第 11 章网络图论与网络方程习题解答

11.1　在图示网络的图中，问下列支路集合哪些是割集？哪些不是割集？为什么？

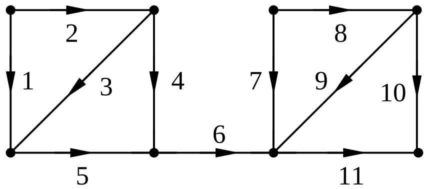
①1、3、5；②2、3、4、7、8；③4、5、6；④6；⑤4、7、9；⑥1、3、4、7。

解：①、④ 是割集，符合割集定义。

②、③ 不是割集，去掉该支路集合，将电路分成了孤立的三部分。

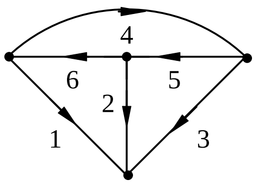
⑤ 不是割集，去掉该支路集合，所剩线图仍连通。

⑥ 不是割集，不是将图分割成两孤立部分的最少支路集合。因为加上支路 7，该图仍为孤立的两部分。



图题 11.1

11.2 在图示网络的图中，任选一树，指出全部的基本回路的支路集合和全部基本割集的支路集合。



图题 11.2

解：选 1、2、3 为树支，基本回路支路集合为{1，3，4}，{2，3，5}，{1，2，6}；

基本割集的支路集合为{1，4，6}，{2，5，6}，{3，4，5}。

11.3 设某网络的基本回路矩阵为

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

① 若如已知连支电流 $i_4=4\,\mathrm{A}, i_5=5\,\mathrm{A}, i_6=6\,\mathrm{A}$，求树支电流。

② 若已知树支电压 $u_1=1\,\mathrm{V}$，$u_2=2\,\mathrm{V}$，$u_3=3\,\mathrm{V}$，求连支电压。

③ 画出该网络的图。

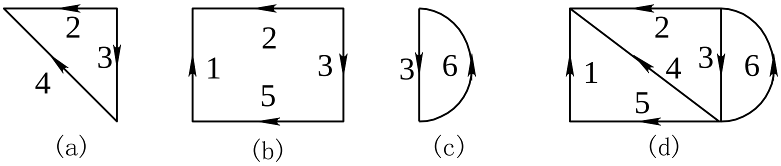
解：① 由公式$\boldsymbol{I}_t=\boldsymbol{B}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{I}_l$，已知连支电流，可求得树支电流

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_4 \\ i_5 \\ i_6 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 5 \\ -9 \\ 15 \end{bmatrix}\mathrm{A}$$

② 由公式$\boldsymbol{U}_l=-\boldsymbol{B}_{\mathrm{t}}\boldsymbol{U}_{\mathrm{t}}$，已知树支电压，可求得连支电压

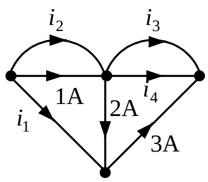
$$\begin{bmatrix} u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix}=-\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -1 \\ -2 \\ -3 \end{bmatrix}\mathrm{V}$$

③ 由矩阵$\boldsymbol{B}$画出各基本回路，如图 11.3(a)~(c)所示。将各基本回路综合在一起得题中所求线图，如图 11.3(d)所示。



图题 11.3

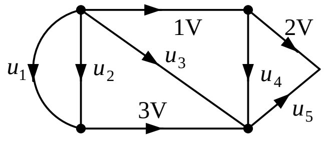
11.4 网络的图如图所示，已知部分支路电流。若要求出全部支路电流应该怎样补充已知条件？



图题 11.4

解：连支电流是一组独立变量，若已知连支电流，便可求出全部支路电流。因此除将图中已知电流支路作为连支外，还需将支路 3 或 4 作为连支。 即补充支路 3 或 4 的电流。若补充i_3，则得$i_1=1\mathrm{A}$，$i_2=-2\mathrm{A}$，$i_4=-3\mathrm{A}-i_3$；若补充i_4，则得$i_1=1\mathrm{A}$，$i_2=-2\mathrm{A}$，$i_3=-3\mathrm{A}-i_4$。

11.5 网络的图如图所示，已知其中的三条支路电压，应该怎样补充已知条件，才能求出全部未知支路电压？



图题 11.5

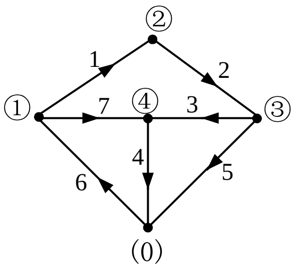
解：树支电压是一组独立变量，若已知树支电压，便可求出全部支路电压。除将图中已知支路电压作为树支外，还需在支路 1、2、3、4、5 中任选一条支路作为树支。即在 u_1、u_2、u_3、u_4、u_5 中任意给定一个电压便可求出全部未知支路电压。

