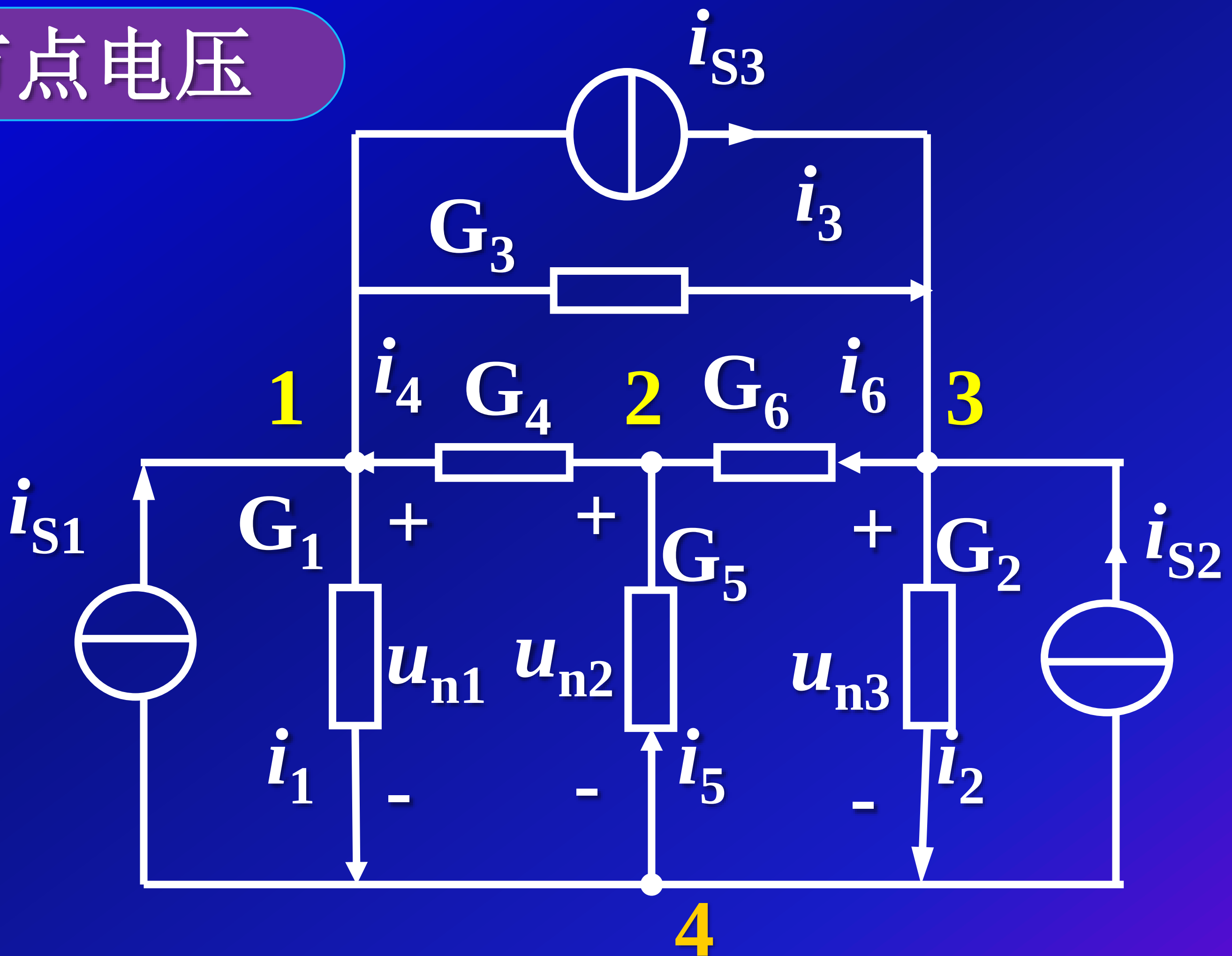
节点分析法

- 以节点电压作为独立变量
- 直接列写独立节点的*KCL*方程
- 解出节点电压进而求出响应
- “节点分析法是电子工程中的**Workhorse**！”

