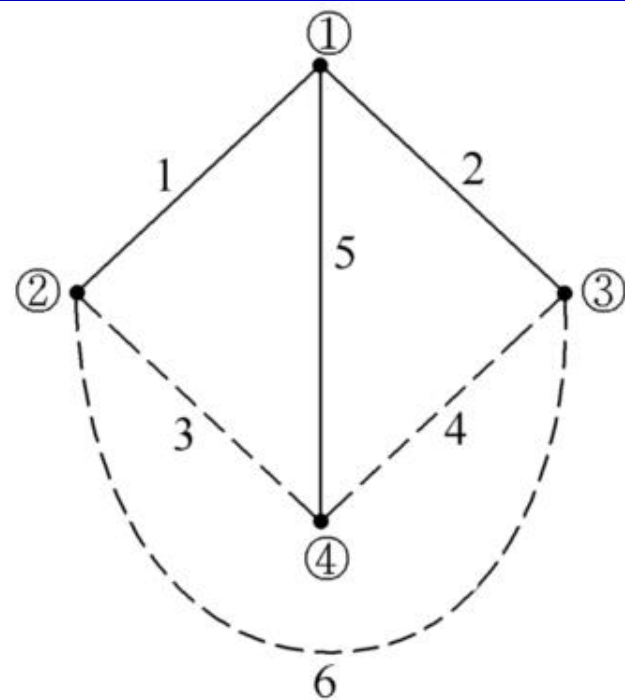
## 3.1 电路的图



a) 原电路



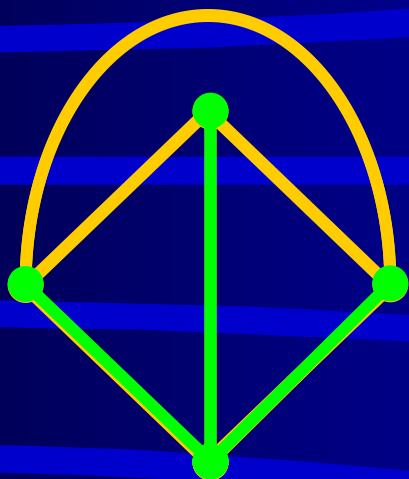
b) 拓扑结构



c) 连支、树支图

表示电路几何结构的图形，图中的支路和节点与电路的支路和节点一一对应。

# 树支与连支



树满足下列条件:

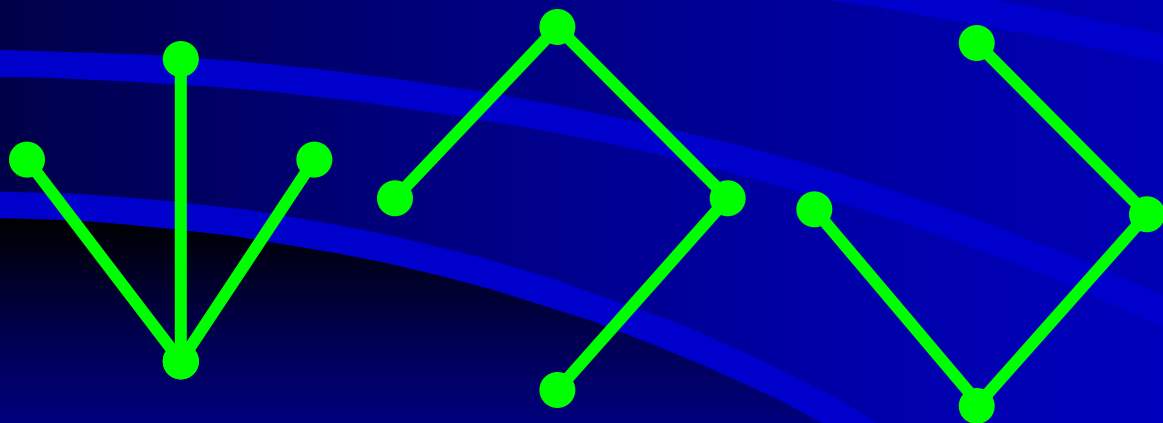
- (1) 连通
- (2) 包含所有节点
- (3) 不含闭合路径

特点:

1) 对应一个图有很多的树

2) 树支的数目:

