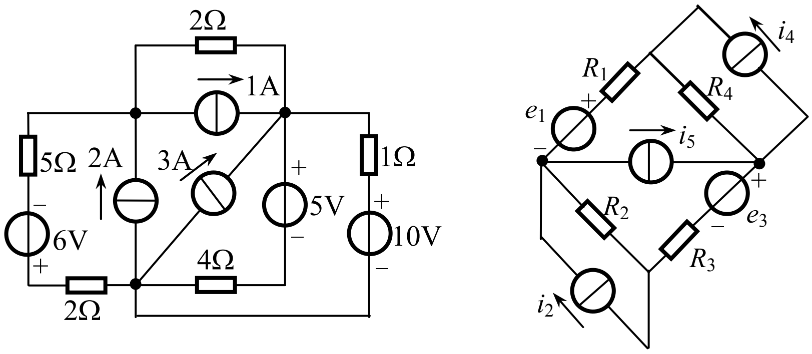
第 16 章　网络图论基础

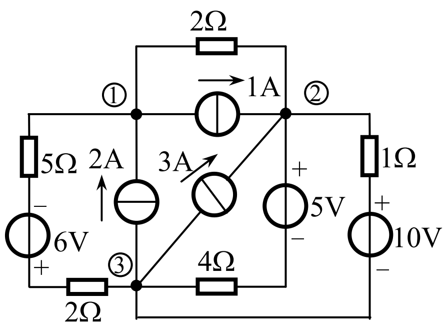
16-1　电路如题图 16–1 所示。试画出电路的线图 G。



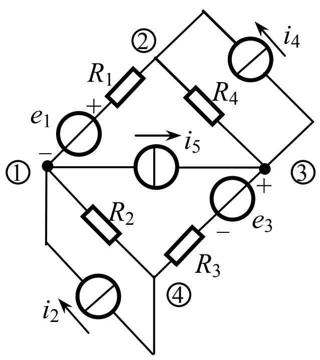
(a)　　　　　　　　(b)

题图 16- 1

解　题图 16-1(a)和题图 16-1(b)的各节点编号分别如题图 16-1(c)和题图 16-1(d)所示。

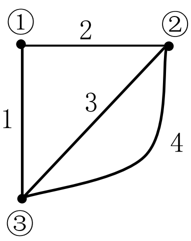


题图 16-1(c)

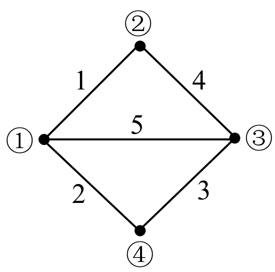


题图 16-1(d)

支路按复合标准支路，则题图 16-1(c)和题图 16-1(d)所示电路的线图 G 分别如题图 16-1(e)和题图 16-1(f)所示。

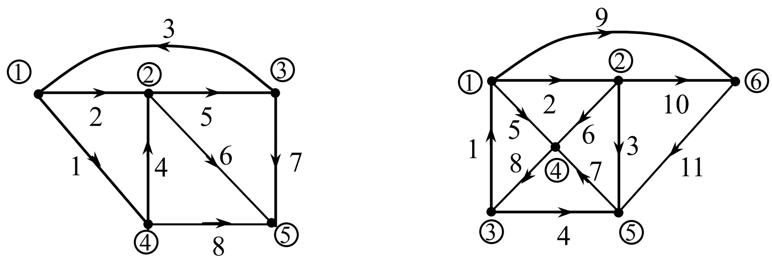


题图 16-1(e)



题图 16-1(f)

16-2 电路的线图如题图 16-2(a)、(b)所示。分别对图(a)、(b)选择 4 个不同的树和割集。



(a) (b)

题图 16-2

解 （a）对于题图 16-2(a)所示的连通图，下列支路和关联的所有节点的集合是该线图的树：

（1, 2, 3, 8)，(3, 5, 7, 8)，(2, 4, 6, 5)，(1, 4, 7, 8)

下列支路的集合是该线图的割集：

(1, 2, 3)，(3, 5, 7)，(2, 4, 6, 5)，(6, 7, 8)

（b）对于题图 16-2(b)所示的连通图，下列支路和关联的所有节点的集合是该线图的树：

(1, 5, 2, 9, 4)，(2, 3, 4, 6, 10)，(5, 6, 7, 8, 10)，(3, 4, 7, 11, 9)，

下列支路的集合是该线图的割集：

(1, 2, 5, 9)，(2, 3, 6, 10)，(9, 10, 11)，(3, 4, 7, 11)

16-3 试判断题图 16-3 中下述 5 个支路集合是树还是割集，或两者都不是。

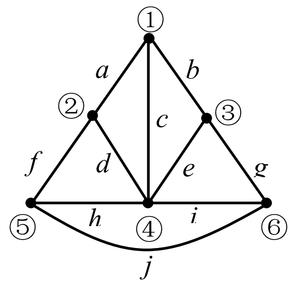
（1）（*b*, *c*, *d*, *f*, *j*）

（2）（*b*, *c*, *d*, *f*）

（3）（*h*, *d*, *e*, *i*, *j*）

（4）（*a*, *c*, e, *g*, *j*）

（5）（*f*, *h*, *i*, *g*, *j*）



题图 16-3

解 根据树和割集的定义可知：

（1）（*b*, *c*, *d*, *f*, *j*）是树，不是割集；

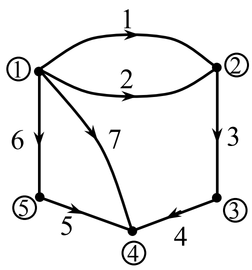
（2）（*b*, *c*, *d*, *f*）不是树，是割集；

（3）（*h*, *d*, *e*, *i*, *j*）不是树，也不是割集；

（4）（*a*, *c*, e, *g*, *j*）是树，不是割集；

（5）（*f*, *h*, *i*, *g*, *j*）不是树，也不是割集。

16-4 给定网络的图如题图 16-4 所示。试写出其关联矩阵 $\boldsymbol{A}$。



题图 16-4

解　支路按 1~7 顺序排列，则节点-支路关联矩阵为

$$
\boldsymbol{A}=\begin{array}{c} \\ n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{array}
$$