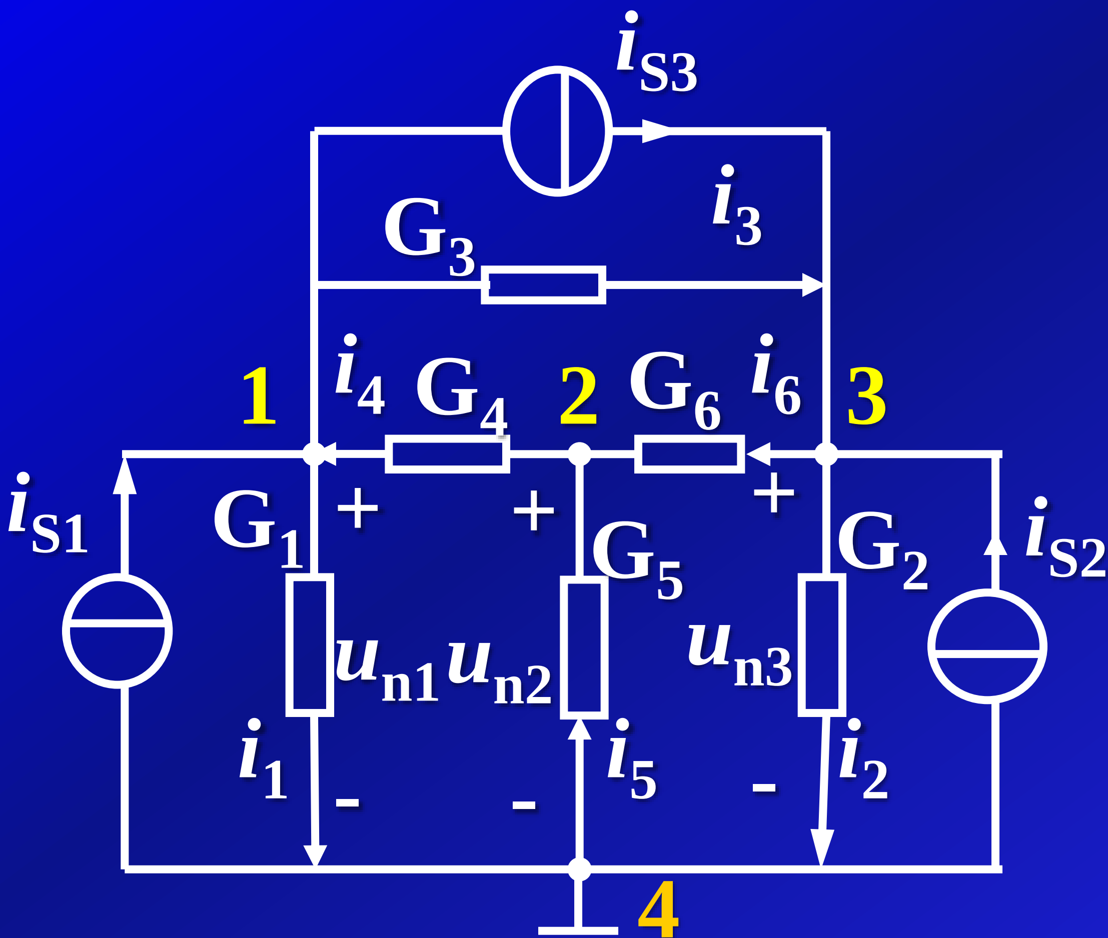
——MIT Anant Agarwal

节点电压



✓独立性和完备性？

节点方程

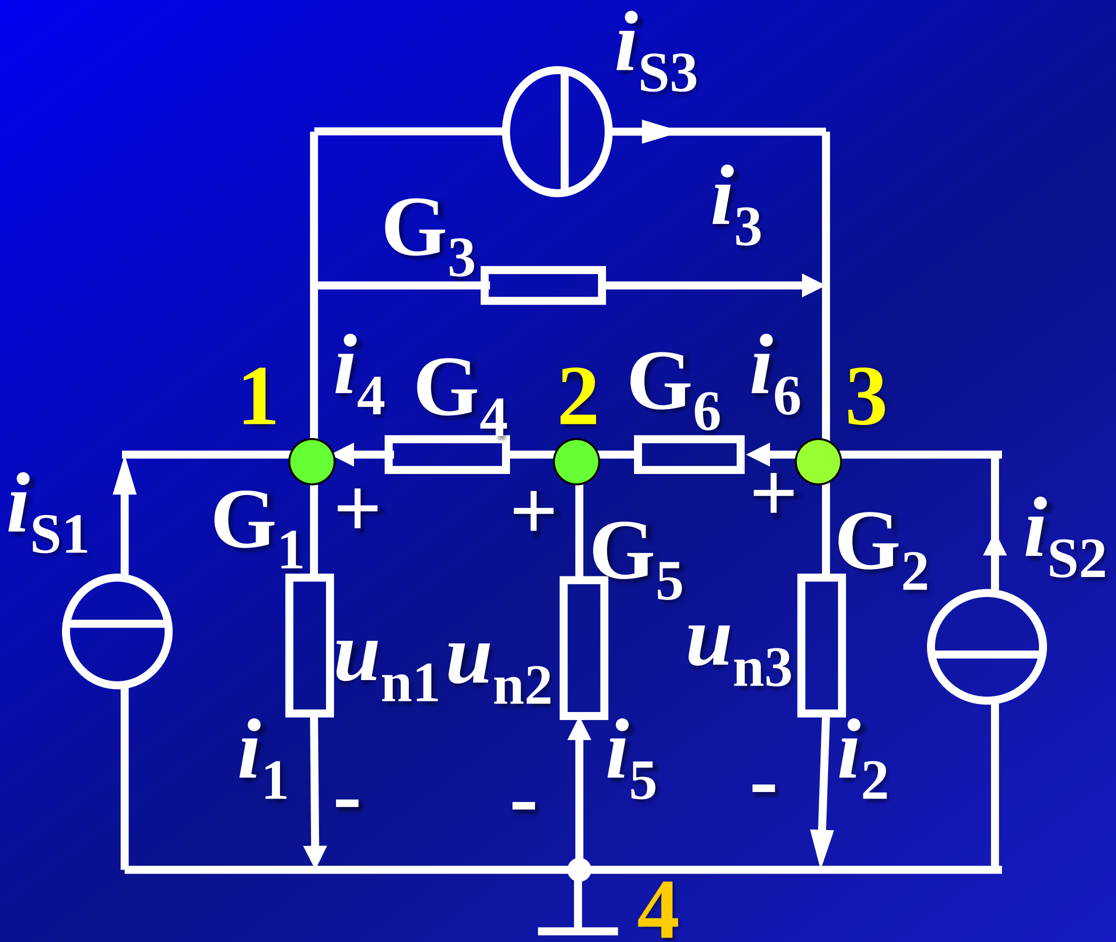


① 设参考节点

②列其余节点的 *KCL*方程

节点1

$$-i_{S1}+i_1+i_3$$
$$+i_{S3}-i_4=0$$



节点2

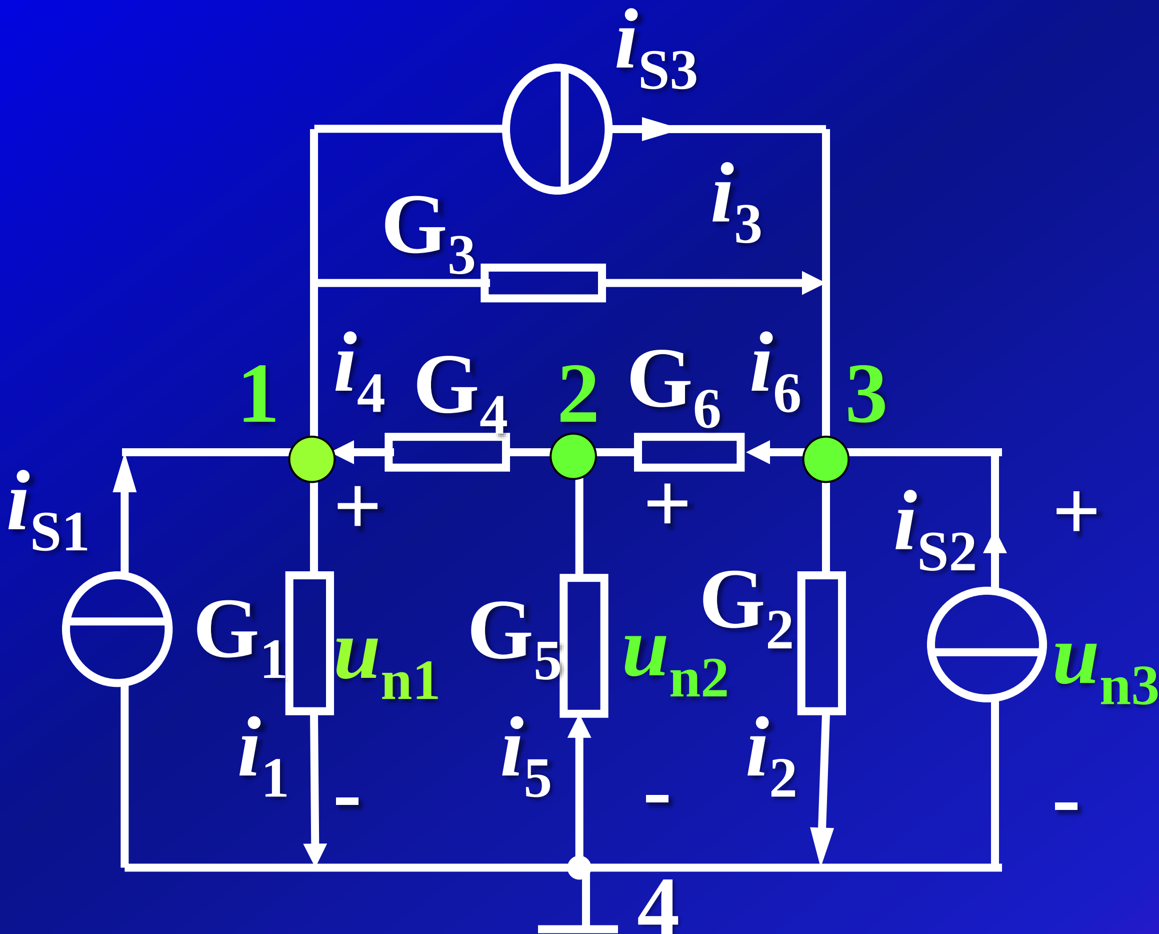
$$i_4 - i_5 - i_6 = 0$$

节点3

$$-i_{S2} + i_2 - i_3$$

$$-i_{S3} + i_6 = 0$$

③用节点电位表示支路电流



$$i_1 = G_1 u_{n1}$$

$$i_2 = G_2 u_{n3}$$