$$b_t = n - 1$$



树支: 构成树的支路    连支: 属于图而不属于树的支路

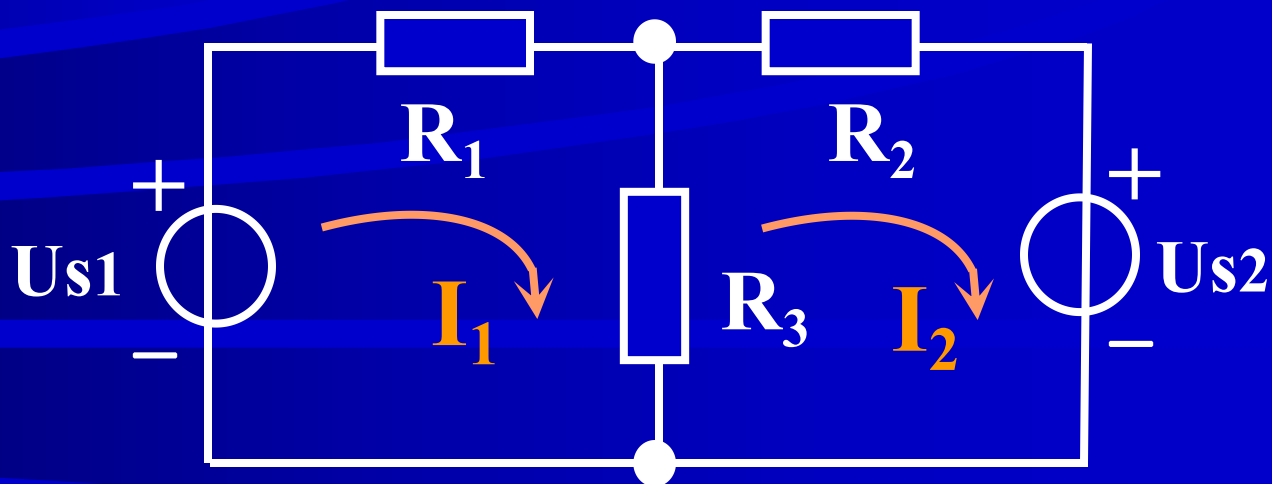
## 3.2 网孔电流法

网孔分析法是以网孔电流为求解对象，根据KVL列方程，从而求出网孔电流，然后再求出各支路电流或电压。

网孔电流是为分析问题方便而虚设的电流。

# 列网孔方程

列网孔方程的方法就是列KVL方程



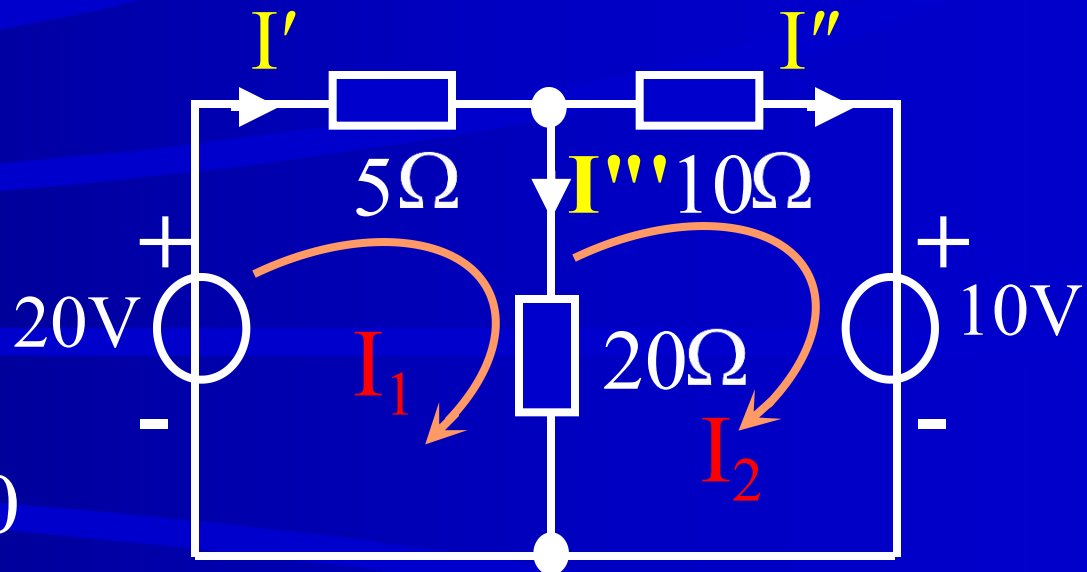
**网孔1:**  $R_1 \cdot I_1 + R_3 \cdot I_1 - R_3 \cdot I_2 = U_{s1} \quad \dots\dots\dots (1)$

$$\underbrace{(R_1 + R_3)}_{\text{自电阻}} \cdot I_1 - \underbrace{R_3}_{\text{互电阻}} \cdot I_2 = \underbrace{U_{s1}}_{\text{电压升}}$$

**网孔2:**  $R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_1 = -U_{s2} \quad \dots\dots\dots (2)$

$$-\underbrace{R_3}_{\text{互电阻}} \cdot I_1 + \underbrace{(R_2 + R_3)}_{\text{自电阻}} \cdot I_2 = \underbrace{-U_{s2}}_{\text{电压升}}$$

例1: 用网孔法求  
三个电阻上的  
的电流。



解: 
$$\begin{cases} (5+20)I_1 - 20I_2 = 20 \\ -20I_1 + (10+20)I_2 = -10 \end{cases}$$

$$I_1 = 1.143\text{A}$$

同理:  $I_2 = 0.429\text{A}$

所以:

$$I' = I_1 = 1.143\text{A}$$

$$I'' = I_2 = 0.429\text{A}$$

$$I''' = I_1 - I_2 = 0.714\text{A}$$

例2: 用网孔法求  $I$ 。

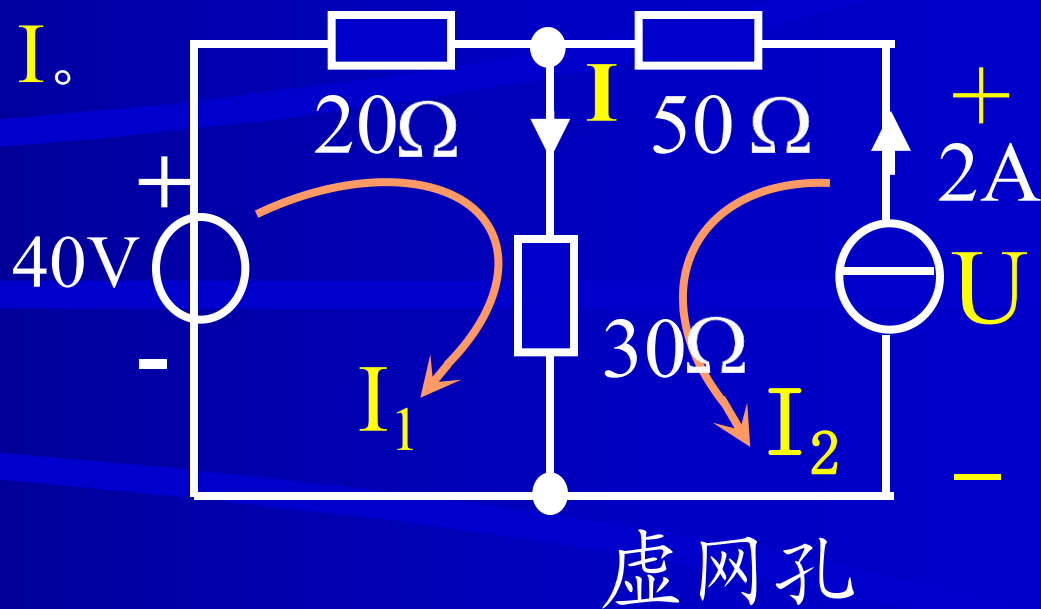
解:

$$\begin{cases} (20+30)I_1+30I_2=40 \\ I_2=2A \end{cases}$$

解得:  $I_1 = -0.4A$

所以:  $I = I_1 + I_2 = 1.6A$

$$\text{或: } \begin{cases} (20+30)I_1+30I_2=40 \\ (30+50)I_2+30I_1=U \\ I_2=2A \end{cases}$$