11.6 已知网络图的关联矩阵 $\boldsymbol{A}$ 为

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

画出该网络图（标明支路、节点号以及方向），并以支路 1、2、3、4 为树支，列写基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}$。

解:　　网络图　　　　　　　　　　　　基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}$



$$\begin{array}{c} \\ B= \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

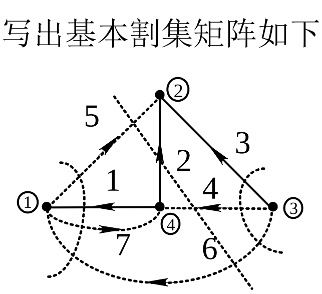
11.7 设某网络图的关联矩阵为

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

取 1、2、3 支路为树支，写出基本割集矩阵。

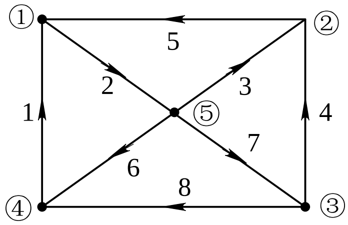
解：由关联矩阵 **A** 画出网络图，如图题 11.7 所示，由图写出基本割集矩阵如下：

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



图题 11.7

11.8 图示网络线图中，以支路 1、2、3、4 为树支，列写基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}$ 和基本割集矩阵 $\boldsymbol{C}$。



图题 11.8

解：

$$B=\begin{array}{c}\begin{array}{cccccccc}1&2&3&4&5&6&7&8\end{array}\\\begin{bmatrix}0&1&1&0&1&0&0&0\\1&1&0&0&0&1&0&0\\0&0&-1&1&0&0&1&0\\1&1&1&-1&0&0&0&1\end{bmatrix}\end{array}\qquad C=\begin{array}{c}\begin{array}{cccccccc}1&2&3&4&5&6&7&8\end{array}\\\begin{bmatrix}1&0&0&0&0&-1&0&-1\\0&1&0&0&-1&-1&0&-1\\0&0&1&0&-1&0&1&-1\\0&0&0&1&0&0&-1&1\end{bmatrix}\end{array}$$

11.9 某网络图的基本割集矩阵为

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

画出对应网络的图。

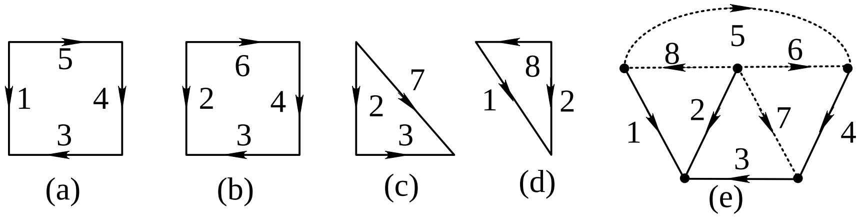
解：C 可以表示为

$$C=\left[\begin{array}{cccc:cccc}1&0&0&0&1&0&0&-1\\0&1&0&0&0&1&1&1\\0&0&1&0&-1&-1&-1&0\\0&0&0&1&-1&-1&0&0\end{array}\right]=\left[C_t \;\vdots\; C_l\right]$$

由 $B_t=-C_l^{T}$ 得

$$B_t=\begin{bmatrix}-1&0&1&1\\0&-1&1&1\\0&-1&1&0\\1&-1&0&0\end{bmatrix},\qquad B=[B_t\,|\,B_l]=\begin{bmatrix}-1&0&1&1&1&0&0&0\\0&-1&1&1&0&1&0&0\\0&-1&1&0&0&0&1&0\\1&-1&0&0&0&0&0&1\end{bmatrix}$$

由 B 矩阵画出各基本回路，如图 11.9 (a)~(d) 所示。将各基本回路综合在一起得题中所求线图，如图 11.9（e）所示。



图题11.9

11.10 已知某网络图的基本回路矩阵

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

试写出此网络的基本割集矩阵$\boldsymbol{C}$。

解：$\boldsymbol{B}$ 可以表示为

$$\boldsymbol{B}=\left[\begin{array}{cccc:cccc}1&0&0&0&0&-1&-1&0\\0&1&0&0&0&0&1&1\\0&0&1&0&1&1&1&0\\0&0&0&1&-1&-1&0&1\end{array}\right]=\left[\boldsymbol{B}_l \ \vdots\ \boldsymbol{B}_{\mathrm{t}}\right]$$

