兴趣 认真 执著 创新

《电子线路分析与设计》

第七讲：大网络分析基础

胡薇薇

2023.10.9

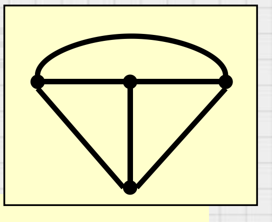
北京大学

网络拓扑分析的基本知识

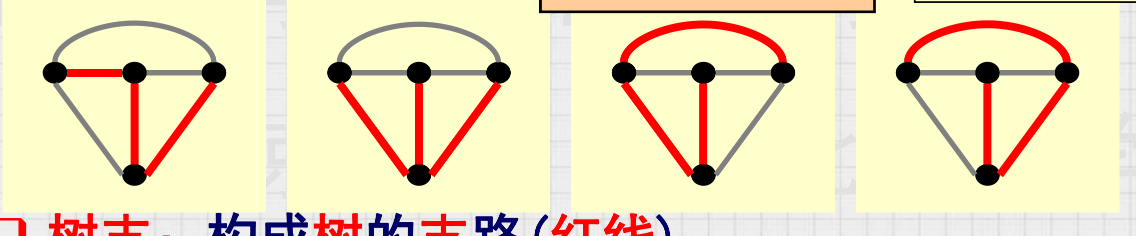
复习

- **树**：连通图中的一个子图：满足三个条件
  - (1) 连通；(2) 无回路；
  - (3) 含全部节点

每个人都有一棵自己的树☺



在例图中可以生成：



- **树支**：构成树的支路（红线）

  树支数：=节点数−1， $n_t=n-1$

- **连支**：非树支的支路（灰线）

  连支数： $L=b-n_t=b-n+1$

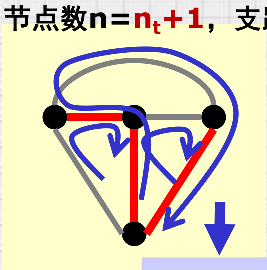
拓扑分析的基础知识--树，树支，和连支

复习

- 树：连通图中的一个子图：满足三个条件
  (1) 连通　(2) 无回路　(3) 含全部节点
- 树支：连通图中构成树的支路，连支：非树支的支路

$n_t << b$，$n_l << b$

节点数 $n = n_t + 1$，支路数 $b = n_t + n_l$



去树根，留下n-1个独立节点
→$n-1=n_t$个独立的KCL方程
→节点电压法　不用找树！

单连支+树支
→$b-n+1=n_l$个独立回路
→n_l个独立的KVL方程
→回路电流法

平面网络
→$b-n+1=n_l$个独立网孔
→n_l个独立的KVL方程
→网孔电流法　不用找树！

网孔法不一定是回路法。。。
证明叠加定理。。。

用回路电流法和节点电压法证明叠加定理

$Z_1+Z_2+Z_4$　$-Z_2$　…　Z_3+Z_5　…　$-Z_4$　$-Z_5$　$Z_4+Z_5+Z_6$

I_1　…　$V_{S1}-V_{S2}$　…

回路阻抗矩阵 $n_l \times n_l$

回路电流列向量

回路电压源列向量

$$Z \cdot I = V_S \Rightarrow I = Z^{-1} V_S \Rightarrow I_i = \sum_{k=1}^{n_l} \frac{\Delta_{ki}}{|Z|} V_{Sk}$$

叠加定理

$$Y \cdot V = I_S \Rightarrow V = Y^{-1} I_S \Rightarrow V_i = \sum_{k=1}^{n_t} \frac{\Delta_{ki}}{|Y|} I_{Sk}$$

节点导纳矩阵 $n_t \times n_t$

节点电压列向量

节点电流源列向量

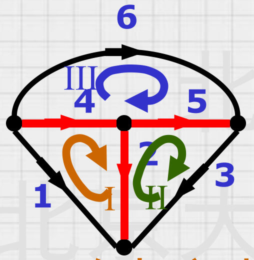
$-$　$-Y_5$　Y_2+　0　$-Y_5$　V_3　I_{S1}　I_{S3}　I_{S3}

证明叠加定理。。。

网络的基本分析方法--回路电流法

复习

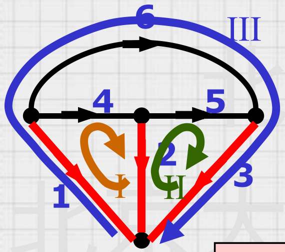
网孔电流法



Z_{ii} 回路i的各支路阻抗的总和（自阻抗）

$$\begin{pmatrix} Z_1+Z_2+Z_4 & -Z_2 & -Z_4 \\ -Z_2 & Z_2+Z_3+Z_5 & -Z_5 \\ -Z_4 & -Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} V_{s1}-V_{s2} \\ V_{s2}-V_{s3} \\ 0 \end{pmatrix}$$

回路电流法



V_{Si} 沿i回路电流方向的所有电压源的电压升的代数和

$$\begin{pmatrix} Z_1+Z_2+Z_4 & -Z_2 & Z_1 \\ -Z_2 & Z_2+Z_3+Z_5 & Z_3 \\ Z_1 & Z_3 & Z_1+Z_3+Z_6 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} V_{s1}-V_{s2} \\ V_{s2}-V_{s3} \\ V_{s1}-V_{s3} \end{pmatrix}$$

Z_{ij} 回路i和j共用支路上的阻抗代数和（互阻抗）

I_i和I_j的方向相同时为正，否则为负

当网络中不含受控源时为对称矩阵： $Z_{ji}=Z_{ij}$

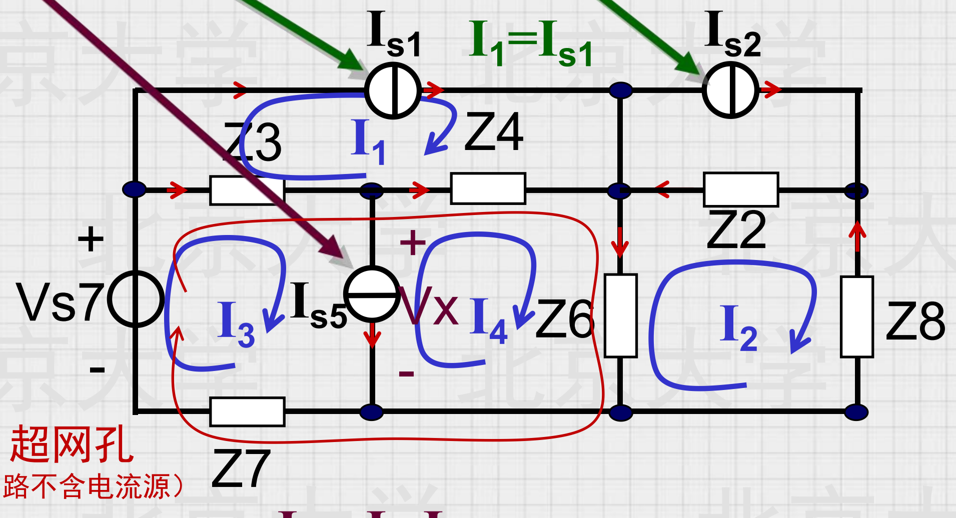
回路电流法—含电流源支路的处理

复习

(1) 源等效法（诺顿⇔戴维南） *改变了原网络结构*

(2) 虚回路电流法（电流源支路在边界支路上时）

(3) 假设支路电压法（电流源支路不在边界支路上时）

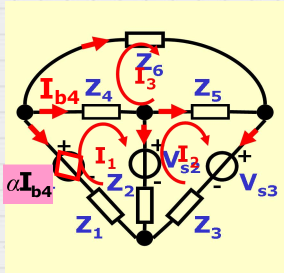


$I_{s5}=I_3-I_4$

回路电流法—含受控电压源支路的处理

复习

(a) 先将受控源看成源，写出回路方程矩阵：



$$\begin{pmatrix} Z_1+Z_2+Z_4 & -Z_2 & -Z_4 \\ -Z_2 & Z_2+Z_3+Z_5 & -Z_5 \\ -Z_4 & -Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \alpha I_{b4}-V_{S2} \\ V_{S2}-V_{S3} \\ 0 \end{pmatrix}$$

