

大规模电路的岛桥分析法

张友纯

(中国地质大学无线电教研室 武汉市 430074)

摘要 对于一个 n 端子网络,如果能够得到每一端的端电流,那么这个子网络就可解了。本文将一个大网络分裂成 P 个子网络,并在 n 端子网络 CCVS 模型上提出了岛和桥的概念,进而得到岛方程,从而得到各子网络的端电流。这种方法在分析大规模电路时,对于提高运算速度和节省计算机内存具有一定实际意义。

关键词 大规模电路,岛,桥支路,端点关联矩阵,岛关联矩阵,电流传输矩阵

1 引言

对于大规模电路的分析,经历了从撕裂法^[1]到 n 端等效子网络的发展^[2~4]。文献[3]和文献[4]提出了 n 端网络的等效定理和等效子网络的构造,对于解决“机小題大”的矛盾带来了方便。本文也是从等效的概念入手,并在 n 端子网络的 CCVS 模型的基础上,将一个大网络分裂成 P 个子网络,即分成 P 个孤立的小岛;将这 P 个小岛用桥支路进行连接,形成一个具有 P 个岛(每个岛仅有一个节点)的等效网络;然后对包围每一个岛的闭合面列 KCL 方程,得到类似于节点方程的岛方程;再解出各岛相对于一个参考岛的岛电位后,每一个岛(即每一个 n 端子网络)的每个端的端电流即可求出;进而任一子网络就可迎刃而解了。

2 n 端网络的等效 CCVS 模型

对于一个有 $n+1$ 个外端点 l 个内端点的网络 N_n ,如果取外端点中的一个端点为参考端,则可得到节点方程为

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ V_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{n1} \\ I_{n2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_n \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

在(1)式中, I_n 为流进外端点的电流列向量, I_{n1} 和 I_{n2} 分别为外端点和内端点的独立电流源列向量。消去内端点,则有

$$(Y_{11} - Y_{12}Y_{22}^{-1}Y_{21})V_n = I_{n1} - Y_{12}Y_{22}^{-1}I_{n2} + I_n. \quad (2)$$

设

1993-04-23 收到, 1994-10-10 定稿

张友纯 男, 1954 年生, 副教授, 现从事电工无线电专业的教学和科研工作。

$$Y'_n = Y_{11} - Y_{12}Y_{22}^{-1}Y_{21}, \quad (3)$$

$$I_{1n} = I_{11} - Y_{12}Y_{22}^{-1}I_{21}, \quad (4)$$

则(2)式可写为

$$Y'_n V_n = I_{1n} + I_{nn}. \quad (5)$$

如果设

$$Y'_n = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & & 0 \\ & y_{22} & \\ 0 & & y_{nn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & y_{12} \cdots y_{1n} \\ y_{21} & 0 \cdots y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} \cdots 0 \end{bmatrix} = Y_n^d + Y_n^c,$$

式中 $Y_n^d = \text{diag}[y_{11} y_{22} \cdots y_{nn}]$, $Y_n^c = Y'_n - Y_n^d$, 则(5)式变为

$$Y_n^d V_n = I_{1n} + I_{nn} - Y_n^c V_n. \quad (6)$$

按(6)式建立的 n 端网络等效模型就是文献[3,4] 给出的导纳型模型, 即 VCCS 模型。

对于(5)式, 如果 $(Y'_n)^{-1}$ 存在, 则有

$$V_n = (Y'_n)^{-1}(I_{1n} + I_{nn}). \quad (7)$$

代入(6)式得

$$Y_n^d V_n = (1 - Y_n^c(Y'_n)^{-1})(I_{1n} + I_{nn}). \quad (8)$$

设

$$\alpha'_n = Y_n^c(Y'_n)^{-1} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & \alpha_{nn} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

