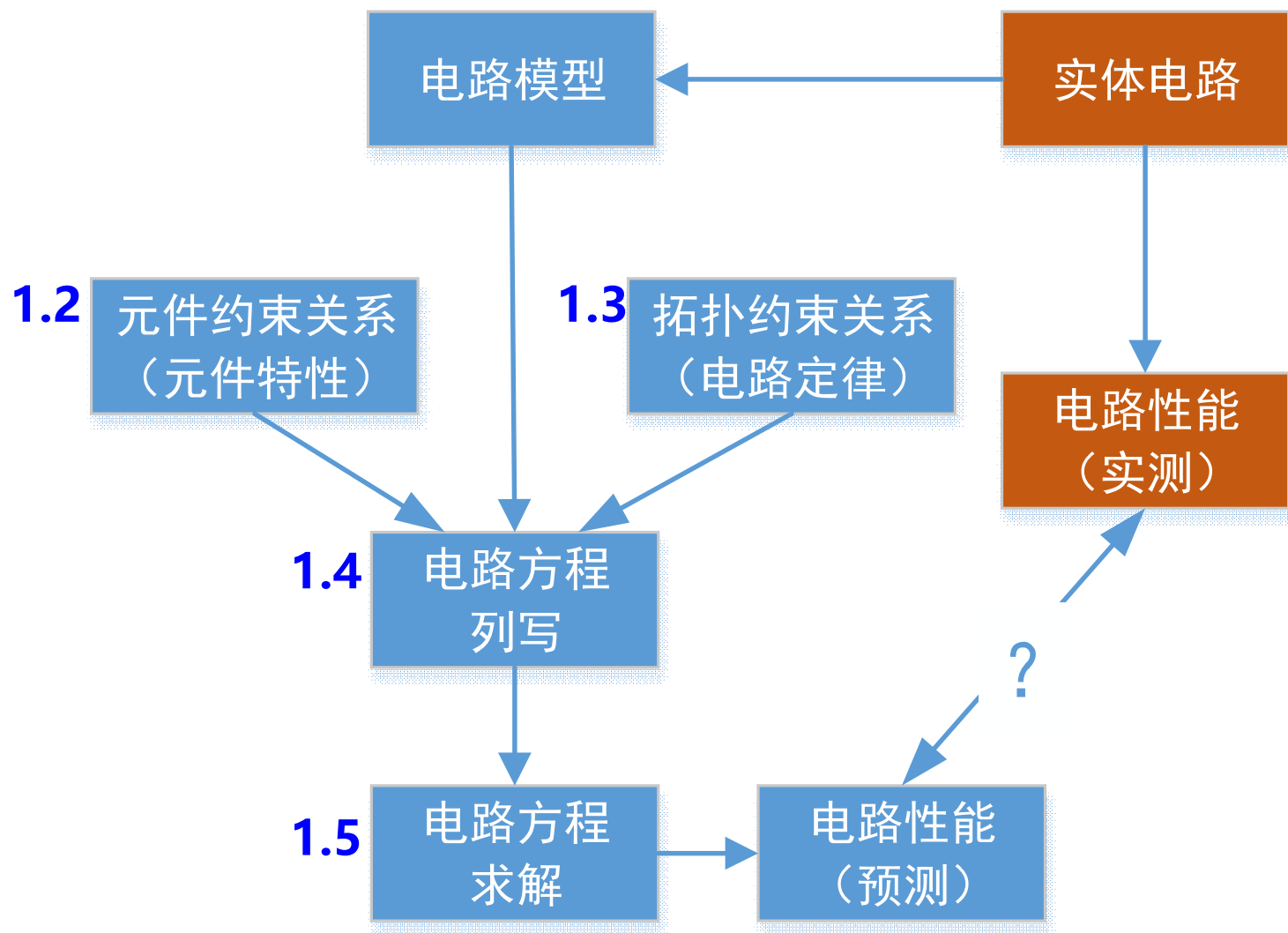


第一章 电路分析方法

1.4 节点分析法

节点分析法

- 节点分析法步骤
- 特殊情况处理



节点分析法步骤

- (设电路有 n 个节点)
- 以节点电压为独立变量
- 用节点电压表示支路电流
- 围绕 $(n-1)$ 个独立节点列写KCL方程
- 方程整理求解

优势

惠斯通电桥

元件约束:

电压源: $V_s = \text{常数}$

电阻元件: $V = R \cdot I$

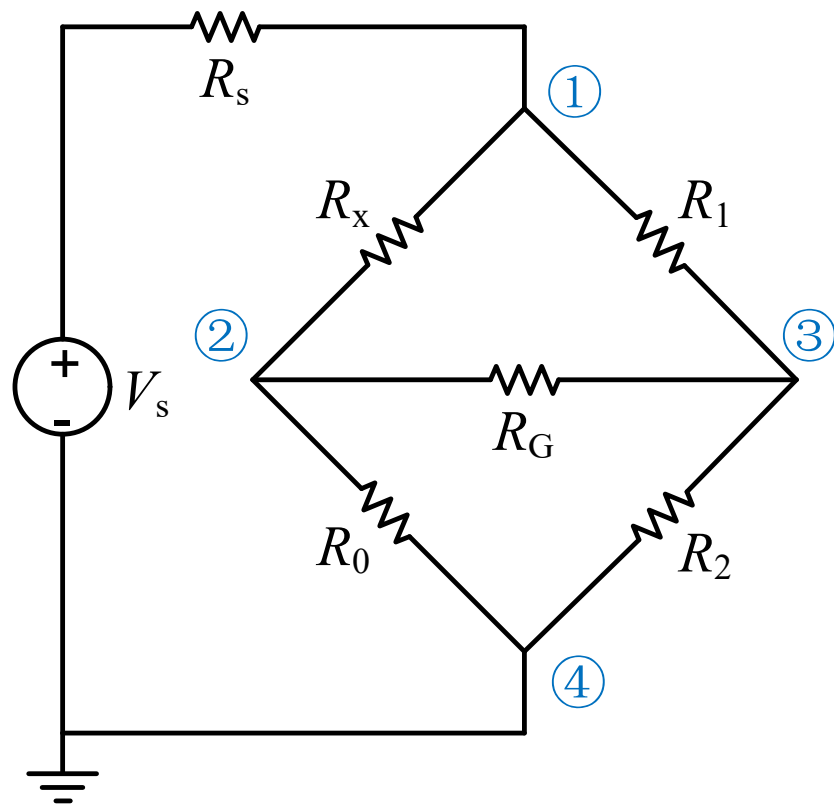
电路拓扑结构约束:

KCL

$$\sum_{i=1}^N I_i = 0$$

KVL

$$\sum_{i=1}^N V_i = 0$$

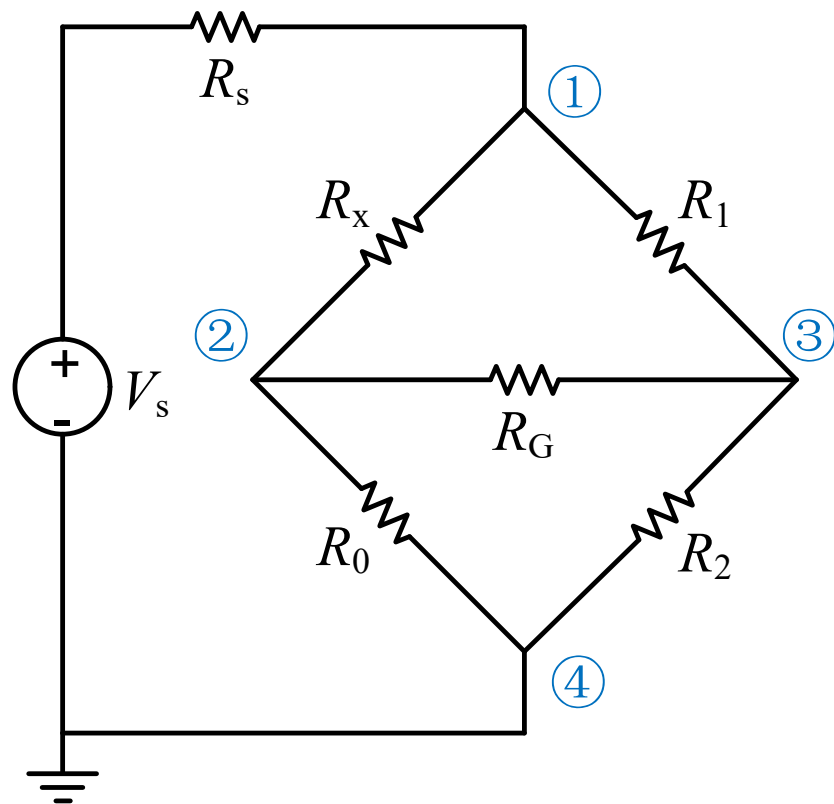


步骤1

- (电路有 $n=4$ 个基本节点)
- 以节点电压为独立变量

$$V_1 \quad V_2 \quad V_3$$

- $V_4 = 0$



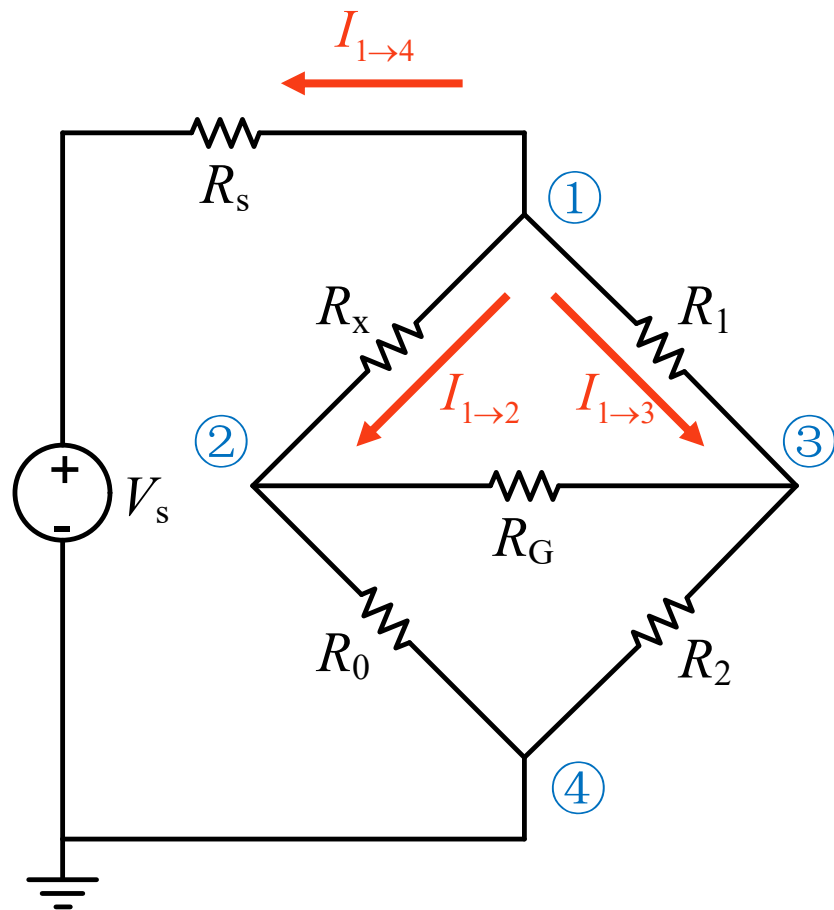
步骤2

- 用节点电压表示支路电流

$$I_{1 \rightarrow 4} = \frac{V_1 - V_s}{R_s} = -I_{4 \rightarrow 1}$$

$$I_{1 \rightarrow 2} = \frac{V_1 - V_2}{R_x} = -I_{2 \rightarrow 1}$$

$$I_{1 \rightarrow 3} = \frac{V_1 - V_3}{R_1} = -I_{3 \rightarrow 1}$$



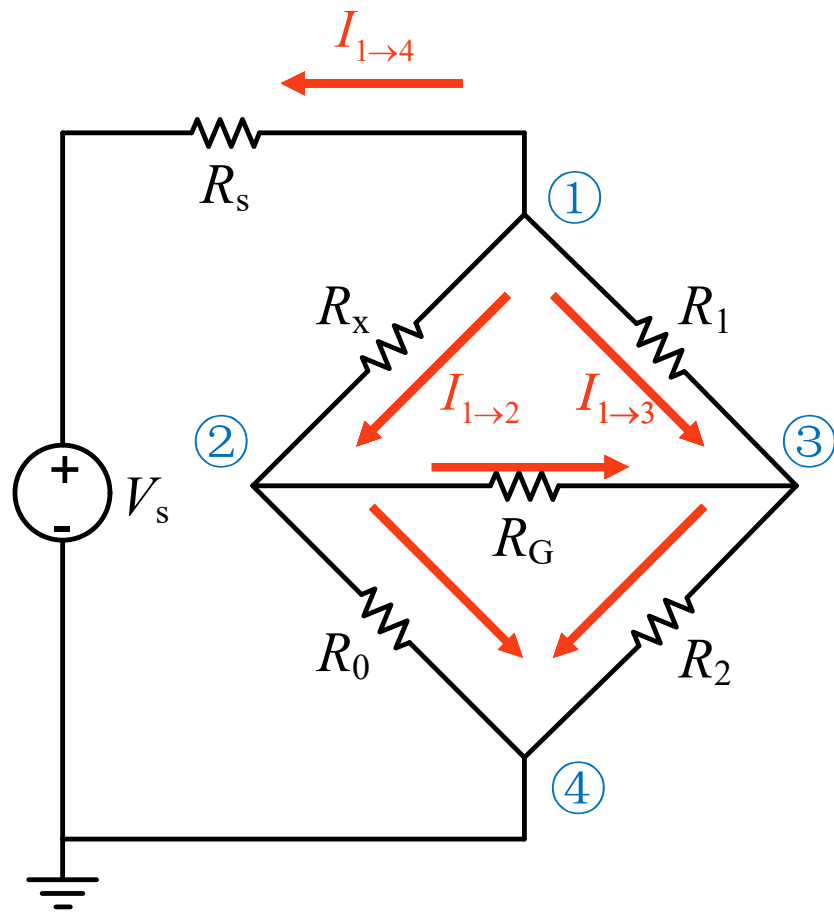
步骤2

- 用节点电压表示支路电流