由 $\mathbf{C}_l=-\mathbf{B}_t^{\mathrm{T}}$ 得

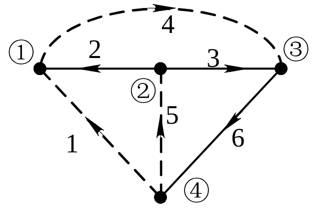
$$\boldsymbol{C}_l=\begin{bmatrix}0&0&-1&1\\1&0&-1&1\\1&-1&-1&0\\0&-1&0&-1\end{bmatrix},\quad \boldsymbol{C}=[\boldsymbol{C}_l\,|\,\boldsymbol{C}_t]=\begin{bmatrix}0&0&-1&1&1&0&0&0\\1&0&-1&1&0&1&0&0\\1&-1&-1&0&0&0&1&0\\0&-1&0&-1&0&0&0&1\end{bmatrix}$$

11.11 已知按有向图 G 的某个树 T 列写的基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}$ 如下所示，其中矩阵 $\boldsymbol{B}$ 上数字 1~6 表示支路编号。求此树 T 由那些支路组成，并画出该图及对应该树的基本割集矩阵 $\boldsymbol{C}$。

$$\begin{array}{c}\begin{array}{cccccc}1&2&3&4&5&6\end{array}\\ \boldsymbol{B}=\begin{bmatrix}1&-1&1&0&0&1\\0&1&-1&1&0&0\\0&0&1&0&1&1\end{bmatrix}\begin{array}{l}l_1\\l_2\\l_3\end{array}\end{array}$$

解：$T:\{2,3,6\}$

$$
B(N)=\begin{array}{c} \begin{matrix} 2 & 3 & 6 & 1 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}
$$



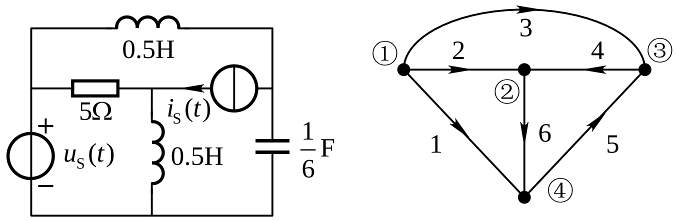
$$
C(N)=\begin{array}{c} \begin{matrix} 2 & 3 & 6 & 1 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{array}
$$

$$
\Rightarrow C=\begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}
$$

11.12 电路模型图如图(a)所示，图(b)是它的有向图。

① 以节点④为参考节点，写出电路的降阶关联矩阵 $\boldsymbol{A}$ 。

② 以支路 1，2，5 为树，写出基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}$ ，基本割集矩阵 $\boldsymbol{C}$ 。



(a)　(b)

图题 11.12

解：

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

$$
B(N)=\begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 5 & 3 & 4 & 6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}
\quad \Rightarrow B=\begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}
$$

$$C(N)=\begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 5 & 3 & 4 & 6 \\ \end{array}\begin{bmatrix}1&0&0&1&-1&1\\0&1&0&0&1&-1\\0&0&1&1&-1&0\end{bmatrix}\Rightarrow C=\begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array}\begin{bmatrix}1&0&1&-1&0&1\\0&1&0&1&0&-1\\0&0&1&-1&1&0\end{bmatrix}$$

11.13 某网络有 6 条支路，已知 3 条支路的电阻分别是 $R_1=2\Omega$，$R_2=5\Omega$，$R_3=10\Omega$；其余 3 条支路的电压分别是 $u_4=4\,\mathrm{V}$，$u_5=6\,\mathrm{V}$，$u_6=-12\,\mathrm{V}$。又知该网络的基本回路矩阵为

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

试求全部支路电流。

解：由基本回路矩阵可知：支路 1、2、3 为连支，4、5、6 为树支，已知树支电压，可以求出全部连支电压。

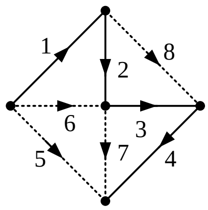
$$\begin{bmatrix}u_1\\u_2\\u_3\end{bmatrix}=\boldsymbol{U}_l=-\boldsymbol{B}_\mathrm{t}\boldsymbol{U}_\mathrm{t}=-\begin{bmatrix}1&0&1\\-1&-1&-1\\0&-1&-1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}4\\6\\-12\end{bmatrix}\mathrm{V}=\begin{bmatrix}8\\-2\\-6\end{bmatrix}\mathrm{V}$$

