GJ

网络分析习题集

兰州铁道学院 周俊禄 主编·中 国 铁 道 出 版 社

内 容 简 介

本书为通信专业“电信网络分析”课程的习题课试用教材，与北方交通大学王文媗主编的《电信网络分析》一书相配套。全书共分网络拓扑和矩阵分析法、网络函数、单端口网络、两端口网络的影像参数和影像参数滤波器、工作参数和图表法设计工作参数滤波器、RC有源滤波器、传输线、均衡器和计算机辅助分析等九章。每章均按内容提要、例题、习题的顺序编排，全书共有例题、习题四百余个。为便于读者自学，在书末给出了题答。

本书可作为高等院校电信专业师生的参考用书。

高等学校试用教材
网络分析习题集
兰州铁道学院 周俊禄 主编
中国铁道出版社出版
责任编辑 倪嘉寒 封面设计 刘景山
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
中国铁道出版社印刷厂印
开本：787×1092毫米 1/16 印张：18 字数：447千
1987年11月 第1版 第1次印刷
印数：0001—5,000册 定价：3.00元

前　言

《电信网络分析》是铁路高等院校电信系各专业的一门技术基础课，它和其它技术基础课一样，该课的许多概念和基本理论往往要通过演算大量的习题来消化、巩固、加深和拓宽，而具体的分析方法，则更有赖于作题来解决。编写、出版专门的习题集，无论对教与学都是有益的、必要的，所以，在《网络综合习题集》脱稿之后，我们又着手编写这本《网络分析习题集》，它既是《网络综合习题集》的姐妹篇，又是王文煊主编的《电信网络分析》的配套教材。如果我们的工作能有助于电信网络课程的教学，也能给对网络分析感兴趣的同志提供一些参考素材，就是我们最大的欣慰。

为了适应目前网络分析的发展趋势，本书在网络拓扑和矩阵分析法、网络函数和计算机辅助分析这三章占了较多的篇幅。在内容的取舍和例、习题的选择上，在充分考虑教学大纲的前提下，还注意与原书习题及《网络综合习题集》中的习题相互补充与区别，以期做到形成系列与配套。全书共九章，章名和《电信网络分析》是一致的，以便互相参照。各章均按内容提要、例题和习题三段编写，以便读者复习、借鉴和练习。在书的最后给出了习题的答案，书中提供的计算机程序是用FORTRAN语言编写的，并在计算机运行通过。

本书第一章由兰州铁道学院周俊禄编写，第二、三、四、五章由北方交通大学赵玉斌编写，第六、七、八、九章由上海铁道学院李光射编写。全书由周俊禄主编，北方交通大学张世演主审，赵玉斌协助主编做了大量工作。

在编写、审阅和定稿工作中，北方交通大学王文煊给予热情指导，铁路三院校的网络教研室同志对本书提了许多宝贵意见，在此一一表示感谢。由于我们水平、经验不足，错误和缺点一定不少，恳请读者批评指正。

编　者

一九八六年六月

目　　录

第一章　网络拓扑和矩阵分析法……1
一、内容提要……1
二、例　　题……10
三、习　　题……29
第二章　网络函数……35
一、内容提要……35
二、例　　题……55
三、习　　题……69
第三章　单端口网络……77
一、内容提要……77
二、例　　题……82
三、习　　题……89
第四章　两端口网络的影像参数和影像参数滤波器……94
一、内容提要……94
二、例　　题……103
三、习　　题……110
第五章　工作参数和图表法设计工作参数滤波器……116
一、内容提要……116
二、例　　题……131
三、习　　题……141
第六章　*RC*有源滤波器……144
一、内容提要……144
二、例　　题……148
三、习　　题……159
第七章　传输线……166
一、内容提要……166
二、例　　题……172
三、习　　题……178
第八章　均衡器……183
一、内容提要……183
二、例　　题……186
三、习　　题……202
第九章　计算机辅助分析……207
一、内容提要……207
二、例　　题……227
三、习　　题……249
习题答案……254

