CWSEET 电工理论丛书

电工原理问题分析

下　册

陶炯光 陈崇源 张文灿 编

武汉电工理论学会

八、电路矩阵分析

8—1．如图8—1(a)示电路，试写出节点方程和回路方程。

〔解〕节点方程的基本关系为$i_n = Y_n V_n$，$Y_n = AY_bA'$

其中i_n节点电流矩阵

V_n：节点电位矩阵

Y_b：支路导纳矩阵

Y_n：节点导纳矩阵

A：节点和支路的关联矩阵

对图8—1(a)作拓扑图（图8—1(b)），选节点③作为参考节点，

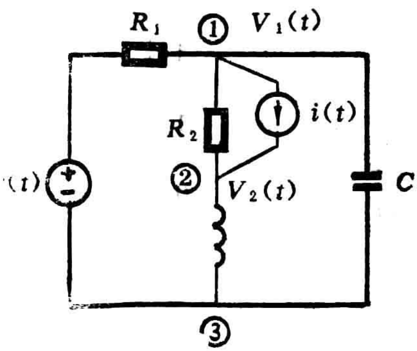

图8—1(a)

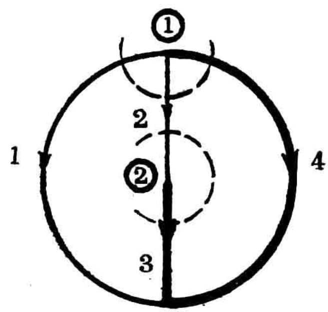

图8—1(b)

显然

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

$$
\text{而}\quad Y_b = \begin{pmatrix} \dfrac{1}{R_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{R_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{1}{LP} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & CP \end{pmatrix}
$$

其中：P为微 分算子

$\dfrac{1}{P}$为积分算子（从0到t积分）

故　$Y_n = AY_bA'$

$$
= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}
$$

$$
\times \begin{pmatrix} \dfrac{1}{R_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{R_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{1}{LP} & 0 \\ 0 & 0 & CP & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}
$$

$$
= \begin{pmatrix} \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + CP & -\dfrac{1}{R_2} \\ -\dfrac{1}{R_2} & \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{LP} \end{pmatrix}
$$

而i_n从图8—1(*a*)可以看出

$$i_n = \begin{pmatrix} \dfrac{e(t)}{R_1} - i(t) \\ -i_L(o) + i(t) \end{pmatrix}$$

所以，节点方程是

$$\begin{pmatrix} \dfrac{e(t)}{R_1} - i(t) \\ -i_L(0) + i(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + CP & -\dfrac{1}{R_2} \\ -\dfrac{1}{R_2} & \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{LP} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} V_1(t) \\ V_2(t) \end{pmatrix}$$

在写节点方程时，电感初始电流$i_L(o)$一定要考虑进去。

回路方程的基本关系为$E_l = Z_l i_l$，$Z_l = BZ_bB'$

其中E_l：回路电势矩阵

i_l：回路电流矩阵

Z_l：回路阻抗矩阵

Z_b：支路阻抗矩阵

B：回路和支路的关联矩阵，对电路作拓扑图(图8—1(c)，选回路电流i_1, i_2。

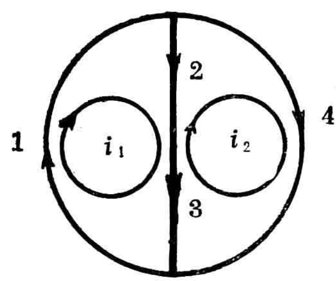

图8—1(c)

显然 $B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$

而 $$Z_b = \begin{pmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & LP & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{1}{CP} \end{pmatrix}$$

其中：P为微分算子

$\frac{1}{P}$为积分算子（从o到t积分）

故 $$Z_l = BZ_bB'$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & LP & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{CP} \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \\ 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} R_1 + R_2 + LP & -(R_2 + LP) \\ -(R_2 + LP) & R_2 + LP + \frac{1}{CP} \end{bmatrix}$$