连支电流等于连支电压除以相应支路的电阻。

$$\boldsymbol{I}_l=\left[\frac{u_1}{R_1},\quad \frac{u_2}{R_2},\quad \frac{u_3}{R_3}\right]^\mathrm{T}=[4,\quad -0.4,\quad -0.6]^\mathrm{T}\,\mathrm{A}$$

$$\mathbf{I}=\mathbf{B}^\mathrm{T}\mathbf{I}_l=\begin{bmatrix}1&0&0&1&0&1\\0&1&0&-1&-1&-1\\0&0&1&0&-1&-1\end{bmatrix}^\mathrm{T}\begin{bmatrix}4\\-0.4\\-0.6\end{bmatrix}=[4,\quad -0.4,\quad -0.6,\quad 4.4,\quad 1,\quad 5]^\mathrm{T}\,\mathrm{A}$$

11.14 图示网络的图，根据所选的树，列出独立的 KCL 方程和独立的 KVL 方程，并写成矩阵形式。



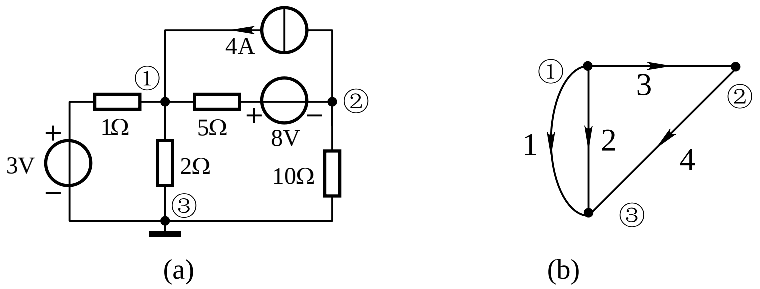
图题 11.14

解：根据所选的树，基本回路矩阵 $\boldsymbol{B}$ 和基本割集矩阵 $\boldsymbol{C}$ 如下：

$$\boldsymbol{B}=\begin{bmatrix}-1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0\\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{C}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

KCL 方程和 KVL 方程矩阵形式为：$\boldsymbol{CI}=0$，$\boldsymbol{U}=C^{\mathrm{T}}\boldsymbol{U}_{\mathrm{t}}$；$\boldsymbol{I}=\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{I}_{l}$，$\boldsymbol{BU}=0$。

11.15 电路如图所示。利用矩阵运算列出节点电压方程。



图题 11.15

解：按照广义支路的定义，作出网络线图，如图(b)所示。

根据线图写出关联矩阵 $\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 0\\ 0 & 0 & -1 & 1\end{bmatrix}$

支路电导矩阵 $\boldsymbol{Y}=\mathrm{diag}\begin{bmatrix}1 & 0.5 & 0.2 & 0.1\end{bmatrix}\mathrm{S}$

支路源电压向量 $\boldsymbol{U}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}3, & 0, & 8, & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\mathrm{V}$，

支路源电流向量 $\boldsymbol{I}_{\mathrm{S}}=\begin{bmatrix}0, & 0, & -4, & 0\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\mathrm{A}$

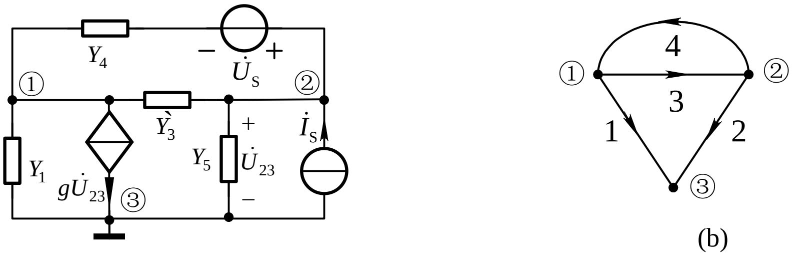
节点导纳矩阵

$$\boldsymbol{Y}_{\mathrm{n}}=\boldsymbol{AYA}^{\mathrm{T}}=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 0\\ 0 & 0 & -1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0.5 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0.2 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0.1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0\\ 1 & 0\\ 1 & -1\\ 0 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1.7 & -0.2\\ -0.2 & 0.3\end{bmatrix}\mathrm{S}$$