$$I_{2 \rightarrow 3} = \frac{V_2 - V_3}{R_G} = -I_{3 \rightarrow 2}$$

$$I_{3 \rightarrow 4} = \frac{V_3 - V_4}{R_2} = \frac{V_3}{R_2} = -I_{4 \rightarrow 3}$$

$$I_{2 \rightarrow 4} = \frac{V_2 - V_4}{R_0} = \frac{V_2}{R_0} = -I_{4 \rightarrow 2}$$

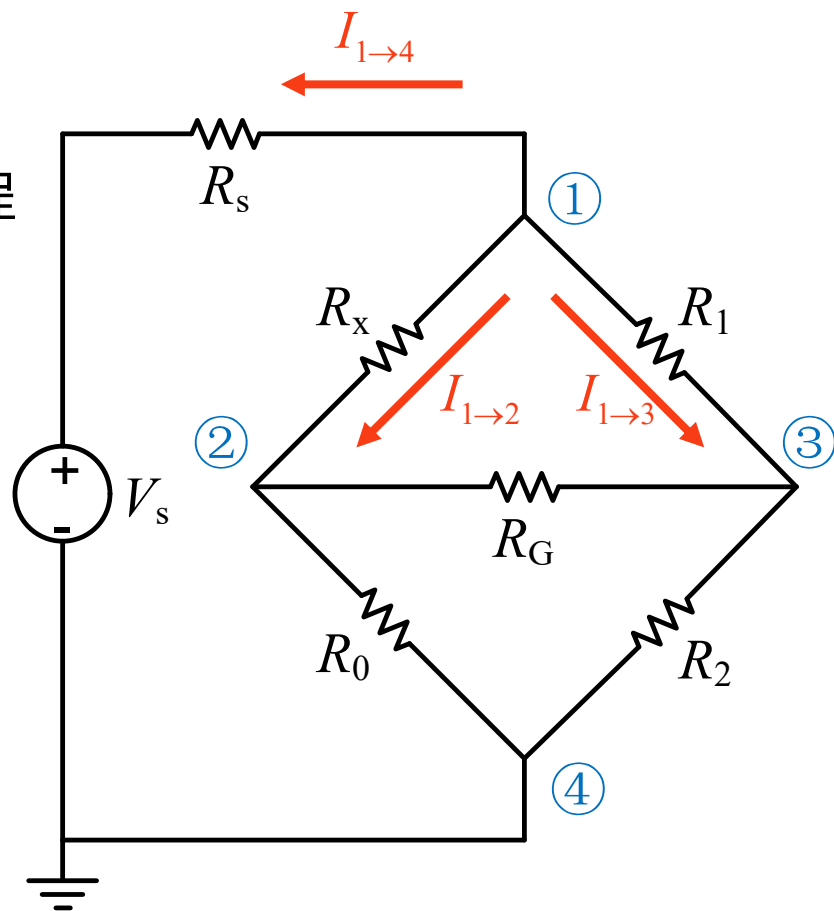


步骤3

- 围绕(n-1)个独立节点列写KCL方程
- 节点①

$$I_{1 \rightarrow 4} + I_{1 \rightarrow 2} + I_{1 \rightarrow 3} = 0$$

$$\rightarrow \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_1} \right) V_1 - \frac{1}{R_x} V_2 - \frac{1}{R_1} V_3 = \frac{V_s}{R_s}$$