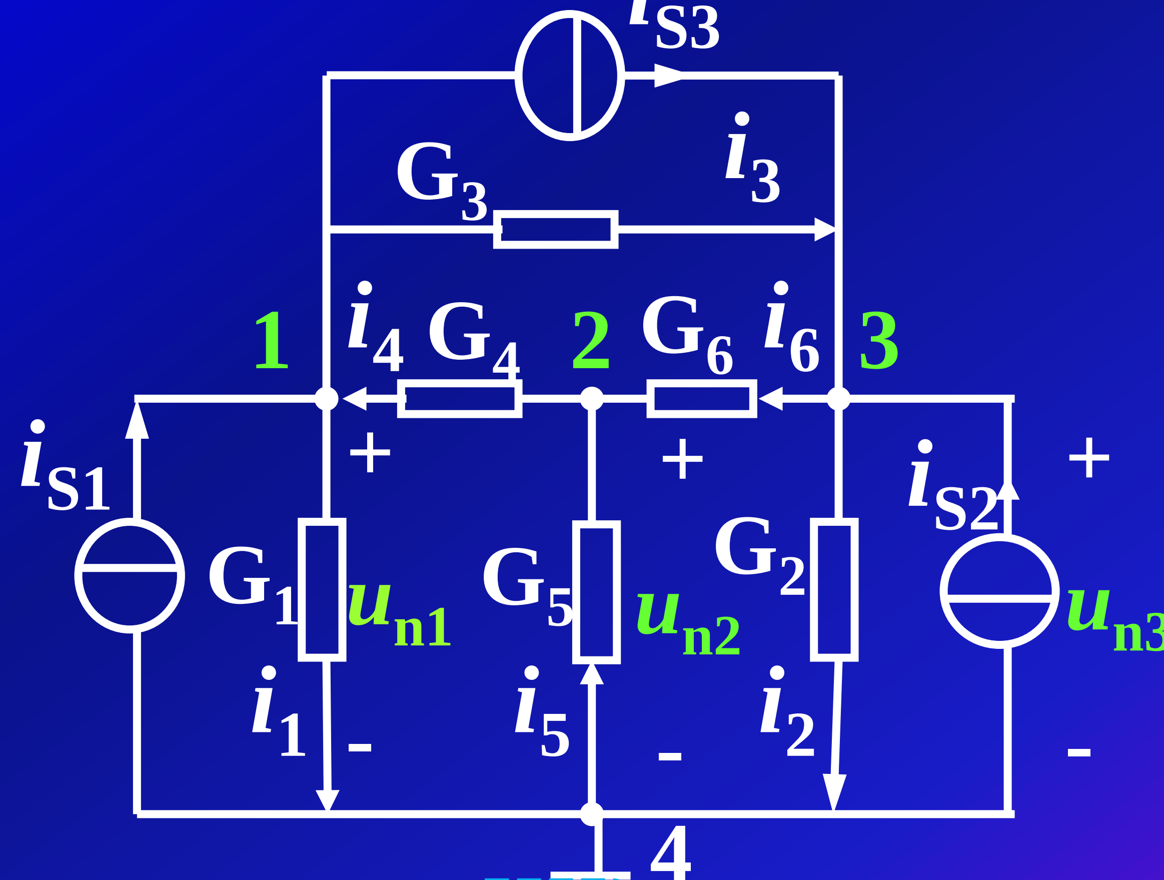
$$i_3 = G_3 (u_{n1} - u_{n3})$$

$$i_4 = G_4 (u_{n2} - u_{n1})$$

$$i_5 = -G_5 u_{n2}$$

$$i_6 = G_6 (u_{n3} - u_{n2})$$

④代入方程



$$(G_1+G_3+G_4)u_{n1}-G_4u_{n2}-G_3u_{n3}=i_{S1}-i_{S3}$$

$$-G_4u_{n1}+(G_4+G_5+G_6)u_{n2}-G_6u_{n3}=0$$

$$-G_3u_{n1}-G_6u_{n2}+(G_2+G_3+G_6)u_{n3}=i_{S2}+i_{S3}$$

节点方程一般形式