则

$$1 - Y_n^c(Y'_n)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 - \alpha_{11} & -\alpha_{12} \cdots -\alpha_{1n} \\ -\alpha_{21} & 1 - \alpha_{22} \cdots -\alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\alpha_{n1} & -\alpha_{n2} \cdots 1 - \alpha_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \alpha_{11} & & 0 \\ & 1 - \alpha_{22} & \\ 0 & & 1 - \alpha_{nn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & \alpha_{12} \cdots \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 0 \cdots \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} \cdots 0 \end{bmatrix} = \alpha_n^d - \alpha_n^c,$$

式中 $\alpha_n^d = \text{diag}[1 - \alpha_{11} \ 1 - \alpha_{22} \cdots 1 - \alpha_{nn}]$, $\alpha_n^c = -(1 - \alpha_n^d - \alpha_n^c)$, 故有

$$Y_n^d V_n = \alpha_n^d(I_{1n} + I_{nn}) - \alpha_n^c(I_{1n} + I_{nn}).$$

如果 $(\alpha_n^d)^{-1}$ 存在, 则有

$$(\alpha_n^d)^{-1} Y_n^d V_n = I_{1n} + I_{nn} - (\alpha_n^d)^{-1} \alpha_n^c(I_{1n} + I_{nn}).$$

进而有

$$Y_n V_n = (1 - \alpha''_n) I_{in} + (1 - \alpha''_n) I_n, \quad (10)$$

上式中 $Y_n = (\alpha''_n)^{-1} Y_n^d$, $\alpha''_n = (\alpha''_n)^{-1} \alpha''_n$. 如果设 $\alpha_n = 1 - \alpha''_n$, 则有

$$Y_n V_n = \alpha_n I_{in} + \alpha_n I_n. \quad (11)$$

由于 $(\alpha''_n)^{-1} = \text{diag}[1/(1 - \alpha_{11}) \ 1/(1 - \alpha_{22}) \cdots 1/(1 - \alpha_{nn})]$, 故有

$$Y_n = \text{diag}[y_{11}/(1 - \alpha_{11}) \ y_{22}/(1 - \alpha_{22}) \cdots y_{nn}/(1 - \alpha_{nn})], \quad (12)$$

$$\alpha''_n = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\alpha_{12}}{1 - \alpha_{11}} & \cdots & \frac{\alpha_{1n}}{1 - \alpha_{11}} \\ \frac{\alpha_{21}}{1 - \alpha_{22}} & 0 & \cdots & \frac{\alpha_{2n}}{1 - \alpha_{22}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\alpha_{n1}}{1 - \alpha_{nn}} & \frac{\alpha_{n2}}{1 - \alpha_{nn}} & \cdots & 0 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$\alpha_n = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-\alpha_{12}}{1 - \alpha_{11}} & \cdots & \frac{-\alpha_{1n}}{1 - \alpha_{11}} \\ \frac{-\alpha_{21}}{1 - \alpha_{22}} & 1 & \cdots & \frac{-\alpha_{2n}}{1 - \alpha_{22}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{-\alpha_{n1}}{1 - \alpha_{nn}} & \frac{-\alpha_{n2}}{1 - \alpha_{nn}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

如果设 $Y_n^{-1} = Z_n = \text{diag}[Z_1 Z_2 \cdots Z_n]$ 为端点等效阻抗, 其中 $Z_i = (1 - \alpha_{ii})/y_{ii}$ 为端点 i 到参考点间的阻抗. 设 $\alpha_n I_{in} = I_i$ 为端点等效电流源列向量, 其中 $I_{ii} = (\alpha_n)_i I_{in}$ 为端点 i 的等效电流源, 则可得 n 端网络的等效阻抗型 C CVS 模型, 即

$$V_n = Z_n I_i + Z_n \alpha_n I_n = V_i + Z_n \alpha_n I_n. \quad (15)$$

或

$$V_n = V_i + Z_n I_n - Z_n \alpha''_n I_n. \quad (16)$$

对于端点 i , 则有

$$v_i = V_{ii} + z_i (\alpha_n)_i I_n \quad (17)$$

或

$$v_i = V_{ii} + z_i I_i - z_i (\alpha''_n)_i I_n, \quad (18)$$

其中 $(\alpha_n)_i$ 和 $(\alpha''_n)_i$ 分别为 α_n 和 α''_n 的第 i 行向量. 根据(18)式, 端点 i 与参考点间的等效支路如图 1 所示.