16-5　已知给定图的关联矩阵 $\boldsymbol{A}$。试画出其对应的图 G。

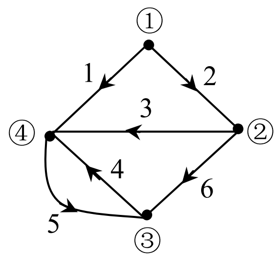
（1）$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$

（2）$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$

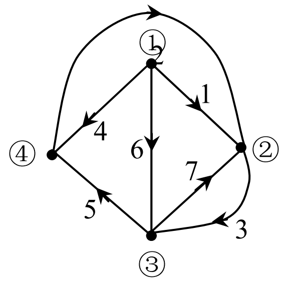
解　设给定图的关联矩阵 $\boldsymbol{A}$ 支路顺序是从小到大顺序排列。

（1）对应的图 G 为如题图 16-5(a)所示，其中④为参考节点。

（2）对应的图 G 为如题图 16-5(b)所示，其中④为参考节点。

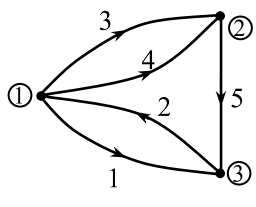


题图 16-5(a)



题图 16-5(b)

16-6　给定有向图如题图 16-6 所示。试写出基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}$ 和基本割集矩阵 $\boldsymbol{Q}_{\mathrm{f}}$。

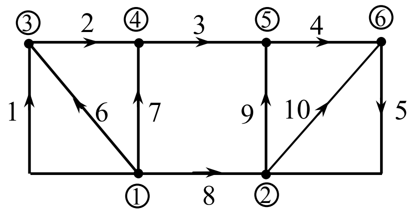


题图 16-6

解　选 1，3 为树支，且按先连支、后树支的排列顺序，可写出基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}$ 和基本割集矩阵 $\boldsymbol{Q}_{\mathrm{f}}$ 如下：

$$\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ l_2 \\ l_4 \\ l_5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{matrix} 2 & 4 & 5 & 1 & 3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}, \quad \boldsymbol{Q}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ q_1 \\ q_3 \end{array}\begin{array}{c} \begin{matrix} 2 & 4 & 5 & 1 & 3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

16-7 题图 16-7 所示的线图中取支路 6, 7, 8, 9, 10 为树支，写出它的基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}$。



题图 16-7

解 按先连支、后树支的支路排列顺序，则基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}$ 为

$$\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

16-8 对于某一网络的一个指定的树，已知其基本割集矩阵为

$$\boldsymbol{Q}_{\mathrm{f}}=\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

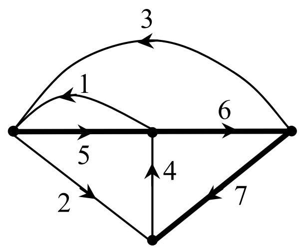
（1）试写出对应此网络的同一树的基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}$;

（2）绘出此网络的有向拓扑图，并标出所用的树。

解 （1）设支路按 1~7 由小到大顺序排列，则支路 5、6、7 为树支，由 $Q_l=-B_t^{\mathrm{T}}$，且支路的排列顺序不变，则基本回路矩阵为

$$\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \end{array}\begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

（2）网络的有向拓扑图如题图 16-8 所示，其中，粗线所示支路及关联节点为树。



题图 16-8

说明：题目勘误：（1）中“基本割集矩阵”改为“基本回路矩阵”。

16-9 一个连通图有 5 个节点、7 条支路，其关联矩阵 $\boldsymbol{A}$ 为

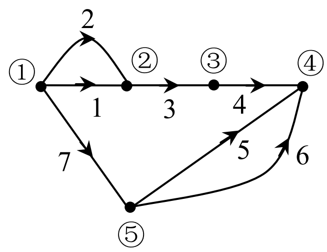
$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1&1&0&0&0&0&1\\-1&-1&1&0&0&0&0\\0&0&-1&1&0&0&0\\0&0&0&-1&-1&-1&0\end{bmatrix}$$

（1）试画出对应的图 G；

（2）支路集合(1, 3 ,4, 5)是不是一个树？

（3）若是树，写出对应的基本割集矩阵和基本回路矩阵。

解　（1）设题中关联矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的支路 1~7 由小到大顺序排列，则其对应的图 G 如题图 16-9 所示，其中⑤为参考节点。