### 例3: 列网孔方程

注意电流源两端的电压

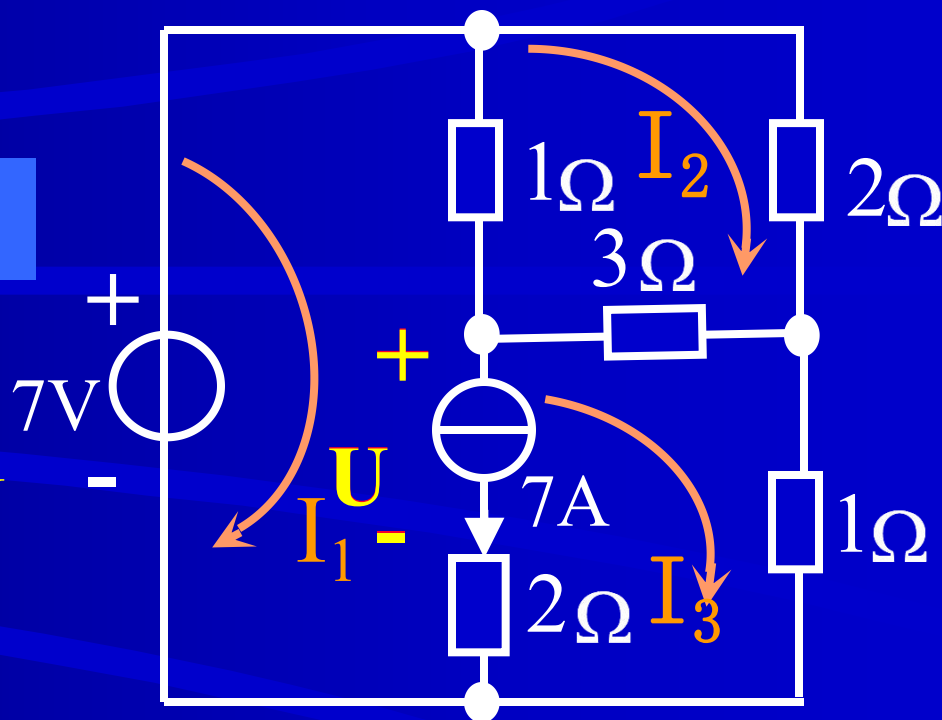
解:

$$(1) \quad 3I_1 - I_2 - 2I_3 = 7 - U$$

$$(2) \quad -I_1 + 6I_2 - 3I_3 = 0$$

$$(3) \quad -2I_1 - 3I_2 + 6I_3 = U$$

$$(4) \quad I_1 - I_3 = 7 \quad \text{制约方程}$$



例4: 用网孔法求 $I_x$ 。

解:

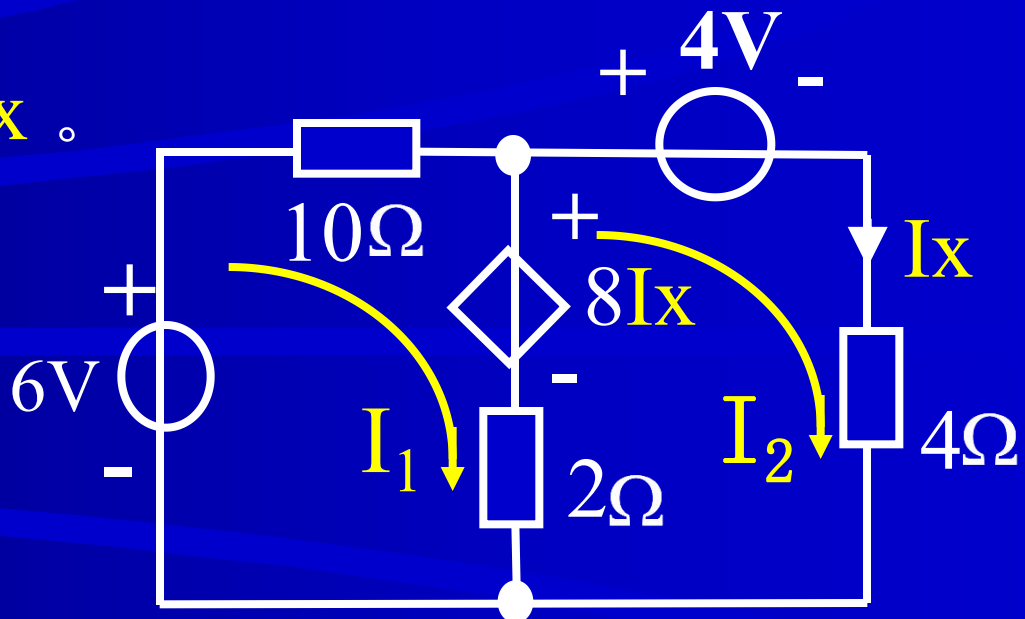
$$(1) 12I_1 - 2I_2 = 6 - 8I_x$$

$$(2) -2I_1 + 6I_2 = 8I_x - 4$$

$$(3) I_2 = I_x \quad \text{制约方程}$$

网孔方程为:

$$\begin{cases} 12I_1 - 2I_x = 6 - 8I_x \\ -2I_1 + 6I_x = 8I_x - 4 \end{cases}$$



整理后:

$$\begin{cases} 12I_1 + 6I_x = 6 \\ -2I_1 - 2I_x = -4 \end{cases}$$

解得:

$$I_x = 3A$$



## 注意事项

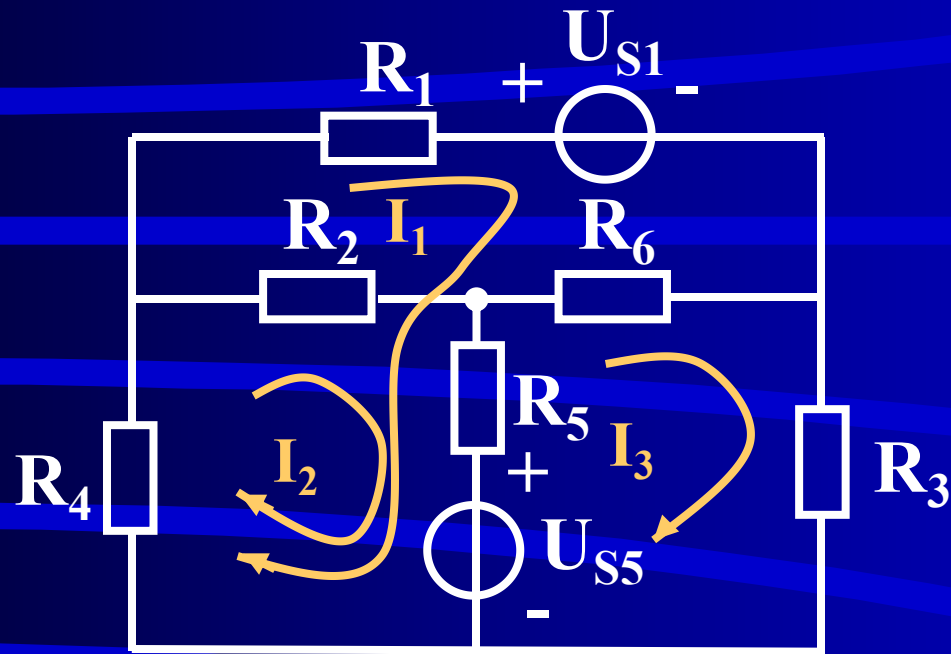
- (1) 列网孔方程时，要先画出绕行方向。
- (2) 网孔方程的系数是电阻，电源是电压源。
- (3) 若电路中的元件是电导，则要把电导换成电阻( $R=1/G$ )。
- (4) 若电路中的电源是电流源，要标出电流源两端的电压。