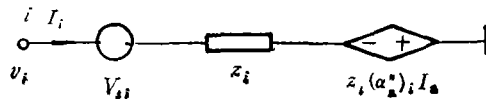


图1 端点 i 与参考点间的 C CVS 模型等效支路

显然, 对于一个二端网络 图 1 就是戴维南等效支路.

实际上, 求 n 端网络的 C CVS 模型等效电路并不复杂, 只要得到 Y'_n 和 $(Y'_n)^{-1}$, 就可根据(9)式得到 α'_n , 进而根据(12)–(14)式分别得到 Y_n, α''_n 和 α_n .

3 岛和桥的基本概念

对于一个网络 N , 如果将其中一些节点分裂, 使得 N 成为 P 个相互分离的多端子网络, 则可得到有关岛和桥的概念如下:

定义 1 岛和桥 对于一个网络 N , 如果仅将其中一些节点分裂为两个节点, 使得 N 成为 P 个相互分离的多端子网络 $(N_1, N_2, \dots, N_P)$, 则其中任一子网络 N_i 被称为岛, 用 D 表示, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_P\}$. 子网络的外端点称为岛的端点. 如果对一个岛给定一个相异于其它岛的参考点的端点为参考点, 得到每一个岛的阻抗型 C CVS 等效电路, 则每两个岛参考点之间的所有不经过第三岛的路径集被称为两岛间的桥. 两岛间的这些路径被称为桥支路.

显然, 每一个桥支路最多由两个岛的等效支路串联而成. 如果规定桥的方向, 且设每个桥支路正方向和桥的方向一致, 则可以得到岛的端点关联矩阵.

定义 2 岛的端点关联矩阵 Q^k 设所有桥的桥支路集为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, 且设桥的方向就是桥支路的正方向, 对于岛 d_k , 有端点集 $E = \{e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kn_k}\}$, 则岛 d_k 的端点与桥支路的关联矩阵(或简称岛的端点关联矩阵) $Q^k = \{q_{ij}\}_{n_k \times m}$ 定义为

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{如果桥支路 } b_j \text{ 与 } d_k \text{ 的端点 } i \text{ 关联, 且指向端点 } i; \\ -1, & \text{如果桥支路 } b_j \text{ 与 } d_k \text{ 的端点 } i \text{ 关联, 且背向端点 } i; \\ 0, & \text{如果桥支路 } b_j \text{ 与 } d_k \text{ 的端点 } i \text{ 无关联.} \end{cases} \quad (19)$$

如果设桥支路电流 $I^B = [i_{b1} i_{b2} \dots i_{bm}]^T$, 则根据定义 2 有, 岛 d_k 的端电流 $I^k = [i_{k1} i_{k2} \dots i_{kn_k}]^T$ 与 I^B 的关系为

$$I^k = Q^k I^B. \quad (20)$$

定义 3 岛关联矩阵 A 设所有桥的桥支路集为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, 且设桥的方向为桥支路的正方向, 对于岛集 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{P-1}, d_r\}$ (d_r 为参考岛), 则桥支路与岛的关联矩阵(或简称岛关联矩阵) $A = \{a_{ij}\}_{(P-1) \times m}$ 定义为

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若 } b_j \text{ 与 } d_i \text{ 关联, 且指向 } d_i; \\ -1, & \text{若 } b_j \text{ 与 } d_i \text{ 关联, 且背向 } d_i; \\ 0, & \text{若 } b_j \text{ 与 } d_i \text{ 无关联.} \end{cases} \quad (21)$$