$$\begin{cases} G_{11}u_{n1} + G_{12}u_{n2} + G_{13}u_{n3} = i_{Sn1} \\ G_{21}u_{n1} + G_{22}u_{n2} + G_{23}u_{n3} = i_{Sn2} \\ G_{31}u_{n1} + G_{32}u_{n2} + G_{33}u_{n3} = i_{Sn3} \end{cases}$$

$G_{11} = G_1 + G_3 + G_4$ $\quad G_{12} = -G_4$ $\quad G_{13} = -G_3$

$G_{21} = -G_4$ $\quad G_{22} = G_4 + G_5 + G_6$ $\quad G_{23} = -G_6$

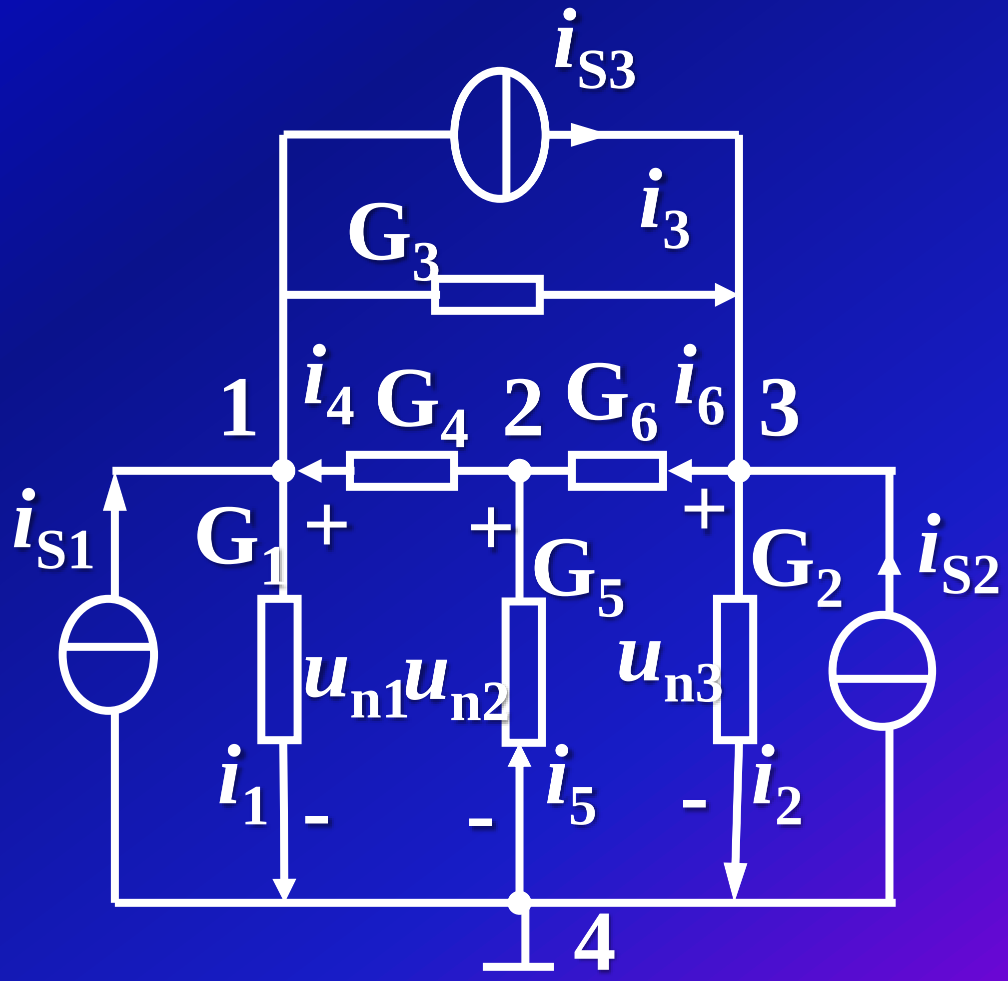
$G_{31} = -G_3$ $\quad G_{32} = -G_6$ $\quad G_{33} = G_2 + G_3 + G_6$