节点注入电流向量 $\boldsymbol{I}_{\mathrm{Sn}}=\boldsymbol{A}(\boldsymbol{GU}_{\mathrm{S}}-\boldsymbol{I}_{\mathrm{S}})=\begin{bmatrix}8.6\\ -5.6\end{bmatrix}\mathrm{A}$

由 $\boldsymbol{Y}_{\mathrm{n}}\boldsymbol{U}_{\mathrm{n}}=\boldsymbol{I}_{\mathrm{Sn}}$ 得节点电压方程 $\begin{bmatrix}1.7 & -0.2\\ -0.2 & 0.3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}U_{\mathrm{n1}}\\ U_{\mathrm{n2}}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}8.6\\ -5.6\end{bmatrix}$

11.16 电路如图所示。利用矩阵运算列出节点电压方程。



(b)

图题 11.16

解：按照广义支路的定义，作出网络线图，如图(b)所示。

根据线图写出关联矩阵 $\boldsymbol{A}$

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

根据线图并对照电路图写出

支路导纳矩阵 $$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}Y_1 & g & 0 & 0\\ 0 & Y_2 & 0 & 0\\ 0 & 0 & Y_3 & 0\\ 0 & 0 & 0 & Y_4\end{bmatrix}$$

支路源电压向量 $\boldsymbol{U}_S=\begin{bmatrix}0, & 0, & 0, & U_S\end{bmatrix}^T$，支路源电流向量 $\boldsymbol{I}_S=\begin{bmatrix}0, & I_S, & 0, & 0\end{bmatrix}^T$

节点导纳矩阵 $$\boldsymbol{Y}_n=\boldsymbol{AYA}^T=\begin{bmatrix}Y_1+Y_3+Y_4 & g-Y_3-Y_4\\ -Y_3-Y_4 & Y_3+Y_4+Y_2\end{bmatrix}$$

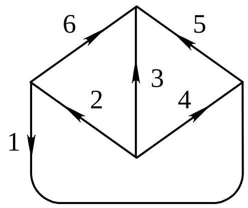
节点注入电流向量 $\boldsymbol{I}_{Sn}=\boldsymbol{AYU}_S-\boldsymbol{AI}_S=\begin{bmatrix}-Y_4U_S & I_S+Y_4U_S\end{bmatrix}^T$

由 $\boldsymbol{Y}_n\boldsymbol{U}_n=\boldsymbol{I}_{Sn}$ 得节点电压方程

$$\begin{bmatrix}Y_1+Y_3+Y_4 & -(Y_3+Y_4-g)\\ -(Y_3+Y_4) & Y_3+Y_4+Y_2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}U_{n1}\\ U_{n2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-Y_4U_S\\ Y_4U_S+I_S\end{bmatrix}$$

11.17 某电阻性电路的有向图如图所示，已知该图的基本割集矩阵为 $\boldsymbol{C}$ 和割集导纳矩阵为 $\boldsymbol{Y}$ 分别为

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\ \boldsymbol{C}=\begin{array}{c} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{array} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \qquad \boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix} 1.25 & 1 & -0.5 \\ 1 & 3 & -1.5 \\ -0.5 & -1.5 & 1.75 \end{bmatrix}$$



图题 11.17

求：① 指出基本割集矩阵 $\boldsymbol{C}$ 对应的树支。

② 试确定该网络各支路的电阻参数。

③ 写出对应该树支的基本回路阻抗矩阵 $\boldsymbol{Z}$ 。

解：树支为支路 4，5，6

由割集导纳矩阵

$$\boldsymbol{Y}_{\mathrm{t}}=\boldsymbol{CYC}^{\mathrm{T}}=\begin{bmatrix} Y_2+Y_3+Y_4 & Y_2+Y_3 & -Y_2 \\ Y_2+Y_3 & Y_1+Y_2+Y_3+Y_5 & -Y_1-Y_2 \\ -Y_2 & -Y_1-Y_2 & Y_1+Y_2+Y_6 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1.25 & 1 & -0.5 \\ 1 & 3 & -1.5 \\ -0.5 & -1.5 & 1.75 \end{bmatrix}$$

$$\text{得}\quad \boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix}\mathrm{S}$$

即：$R_1=1\Omega$，$R_2=2\Omega$，$R_3=2\Omega$，$R_4=4\Omega$，$R_5=1\Omega$，$R_6=4\Omega$

由网络图可写出 B 为

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

基本回路阻抗矩阵　$\mathbf{Z}_1=\mathbf{BZB}^{\mathrm{T}}=\begin{bmatrix} 6 & -5 & -1 \\ -5 & 11 & 5 \\ -1 & 5 & 7 \end{bmatrix}\Omega$