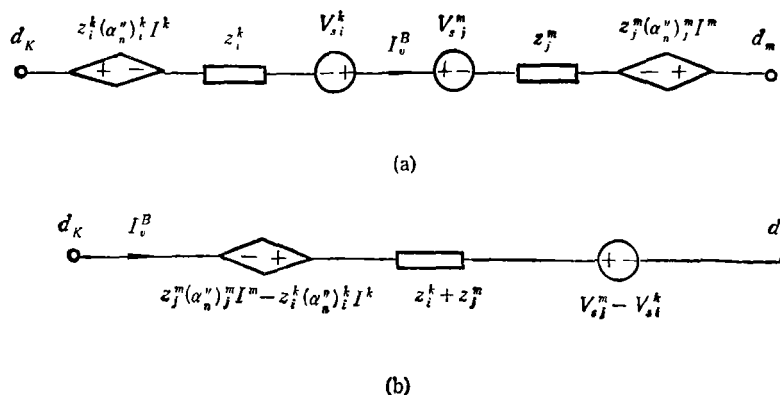
4 岛桥分析法

对于任意两岛 d_k 和 d_m 参考点间桥中的任意桥支路, 根据图 1 中的等效支路, 则有桥支路如图 2 所示.

在图 2 中上标 k, m 分别表示岛 d_k, d_m 的等效阻抗 C CVS 模型中的参数, I^k, I^m 分别为 d_k, d_m 的端电流列向量, I^B 表示桥支路 v 的电流, 且设桥的方向为从 d_k 指向 d_m .

对于图 2(b) 的等效支路, 又可等效为图 3 所示导纳型桥支路

在图 3 中, 考虑到(20)式 $I^k = Q^k I^B$, $I^m = Q^m I^B$, 则有

图2 岛 d_k, d_m 间的桥支路 b_v

$$\alpha'_v = \frac{[z_j^m(\alpha''_n)^m Q^m - z_i^k(\alpha''_n)^k Q^k]}{(z_i^k + z_j^m)}, \quad (22)$$

$$I_{i,v}^B = (V_{si}^m - V_{si}^k) / (z_i^k + z_j^m), \quad (23)$$

$$y_v = 1 / (z_i^k + z_j^m). \quad (24)$$

另一方面, 如果给定一个岛 d_r 参考点的岛电位为 0, 即 $v_r = 0$, 岛 d_k 和 d_m 相对于 d_r 的岛电位为 v_k 和 v_m , 则根据图 3, 可得桥支路 v 的特性方程为

$$y_v(v_k - v_m) = I_v^B - \alpha'_v I_v^B + I_{i,v}^B.$$

设 $1 - \alpha'_v = \alpha_v$, 故有

$$y_v(v_k - v_m) = \alpha_v I_v^B + I_{i,v}^B. \quad (25)$$

根据桥支路与岛的关联矩阵 A 的定义, 对于全部桥支路 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 有

$$Y A^T V^B = I_i^B + \alpha I^B, \quad (26)$$

式中 $Y = \text{diag}[y_1, y_2, \dots, y_v, \dots, y_m]$ 为桥支路等效自导纳矩阵; $V^B = [v_1, v_2, \dots, v_{p-1}]^T$ 为岛电位列向量; $I_i^B = [I_{i1}^B, I_{i2}^B, \dots, I_{im}^B]^T$ 为桥支路等效电流源列向量; $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m]^T$, $\alpha \in C^{m \times m}$ 为电流传输矩阵, 可以证明 $\alpha_{vv} = 1$, ($v = 1, 2, \dots, m$).