而E_l可从8—1(a)直接观察出

$$E_l = \begin{bmatrix} R_2 i(t) + e(t) \\ -\nu_c(o) - R_2 i(t) \end{bmatrix}$$

所以，回路方程是

$$\begin{bmatrix} R_2 i(t) + e(t) \\ -\nu_c(o) - R_2 i(t) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} R_1 + R_2 + LP & -(R_2 + LP) \\ -(R_2 + LP) & R_2 + LP + \frac{1}{CP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \end{bmatrix}$$

在写回路方程时，电容初始电压$V_c(o)$一定要考虑进去。

8—2. 如图8—2网络，其参数采用节点矩阵

$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{10} \\ Y_{01} & Y_{00} \end{bmatrix}$ 表示。网络可以是无源或有源的，后者可视为反馈放大器的抽象结构。试求电压放大倍数 $K_f = \frac{V_0}{V_1}$，输入电阻 $R_{if} = \frac{V_1}{I_1}$，输出电阻 $R_{0f} = \frac{V_0}{I_0}$ 与Y的关系。

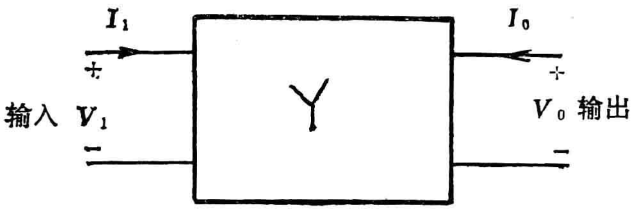

图8—2

〔**解**〕 因为

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{10} \\ Y_{00} & Y_{00} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V^0 \end{bmatrix}$$

写成普通代数方程就是 $I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{10}V_0$

$$I_0 = Y_{01}V_1 + Y_{00}V_0$$

从上述两方程便可解出 V_1，V_0

$$V_1 = \frac{Y_{00}}{|Y|}I_1 - \frac{Y_{10}}{|Y|}I_0 \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{-Y_{01}}{|Y|}I_1 + \frac{Y_{11}}{|Y|}I_0 \quad (2)$$

其中 $|Y|$ 为节点导纳矩阵Y的行列式。由于在计算放大倍数及输入电阻时，一般是忽略输出电流 I_0 的（即令 $I_0 = 0$）。故（1）、（2）两式得到

$$\text{电压放大倍数} \quad K_f = \frac{V_0}{V_1} = -\frac{Y_{01}}{Y_{00}} \quad (3)$$

$$\text{输入电阻}\ R_{of}=\frac{V_1}{I_1}=\frac{Y_{00}}{|Y|} \tag{4}$$

$$\text{输出电阻}\ R_{0f}=\frac{V_0}{I_0} \tag{5}$$

其中V_0应按（2）式计算（而且要令$V_1=0$条件下）。

（3）、（4）、（5）式便是计算反馈放大器主要参数的通用公式。当然，对于反馈方式不同的放大器都要化成四端网络的Y参数，然后才能按通用公式求出K_f、R_{if}、R_{of}来。在本部份的题8—6将有这方面的例子。

还要指出，本题的分析也适用于无源四端网络。这时（3）式就表示输出电压和输入电压之比。在本部份的题8—5就是这方面的例子。

8—3．在网络分析中，可以用回路阻抗矩阵等效地缩减回路，也可以用节点导纳矩阵等效地缩减节点。这些方法在分析电子线路中颇有成效。所谓等效缩减回路（例如缩减第i个回路），就是保证所有其他回路电流不变条件下，消去I_i，即减少第i个回路。从矩阵看即将回路电势矩阵、回路电流矩阵除去第i行，变为$n-1$行。而将回路阻抗矩阵除掉第i行及第i列，变为$(n-1)\times(n-1)$阶方阵。对于等效缩减节点也是相对偶的定义。