主对角线系数

$$G_{11} = G_1 + G_3 + G_4$$

$$G_{22} = G_4 + G_5 + G_6$$

$$G_{33} = G_2 + G_3 + G_6$$



自电导G_{ii}

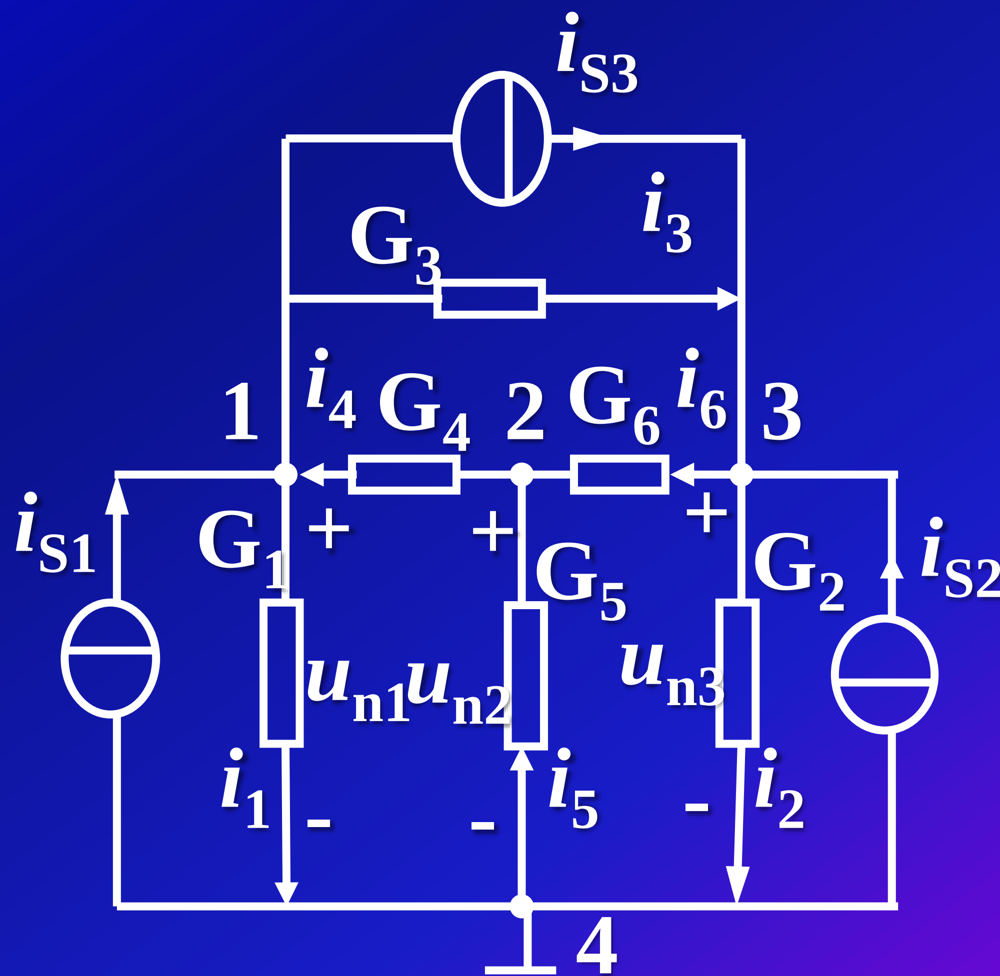
—与节点i相连的所有电导之和（正）

非对角线系数

$$G_{12} = G_{21} = -G_4$$

$$G_{13} = G_{31} = -G_3$$

$$G_{23} = G_{32} = -G_6$$



互电导G_{ij}

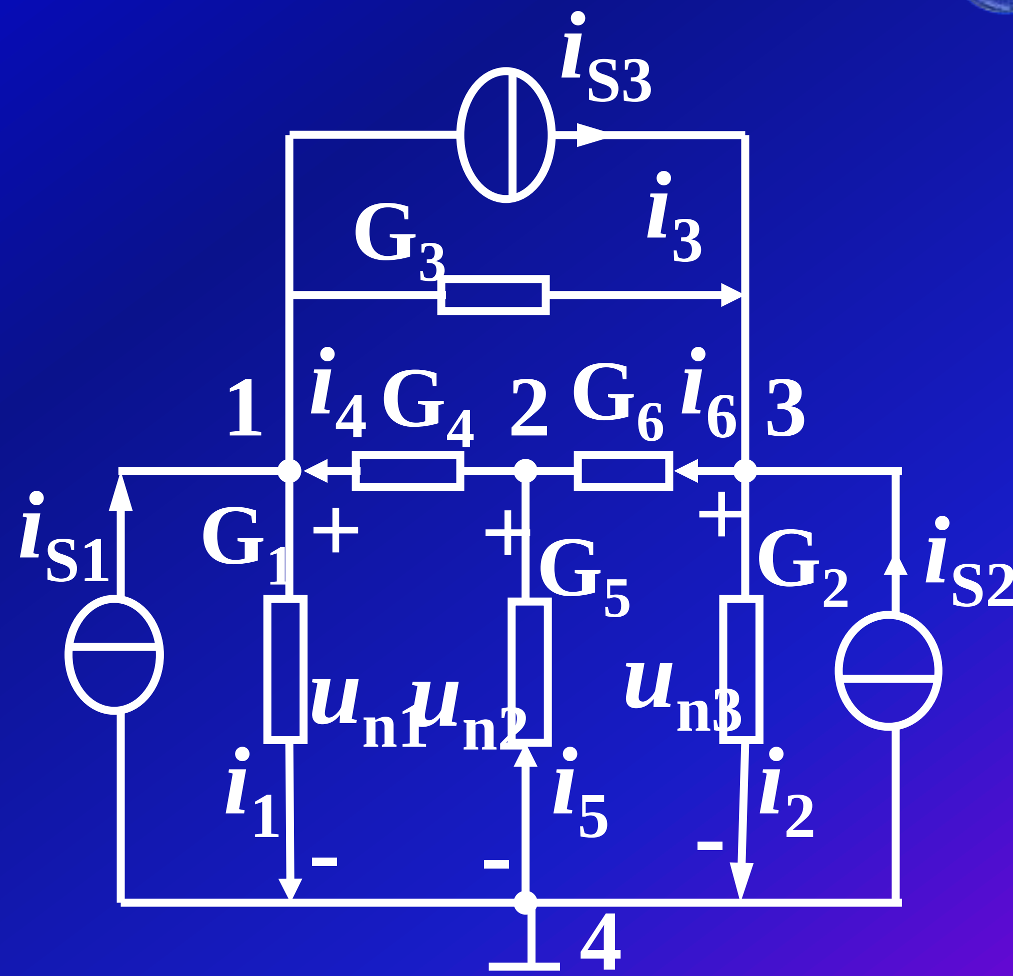
——节点i和j间公共支路电导之和（负）

方程右边系数

$$i_{Sn1}=i_{S1}-i_{S3}$$

$$i_{Sn2}=0$$

$$i_{Sn3}=i_{S2}+i_{S3}$$



i_{Sni}—节点 i 的电流源流入电流代数和，流入为正，流出为负。

节点方程直接列写规则

自电导×本节点的节点电压

$+\sum$ 互电导×相邻节点的节点电压

$=$ 流入本节点电流源电流的代数和

节点分析法主要步骤

① 选定参考节点（零电位），以其余节点电压作为未知变量;

② 直接列写节点的*KCL*方程，求取节点电压;

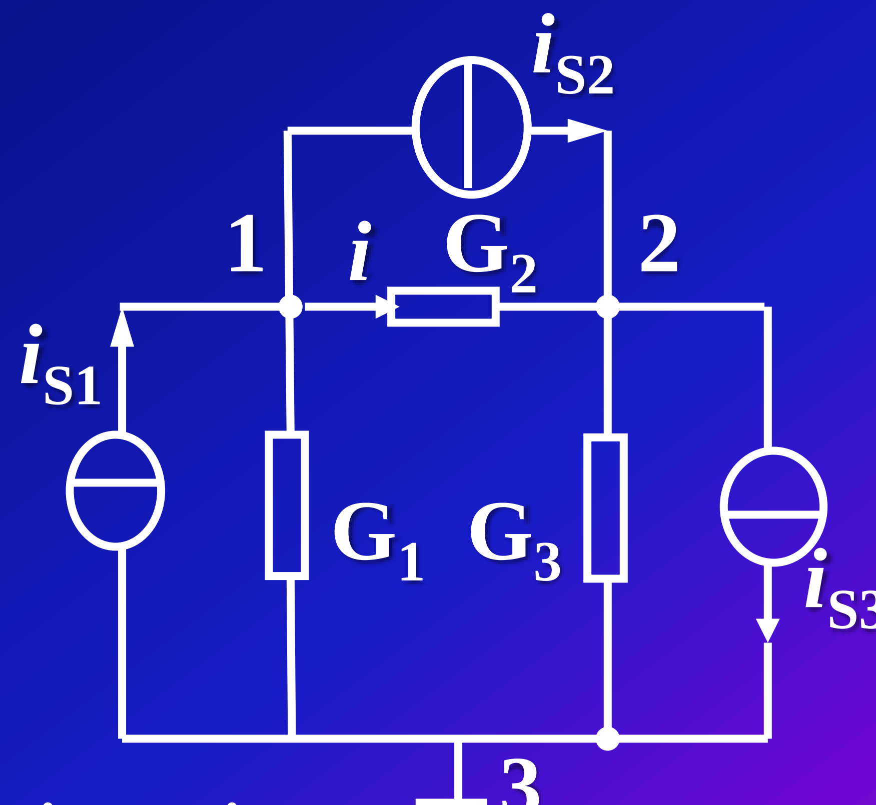
③ 求支路电压或其他响应;

④ 用*KCL*验证

特点：

- 编写方程最规律，且不受平面网络的限制；
- 适用于支路数多、节点数少的电路；

例5（P65例3-5) $i_{s1}=9A$, $i_{s2}=5A$, $i_{s3}=6A$，$G_1=1S$, $G_2=2S$, $G_3=1S$，用节点法求电流i