题图 16-9

（2）支路集合(1, 3 ,4, 5)是一个树。

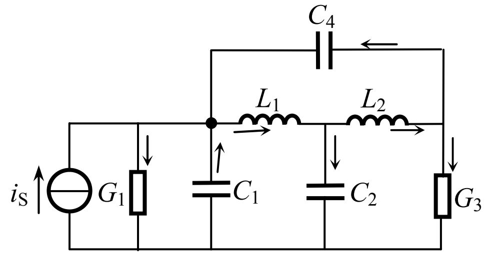
（3）对应（2）中的树，按先树支、后连支的顺序，对应的基本割集矩阵和基本回路矩阵分别为

$$\boldsymbol{Q}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c}\\q_1\\q_3\\q_4\\q_5\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccccccc}1&3&4&5&2&6&7\end{array}\\\begin{bmatrix}1&0&0&0&1&0&1\\0&1&0&0&0&0&1\\0&0&1&0&0&0&1\\0&0&0&1&0&1&-1\end{bmatrix}\end{array}，\quad \boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c}\\l_2\\l_6\\l_7\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccccccc}1&3&4&5&2&6&7\end{array}\\\begin{bmatrix}-1&0&0&0&1&0&0\\0&0&0&-1&0&1&0\\-1&-1&-1&1&0&0&1\end{bmatrix}\end{array}$$

16-10　给定一电路如题图 16-10 所示。

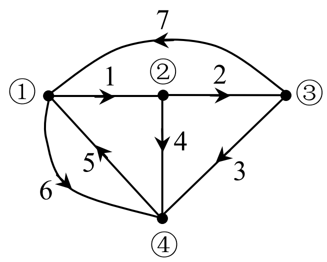
（1）用图中所示的参考方向，画出网络的有向图；

（2）假定网络处于角频率为ω的正弦稳态下，试写出用关联矩阵表示的 KCL 和 KVL 的矩阵方程。



题图 16-10

解　（1）有向图如题图 16-10(a)所示。

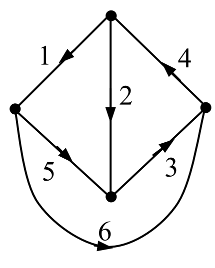


题图 16-10(a)

（2）用关联矩阵表示的 KCL 和 KVL 的矩阵形式的相量方程分别为

$$\boldsymbol{A}\dot{\boldsymbol{I}}=\begin{bmatrix}1&0&0&0&-1&1&-1\\-1&1&0&1&0&0&0\\0&-1&1&0&0&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_1\\\dot{I}_2\\\dot{I}_3\\\dot{I}_4\\\dot{I}_5\\\dot{I}_6\\\dot{I}_7\end{bmatrix}=0,\qquad \begin{bmatrix}\dot{U}_1\\\dot{U}_2\\\dot{U}_3\\\dot{U}_4\\\dot{U}_5\\\dot{U}_6\\\dot{U}_7\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1&-1&0\\0&1&-1\\0&0&1\\0&1&0\\-1&0&0\\1&0&0\\-1&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_{n1}\\\dot{U}_{n2}\\\dot{U}_{n3}\end{bmatrix}$$

16-11　若题图 16-11 所示有向图，选支路 1,2,3 为树，试写出用基本割集矩阵 Q_f 表示的 KCL 和 KVL 方程。

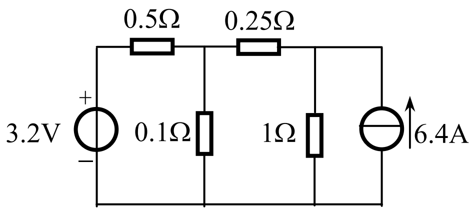


题图 16-11

解　用基本割集矩阵 Q_f 表示的瞬时值形式的 KCL 和 KVL 方程分别为

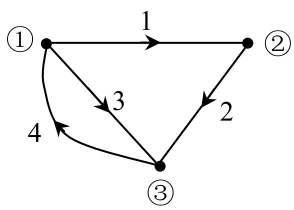
$$\boldsymbol{Qi}=\begin{bmatrix}1&0&0&0&-1&-1\\0&1&0&-1&1&0\\0&0&1&-1&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}i_1\\i_2\\i_3\\i_4\\i_5\\i_6\end{bmatrix}=0\text{，}\quad\begin{bmatrix}u_{l4}\\u_{l5}\\u_{l6}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0&-1&-1\\-1&1&0\\-1&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_{t1}\\u_{t2}\\u_{t3}\end{bmatrix}$$

16-12　用节点电压法求题图 16-12 所示电路中的各支路电流。



题图 16-12

解　有向图如题图 16-12(a)所示。



题图 16-12(a)

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1&0&1&-1\\-1&1&0&0\end{bmatrix}\text{，}\quad\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}4&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&10&0\\0&0&0&2\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{U}_\mathrm{S}=\begin{bmatrix}0&0&0&3.2\end{bmatrix}^\mathrm{T}\text{，}\quad\boldsymbol{I}_\mathrm{S}=\begin{bmatrix}0&6.4&0&0\end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

节点电压方程的矩阵形式为

$$\boldsymbol{AYA}^\mathrm{T}\boldsymbol{U}_\mathrm{n}=\boldsymbol{AI}_\mathrm{S}-\boldsymbol{AYU}_\mathrm{S}$$

节点电导阵为

$$\boldsymbol{AYA}^\mathrm{T}=\begin{bmatrix}1&0&1&-1\\-1&1&0&0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}4&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&10&0\\0&0&0&2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1&-1\\0&1\\1&0\\-1&0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}16&-4\\-4&5\end{bmatrix}$$

节点电压方程有

$$\begin{bmatrix}16 & -4\\ -4 & 5\end{bmatrix}\begin{bmatrix}U_{n1}\\ U_{n2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\ 6.4\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}6.4\\ 0\end{bmatrix}$$

解得节点电压为

$$\begin{bmatrix}U_{n1}\\ U_{n2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.9\\ 2\end{bmatrix}$$