$$I_{1 \rightarrow 4} = \frac{V_1 - V_s}{R_s} = -I_{4 \rightarrow 1}$$

$$I_{1 \rightarrow 2} = \frac{V_1 - V_2}{R_x} = -I_{2 \rightarrow 1}$$

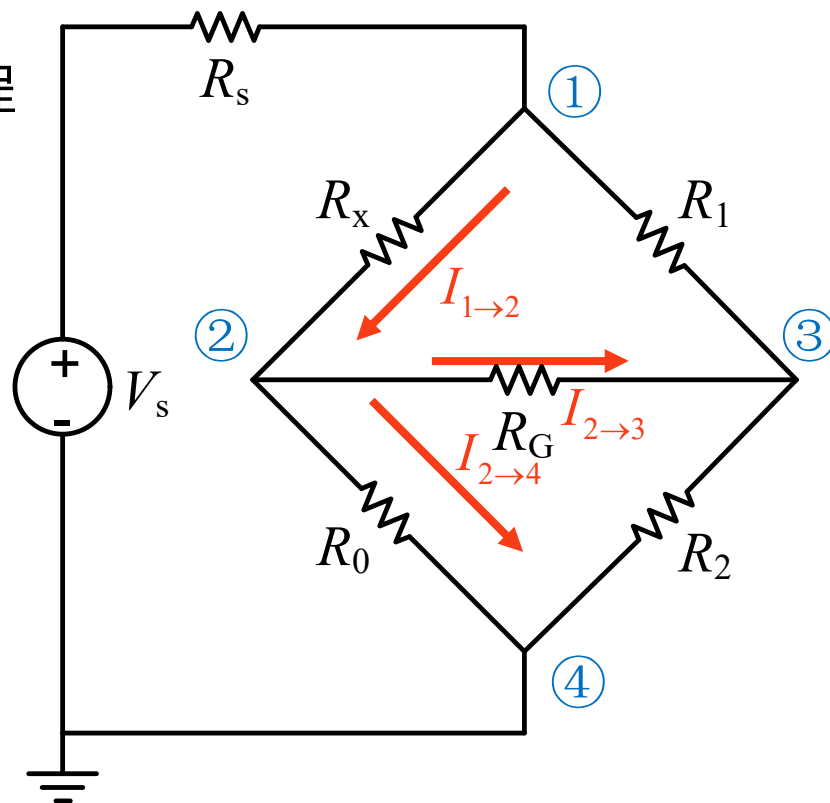
$$I_{1 \rightarrow 3} = \frac{V_1 - V_3}{R_1} = -I_{3 \rightarrow 1}$$

步骤3

- 围绕(n-1)个独立节点列写KCL方程
- 节点②

$$-I_{1 \rightarrow 2} + I_{2 \rightarrow 3} + I_{2 \rightarrow 4} = 0$$

$$\rightarrow -\frac{1}{R_x}V_1 + \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_0}\right)V_2 - \frac{1}{R_G}V_3 = 0$$