解：1）选3为参考节点

2）列节点方程

$$(G_1+G_2)u_{n1}-G_2u_{n2}=i_{S1}-i_{S2}$$

$$-G_2u_{n1}+(G_2+G_3)u_{n2}=i_{S2}-i_{S3}$$

整理，得

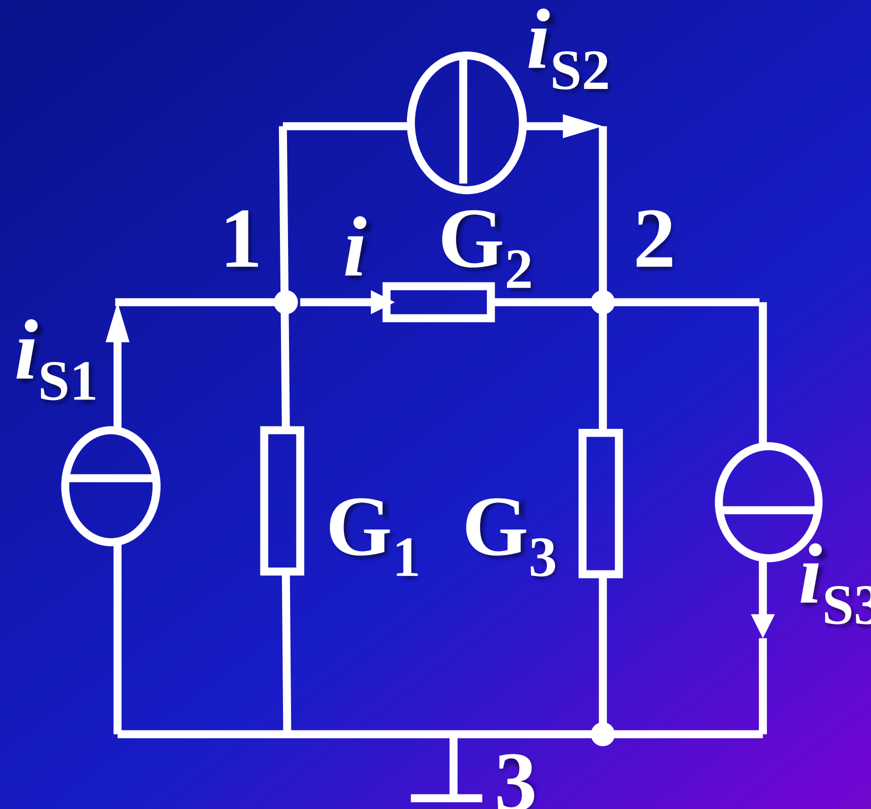
$$3u_{n1} - 2u_{n2} = 4$$

$$-2u_{n1} + 3u_{n2} = -1$$

解得

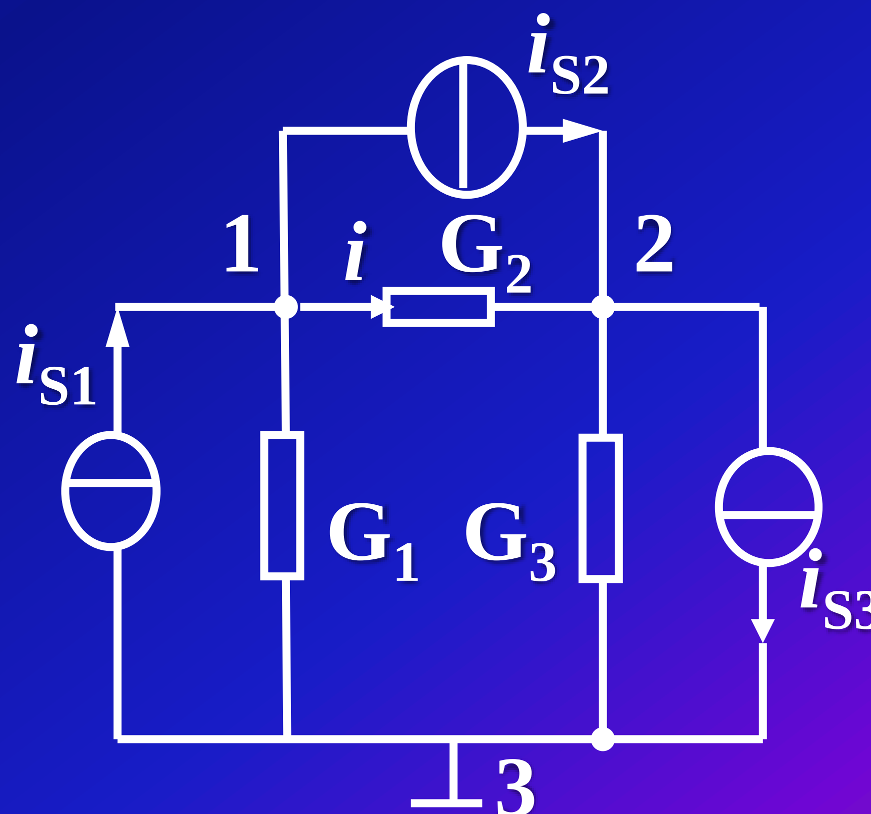
$$u_{n1} = \frac{D_1}{D} = \frac{10}{5} = 2V$$