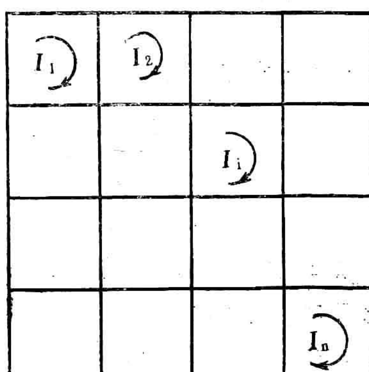

图8—3

现在假定要等效缩减第i回路（该回路电势为E_{ii}），试证明当$E_{ii}=0$时，回路阻抗矩阵的元素按下式决定

$$Z'_{rs}=Z_{rs}-\frac{Z_{ri}Z_{is}}{Z_{ii}}$$

其中 Z'_{rs}——新的回路阻抗矩阵中r行、s列元素

Z_{rs}——原来的回路阻抗矩阵中r行、s列元素

Z_{ri}——原来的回路阻抗矩阵中r行、i列元素

Z_{ii}——原来的回路阻抗矩阵中i行、i列元素。

并分析当$E_{ii}\neq 0$时，等效缩减第i回路后，回路方程又如何变化？

〔解〕

1．逐次缩化电势为零的回路

对于有n个独立回路的网络(图８—３)，可写出回路方程如下：

$$\begin{pmatrix} E_{11} \\ E_{22} \\ \vdots \\ E_{ii} \\ \vdots \\ E_{nn} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12}\cdots\cdots Z_{1i}\cdots\cdots Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22}\cdots\cdots Z_{2i}\cdots\cdots Z_{2n} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Z_{i1} & Z_{i2}\cdots\cdots Z_{ii}\cdots\cdots Z_{in} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Z_{n1} & Z_{n2}\cdots\cdots Z_{ni}\cdots\cdots Z_{nn} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中 $\begin{pmatrix} E_{11} \\ E_{22} \\ \vdots \\ E_{nn} \end{pmatrix}$为回路电势矩阵，

$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix}$为回路电流矩阵，

而 $\begin{pmatrix} Z_{11}\cdots\cdots Z_{1n} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ Z_{n1}\cdots\cdots Z_{nn} \end{pmatrix}$ 为回路阻抗矩阵，

如果$\boldsymbol{E}_{ii}=0$，同时在保证其他回路电流和回路电势不变条件下，消去I_i，即减少第i个回路。从矩阵来看，即将回路电势矩阵、回路电流矩阵除去第i行，变为$n-1$行。将回路阻抗矩阵除掉第i行及第i列，变为$[n-1]\times[n-1]$方阵。这样就等效的缩化了第i个回路。

下面将进一步推导和论证：

将方程(1)划分为分块矩阵：

$$\left(\begin{array}{c} \boldsymbol{E}_{11} \\ \boldsymbol{E}_{22} \\ \vdots \\ \boldsymbol{E}_{(i-1)(i-1)} \\ \hdashline \boldsymbol{E}_{ii} \\ \hdashline \boldsymbol{E}_{(i+1)(i+1)} \\ \vdots \\ \boldsymbol{E}_{nn} \end{array}\right) = \left(\begin{array}{cccc:c:ccc} Z_{11} & Z_{12}\cdots\cdots & & Z_{1(i-1)} & Z_{1i} & Z_{1(i+1)}\cdots\cdots & & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22}\cdots\cdots & & Z_{2(i-1)} & Z_{2i} & Z_{2(i+1)}\cdots\cdots & & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{(i-1)1} & Z_{(i-1)2}\cdots & & Z_{(i-1)(i-i)} & Z_{(i-1)i} & Z_{(i-1)(i+1)}\cdots & & Z_{(i-1)n} \\ \hdashline Z_{i1} & Z_{i2}\cdots\cdots & & Z_{i(i-1)} & Z_{ii} & Z_{i(i+1)}\cdots\cdots & & Z_{in} \\ \hdashline Z_{(i+1)1} & Z_{(i+1)2}\cdot & & Z_{(i+1)(i-)1} & Z_{(i+1)i} & Z_{(i+1)(i+1)}\cdots & & Z_{(i+1)n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2}\cdots\cdots & & Z_{n(i-1)} & Z_{ni} & Z_{n(i+1)}\cdots\cdots & & Z_{nn} \end{array}\right) \cdot \left(\begin{array}{c} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{i-1} \\ \hdashline I_i \\ \hdashline I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{array}\right)$$

$$
= \left(\begin{array}{c:c:c}
[A] & [B] & [C] \\ \hdashline
[D] & [E] & [F] \\ \hdashline
[G] & [H] & [I]
\end{array}\right)
\left(\begin{array}{c}
I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{i-1} \\ \hdashline I_i \\ \hdashline I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n
\end{array}\right) =
$$

$$
= \left(\begin{array}{c}
[A]\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{i-1} \end{pmatrix} + [B]I_i + [C]\begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} \\ \hdashline
[D]\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{i-1} \end{pmatrix} + [E]I_i + [F]\begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} \\ \hdashline
[G]\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{i-1} \end{pmatrix} + [H]I_i + [I]\begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix}
\end{array}\right) \qquad (2)
$$