如果 α^{-1} 存在, 则有

$$I^B = \alpha^{-1} Y A^T V^B - \alpha^{-1} I_i^B. \quad (27)$$

对任一岛 d_k , 作一闭合面, 根据 KCL 有, 流进这个闭合面的所有电流代数和为零, 因此对于所有岛有

$$A I^B = 0. \quad (28)$$

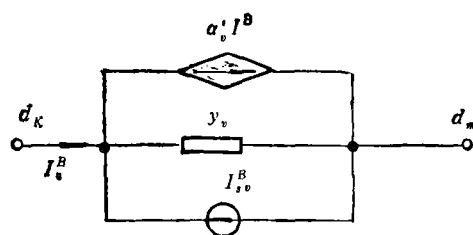
将(27)式代入(28)式得

$$A \alpha^{-1} Y A^T V^B - A \alpha^{-1} I_i^B = 0. \quad (29)$$

设

$$Y^B = A \alpha^{-1} Y A^T, \quad (30)$$

Y^B 称为岛导纳矩阵, 则有

图3 桥支路 v 的等效变换

$$Y^B V^B = A \alpha^{-1} I_i^B. \quad (31)$$

(31)式与节点电压方程具有相同的形式。由(31)式,如果 $(Y^B)^{-1}$ 存在,则岛电位为

$$V^B = (Y^B)^{-1} A \alpha^{-1} I_i^B. \quad (32)$$

在求出岛电位列向量 V^B 后,根据(27)式可求出桥支路电流 I^B , 然后根据(20)式可得到各个岛的端电流 $I^k (k=1, 2, \dots, P)$, 亦即得到各子网络端电流。

5 实 例

例 如图4所示网络,试用岛桥分析法求解各点电位。设 $y_i = 1S (i=1, 2, \dots, 16)$, $I_{ii} = 1A (i=1, 2, \dots, 5)$