### 3.3 回路电流法

以回路电流为未知量列电路方程，分析电路的方法。

回路法与网孔法不同的是，网孔分析法仅适用于平面电路，回路电流法没有此限制，适用于平面或非平面电路。

例5: 用回路电流法列出电路的方程。



(a)

解:

$$R_1 I_1 + R_6 (I_1 - I_3) + R_5 (I_1 + I_2 - I_3) + R_4 (I_1 + I_2) = -U_{S1} - U_{S5}$$

$$R_2 I_2 + R_5 (I_2 + I_1 - I_3) + R_4 (I_1 + I_2) = -U_{S5}$$

$$R_6 (I_3 - I_1) + R_3 I_3 + R_5 (I_3 - I_1 - I_2) = U_{S5}$$

## 回路法的一般步骤:

- (1) 选定 $l=b-(n-1)$ 个独立回路, 并确定其绕行方向;
- (2) 对 $l$ 个独立回路, 以回路电流为未知量, 列写其KVL方程;
- (3) 求解上述方程, 得到 $l$ 个回路电流;
- (4) 求所需的各支路电流或电压。

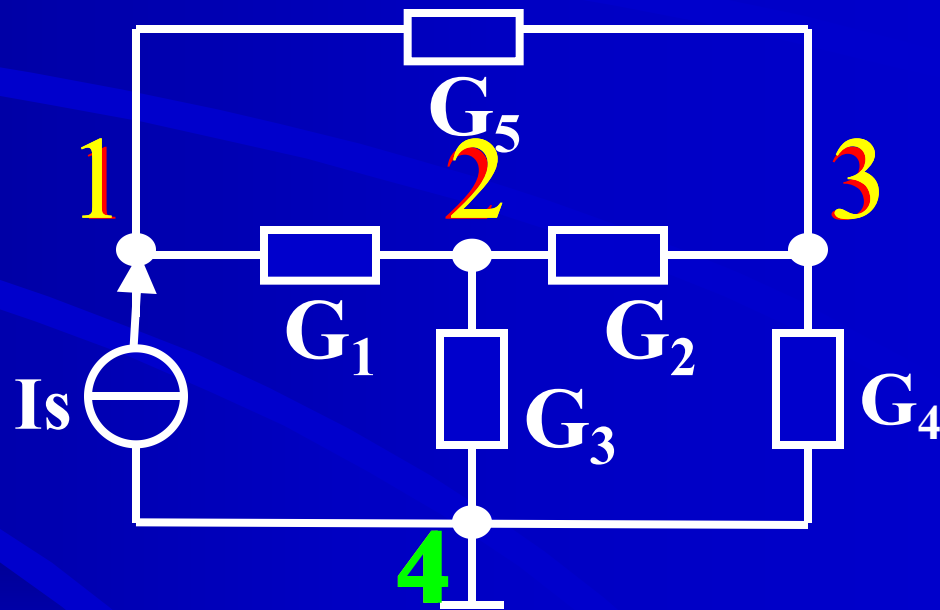
## 3.4 节点电压法

节点分析法以节点电压为求解变量，根据KCL对 $(n-1)$ 个节点列电流方程。

### 1. 节点电压

电路中任选一个节点为参考点（零电位）。

其余的每一个节点到参考点的电压降为这个节点的节点电压。



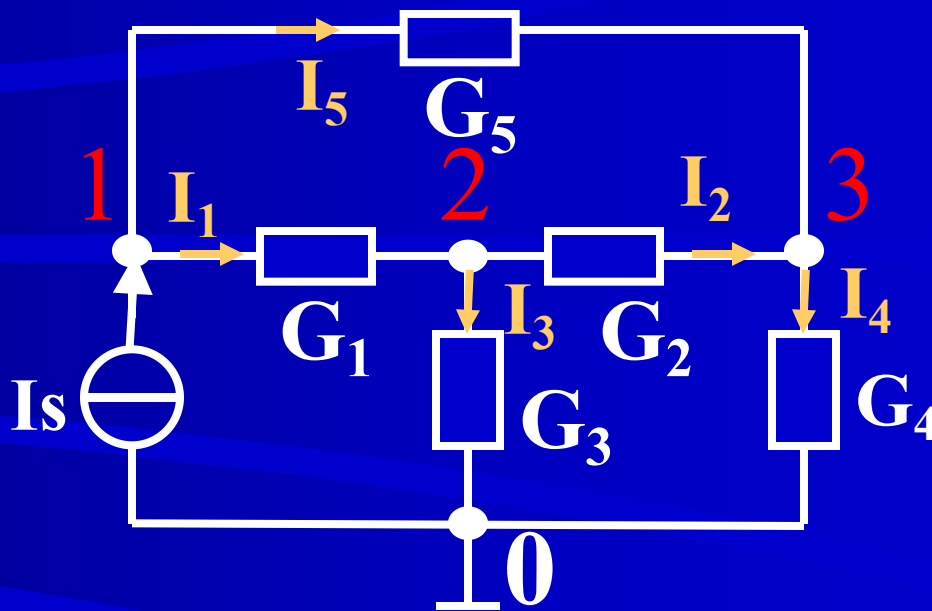
## 2. 推导方程

(1) 根据KCL:

节点1:  $I_1 + I_5 - I_s = 0$

节点2:  $I_2 + I_3 - I_1 = 0$

节点3:  $I_4 - I_2 - I_5 = 0$



(2) 把支路电流用节点电压表示:

$$I_1 = G_1 \cdot (U_1 - U_2)$$

$$I_2 = G_2 \cdot (U_2 - U_3)$$

$$I_3 = G_3 \cdot U_2$$

$$I_4 = G_4 \cdot U_3$$

$$I_5 = G_5 \cdot (U_1 - U_3)$$

代入上式

(3) 整理后得:

节点1:

$$(G_1 + G_5)U_1 - G_1U_2 - G_5U_3 = I_s$$

节点2:

$$-G_1U_1 + (G_1 + G_2 + G_3)U_2 - G_2U_3 = 0$$

节点3:

$$-G_5U_1 - G_2U_2 + (G_2 + G_4 + G_5)U_3 = 0$$

(4) 节点方程的一般形式:

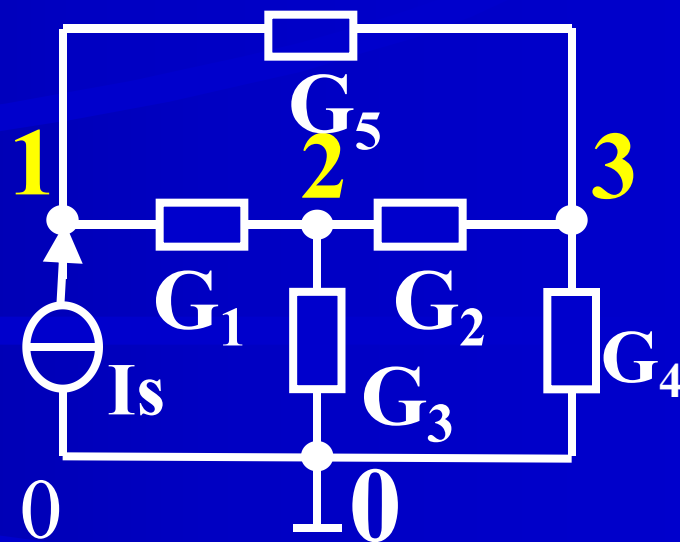
节点1:  $G_{11}U_1 + G_{12}U_2 + G_{13}U_3 = I_{s11}$

节点2:  $G_{21}U_1 + G_{22}U_2 + G_{23}U_3 = I_{s22}$

节点3:  $G_{31}U_1 + G_{32}U_2 + G_{33}U_3 = I_{s33}$

自电导

互电导



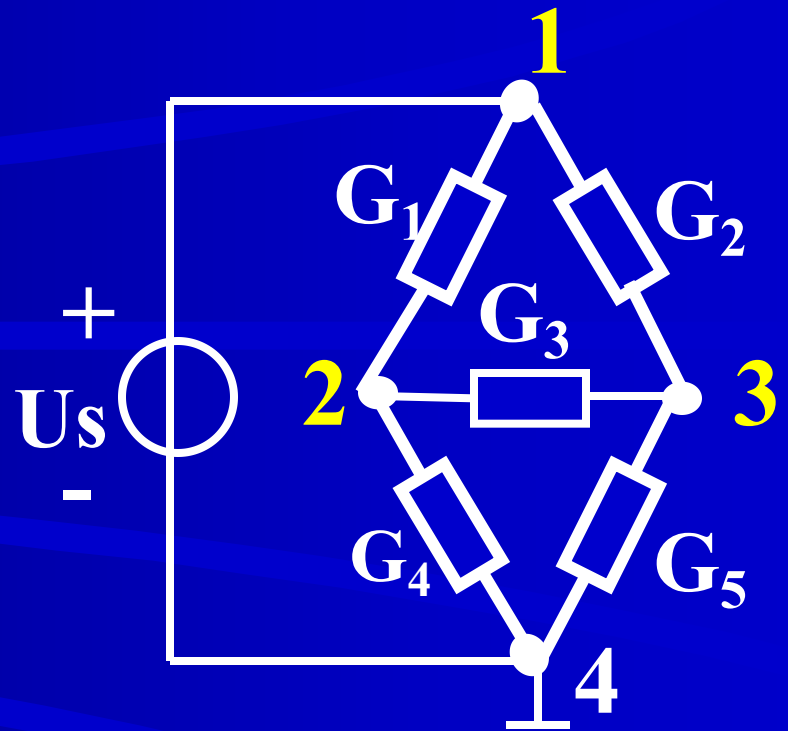
## 例6: 列节点方程

解一: 选4为参考点

节点1:  $U_1 = U_s$

节点2:  $-G_1U_1 + (G_1 + G_3 + G_4)U_2 - G_3U_3 = 0$

节点3:  $-G_2U_1 - G_3U_2 + (G_2 + G_3 + G_5)U_3 = 0$





解二：选3为参考点

注意电压源支路上的电流

节点1:

$$(G_1 + G_2)U_1 - G_1U_2 = -I$$

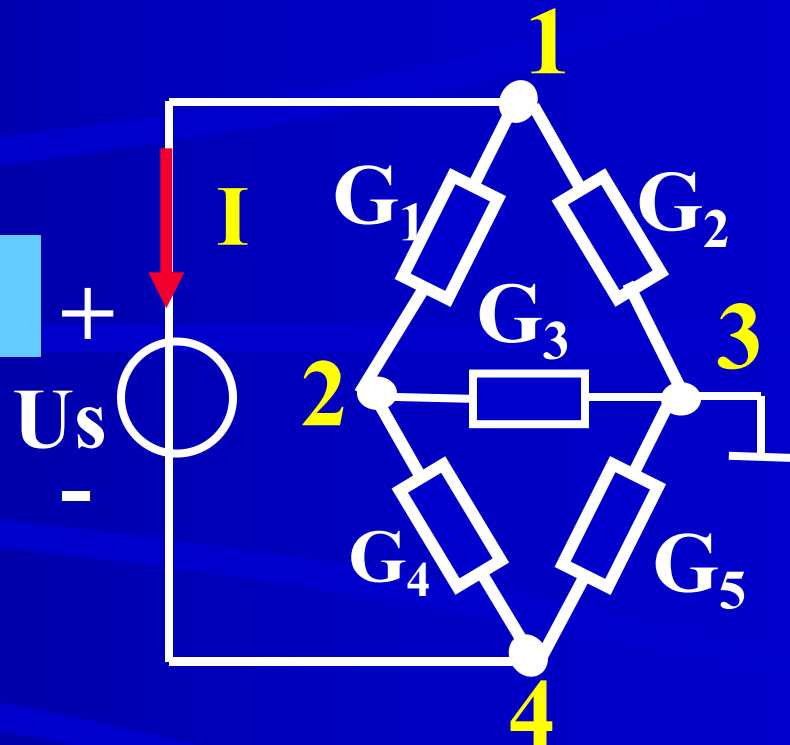
节点2:

$$-G_1U_1 + (G_1 + G_3 + G_4)U_2 - G_4U_4 = 0$$

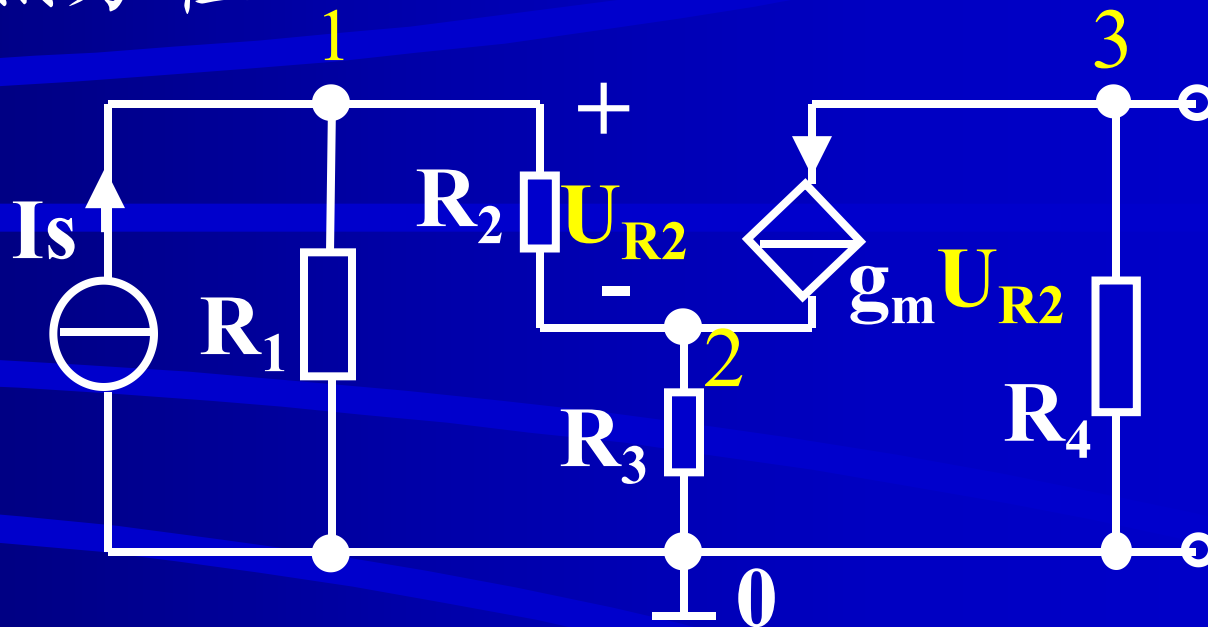
节点4:

$$-G_4U_2 + (G_4 + G_5)U_4 = I$$

$$U_1 - U_4 = U_s \quad \text{制约方程}$$



## 例7: 列节点方程

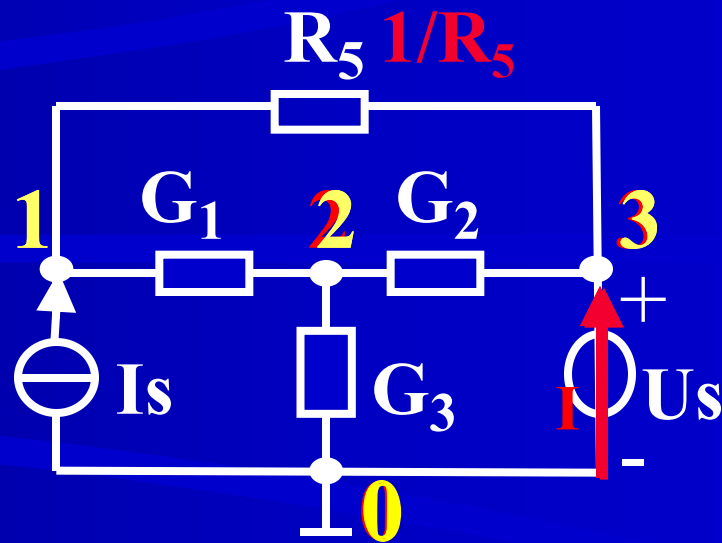


解:

$$\begin{cases} (1) & (1/R_1 + 1/R_2)U_1 - (1/R_2)U_2 = I_s \\ (2) & (-1/R_2)U_1 + (1/R_2 + 1/R_3)U_2 = g_m U_{R2} \\ (3) & (1/R_4)U_3 = -g_m U_{R2} \end{cases}$$
$$U_{R2} = U_1 - U_2 \quad \text{制约方程}$$

### 3. 节点法的解题步骤:

- (1) 选参考点 (选电源的一端, 或支路的密集点)。
- (2) 对  $(n-1)$  个节点, 列方程。
- (3) 解方程。



### 4. 注意事项:

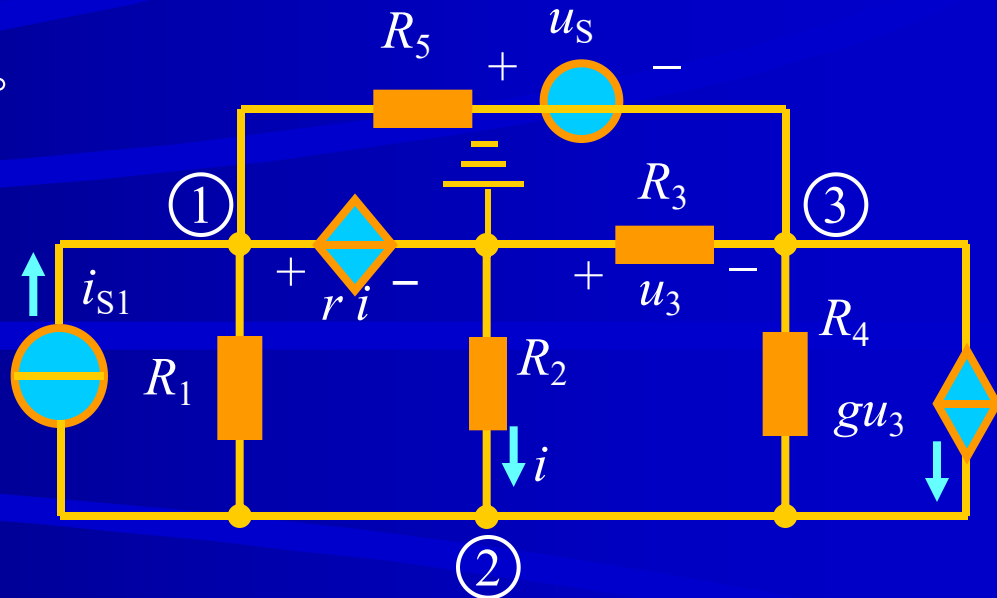
- (1) 节点方程的系数是电导, 电源是电流源若电路中的元件是电阻, 则要把电阻换成电导( $G=1/R$ )。
- (2) 若电路中的电源是电压源, 则要注意电压源支路的电流。

例

列写电路的结点电压方程。

解

设参考点，把受控源当作独立源列方程



$$u_{n1} = ri$$

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right) u_{n2} - \frac{1}{R_1} u_{n1} - \frac{1}{R_4} u_{n3} = -i_{S1} + gu_3$$

$$-\frac{1}{R_5} u_{n1} - \frac{1}{R_4} u_{n2} + \left( \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) u_{n3} = -gu_3 - \frac{u_S}{R_5}$$