$$u_{n2} = \frac{D_2}{D} = \frac{5}{5} = 1V$$



3）求电流*i*

$$i = G_2(u_{n1} - u_{n2})$$
$$= 2 \times (2-1)$$
$$= 2A$$

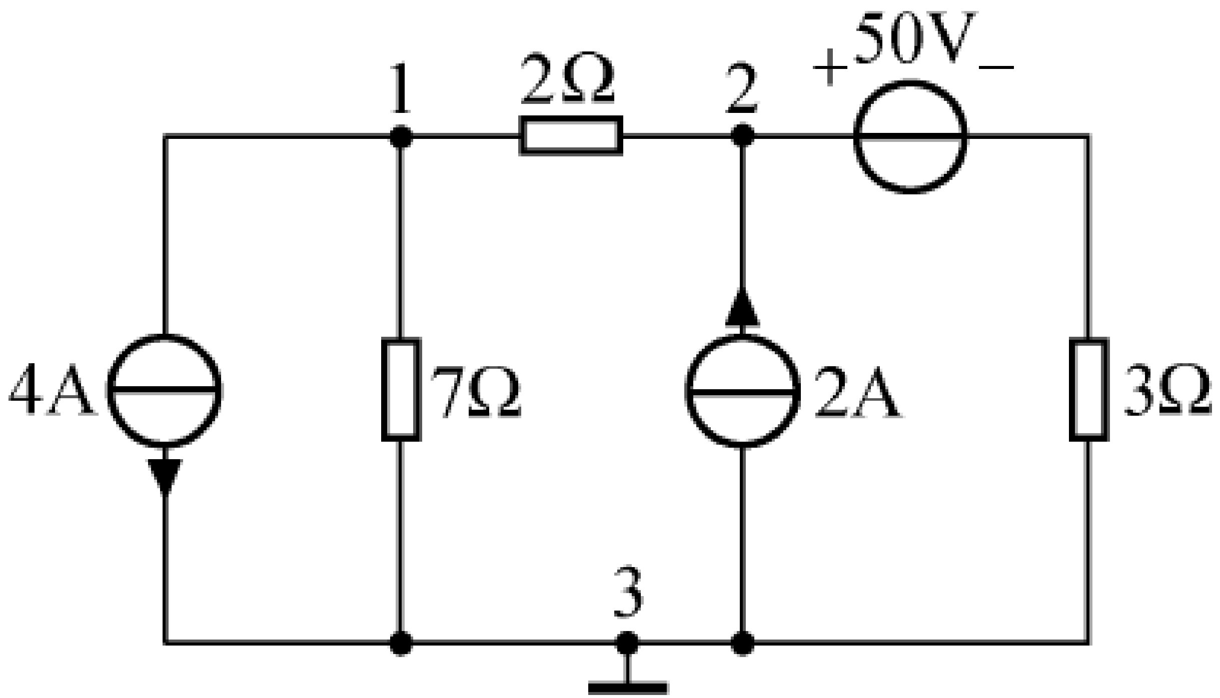


含有电压源网络的节点方程

- 先化简
  ① 开路与电压源并联的电阻；
  ② 短路与电流源串联的电阻。
- 再分析
  ① 有伴（能构成电压源模型）时？
  ② 无伴（单独电压源）时？

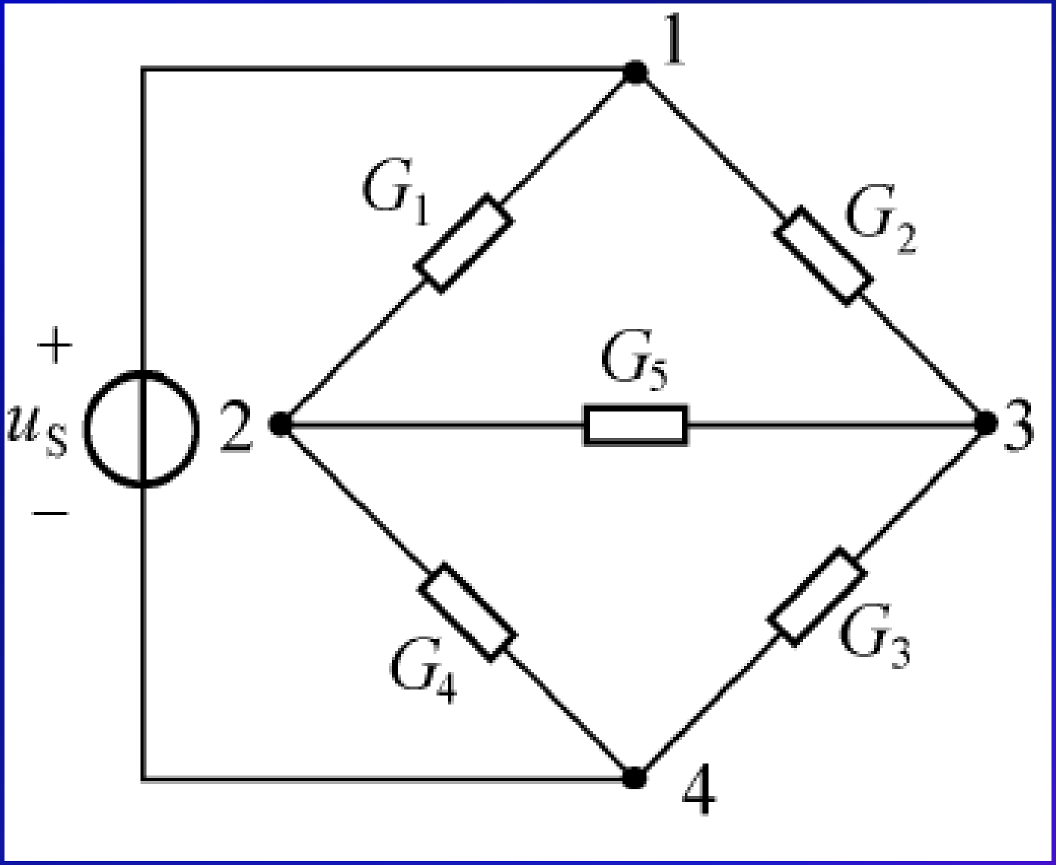
电压源处理方法

✓有伴（能构成电压源模型）时？

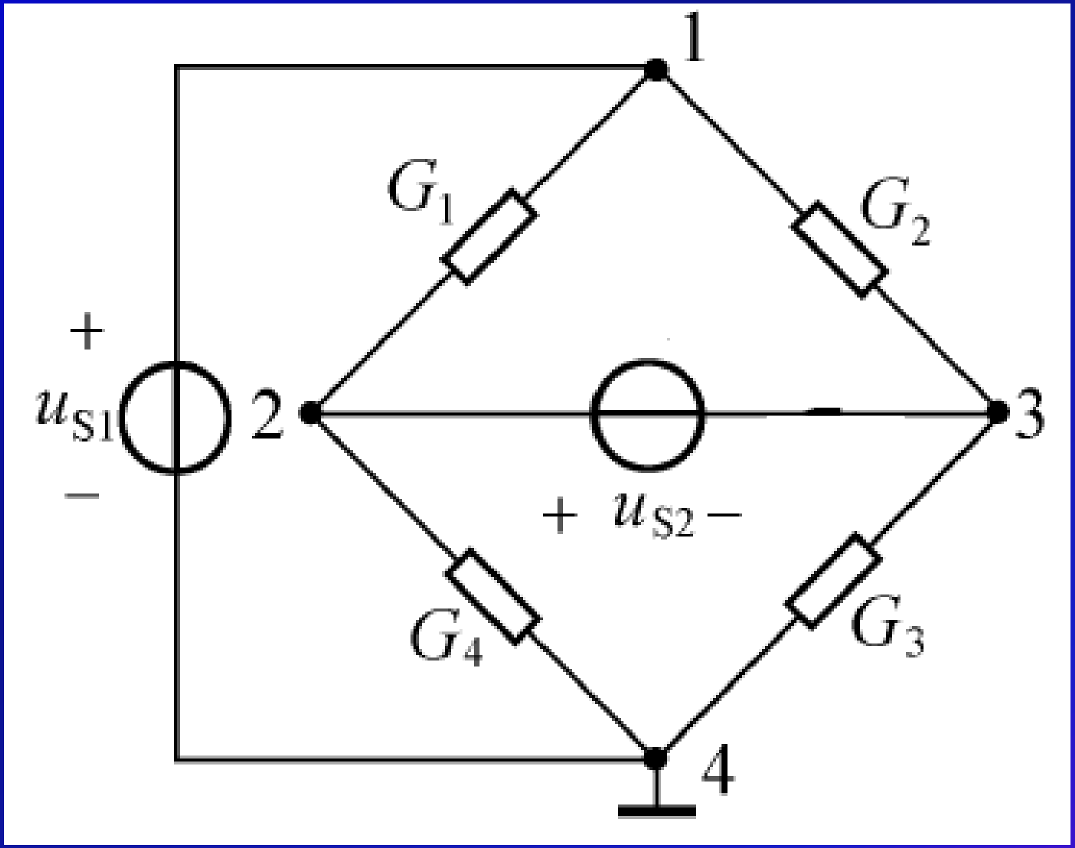


题图 3-7

✓无伴（单独电压源）时?