各支路电压为

$$\begin{bmatrix}U_1\\ U_2\\ U_3\\ U_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & -1\\ 0 & 1\\ 1 & 0\\ -1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0.9\\ 2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-1.1\\ 2\\ 0.9\\ -0.9\end{bmatrix}$$

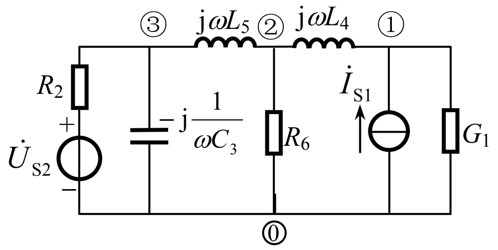
各支路电流为

$$\boldsymbol{I}=\boldsymbol{YU}+\boldsymbol{YU}_{\mathrm{S}}-\boldsymbol{I}_{\mathrm{S}}$$

即

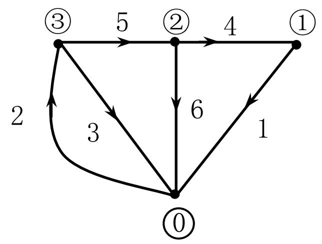
$$\begin{bmatrix}I_1\\ I_2\\ I_3\\ I_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}4 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 10 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-1.1\\ 2\\ 0.9\\ -0.9\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}4 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 10 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0\\ 3.2\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}0\\ 6.4\\ 0\\ 0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-4.4\\ -4.4\\ 9\\ 4.6\end{bmatrix}$$

16-13 用矩阵形式写出题图 16-13 所示电路的节点电压方程。



题图 16-13

解　有向图如题图 16-13(a)所示。



题图 16-13(a)

矩阵形式的节点电压方程为 $\boldsymbol{AYA}^{\mathrm{T}}\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{n}}=\boldsymbol{A}\dot{\boldsymbol{I}}_{\mathrm{S}}-\boldsymbol{AY}\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{S}}$，其中各矩阵和向量分别为

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1&0&0&-1&0&0\\0&0&0&1&-1&1\\0&-1&-1&0&1&0\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}G_1&0&0&0&0&0\\0&1/R_2&0&0&0&0\\0&0&\mathrm{j}\omega C_3&0&0&0\\0&0&0&1/\mathrm{j}\omega L_4&0&0\\0&0&0&0&1/\mathrm{j}\omega L_5&0\\0&0&0&0&0&1/R_6\end{bmatrix}$$

$$\dot{\boldsymbol{U}}_\mathrm{S}=\begin{bmatrix}0&\dot{U}_{\mathrm{S}2}&0&0&0&0\end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

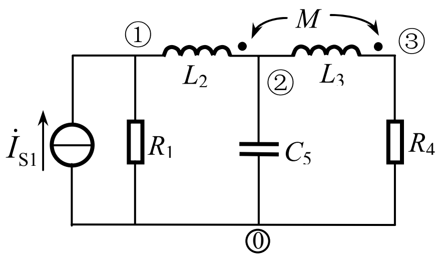
$$\dot{\boldsymbol{I}}_\mathrm{S}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{\mathrm{S}1}&0&0&0&0&0\end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

$$\dot{\boldsymbol{U}}_\mathrm{n}=\begin{bmatrix}\dot{U}_{\mathrm{n}1}&\dot{U}_{\mathrm{n}2}&\dot{U}_{\mathrm{n}3}\end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

将上述各矩阵、列向量代入节点电压方程，整理得

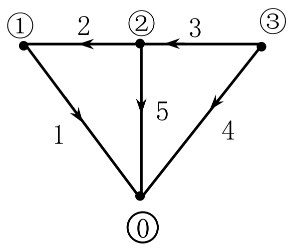
$$\begin{bmatrix}G_1+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}&-\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}&0\\-\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}&\dfrac{1}{R_6}+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}&-\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}\\0&-\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}&\dfrac{1}{R_2}+\mathrm{j}\omega C_3+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_{\mathrm{n}1}\\\dot{U}_{\mathrm{n}2}\\\dot{U}_{\mathrm{n}3}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{\mathrm{S}1}\\0\\\dfrac{\dot{U}_{\mathrm{S}2}}{R_2}\end{bmatrix}$$

16-14 试列写题图 16-14 所示有互感交流电路相量形式的节点电压方程的矩阵形式。



题图 16-14

解 有向图如题图 16-14(a)所示。



题图 16-14(a)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathrm{j}\omega L_2 & \mathrm{j}\omega M & 0 & 0 \\ 0 & \mathrm{j}\omega M & \mathrm{j}\omega L_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\mathrm{j}\omega C_5 \end{bmatrix}$$

$$Y = Z^{-1} = \begin{bmatrix} 1/R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_3/\varDelta & -M/\varDelta & 0 & 0 \\ 0 & -M/\varDelta & L_2/\varDelta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/R_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{j}\omega C_5 \end{bmatrix}, \quad \varDelta = \mathrm{j}\omega(L_2 L_3 - M^2)$$

$$\dot{U}_\mathrm{S} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

$$\dot{I}_\mathrm{S} = \begin{bmatrix} \dot{I}_\mathrm{S1} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

$$\dot{U}_\mathrm{n} = \begin{bmatrix} \dot{U}_\mathrm{n1} & \dot{U}_\mathrm{n2} & \dot{U}_\mathrm{n3} \end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

将上述各矩阵、列向量代入节点电压方程 $AYA^\mathrm{T}\dot{U}_\mathrm{n} = A\dot{I}_\mathrm{S} - AY\dot{U}_\mathrm{S}$，整理得