从(2)式中，显然可以得出

$$
E_{ii} = [D]\begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_{i-1} \end{pmatrix} + [E]I_i + [F]\begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} = 0
$$

因为$[E] = Z_{ii}$，故从上式可得

$$
I_i = -\frac{1}{Z_{ii}}\left\{[D]\begin{pmatrix} I_i \\ \vdots \\ I_{i-1} \end{pmatrix} + [F]\begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix}\right\}, \qquad (3)
$$

将(3)式代入(2)式，可得两个代数方程，其中第一

个为：

$$\begin{pmatrix} E_{11} \\ E_{22} \\ \vdots \\ E_{(i-1)(i-1)} \end{pmatrix} = \left\{ [A] - \frac{[B][D]}{Z_{ii}} \right\}$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_{(i-1)} \end{pmatrix} + \left\{ [C] - \frac{[B][F]}{Z_{ii}} \right\} \begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix}, \quad (4)$$

（4）式中

$$[A] - \frac{[B][D]}{Z_{ii}} = \begin{pmatrix} Z_{11} \cdots\cdots Z_{1(i-1)} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Z_{(i-1)1} \cdots Z_{(i-1)(i-1)} \end{pmatrix} -$$

$$- \frac{1}{Z_{ii}} \cdot \begin{pmatrix} Z_{i1} \\ \vdots \\ Z_{(i-1)i} \end{pmatrix} [Z_{i1} \cdots\cdots Z_{i(i-1)}].$$

$$= \begin{pmatrix} Z_{11} \cdots\cdots\cdots\cdots Z_{1(i-1)} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Z_{(i-1)1} \cdots Z_{(i-1)(i-1)} \end{pmatrix} - \frac{1}{Z_{ii}} \cdot$$

$$\begin{pmatrix} Z_{1i}Z_{i1} \cdots\cdots\cdots\cdots Z_{1i}Z_{i(i-1)} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Z_{(i-1)i}Z_{i1} \cdots\cdots Z_{(i-1)i}Z_{i(i-1)} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} Z'_{11}Z'_{12} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots Z'_{1(i-1)} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \\ Z'_{(i-1)1}Z'_{(i-1)2} \cdots\cdots Z'_{(i-1)(i-1)} \end{pmatrix}$$

对（4）式第二项进行类似的运算，以及对（2）式第三行

进行上述类似的运算，可得新的矩阵方程为：

$$\begin{pmatrix} E_{11} \\ \vdots \\ E_{(i-1)(i-1)} \\ E_{(i+1)(i+1)} \\ \vdots \\ E_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z'_{11} \cdots Z'_{1(i-1)} Z'_{1(i+1)} \cdots Z'_{1n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ Z'_{n1} \cdots Z'_{n(i-1)} Z'_{n(i+1)} \cdots Z'_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{(i-1)} \\ I_{(i+1)} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

其中回路电势矩阵、回路电流矩阵均为$(n-1)$行。回路阻抗矩阵为$[n-1]\times[n-1]$阶方阵，其新的元素按公式（6）决定：

$$Z'_{rs} = Z_{rs} - \frac{Z_{ri}Z_{is}}{Z_{ii}} \quad (6)$$

（5）、（6）两式就是等效缩简第i个回路的基本关系式。显然和节点导纳矩阵的缩化方程是对偶的。从推导中可以看出，缩减第i个回路，其余各回路电势与回路电流均未变，只是回路阻抗矩阵的阶及元素变化了。如果需要，可以继续按方程（6）等效缩减其他回路。

2．缩化电势不为0的回路

如果$E_{ii} \neq 0$，则从（2）式第二行可得：

$$I_i = -\frac{1}{Z_{ii}}\left\{[D]\begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_{i-1} \end{pmatrix} + [F]\begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix}\right\} + \frac{E_{ii}}{Z_{ii}} \quad (7)$$