(b) 用已知和待求变量表示控制量：

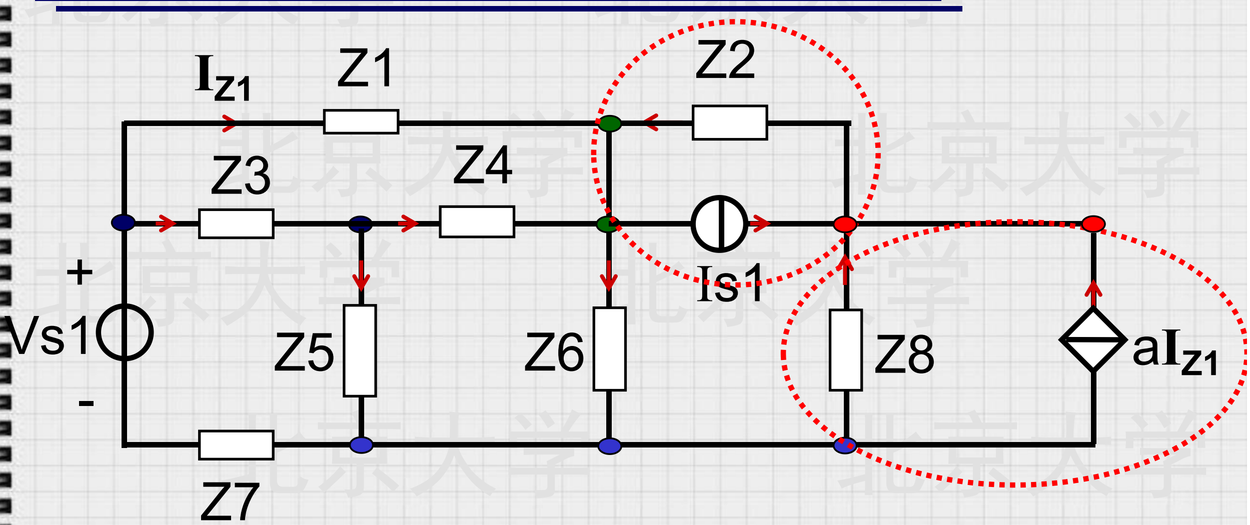
$$I_{b4}=I_1-I_3$$

(c) 代入整理，得到非对称矩阵：

$Z_{ji} \neq Z_{ij}$

$$\begin{pmatrix} Z_1+Z_2+Z_4-\alpha & -Z_2 & -Z_4+\alpha \\ -Z_2 & Z_2+Z_3+Z_5 & -Z_5 \\ -Z_4 & -Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} -V_{S2} \\ V_{S2}-V_{S3} \\ 0 \end{pmatrix}$$

节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕

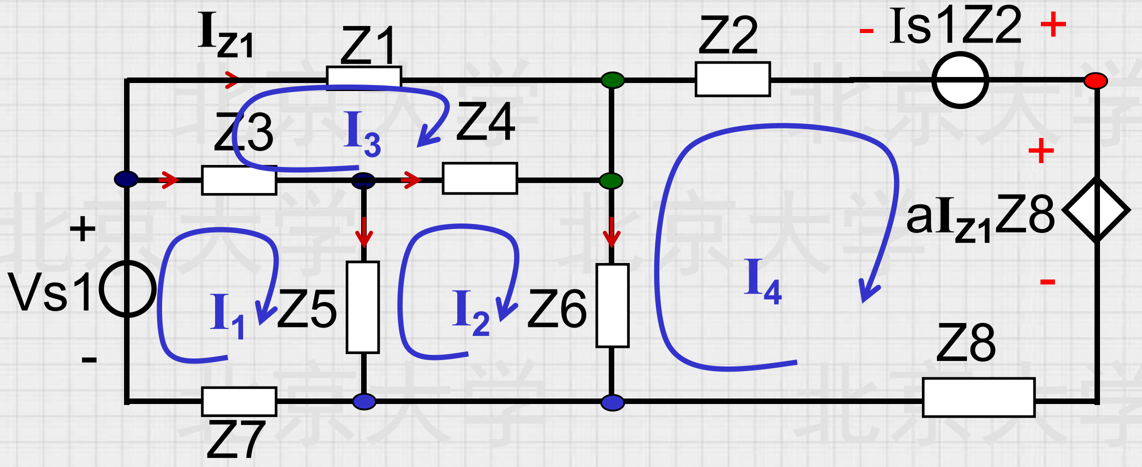


解法1：4网孔（诺顿→戴维南）

解法2：6网孔（虚回路电流法）

节点数。。。？

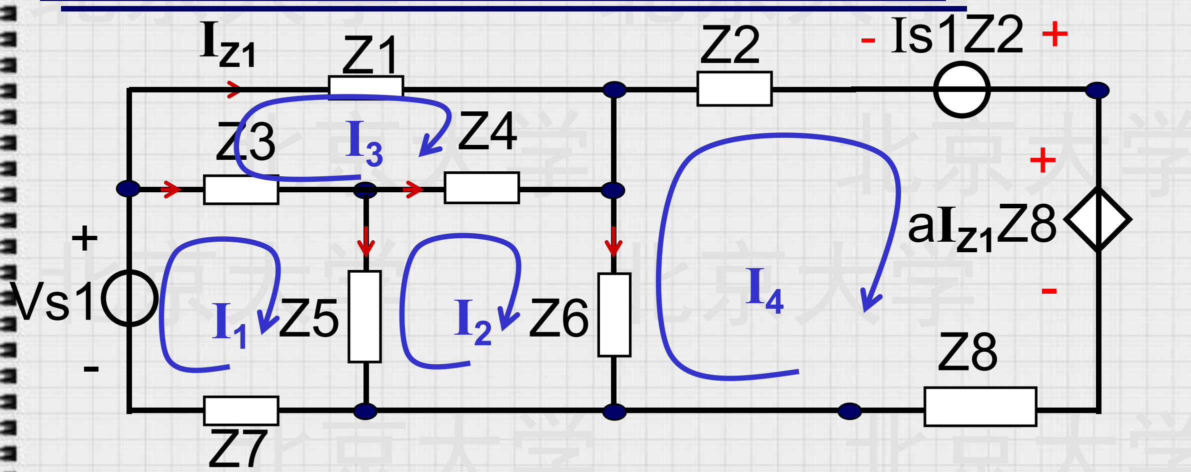
节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕



解法1：4网孔（诺顿→戴维南）

节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕

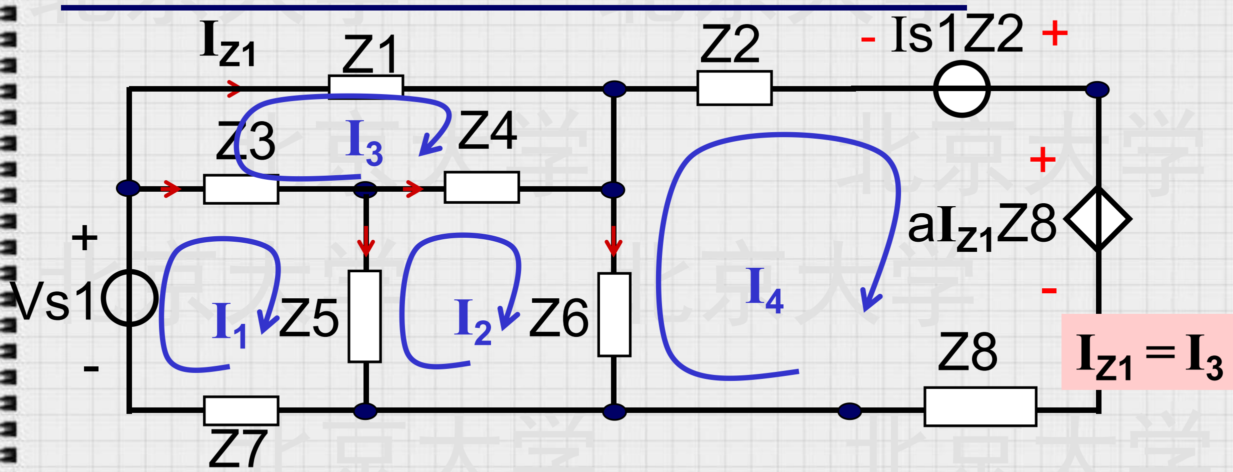
解法1：



$$
\begin{pmatrix}
Z_3+Z_5+Z_7 & -Z_5 & -Z_3 & 0 \\
-Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 & -Z_4 & -Z_6 \\
-Z_3 & -Z_4 & Z_1+Z_3+Z_4 & 0 \\
0 & -Z_6 & 0 & Z_2+Z_6+Z_8
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix}
I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
V_{S1} \\ 0 \\ 0 \\ I_{S1}Z_2-aI_{Z1}Z_8
\end{pmatrix}
$$

节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕

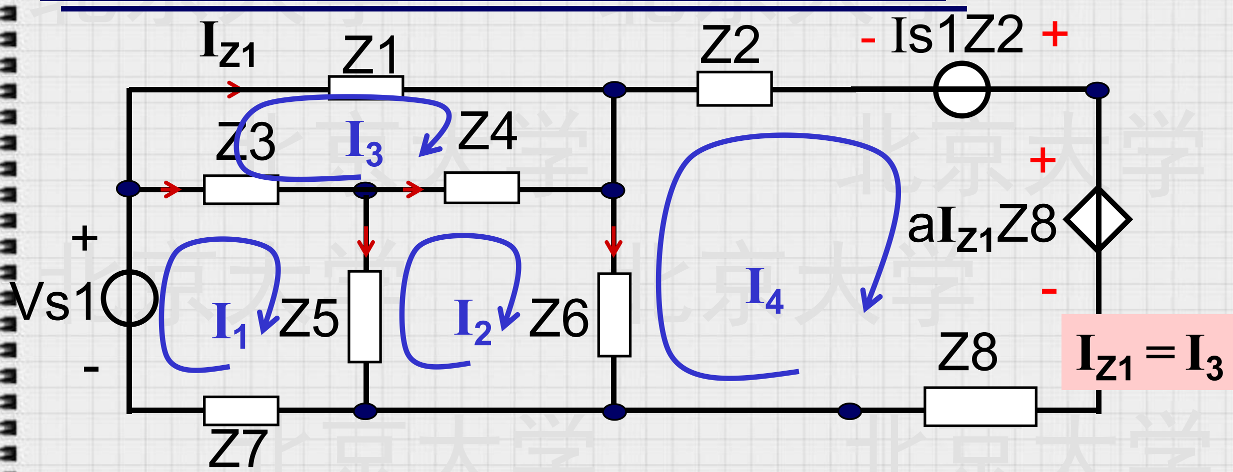
解法1:



$$\begin{pmatrix} Z_3+Z_5+Z_7 & -Z_5 & -Z_3 & 0 \\ -Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 & -Z_4 & -Z_6 \\ -Z_3 & -Z_4 & Z_1+Z_3+Z_4 & 0 \\ 0 & -Z_6 & 0 & Z_2+Z_6+Z_8 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} V_{S1} \\ 0 \\ 0 \\ I_{S1}Z_2-aI_3Z_8 \end{pmatrix}$$

节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕

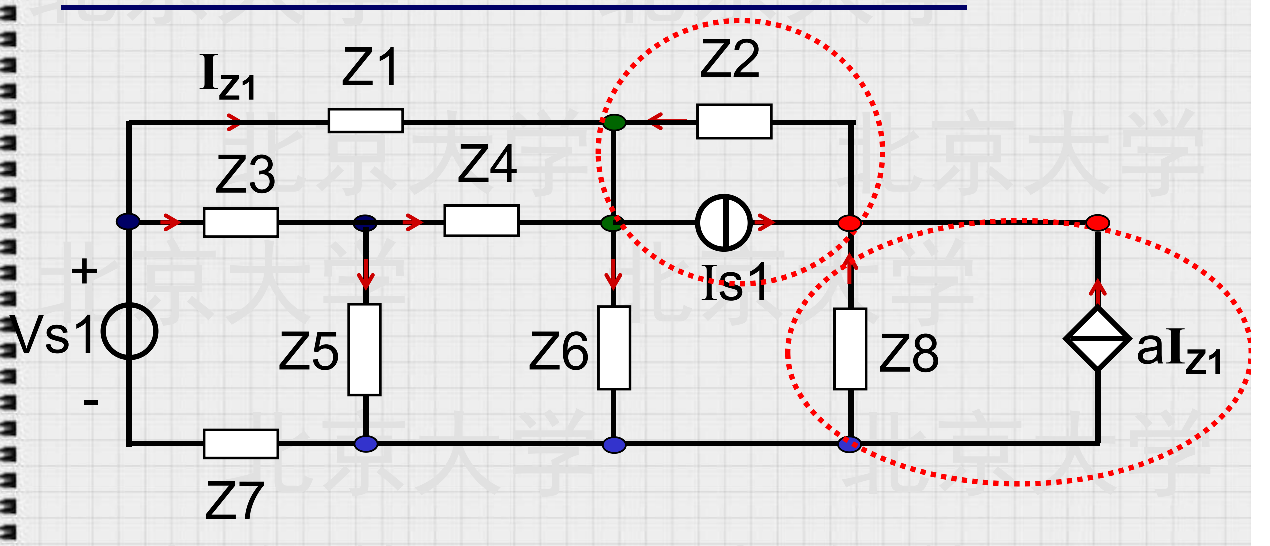
解法1:



$$\begin{pmatrix} Z_3+Z_5+Z_7 & -Z_5 & -Z_3 & 0 \\ -Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 & -Z_4 & -Z_6 \\ -Z_3 & -Z_4 & Z_1+Z_3+Z_4 & 0 \\ 0 & -Z_6 & aZ_8 & Z_2+Z_6+Z_8 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} V_{S1} \\ 0 \\ 0 \\ I_{S1}Z_2 \end{pmatrix}$$