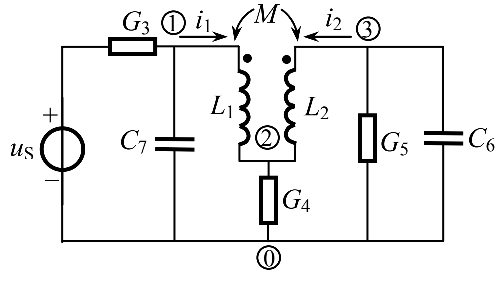
$$\begin{bmatrix} \dfrac{L_3}{\varDelta} + \dfrac{1}{R_1} & -\dfrac{L_3+M}{\varDelta} & \dfrac{M}{\varDelta} \\ -\dfrac{M+L_3}{\varDelta} & \dfrac{L_2+L_3+2M}{\varDelta} + \mathrm{j}\omega C_5 & -\dfrac{L_2+M}{\varDelta} \\ \dfrac{M}{\varDelta} & -\dfrac{L_2+M}{\varDelta} & \dfrac{L_2}{\varDelta} + \dfrac{1}{R_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_\mathrm{n1} \\ \dot{U}_\mathrm{n2} \\ \dot{U}_\mathrm{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_\mathrm{S1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

16-15 电路如题图 16-15 所示。

（1）试画出该电路的图；

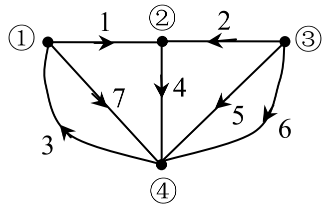
（2）写出支路导纳矩阵 $\boldsymbol{Y}$;

（3）写出节点电压方程的矩阵形式。



题图 16-15

解　（1）该电路的图如题图 16-15(a)所示。



题图 16-10(a)

（2）支路导纳阵为

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix} \frac{L_2}{\Delta} & -\frac{M}{\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{M}{\Delta} & \frac{L_1}{\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{j}\omega C_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{j}\omega C_7 \end{bmatrix}，\Delta=\mathrm{j}\omega(L_1L_2-M^2)$$

（3）节点电压方程中其他矩阵和向量如下：

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

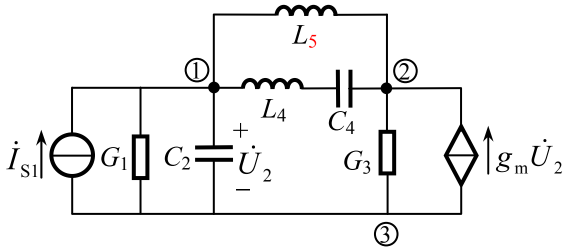
$$\boldsymbol{U}_\mathrm{S}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & \dot{U}_\mathrm{S} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

$$\boldsymbol{I}_\mathrm{S}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^\mathrm{T}$$

节点电压方程矩阵形式为 $\boldsymbol{AYA}^\mathrm{T}\dot{\boldsymbol{U}}_\mathrm{n}=\boldsymbol{A}\dot{\boldsymbol{I}}_\mathrm{S}-\boldsymbol{AY}\dot{\boldsymbol{U}}_\mathrm{S}$，代入上述各矩阵和向量，并整理可得

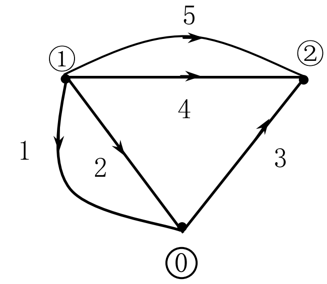
$$\begin{bmatrix} \frac{L_2}{\Delta}+G_3+\mathrm{j}\omega C_7 & \frac{M-L_2}{\Delta} & -\frac{M}{\Delta} \\ \frac{M-L_2}{\Delta} & \frac{-2M+L_1+L_2}{\Delta}+G_4 & \frac{M-L_1}{\Delta} \\ -\frac{M}{\Delta} & \frac{M-L_1}{\Delta} & \frac{L_1}{\Delta}+G_5+\mathrm{j}\omega C_6 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \dot{U}_\mathrm{n1} \\ \dot{U}_\mathrm{n2} \\ \dot{U}_\mathrm{n3} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} G_3\dot{U}_\mathrm{S} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

16-16 电路如题图 16-16 所示。写出其节点电压矩阵方程。



题图 16-16

解　有向图如题图 16-16(a)所示。



题图 16-16(a)

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1 & 1 & 0 & 1 & 1\\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Y}_{\mathrm{m}}=\begin{bmatrix}G_1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & G_2 & 0 & 0 & 0\\ 0 & g_{\mathrm{m}} & G_3 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_4+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_4}} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\mathrm{j}\omega L_5\end{bmatrix}，令 Y_{\mathrm{b4}}=\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_4}}$$

$$\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

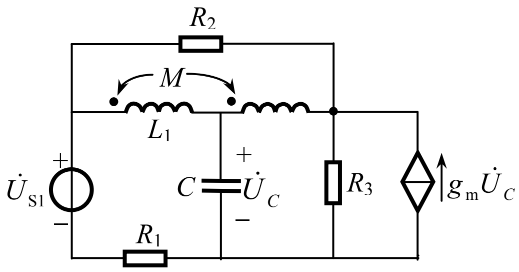
$$\dot{\boldsymbol{I}}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{\mathrm{S1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

$$\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{n}}=\begin{bmatrix}\dot{U}_{\mathrm{n1}} & \dot{U}_{\mathrm{n2}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