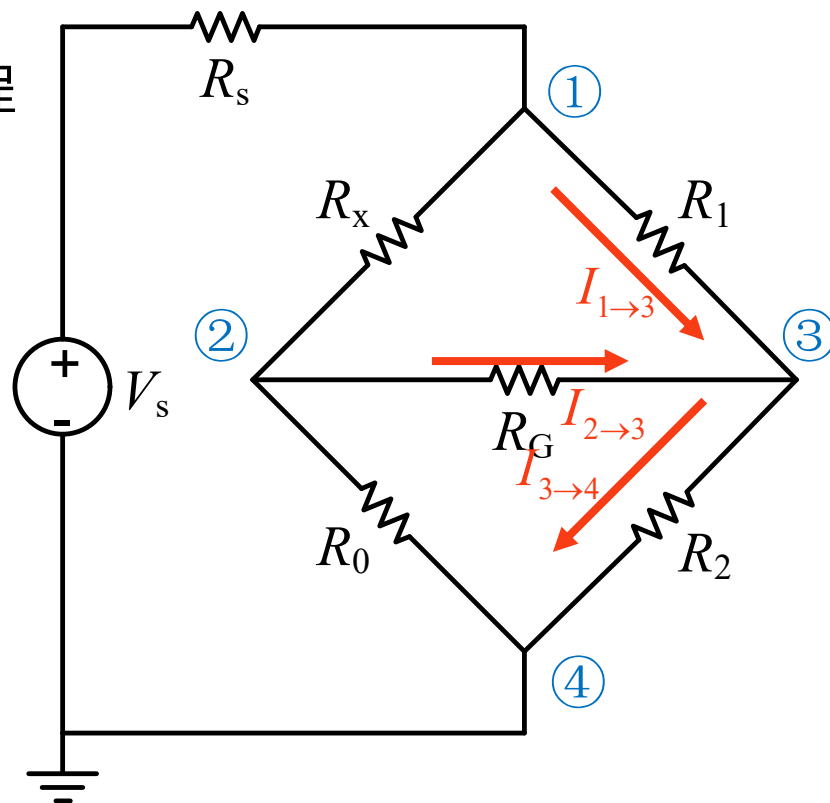


步骤3

- 围绕(n-1)个独立节点列写KCL方程
- 节点③

$$I_{1 \rightarrow 3} + I_{2 \rightarrow 3} - I_{3 \rightarrow 4} = 0$$

$$\rightarrow -\frac{1}{R_1}V_1 - \frac{1}{R_G}V_2 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_1}\right)V_3 = 0$$



步骤3

- 围绕(n-1)个独立节点列写KCL方程

$$\left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_1} \right) V_1 - \frac{1}{R_x} V_2 - \frac{1}{R_1} V_3 = \frac{V_s}{R_s}$$

$$-\frac{1}{R_x} V_1 + \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_0} \right) V_2 - \frac{1}{R_G} V_3 = 0$$

$$-\frac{1}{R_1} V_1 - \frac{1}{R_G} V_2 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_1} \right) V_3 = 0$$

步骤4

- 方程整理&求解
 - 1.5介绍

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_1} & -\frac{1}{R_x} & -\frac{1}{R_1} \\ -\frac{1}{R_x} & \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_0} & -\frac{1}{R_G} \\ -\frac{1}{R_1} & -\frac{1}{R_G} & \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_s / R_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