试试能不能恢复电路。。。

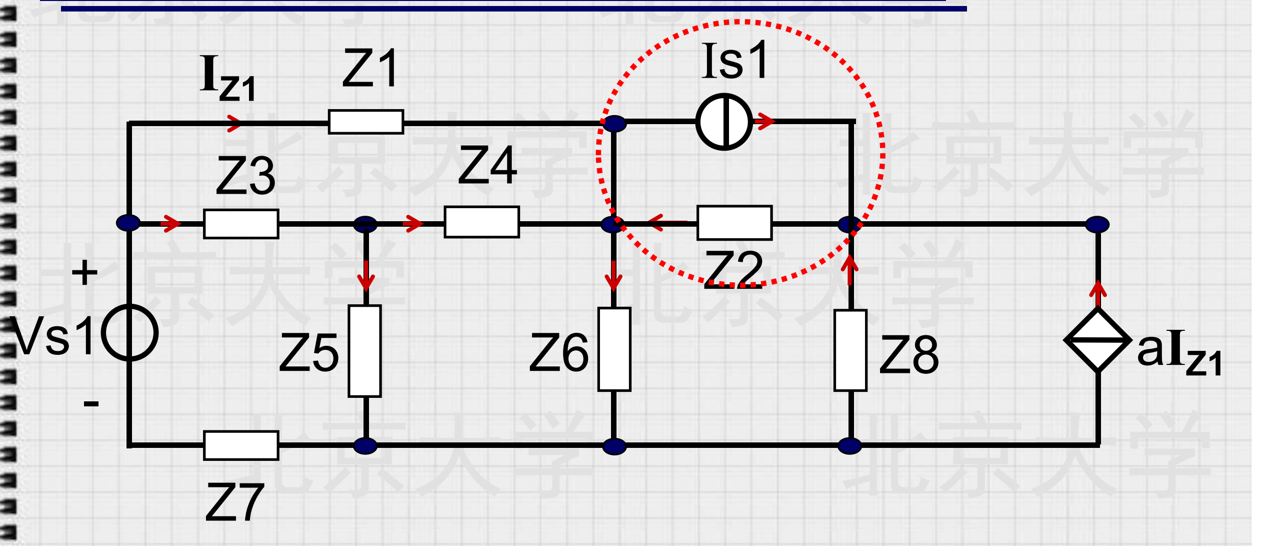
节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕



解法1：4网孔（诺顿→戴维南）

解法2：6网孔（虚回路电流法）

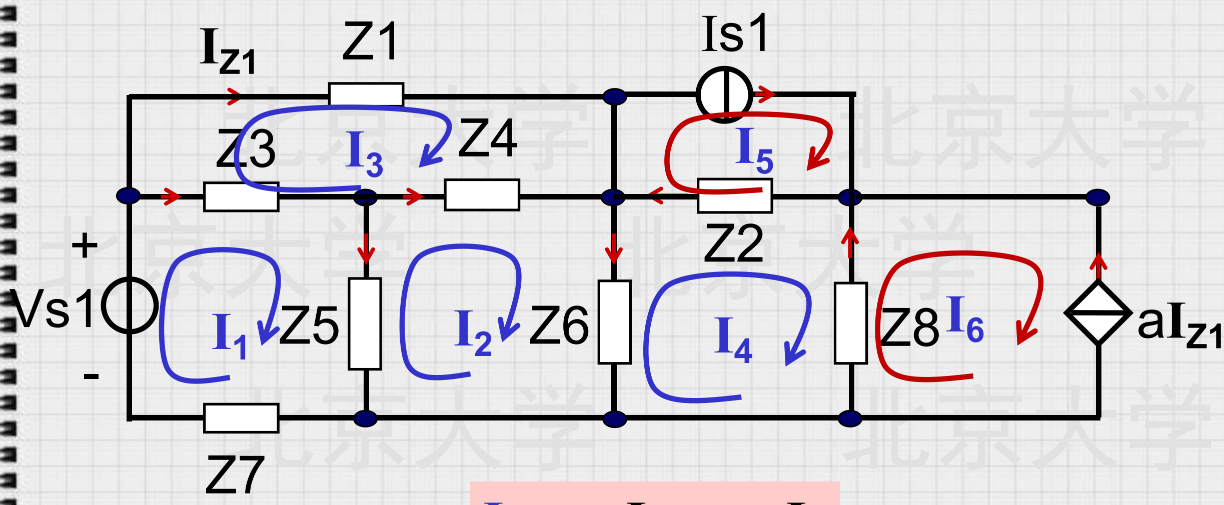
节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕



解法2：6个网孔（虚回路电流法）

节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕

解法2

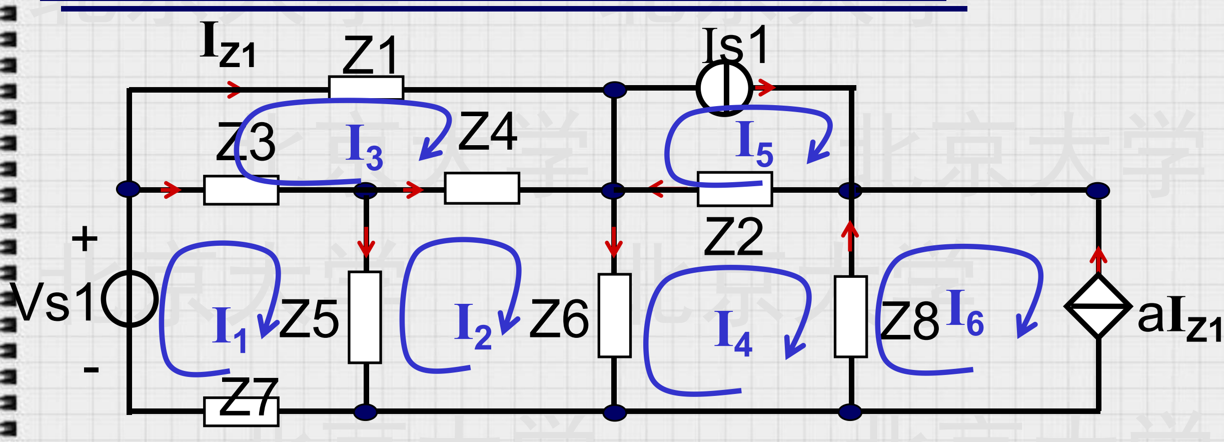


$I_6 = -aI_{Z1} = -aI_3$

$I_5 = I_{s1}$

节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕

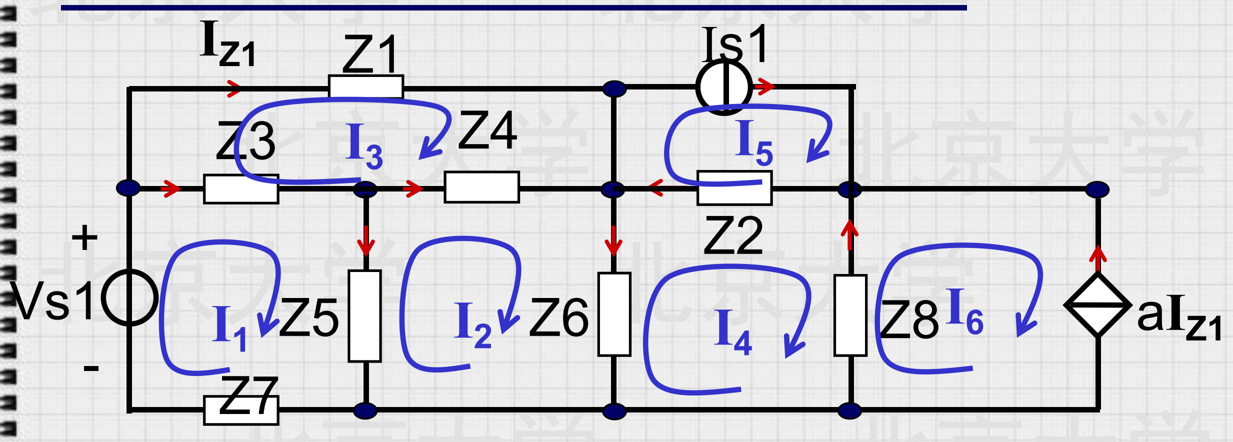
解法2



$$\begin{pmatrix} Z_3+Z_5+Z_7 & -Z_5 & -Z_3 & 0 & 0 & 0 \\ -Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 & -Z_4 & -Z_6 & 0 & 0 \\ -Z_3 & -Z_4 & Z_1+Z_3+Z_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Z_6 & 0 & Z_2+Z_6+Z_8 & -Z_2 & -Z_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{s1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ I_{s1} \\ -aI_3 \end{pmatrix}$$