将（7）式代入（2）式，从第一行中整理后可得：

$$
\begin{pmatrix}
E_{11}-\dfrac{Z_{1i}}{Z_{ii}}E_{ii} \\
E_{22}-\dfrac{Z_{2i}}{Z_{ii}}E_{ii} \\
\vdots \\
E_{(i-1)(i-1)}-\dfrac{Z_{(i-1)i}}{Z_{ii}}E_{ii}
\end{pmatrix}
$$

$$
=\left([A]-\frac{[B][D]}{Z_{ii}}\right)\begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_{i-1}\end{pmatrix}+\left([C]-\frac{[B][F]}{Z_{ii}}\right)\begin{pmatrix} I_{i+1} \\ \vdots \\ I_n\end{pmatrix} \quad (8)
$$

比较(8)式与(4)式，显然可以看出，当缩化电势不为0的回路时，回路阻抗矩阵仍按(6)式变换，同时回路电势应变换为：

$$
E_{kk}-\frac{Z_{ki}}{Z_{ii}}E_{ii},\ (K=1,\ 2\cdots\cdots n)
$$

即附加一个电势。在此条件下，保证了电路中所有其他回路电流不变。

总之，得出下面矩阵方程：

$$
\begin{pmatrix}
E_{11}-\dfrac{Z_{1i}}{Z_{ii}}E_{ii} \\
\vdots \\
E_{(i-1)(i-1)}-\dfrac{Z_{(i-1)i}}{Z_{ii}}E_{ii} \\
E_{(i+1)(i+1)}-\dfrac{Z_{(i+1)i}}{Z_{ii}}E_{ii} \\
\vdots \\
E_{nn}-\dfrac{Z_{nl}}{Z_{ii}}E_{ii}
\end{pmatrix}
$$

$$
=\begin{pmatrix}
Z'_{11}\cdots\cdots Z'_{1(i-1)}Z'_{1(i+1)}\cdots\cdots Z'_{1n} \\
\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
Z'_{(i-1)1}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots Z'_{(i-1)n} \\
Z'_{(i+1)1}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots Z'_{(i+1)n} \\
Z'_{1n}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots Z'_{nn}
\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_{(i-1)} \\ I_{(i+1)} \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix} \quad (9)
$$

以上结论完全可以对偶到节点方程和节点导纳矩阵上去。

8—4. RC移相式振荡器如图8—4所示。试应用8—2和8—3所得结论计算$\dfrac{\dot{I}_3}{\dot{I}_1}$和$\dot{I}_3$。

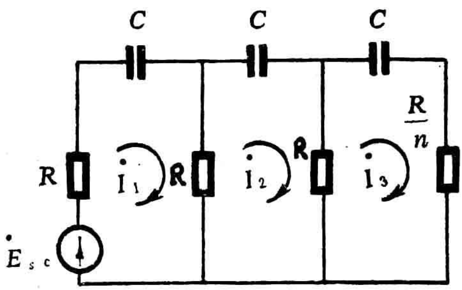

图8—4

〔解〕

根据电路图可写出矩阵方程为：

$$
\begin{pmatrix} \dot{E}_{sc} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2R+\dfrac{1}{j\omega C} & -R & 0 \\ -R & 2R+\dfrac{1}{j\omega C} & -R \\ 0 & -R & R+\dfrac{R}{n}+\dfrac{1}{j\omega C} \end{pmatrix}\cdot
$$

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \end{pmatrix}$$

消去$\dot{I}_2$回路，得[2 × 2]阶回路矩阵：

$$[Z]=\begin{bmatrix} 2R+\dfrac{1}{j\omega C}-\dfrac{R^2}{2R+\dfrac{1}{j\omega C}} & -\dfrac{R^2}{2R+\dfrac{1}{j\omega C}} \\ \dfrac{-R^2}{2R+\dfrac{1}{j\omega C}} & R+\dfrac{n}{R}+\dfrac{1}{j\omega C}-\dfrac{R^2}{2R+\dfrac{1}{j\omega C}} \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} Z'_{11} & Z'_{12} \\ Z'_{31} & Z'_{33} \end{bmatrix}。$$