代入 $\boldsymbol{AYA}^{\mathrm{T}}\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{n}}=\boldsymbol{A}\dot{\boldsymbol{I}}_{\mathrm{S}}-\boldsymbol{AY}\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{S}}$，整理可得节点电压方程为

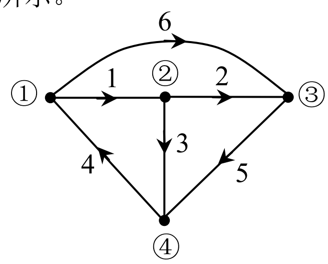
$$\begin{bmatrix}G_1+\mathrm{j}\omega C_2+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}+Y_{\mathrm{b4}} & -\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}-Y_{\mathrm{b4}}\\ -g_{\mathrm{m}}-\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}-Y_{\mathrm{b4}} & \dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_5}+Y_{\mathrm{b4}}+G_5\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_{\mathrm{n1}}\\ \dot{U}_{\mathrm{n2}}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{\mathrm{S1}}\\ 0\end{bmatrix}$$

16-17　试写出题图 16-17 所示电路相量形式节点电压方程的矩阵形式。



题 16-17 图

解　有向图如题图 16-17(a)所示。



题图 16-17(a)

以④为参考节点，列方程如下：

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1&0&0&-1&0&1\\-1&1&0&0&0&0\\0&-1&0&0&1&-1\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}\frac{L_2}{\Delta}&-\frac{M}{\Delta}&0&0&0&0\\-\frac{M}{\Delta}&\frac{L_1}{\Delta}&0&0&0&0\\0&0&\mathrm{j}\omega C&0&0&0\\0&0&0&\frac{1}{R_1}&0&0\\0&0&-g_m&0&\frac{1}{R_3}&0\\0&0&0&0&0&\frac{1}{R_2}\end{bmatrix}，\ \Delta=\mathrm{j}\omega(L_1L_2-M^2)$$

$$\dot{\boldsymbol{U}}_S=\begin{bmatrix}0&0&0&\dot{U}_{S1}&0&0\end{bmatrix}^T$$

$$\dot{\boldsymbol{I}}_S=\begin{bmatrix}\dot{I}_{S1}&0&0&0&0&0\end{bmatrix}^T$$

$$\dot{\boldsymbol{U}}_n=\begin{bmatrix}\dot{U}_{n1}&\dot{U}_{n2}&\dot{U}_{n3}\end{bmatrix}^T$$

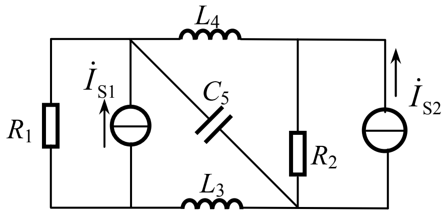
相量形式节点电压方程的矩阵形式为

$$\boldsymbol{AYA}^T\dot{\boldsymbol{U}}_n=\boldsymbol{A}\dot{\boldsymbol{I}}_S-\boldsymbol{AY}\dot{\boldsymbol{U}}_S$$

代入各矩阵、列向量，整理可得

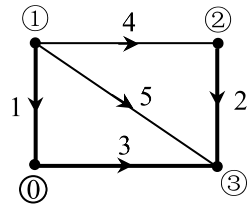
$$\begin{bmatrix} \dfrac{L_2}{\varDelta}+\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2} & \dfrac{-M-L_2}{\varDelta} & \dfrac{M}{\varDelta}-\dfrac{1}{R_2} \\ \dfrac{-M-L_2}{\varDelta} & \dfrac{2M+L_1+L_2}{\varDelta}+\mathrm{j}\omega C & \dfrac{-M-L_1}{\varDelta} \\ \dfrac{M}{\varDelta}-\dfrac{1}{R_2} & \dfrac{-M-L_1}{\varDelta}-g_{\mathrm{m}} & \dfrac{L_1}{\varDelta}+\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{\mathrm{n1}} \\ \dot{U}_{\mathrm{n2}} \\ \dot{U}_{\mathrm{n3}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\dot{U}_{\mathrm{S}}}{R_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

16-18 电路如题图 16-18 所示，用相量形式写出回路电流方程的矩阵形式。



题图 16-18

解　有向图如题图 16-18(a)所示。



题图 16-18(a)

选支路 1、2、3 为树支，列写基本回路矩阵为

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \boldsymbol{B}= & \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

支路阻抗矩阵为

$$\boldsymbol{Z}=\begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathrm{j}\omega L_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathrm{j}\omega L_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_5} \end{bmatrix}$$

电压源、电流源列向量分别为

$$\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

$$\dot{\boldsymbol{I}}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{\mathrm{S1}} & \dot{I}_{\mathrm{S2}} & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

回路电流为

$$\dot{\boldsymbol{I}}_l=\begin{bmatrix}\dot{I}_4 & \dot{I}_5\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

相量形式回路电流方程的矩阵形式为

$$\boldsymbol{BZB}^{\mathrm{T}}\dot{\boldsymbol{I}}_l=\boldsymbol{B}\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{S}}-\boldsymbol{BZ}\dot{\boldsymbol{I}}_{\mathrm{S}}$$

代入可得矩阵、列向量，可得

$$\begin{bmatrix} R_1+R_2+\mathrm{j}\omega L_3+\mathrm{j}\omega L_4 & R_1+\mathrm{j}\omega L_3 \\ R_1+\mathrm{j}\omega L_3 & R_1+\mathrm{j}\omega L_3+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_5}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_4\\ \dot{I}_5\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}R_1\dot{I}_{\mathrm{S1}}-R_2\dot{I}_{\mathrm{S2}}\\ R_1\dot{I}_{\mathrm{S1}}\end{bmatrix}$$