节后恢复性练习。。。大矩阵不可怕

解法2

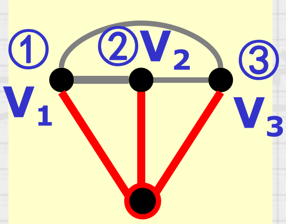


$$\begin{pmatrix} Z_3+Z_5+Z_7 & -Z_5 & -Z_3 & 0 & 0 & 0 \\ -Z_5 & Z_4+Z_5+Z_6 & -Z_4 & -Z_6 & 0 & 0 \\ -Z_3 & -Z_4 & Z_1+Z_3+Z_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Z_6 & 0 & Z_2+Z_6+Z_8 & -Z_2 & -Z_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{s1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ I_{s1} \\ 0 \end{pmatrix}$$

节点电压法—定义

***

- 以假想的节点电压为待求变量，根据KCL定律建立约束节点电压的独立&完备的方程

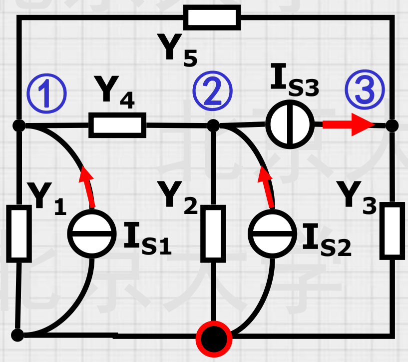


树根：
参考节点

去树根，留下n-1个独立节点
→n-1个独立的KCL方程
→节点电压法

节点电压一旦确定，网络中各支路的电压、电流均可用节点电压表示出来。

节点电压法—方法的引出与推导



参考节点

节点电压列向量：

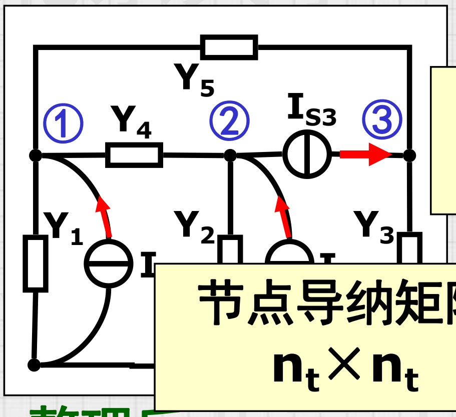
$$V=\begin{pmatrix}V_1\\V_2\\V_3\end{pmatrix}$$

以流出节点为正，对各节点可以建立KCL方程：

$$\begin{cases}① & Y_1(V_1-0)+Y_4(V_1-V_2)+Y_5(V_1-V_3)-I_{S1}=0\\ ② & Y_4(V_2-V_1)+Y_2(V_2-0)-I_{S2}+I_{S3}=0\\ ③ & Y_3(V_3-0)+Y_5(V_3-V_1)-I_{S3}=0\end{cases}$$

几个节点？几个支路？。。。

节点电压法—方法的引出



节点电压列向量 $n_t\times1$

节点电流源列向量 $n_t\times1$

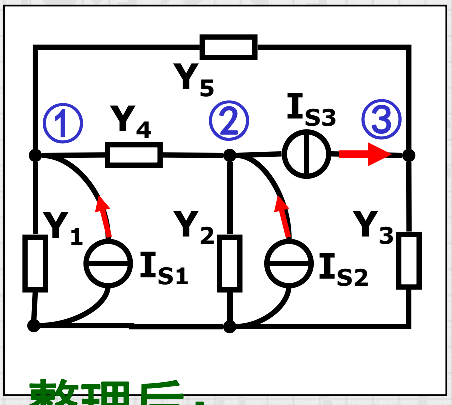
节点导纳矩阵 $n_t\times n_t$

$$Y\cdot V=I_S$$

整理后：

$$\begin{array}{l}①\rightarrow\\②\rightarrow\\③\rightarrow\end{array}\begin{pmatrix}Y_1+Y_4+Y_5 & -Y_4 & -Y_5\\ -Y_4 & Y_2+Y_4 & 0\\ -Y_5 & 0 & Y_3+Y_5\end{pmatrix}\begin{pmatrix}V_1\\V_2\\V_3\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}I_{S1}\\I_{S2}-I_{S3}\\I_{S3}\end{pmatrix}$$

节点电压法—规律在哪里? ***



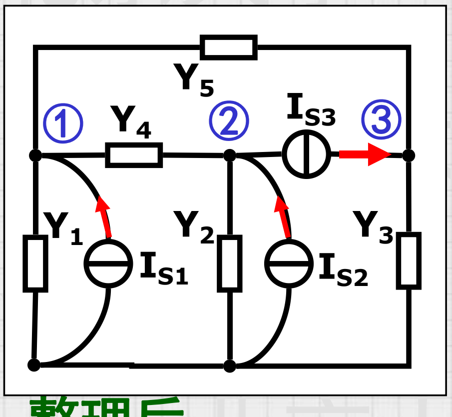
I_S 是流入节点i的电流源的代数和

$$Y \cdot V = I_S$$

整理后:

$$\begin{array}{c} ①\rightarrow \\ ②\rightarrow \\ ③\rightarrow \end{array}\begin{pmatrix} Y_1+Y_4+Y_5 & -Y_4 & -Y_5 \\ -Y_4 & Y_2+Y_4 & 0 \\ -Y_5 & 0 & Y_3+Y_5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} I_{S1} \\ I_{S2}-I_{S3} \\ I_{S3} \end{pmatrix}$$

节点电压法—规律在哪里? 复习



Y_{ii} 与节点i相连的所有支路导纳的总和(自导纳>0)

Y_{ij} 节点i和j之间所有支路导纳总和的负值(互导纳<0)

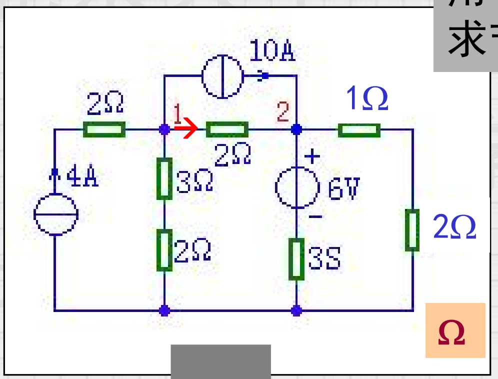
当网络中不含受控源时Y是对称矩阵：$Y_{ji}=Y_{ij}$

整理后:

$$\begin{array}{c} ①\rightarrow \\ ②\rightarrow \\ ③\rightarrow \end{array}\begin{pmatrix} Y_1+Y_4+Y_5 & -Y_4 & -Y_5 \\ -Y_4 & Y_2+Y_4 & 0 \\ -Y_5 & 0 & Y_3+Y_5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} I_{S1} \\ I_{S2}-I_{S3} \\ I_{S3} \end{pmatrix}$$

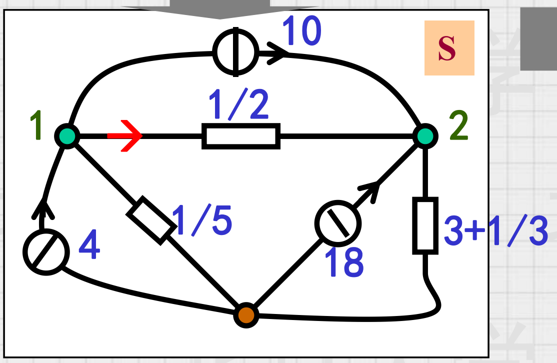
所有支路导纳？挖个坑问问。。。
为什么互导纳都是负的。。。

节点电压法—举例



用节点电压法。。。
求节点①-②之间2Ω电阻的V=?