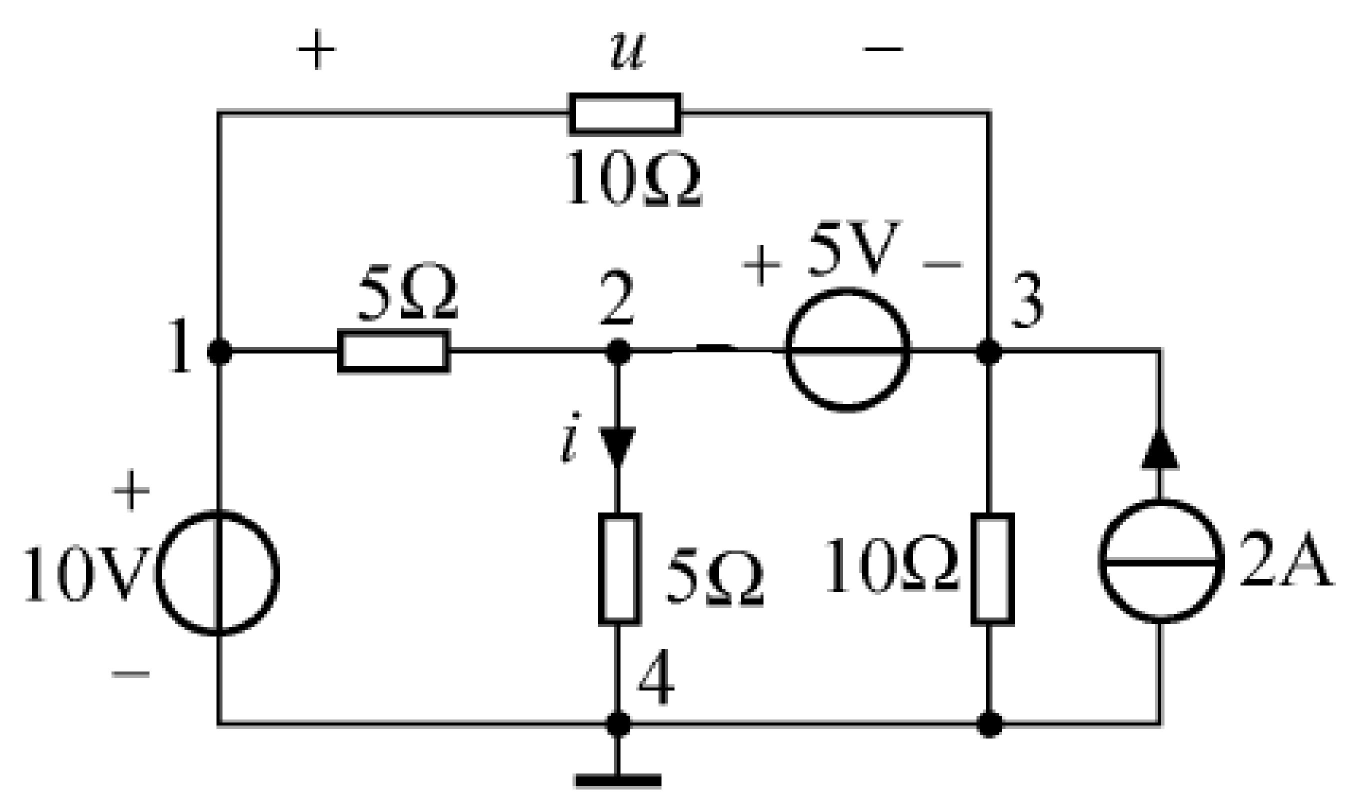


✓如不能令其一端为参考节点？



➢设电压源上的电流为 i_x，加列辅助方程(即电压源电压用节点电压表示)

例6（P66例3-6） 电路如图所示，试用节点分析法求电路中的电压u和电流i。



含有受控源网络的节点方程

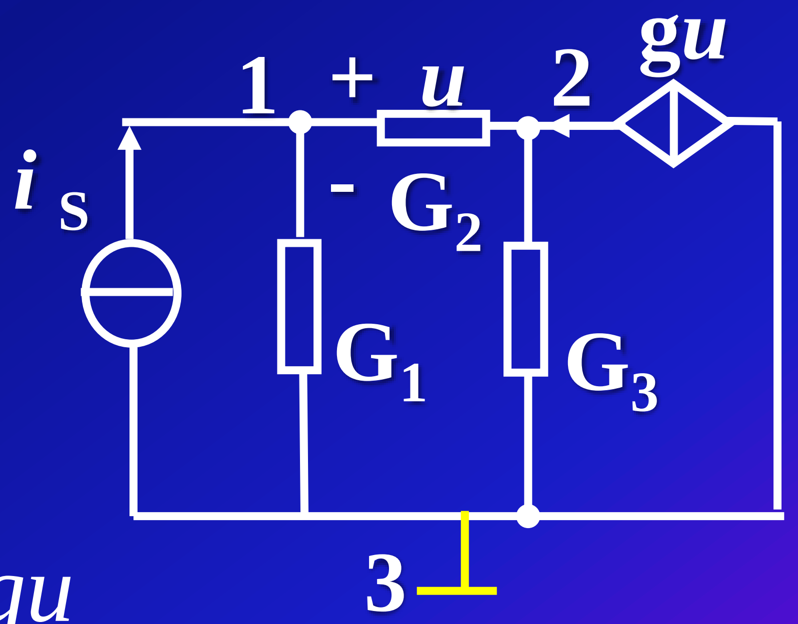
处理方法：

（1）受控源按独立源处理，列节点方程

（2）辅助方程：控制量用节点电压表示

例3-7 列节点方程

解：设3为参考节点



列节点方程

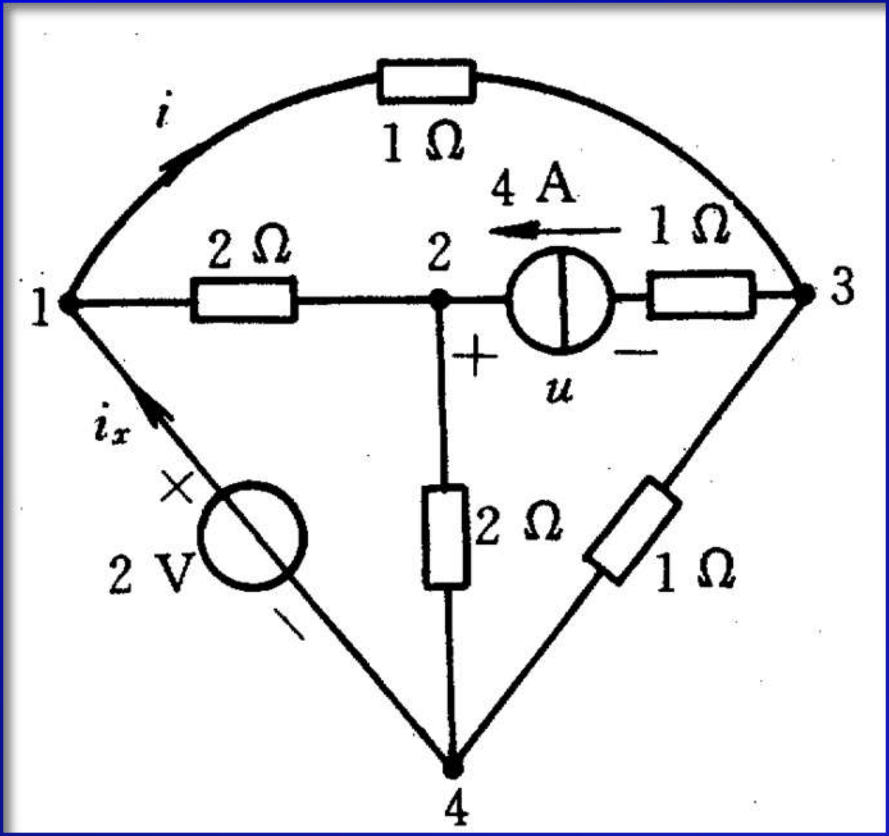
$$(G_1+G_2)u_{n1}-G_2u_{n2}=i_S$$

$$-G_2u_{n1}+(G_2+G_3)u_{n2}=gu$$

辅助方程：控制量用节点电压表示；

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

个例说明



- 先等效简化，再列方程
- 与 4A电流源串联的1Ω电阻不能计入节点2、节点 3 自电导里，也不能计入节点 2、3 之间的互电导里。
- P82习题3-10（b）

总结

分析法	支路法	网孔法	节点法
基本变量	支路电流 支路电压	网孔电流	节点电压
分析依据	KCL, KVL VCR	KVL VCR	KCL VCR
变量数	支路数*b*	*b*-(*n*-1)	*n*-1
方程形式	n-1个KCL方程 b-(n-1)个KVL方程	$\sum_{j=1}^{m} R_{ij} I_j = u_{Si}$	$\sum_{j=1}^{n-1} G_{ij} u_{nj} = i_{Si}$

结论

- 支路法：变量数多、无规律；
- 网孔法和节点法：变量数少、有规律；
- 网孔法只适用于平面网络；
- 节点分析法适用于任何网络；
- 对平面网络，应选择方程数最少的方法，同时考虑电源类型；
- 电流源多，列节点方程较方便；电压源多，则列网孔方程较方便。