16-19 用相量形式写出题图 16-18 所示电路的割集矩阵方程。

解 有向图仍如题图 16-18(a)所示，且仍选支路 1、2、3 为树支。则基本割集矩阵为

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccc}1 & 2 & 3 & 4 & 5\end{array}\\ \boldsymbol{Q}= & \begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}\end{array}$$

支路导纳阵为

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}\dfrac{1}{R_1} & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \dfrac{1}{R_2} & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & \dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_3} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{1}{\mathrm{j}\omega L_4} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathrm{j}\omega C_5\end{bmatrix}$$

电压源、电流源列向量分别为

$$\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

$$\dot{\boldsymbol{I}}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{\mathrm{S1}} & \dot{I}_{\mathrm{S2}} & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

割集电压为

$$\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{t}}=\begin{bmatrix}\dot{U}_1 & \dot{U}_2 & \dot{U}_3\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

相量形式割集方程的矩阵形式为

$$\boldsymbol{QYQ}^{\mathrm{T}}\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{t}}=\boldsymbol{Q}\dot{\boldsymbol{I}}_{\mathrm{S}}-\boldsymbol{QY}\dot{\boldsymbol{U}}_{\mathrm{S}}$$

代入可得矩阵、列向量，可得

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1}+\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}+\mathrm{j}\omega C_5 & -\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4} & \frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}+\mathrm{j}\omega C_5 \\ -\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4} & \frac{1}{R_2}+\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4} & -\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4} \\ \frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}+\mathrm{j}\omega C_5 & -\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4} & \frac{1}{\mathrm{j}\omega L_3}+\frac{1}{\mathrm{j}\omega L_4}+\mathrm{j}\omega C_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{\mathrm{S1}} \\ \dot{I}_{\mathrm{S2}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

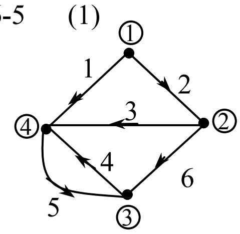
第 16 章　网络图论基础

16-2　（a）树（1,2,3,8），(3,5,7,8)，(2,4,6,5)，(1, 4,7,8)，割集(1,2,3)，(3,5,7)，(2,4,6,5)，(6,7,8)；（b）树(1,5,2,9,4)，(2,3,4,6,10)，(5,6,7,8,10)，(3,4,7,11,9)，割集(1,2,5,9)，(2,3,6,10)，(9,10,11)，(3,4,7,11)

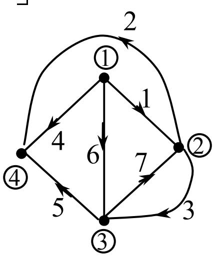
16-3　（1）、（4）是树不是割集，（2）不是树是割集，（3）、（5）不是树也不是割集。

16-4
$$\begin{array}{c} \\ n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{array}$$

16-5　(1)



(2)



16-6　选 1，3 为树支

$$\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ l_2 \\ l_4 \\ l_5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 2 & 4 & 5 & 1 & 3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}, \quad \boldsymbol{Q}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ q_1 \\ q_3 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 2 & 4 & 5 & 1 & 3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

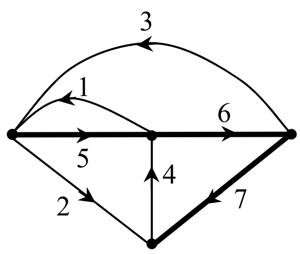
16-7　选 6,7,8,9,10 为树支

$$\begin{array}{c} \\ l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

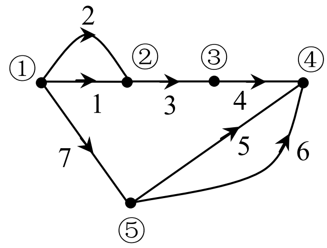
16-8　（1）

$$\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

（2）5,6,7 为树支



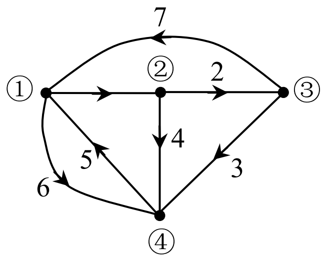
16-9 （1）



（2）是一个树

（3）$\boldsymbol{Q}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ q_1 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} 1 & 3 & 4 & 5 & 2 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \end{array}$，$\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}=\begin{array}{c} \\ l_2 \\ l_6 \\ l_7 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} 1 & 3 & 4 & 5 & 2 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$

16-10 （1）



（2）KCL $\boldsymbol{A}\dot{\boldsymbol{I}}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \\ \dot{I}_5 \\ \dot{I}_6 \\ \dot{I}_7 \end{bmatrix}=0$；

KVL $\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 \\ \dot{U}_5 \\ \dot{U}_6 \\ \dot{U}_7 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \dot{U}_{\mathrm{n1}} \\ \dot{U}_{\mathrm{n2}} \\ \dot{U}_{\mathrm{n3}} \end{bmatrix}$

16-11

KCL $\quad \boldsymbol{Qi}=\begin{bmatrix}1&0&0&0&-1&-1\\0&1&0&-1&1&0\\0&0&1&-1&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}i_1\\i_2\\i_3\\i_4\\i_5\\i_6\end{bmatrix}=0$；KVL $\quad \begin{bmatrix}u_{l4}\\u_{l5}\\u_{l6}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0&-1&-1\\-1&1&0\\-1&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_{t1}\\u_{t2}\\u_{t3}\end{bmatrix}$