直观的、快速的、准确地写出矩阵：



$$\begin{pmatrix} \frac{1}{5}+\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & 3+\frac{1}{3}+\frac{1}{2} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 4-10 \\ 10+18 \end{pmatrix}$$

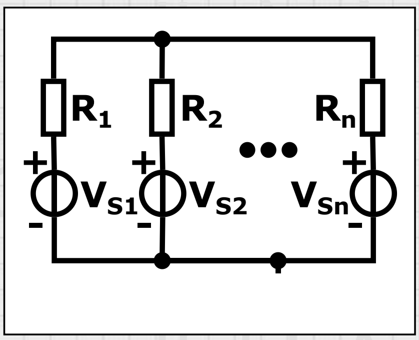
$$\mathbf{V} = \mathbf{V_1} - \mathbf{V_2} = \ldots$$

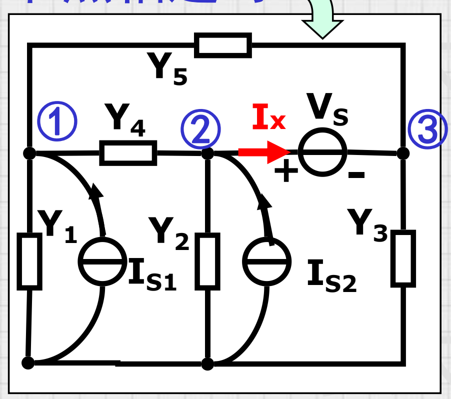
Tea break!

作业：掌握全部例题+ 6－1，18，20

节点电压法—含电压源支路的处理 ***

1. 等效法：戴维南源电路→诺顿源电路
   (缺点：改变了原电路结构)
2. 虚节点电压法
   →当电压源和参考节点相连时
3. 假设支路电流法
   →当电压源不和参考节点相连时

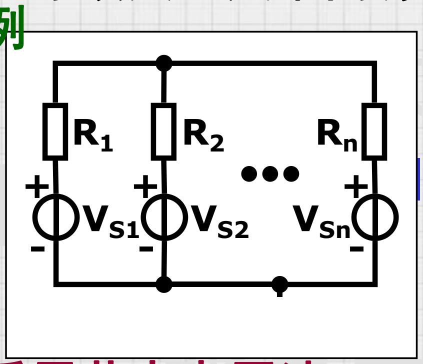


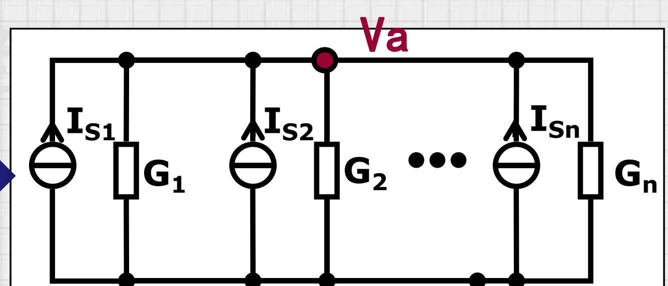


节点电压法—含戴维南源支路的处理 ***

❑等效法：戴维南源电路→诺顿源电路

例





$I_{Si} = V_{Si}/R_i = G_i V_{Si}$

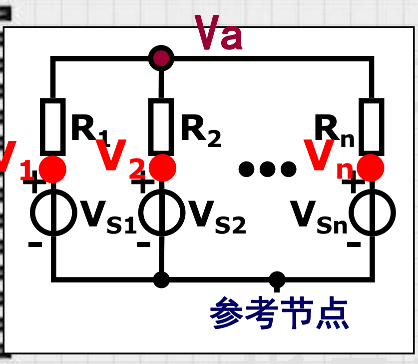
采用节点电压法：

$$\left(\sum_{i=1}^{n} G_i\right)V_a = \sum_{i=1}^{n} I_{Si} \Rightarrow V_a = \sum_{i=1}^{n} G_i V_{Si} \Big/ \sum_{i=1}^{n} G_i$$

弥尔曼定理

节点电压法—当电压源和参考节点相连时的处理 ***

❑虚节点电压法



$$\begin{pmatrix} (\sum_{i=1}^{n} G_i) & -G_i & \cdots & -G_n \\ 0 & & & \\ \vdots & & \mathbf{I} & \\ 0 & & & \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_a \\ V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ V_{S1} \\ \vdots \\ V_{Sn} \end{pmatrix}$$

$$V_i = V_{Si}$$

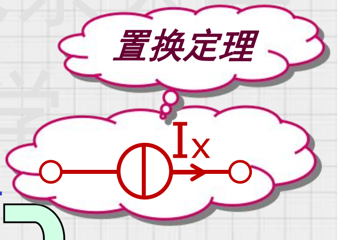
$$(\sum_{i=1}^{n} G_i)V_a - \sum_{i=1}^{n} G_i V_i = 0$$

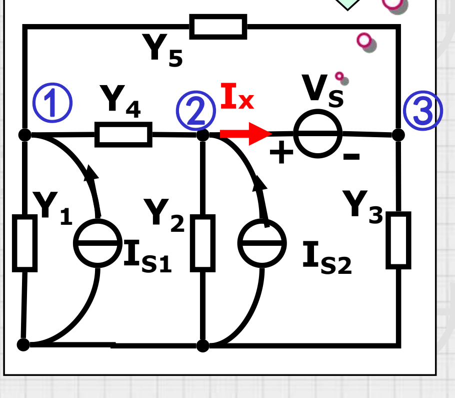
弥尔曼定理

$$V_a = \sum_{i=1}^{n} G_i V_{Si} / \sum_{i=1}^{n} G_i$$

节点电压法—含电压源支路的处理 ***

1. 等效法：戴维南源电路→诺顿源电路
   (缺点：改变了原电路结构)
2. 虚节点电压法
   →当电压源和参考节点相连时
3. 假设支路电流法
   →当电压源不和参考节点相连时

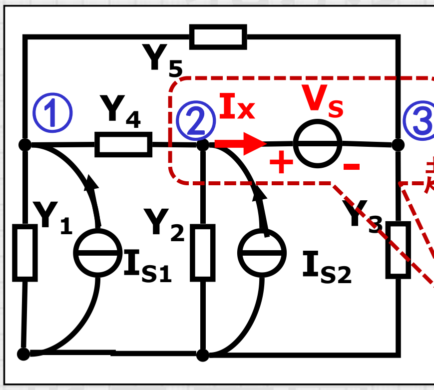




节点电压法—含独立电压源支路的处理 ***

3. 假设支路电流法--当电压源和参考节点不相连时

例：采用假设支路电流法求解



超节点

$$\begin{pmatrix} y_1+y_4+y_5 & -y_4 & -y_5 \\ -y_4 & y_2+y_4 & 0 \\ -y_5 & 0 & y_3+y_5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1\\ V_2\\ V_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} I_{S1}\\ I_{S2}-I_X\\ I_X \end{pmatrix}$$

消去Ix

$$\begin{pmatrix} y_1+y_4+y_5 & -y_4 & -y_5 \\ -y_4-y_5 & y_2+y_4 & y_3+y_5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1\\ V_2\\ V_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} I_{S1}\\ I_{S2} \end{pmatrix}$$