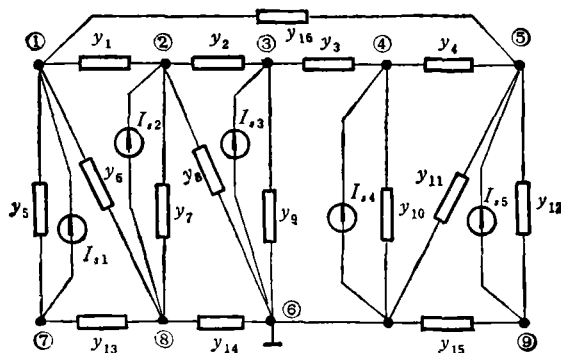


图4 例题网络

解 将节点①,③,⑤,⑦分裂,可得3个岛(3个子网络)如图5(a)所示。对于岛 d_1 , 设端点⑥为参考端,则对于端{1,3}可得

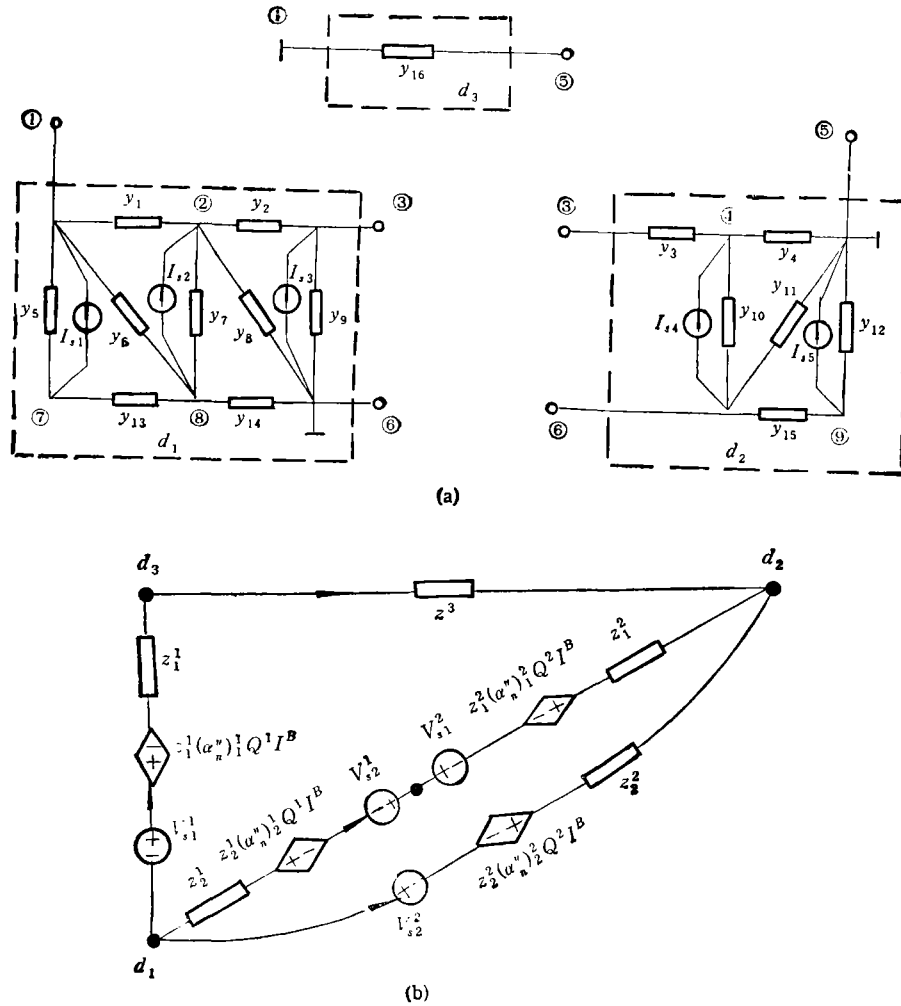
$$Z_n^1 = \begin{bmatrix} \frac{765}{935} & 0 \\ 0 & \frac{306}{495} \end{bmatrix}, \quad \alpha_n^1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{170}{765} \\ 225 & 1 \end{bmatrix},$$

$$I_i^1 = \begin{bmatrix} \frac{20995}{9945} \\ \frac{14040}{9945} \end{bmatrix}, \quad V_i^1 = \begin{bmatrix} 1.727272727 \\ 0.872727272 \end{bmatrix}.$$

对于岛 d_2 , 设端⑤为参考端,则对于端{3,6}可得

$$Z_n^2 = \begin{bmatrix} \frac{13}{8} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}, \quad \alpha_n^2 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{2}{13} \\ \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}, \quad I_i^2 = \begin{bmatrix} \frac{2}{13} \\ -1 \end{bmatrix}, \quad V_i^2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{4} \\ -\frac{1}{2} \end{bmatrix}.$$

对于岛 d_3 , 设端①为参考端,则有 $Z_n^3 = 1$, $\alpha_n^3 = 1$, $V_i^3 = 0$, $I_i^3 = 0$ 端关联矩阵为 (按撕裂端原节点号的大小顺序排列桥支路号和各岛端点号)

图5 网络 N 的岛和岛的连接图

$$\begin{aligned}
 & \begin{array}{c} 1 \quad 3 \quad 5 \quad 6 \\ \text{岛 } d_1: Q^1 = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \end{array} \quad \begin{array}{c} 1 \quad 3 \quad 5 \quad 6 \\ \text{岛 } d_2: Q^2 = \frac{3}{6} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \end{array} \\
 & \begin{array}{c} 1 \quad 3 \quad 5 \quad 6 \\ \text{岛 } d_3: Q^3 = 5 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \end{array}
 \end{aligned}$$

于是得到岛连接图如图 5(b) 所示。图中 Z, α_n, V_i 的上标为岛的序号, 下标为上标所标定的岛中的等效支路号。岛关联矩阵 A 为(设岛 d_1 为参考岛)

$$A = \begin{array}{c} 1 \quad 3 \quad 5 \quad 6 \\ \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \end{array}$$