**例** 列写电路的结点电压方程。

$$u_{n1} = 4V$$

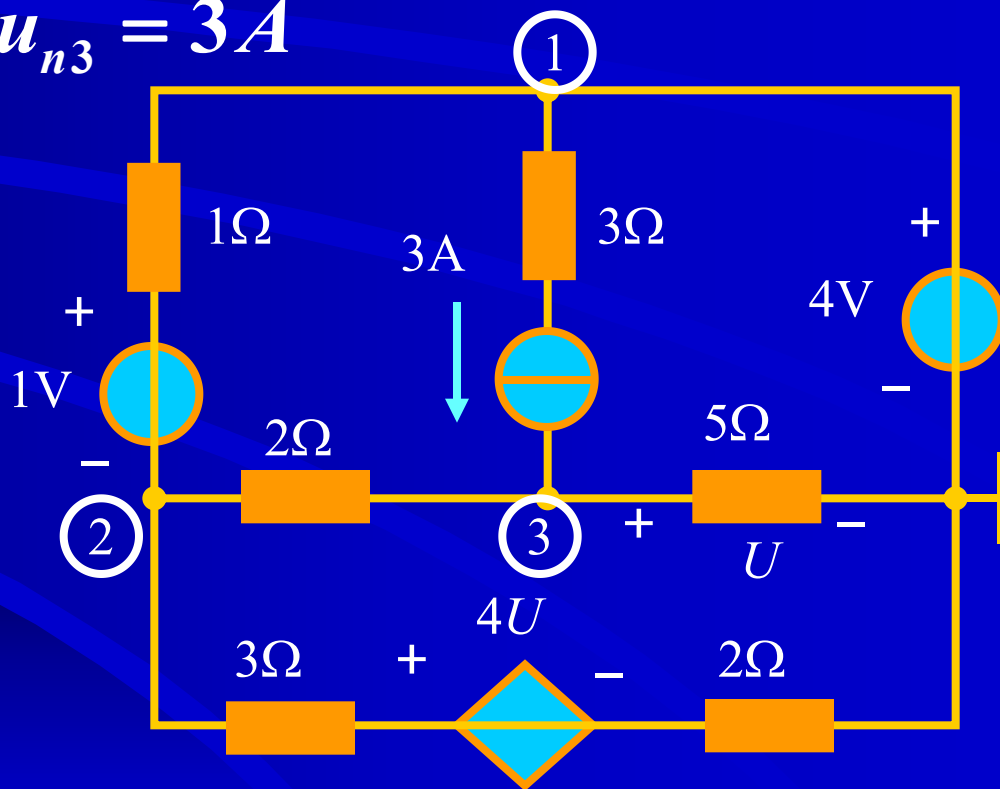
$$-u_{n1} + \left(1 + 0.5 + \frac{1}{3+2}\right)u_{n2} - 0.5u_{n3} = -1 + \frac{4U}{5}$$

$$-0.5u_{n2} + (0.5 + 0.2)u_{n3} = 3A$$

注：与电流源串接的电阻不参与列方程

增补方程：

$$U = u_{n3}$$



例

求 $U$ 和 $I$ 。

解法1

应用结点电压法

$$u_{n1} = 100V$$

$$u_{n2} = 100 + 110 = 210V$$

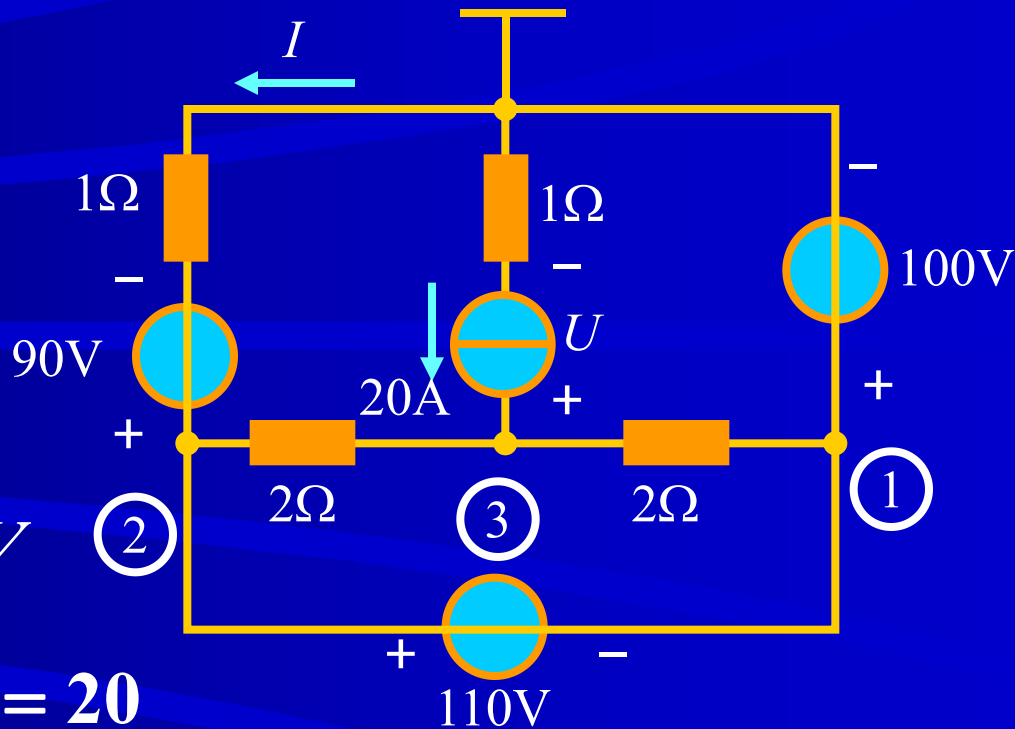
$$-0.5u_{n1} - 0.5u_{n2} + u_{n3} = 20$$