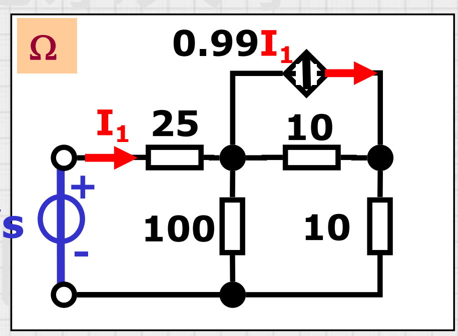
补上已知的约束关系：

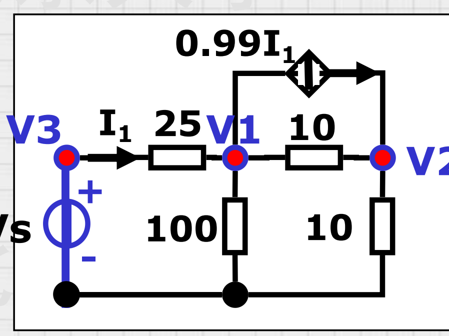
$$V_2-V_3=V_s$$

$$\begin{pmatrix} y_1+y_4+y_5 & -y_4 & -y_5 \\ -y_4-y_5 & y_2+y_4 & y_3+y_5 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1\\ V_2\\ V_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} I_{S1}\\ I_{S2}\\ V_S \end{pmatrix}$$

用超节点直接写。。。

节点电压法—含受控源的处理（同回路电流法）





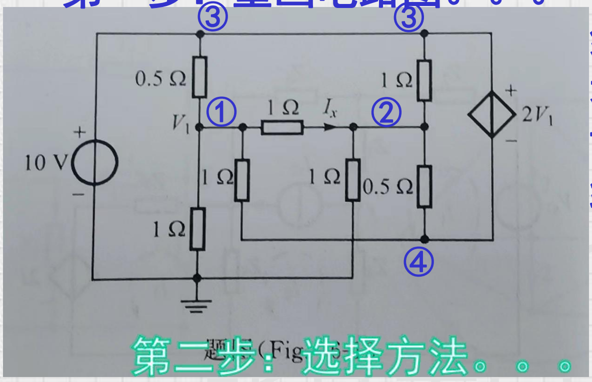
$$I_1=(V_3-V_1)/25$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{100}+\frac{1}{25}+\frac{1}{10} & -0.1 & -0.04 \\ -0.1 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1\\ V_2\\ V_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} -0.99I_1\\ 0.99I_1\\ V_s \end{pmatrix}$$

$$Y_{ji}\neq Y_{ij}$$

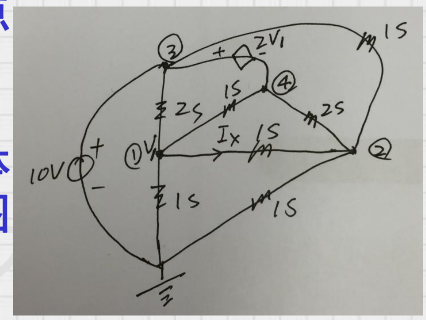
节点电压法（6-14）—“***”题 不可怕

第一步：重画电路图。。。

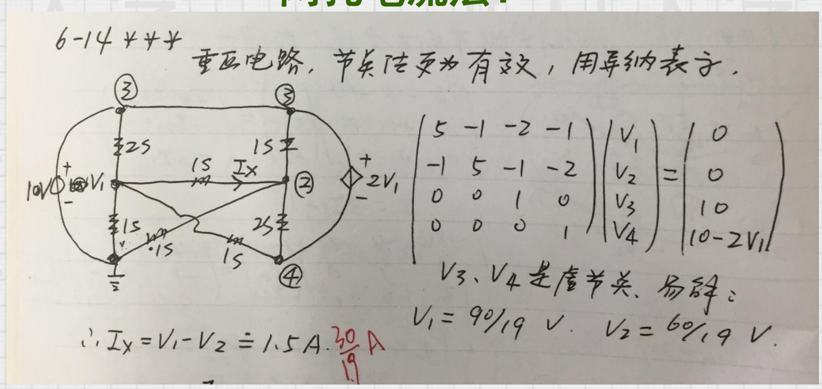


第二步：选择方法。。。

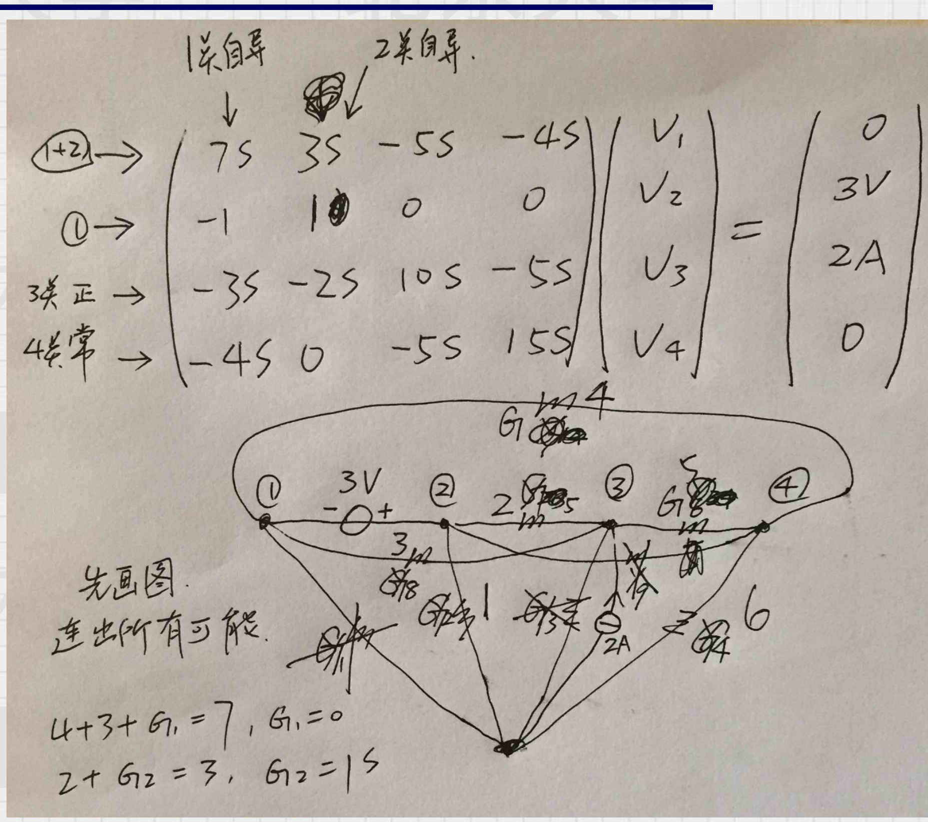
合并假节点
统一单位、
填平挖坑、
识别假立体
编号有向图



节点电压法？回路电流法？
网孔电流法？



节点电压法（6-20）—玩恢复



网络的拓扑分析方法：大网络分析

大网络分析方法:

你向计算机 →输入网络的支路信息（元件）

→输入网络的结构信息（节点，支路）

（输入内容是可以针对任何复杂or一般网络的）

→编程（把数据转为网络方程并求解）

计算机向你→输出结果 ☺

你的方法要可以分析任何复杂网络

网络的拓扑分析方法：节点分析

❑ 节点分析

任选一个节点作为参考节点, 以其余n_t个节点电压为求解对象. （节点分析共需列写并解出n_t个节点方程）

1. 支路特性方程(标准支路)→ 输入网络元件信息
2. 关联矩阵(节点-支路)→ 输入网络结构信息
3. 支路电压V_b和节点电压E_n的关系
4. 节点分析矩阵