在 Q 和 A 中是用原端点号代替桥支路号的。

对于各桥支路根据(22)式可得

$$\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0.22222222 & 0 & 0 \\ 0.081053697 & 1 & 0 & 0.111448834 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

根据(23)式可得

$$I_i^B = [2.111111 \quad 0.277608915 \quad 0 \quad 1]^T.$$

根据(24)式可得

$$Y = \text{diag}[1.222222 \quad 0.445795339 \quad 1 \quad 2].$$

根据(30),(32)和(27)式可得

$$I^B = \begin{bmatrix} -0.538531279 \\ 0.048957388 \\ -0.53853126 \\ 0.489573883 \end{bmatrix}.$$

根据(20)式,各岛端电流为

$$I_n^1 = \begin{bmatrix} I_1^1 \\ I_1^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.538531279 \\ 0.048957388 \end{bmatrix}, \quad I_n^2 = \begin{bmatrix} I_3^2 \\ I_6^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.048957388 \\ -0.489573883 \end{bmatrix},$$

$$I_n^3 = I_5^3 = -0.53853126.$$

因此各岛相对于各岛参考点的电位就可求出

$$V_n^1 = \begin{bmatrix} V_1^1 \\ V_1^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.295557569 \\ 0.80507706 \end{bmatrix}, \quad V_i^1 = \begin{bmatrix} V_2^1 \\ V_7^1 \\ V_8^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.831159772 \\ 0.259781015 \\ 0.224004462 \end{bmatrix},$$

$$V_n^2 = \begin{bmatrix} V_3^2 \\ V_6^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.04805773 \\ -0.757026288 \end{bmatrix}, \quad V_i^2 = \begin{bmatrix} V_4^2 \\ V_9^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.097008161 \\ -0.878513144 \end{bmatrix},$$

$$V_n^3 = V_5^3 = -0.5385126.$$

如果仅需计算网络 N 中各支路电压或电流,根据以上结果就可得出;如果要得到整个网络相对某一参考点的电位,则还需进行一些变换,不过这些变换是非常简单的。在本例中,以节点⑥为参考点的各点电位为

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.295557569 \\ 0.831159772 \\ 0.80507706 \\ 0.85403445 \\ 0.757026289 \\ 0 \\ 0.259781015 \\ 0.224004462 \\ -0.121486855 \end{bmatrix}.$$

6 结 束 语

本文提出的大规模电路岛桥分析法用等效的概念成功地将一个大规模电路分裂为各自孤立的 P 个小岛进行分析计算, 计算中最大矩阵仅为最大子网络节点导纳矩阵或撕裂端点数少 1, 即 $(\alpha - 1)$ 的电流传输矩阵。另外, 由于电路等效为岛和桥后, 每一子网络内的独立源被等效为桥电流源 I^b , 因此在模拟电路故障诊断中, 每一子网络的故障就可被等效为桥故障电流, 因而为子网络级故障诊断的新方法提供了基础(另文讨论)。

参 考 文 献

- [1] Wu F F. IEEE Trans. on CAS, 1976, CAS-23(12):706—713.
- [2] 刘佩仙, 等. 电子学报, 1989, 17(4): 107—109.
- [3] 韩跃新. 电子学报, 1988, 16(4), 52—58.
- [4] 黄东泉, 等. 电子科学学刊, 1992, 14(1): 15—20.

ISLAND-BRIDGE ANALYSIS FOR LARGE SCALE CIRCUIT

Zhang Youchun

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract A subnetwork is able to be solved, if its terminal currents have been determined. In this paper, the concepts of island and bridge are presented, the CCVS model of n -terminal subnetwork is constructed, the island equations are deduced and then the currents of each subnetwork terminal are obtained. Using this method, the computing time and the memory space can be saved.

Key words Large scale circuit, Island, Bridge, Terminal incidence matrix, Island incidence matrix, Current transmission matrix