特性情况处理

- 存在电阻串联独立电压源支路
- 存在独立电流源支路
- 存在独立电压源支路
- 存在受控源支路

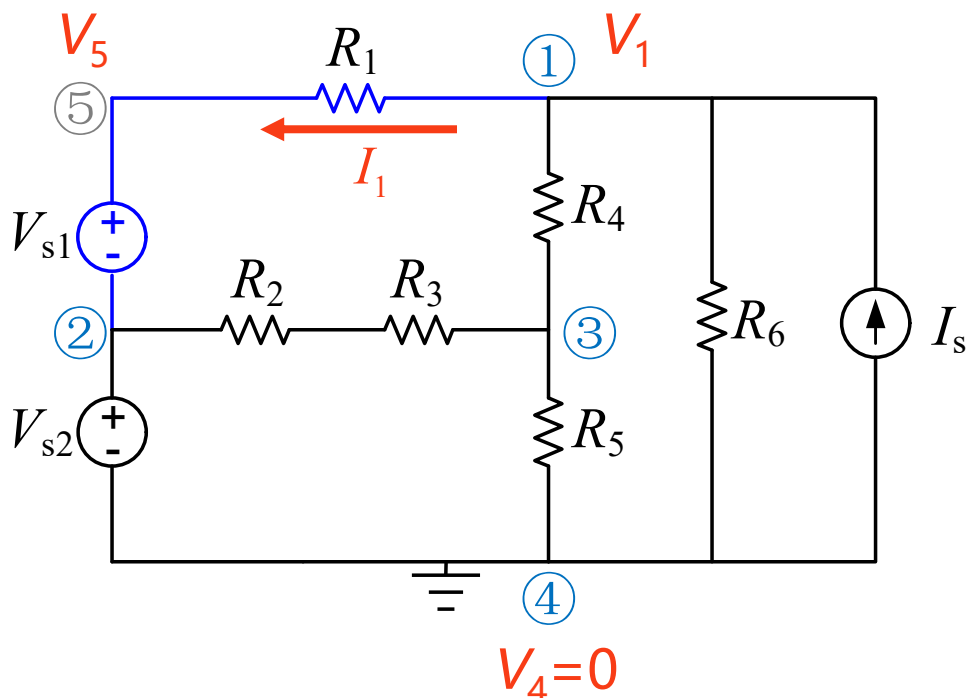
电阻串联独立电压源支路处理

- 独立变量 V_1 V_2 V_3

$$I_1 = \frac{V_1 - V_5}{R_1}$$

$$V_5 = V_2 + V_{s1}$$

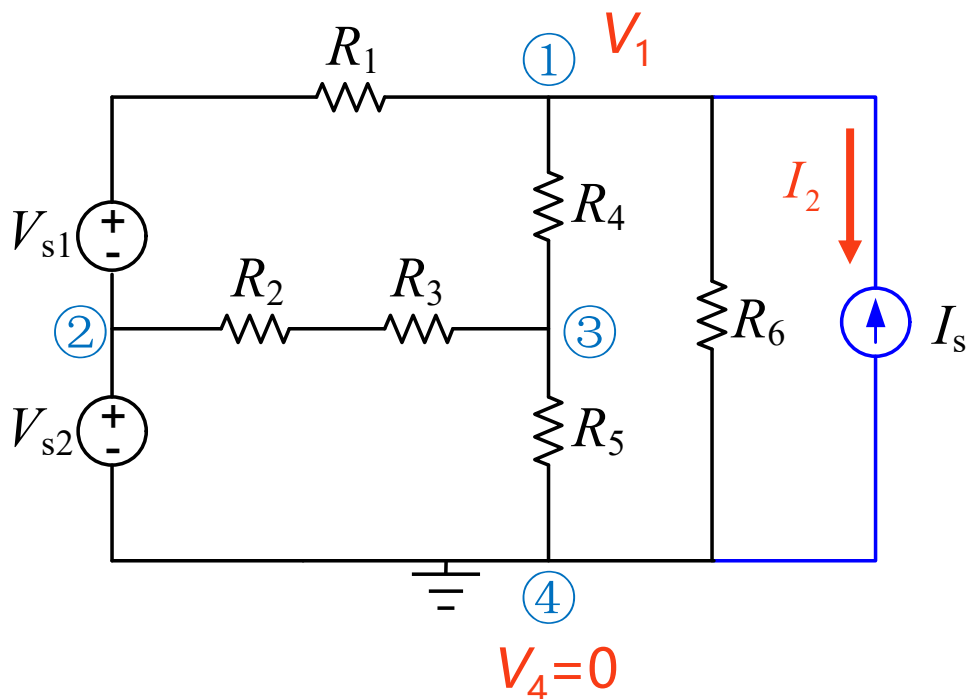
$$I_1 = \frac{V_1 - V_2 - V_{s1}}{R_1}$$