如果仅仅需要确定$\dot{I}_1$与$\dot{I}_3$之比，则从上述矩阵中可立即获得，因为

$$\frac{\dot{I}_3}{\dot{I}_1}=-\frac{Z'_{31}}{Z'_{33}}$$

如果需要求出$\dot{I}_1$、$\dot{I}_3$，则利用8—3、(8)式再等效缩简回路3，可得

$$\dot{E}_{sc}=\left(Z'_{11}-\frac{Z'_{13}Z'_{31}}{Z'_{33}}\right)\dot{I}_1$$

求出$\dot{I}_1$之后再求$\dot{I}_3$，

$$\dot{I}_3 = \dot{E}_{sc} / \left\{ \left[R^3 \left(\frac{3}{n} + 1 \right) - \frac{R}{\omega^2 C^2} \left(\frac{1}{n} + 5 \right) \right] - j \frac{1}{\omega C} \left[2R^2 \left(\frac{2}{n} + 3 \right) - \frac{1}{\omega^2 C^2} \right] \right\}$$

与解回路方程计算的结果一样。

8—5．如图8—5所示双T网络，试计算输出电压V_0与输入电压V_1之比。

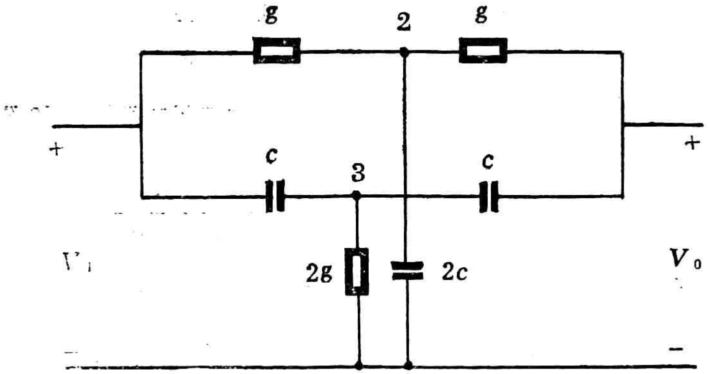

图8—5

〔**解**〕本题如采用节点或回路法求V_0/V_1都很麻烦，因为这些方法要求解四个联立方程。

我们采用题8—3所分析的方法就简单多了。显然2、3两个节点的节点电流源为0，符合命题8—3所确定的条件。根据题8—3(6)式所确定的公式，对偶到节点的导纳矩阵，新元素的变换应按下式进行，即

$$Y'_{rs} = Y_{rs} - \frac{Y_{ri} Y_{is}}{Y_{ii}} \qquad (6)'$$

其中Y'_{rs}——新的导纳矩阵中r行、s列的元素

Y_{rs}——原来的导纳矩阵中r行、s列的元素

Y_{ri}——原来的导纳矩阵中r行、i列的元素

Y_{is}——原来的导纳矩阵中i行、s列的元素

Y_{ii}——原来的导纳矩阵中i行、i列的元素

对双T网络列节点导纳矩阵

$$Y=\begin{pmatrix} g+sc & -g & -sc & 0 \\ -g & 2(g+sc) & 0 & -g \\ -sc & 0 & 2(g+sc) & -sc \\ 0 & -g & -sc & g+sc \end{pmatrix}$$

先等效缩减节点3，即按公式(6)′消去Y中第三行和第三列，得

$$Y=\begin{pmatrix} g+sc-\dfrac{s^2c^2}{2(g+sc)} & -g & -\dfrac{s^2c^2}{2(g+sc)} \\ -g & 2(g+sc) & -g \\ \dfrac{-s^2c^2}{2(g+sc)} & -g & g+sc-\dfrac{s^2c^2}{2(g+sc)} \end{pmatrix}$$

再等效缩减节点2，即按公式(6)′消去3×3阶Y矩阵中的第二行和第二列，得

$$Y=\begin{pmatrix} g+sc-\dfrac{g^2+s^2c^2}{2(g+sc)} & -\dfrac{s^2c^2+g^2}{2(g+sc)} \\ -\dfrac{s^2c^2+g^2}{2(g+sc)} & g+sc-\dfrac{g^2+s^2c^2}{2(g+sc)} \end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{10} \\ Y_{01} & Y_{00} \end{pmatrix}$$

这已经化到了标准的四端网络Y参数形式了，再根据题