〉建立方程

5. 解方程获得En、Vb → 计算机向你输出结果☺

网络的拓扑分析方法：节点分析

❑ 节点分析

任选一个节点作为参考节点，以其余n_t个节点电压为求解对象．（节点分析共需列写并解出n_t个节点方程）

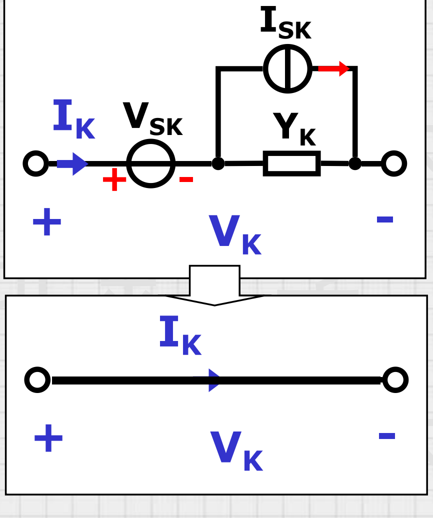
1. 支路特性方程(标准支路)→ 输入网络元件信息
2. 关联矩阵(节点-支路)→
3. 支路电压V_b和节点电压E_n的关系
4. 节点分析矩阵

节点分析： 1．支路特性方程

将网络中的每一条支路都用一条有向线段来表示。

1．支路特性方程(标准支路)→VCR

网络中的第K条支路

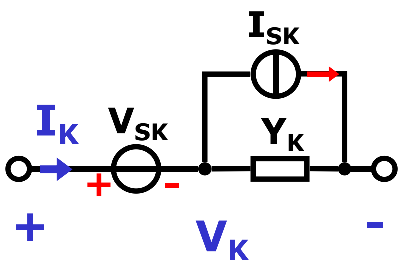


$$(I_K - I_{SK}) = Y_K(V_K - V_{SK})$$

$$I_K = Y_K(V_K - V_{SK}) + I_{SK}$$

节点分析： 1. 支路特性方程

网络中的第K条支路



$$I_K = Y_K(V_K - V_{SK}) + I_{SK}$$

网络中共有b条支路：

支路电压源列向量　　支路电流源列向量

$$I_b = Y_b(V_b - V_{Sb}) + I_{Sb} \quad \ldots①$$

支路电流列向量　　支路导纳矩阵(bxb)　　支路电压列向量

$$Y_b = \begin{pmatrix} y_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & y_b \end{pmatrix} = \mathrm{diag}(y_1 \cdots y_b)$$

对角矩阵

网络的拓扑分析方法：节点分析

- 节点分析

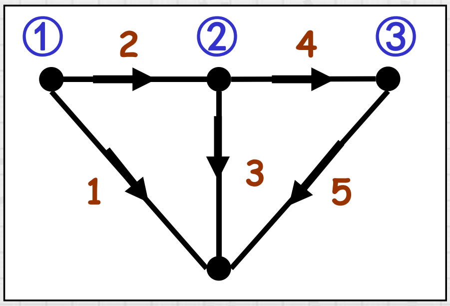
任选一个节点作为参考节点，以其余n_t个节点电压为求解对象. （节点分析共需列写并解出n_t个节点方程）

1. 支路特性方程(标准支路) → 输入网络元件信息
2. 关联矩阵(节点-支路) → 输入网络结构信息
3. 支路电压V_b和节点电压E_n的关系
4. 节点分析矩阵

节点分析： 2. 关联矩阵

2. 节点—支路的关联矩阵(由KCL方程导出)

出+入−



节点①： $I_1 + I_2 = 0$

节点②： $-I_2 + I_3 + I_4 = 0$

节点③： $-I_4 + I_5 = 0$

支路

节点

$$\begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_5 \end{pmatrix} = 0$$

关联矩阵
$n_t \times b$

$$A \cdot I_b = 0 \quad \ldots②$$

支路电流列向量

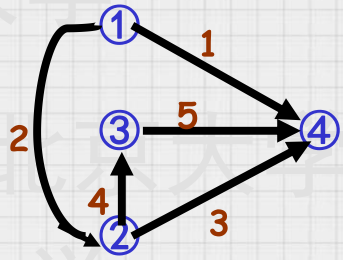
节点分析： 由关联矩阵恢复网络结构

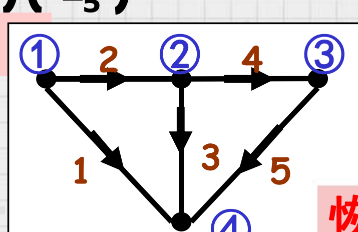
***

关联矩阵的元素

a_{ij}= 1→节点i与支路j关联，且支路j的方向背离节点i.
-1→节点i与支路j关联，且支路j的方向指向节点i.
0→节点i与支路j不关联.

$$\begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \\ \begin{array}{ccccc} -1 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{array} \end{array} \begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_5 \end{pmatrix} = 0$$





出+入−

恢复是唯一的！

网络的拓扑分析方法：节点分析

❑ 节点分析

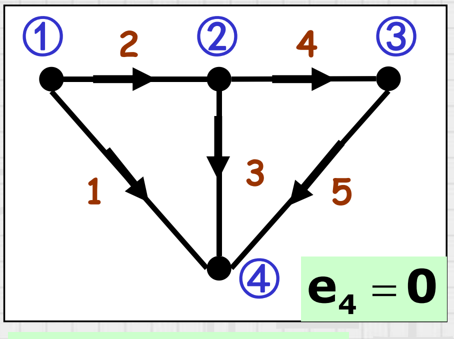
任选一个节点作为参考节点, 以其余n_t个节点电压为求解对象. （节点分析共需列写并解出n_t个节点方程）

1. 支路特性方程(标准支路) → 输入网络元件信息
2. 关联矩阵(节点-支路) → 输入网络结构信息
3. 支路电压V_b和节点电压E_n的关系
4. 节点分析矩阵

建立方程

节点分析：3. 支路电压V_b和节点电压E_n的关系

3. 支路电压V_b和节点电压E_n的关系



$e_4 = 0$

$V_1 = e_1 - e_4 = e_1$

$V_2 = e_1 - e_2$

$V_3 = e_2 - e_4 = e_2$

$V_4 = e_2 - e_3$

$V_5 = e_3 - e_4 = e_3$

节点 ① ② ③ 支路

$$V_b = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} ① & ② & ③ \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}$$

$$V_b = A^T \cdot E_n \quad \text{…③}$$

支路电压列向量

节点电压列向量

节点分析： 4. 节点分析矩阵

$$I_b = Y_b(V_b - V_{Sb}) + I_{Sb} \quad \ldots①$$

$$A \cdot I_b = 0 \quad \ldots②$$

$$V_b = A^T \cdot E_n \quad \ldots③$$

把③式代入①式得：

$$I_b = Y_b(A^T E_n - V_{Sb}) + I_{Sb} \quad \ldots④$$

把④式代入②式得：

$$AY_b A^T E_n = AY_b V_{Sb} - AI_{Sb}$$

节点分析： 4. 节点分析矩阵

$$\boxed{AY_b A^T E_n = AY_b V_{Sb} - AI_{Sb}} \xrightarrow{\text{简写}} \boxed{Y_n E_n = I_S}$$

取： $Y_n = AY_b A^T$ → 节点导纳矩阵

$I_S = AY_b V_{Sb} - AI_{Sb}$ → 节点电流源列向量

网络的元件参数→Y_b, I_{Sb}, V_{Sb}
网络的结构参数→A
} 已知→求出E_n

$$\Rightarrow \begin{cases} V_b = A^T \cdot E_n \\ I_b = Y_b(V_b - V_{Sb}) + I_{Sb} \end{cases}$$