独立电流源支路处理

- 独立变量 V_1 V_2 V_3

$$I_2 = -I_s$$

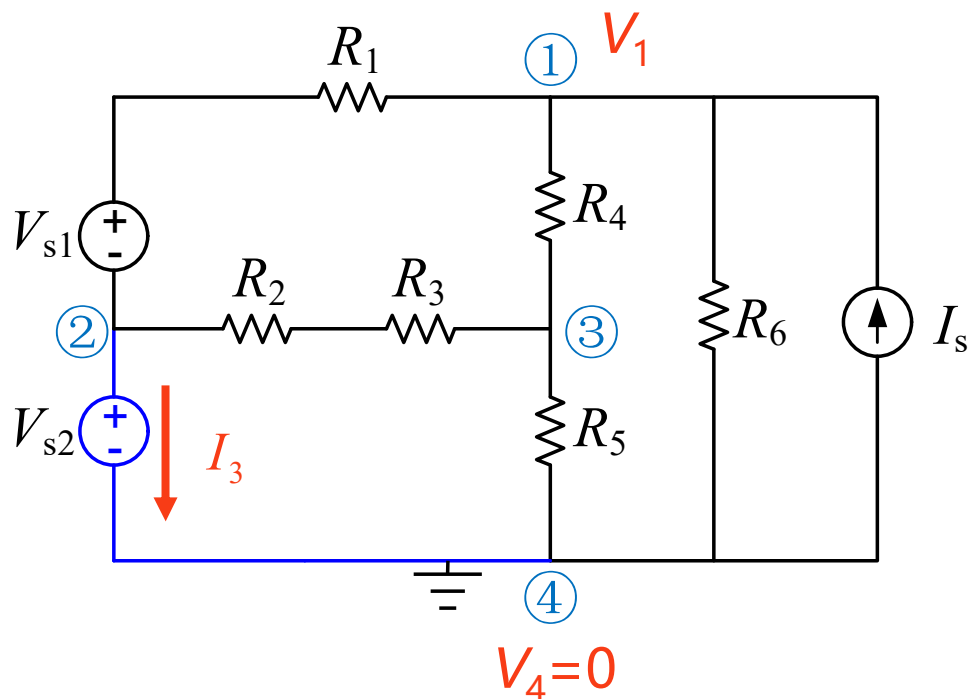


独立电压源支路处理

- 独立变量 V_1 V_2 V_3

- 增加变量 I_3 ,
同时增加约束方程

$$V_2 = V_{s1}$$



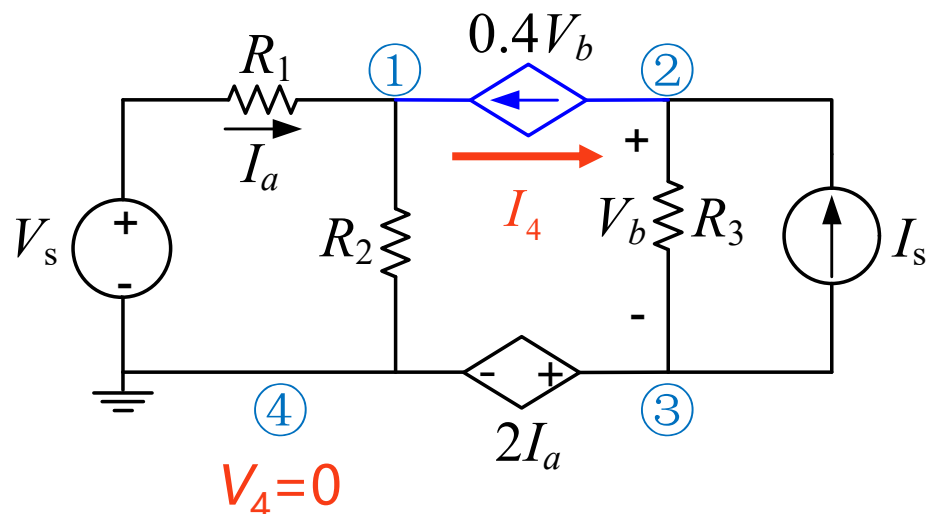
受控源支路处理

- 压控电流源

- 独立变量 V_1 V_2 V_3

$$V_b = V_2 - V_3$$

$$\Rightarrow I_4 = -0.4(V_2 - V_3)$$



受控源支路处理

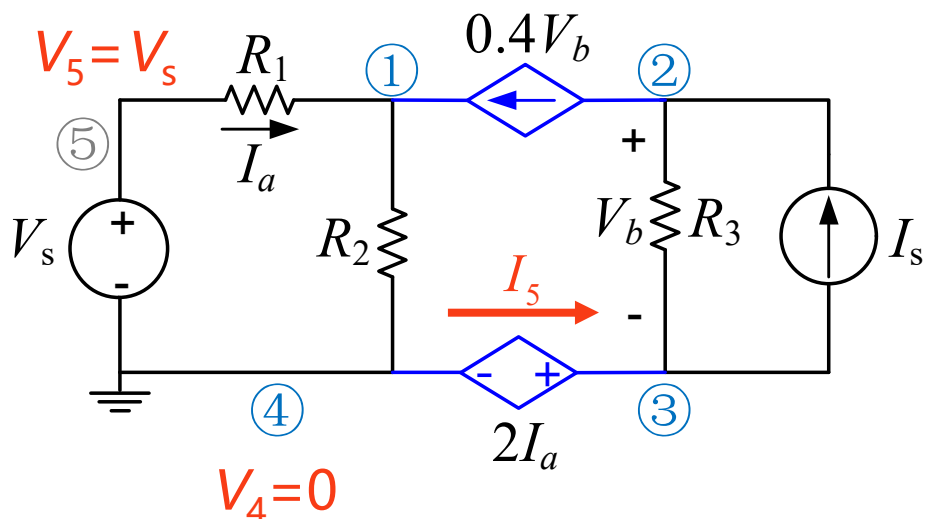
- 其它类型电流源：流控电压源

- 独立变量 V_1 V_2 V_3

- 增加变量 I_5 ,
同时增加约束方程

$$I_a = \frac{V_s - V_1}{R_1}$$

$$\Rightarrow V_3 = 2 \frac{V_s - V_1}{R_1}$$



除压控电流源的受控源：

增加一个流过受控源的电流变量，同时增加一个约束方程。

小结

- 节点分析法步骤
- 特殊情况处理