解得：

$$u_{n3} = 20 + 50 + 105 = 175V$$

$$U = u_{n3} + 1 \times 20 = 195V$$

$$I = (90 - u_{n2}) / 1 = -120A$$



**习题1:** 用网孔分析法求  
4Ω电阻的功率。

**解:** 网孔方程为:

$$(2 + 4 + 1)I_1 - 2I_2 - I_3 = 0$$

$$-2I_1 + 2I_2 = U_1 - 4$$

$$-I_1 + I_3 = 4 - U_2$$

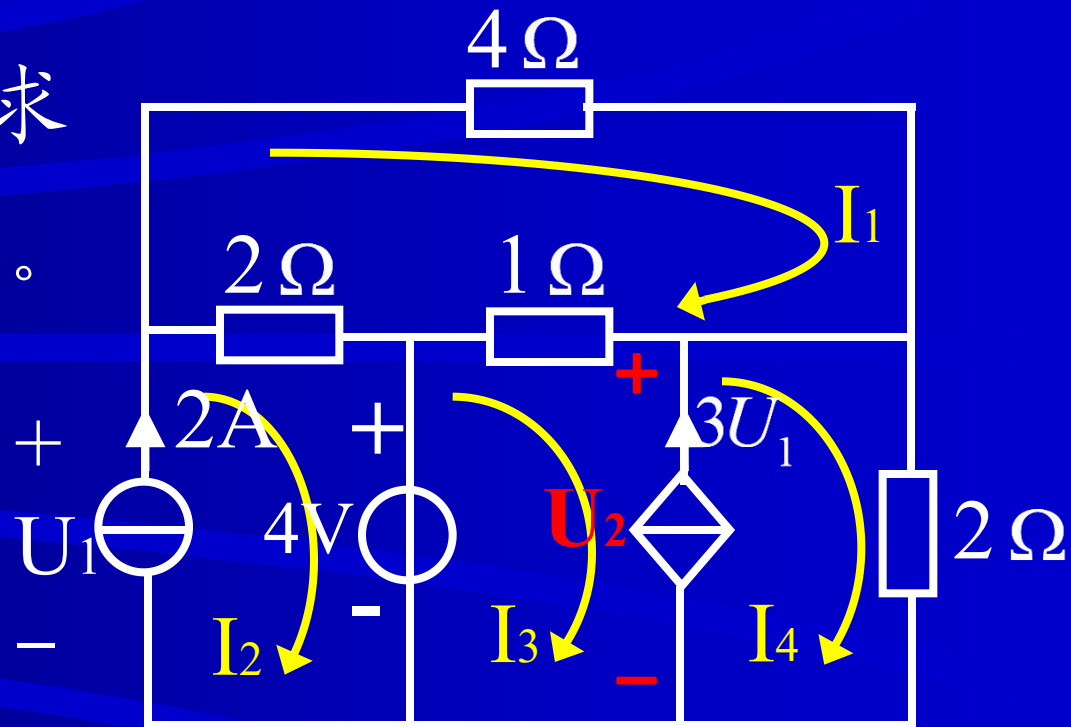
$$2I_4 = U_2$$

制约方程为:  $I_4 - I_3 = 3U_1$

$$I_2 = 2$$

解得:  $I_1 = -4A$

$$P_{4\Omega} = I_1^2 R = (-4)^2 \times 4 = 64W$$



习题2：列节点方程。

解：

节点方程为：

$$\left(1 + \frac{1}{2}\right)U_1 - \frac{1}{2}U_3 = 2 + I_0$$

$$\frac{1}{2}U_2 - \frac{1}{2}U_3 = -I_0 + 2I + 1$$

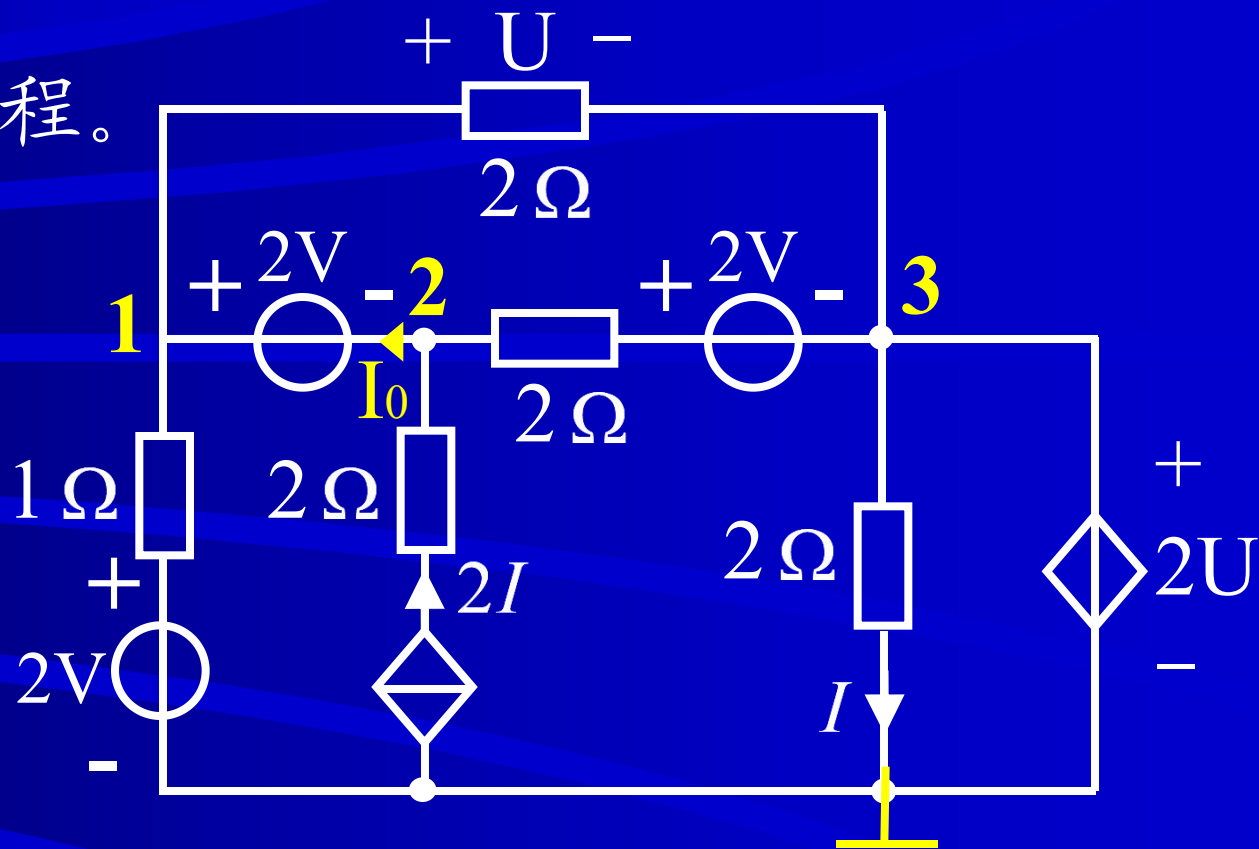
$$U_3 = 2U$$

制约方程为：

$$U = U_1 - U_3$$

$$U_1 - U_2 = 2$$

$$U_3 = 2I$$





谢谢大家!

再见

再见!