16-12 $\quad I_1=-4.4\text{A}$，$I_2=-4.4\text{A}$，$I_3=9\text{A}$，$I_4=4.6\text{A}$

16-13

$$\begin{bmatrix}G_1+\dfrac{1}{\text{j}\omega L_4} & -\dfrac{1}{\text{j}\omega L_4} & 0\\ -\dfrac{1}{\text{j}\omega L_4} & \dfrac{1}{R_6}+\dfrac{1}{\text{j}\omega L_4}+\dfrac{1}{\text{j}\omega L_5} & -\dfrac{1}{\text{j}\omega L_5}\\ 0 & -\dfrac{1}{\text{j}\omega L_5} & \dfrac{1}{R_2}+\text{j}\omega C_3+\dfrac{1}{\text{j}\omega L_5}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_{n1}\\\dot{U}_{n2}\\\dot{U}_{n3}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{S1}\\0\\\dfrac{\dot{U}_{S2}}{R_2}\end{bmatrix}$$

16-14

$$\begin{bmatrix}\dfrac{L_3}{\varDelta}+\dfrac{1}{R_1} & -\dfrac{L_3+M}{\varDelta} & \dfrac{M}{\varDelta}\\ -\dfrac{M+L_3}{\varDelta} & \dfrac{L_2+L_3+2M}{\varDelta}+\text{j}\omega C_5 & \dfrac{L_2+M}{\varDelta}\\ \dfrac{M}{\varDelta} & \dfrac{L_2+M}{\varDelta} & \dfrac{L_2}{\varDelta}+\dfrac{1}{R_4}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_{n1}\\\dot{U}_{n2}\\\dot{U}_{n3}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dot{I}_{S1}\\0\\0\end{bmatrix}$$

其中，$\varDelta=\text{j}\omega(L_1L_2-M^2)$

16-15

$$\begin{bmatrix}\dfrac{L_2}{\Delta}+G_3+\text{j}\omega C_7 & \dfrac{M-L_2}{\varDelta} & -\dfrac{M}{\varDelta}\\ \dfrac{M-L_2}{\varDelta} & \dfrac{-2M+L_1+L_2}{\varDelta}+G_4 & \dfrac{M-L_1}{\varDelta}\\ -\dfrac{M}{\varDelta} & \dfrac{M-L_1}{\varDelta} & \dfrac{L_1}{\varDelta}+G_5+\text{j}\omega C_6\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_{n1}\\\dot{U}_{n2}\\\dot{U}_{n3}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}G_3\dot{U}_S\\0\\0\end{bmatrix}$$

其中，$\varDelta=\text{j}\omega(L_1L_2-M^2)$

16-16 $\quad$ 设$Y_{b4}=\dfrac{\text{j}\omega C_4}{1-\omega^2L_4C_4}$

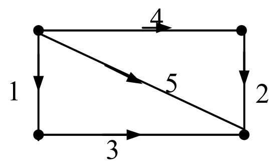
$$\begin{bmatrix} G_1 + j\omega C_2 + \dfrac{1}{j\omega L_3} + Y_{b4} & -\dfrac{1}{j\omega L_3} - Y_{b4} \\ -g_m - \dfrac{1}{j\omega L_3} - Y_{b4} & \dfrac{1}{j\omega L_3} + Y_{b4} + G_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{n1} \\ \dot{U}_{n2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{S1} \\ 0 \end{bmatrix}$$

16-17

$$\begin{bmatrix} \dfrac{L_2}{\Delta} + \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} & \dfrac{-M - L_2}{\Delta} & \dfrac{M}{\Delta} - \dfrac{1}{R_2} \\ \dfrac{-M - L_2}{\Delta} & \dfrac{2M + L_1 + L_2}{\Delta} + j\omega C & \dfrac{-M - L_1}{\Delta} \\ \dfrac{M}{\Delta} - \dfrac{1}{R_2} & \dfrac{-M - L_1}{\Delta} - g_m & \dfrac{L_1}{\Delta} + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{n1} \\ \dot{U}_{n2} \\ \dot{U}_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\dot{U}_S}{R_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

其中，$\Delta = j\omega(L_1 L_2 - M^2)$

16-18　选定参考方向如题解图 16-18 所示，支路 1,2,3 为树。



题解图 14-18

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 + j\omega L_3 + j\omega L_4 & R_1 + j\omega L_3 \\ R_1 + j\omega L_3 & R_1 + j\omega L_3 + \dfrac{1}{j\omega C_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_4 \\ \dot{I}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \dot{I}_{S1} - R_2 \dot{I}_{S2} \\ R_1 \dot{I}_{S1} \end{bmatrix}$$

16-19　选定参考方向如题解图 16-18 所示，支路 1,2,3 为树。

$$\begin{bmatrix} \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{j\omega L_4} + j\omega C_5 & -\dfrac{1}{j\omega L_4} & \dfrac{1}{j\omega L_4} + j\omega C_5 \\ -\dfrac{1}{j\omega L_4} & \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{j\omega L_4} & -\dfrac{1}{j\omega L_4} \\ \dfrac{1}{j\omega L_4} + j\omega C_5 & -\dfrac{1}{j\omega L_4} & \dfrac{1}{j\omega L_3} + \dfrac{1}{j\omega L_4} + j\omega C_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{S1} \\ \dot{I}_{S2} \\ 0 \end{bmatrix}$$