第一章　网络拓扑和矩阵分析法

一、内 容 提 要

将数学中的拓扑学和矩阵学用于电网络的分析是目前网络分析中的一种常用方法，因为这更便于采用计算机这一有力工具。下面我们概括归纳这一方法用到的一些基本概念、术语、原理和一般步骤，并简略介绍如何使用计算机来解决这类问题。

(一) 网络拓扑图与矩阵描述

1． 拓扑图

撇开元件的具体属性，只考虑它们之间的连接关系，则任何电网络都可用一些点与线的集合图形来表示，这种图，叫做网络拓扑图。图1.1示出了某电网络及其对应的拓扑图。

2． 关于图的一些基本定义

两条及两条以上的线段的交点叫节点，两个节点间的线段叫支路（边），边和节点的集合叫图。

各节点之间都有直接的边相连的图叫完备图，各节点之间是相通的图叫连通图，完备图也属于连通图。图1.2所示为连通图，其中（a）为完备图。

由支路构成的闭合路径称为回路，如图1.3中各三角形都是回路，当然该图中还可找到其它的回路。

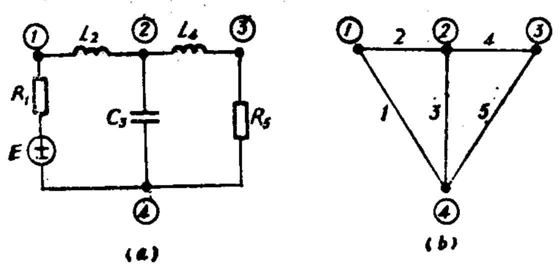

图 1.1

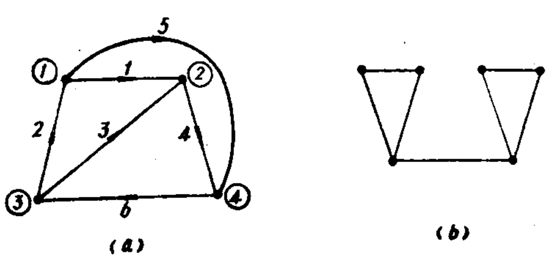

图 1.2

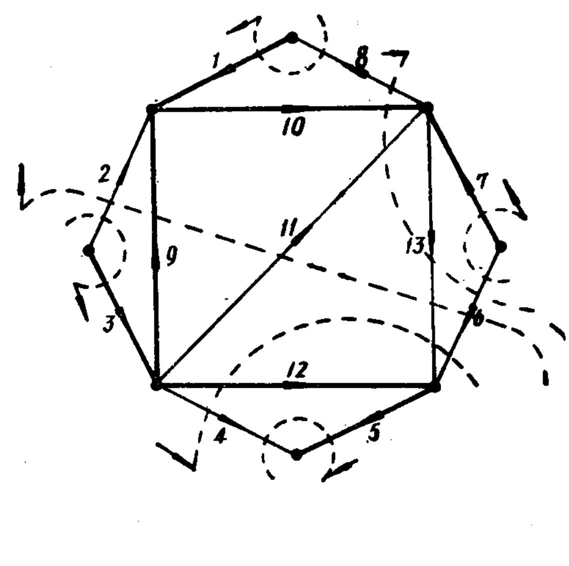

图 1.3

连通图中所有节点的但又不构成回路的边的集合称为树，图1.3中的粗线与节点就是该图的一株树，其中粗线即支路1、3、5、7、9、10、12称为树支，相应的细线即支路2、4、6、8、11、13就叫连支。

对应某个图的树可能有多个，一株树的树支数目等于图的节点数减1。

仅含一条连支的回路称为基本回路，所以对于图1.3当选1、3、5、7、9、10、12为树支时，其相应的基本回路由以下支路构成：2-3-9，4-5-12，6-7-10-9-12，8-1-10，11-10-9，13-10-9-12。

仅含一条树支的支路集合、且割断该集合就将使图分成两部分，则图1.3中虚线所示该支路的集合称为基本割集。对于图1.3，当选1、3、5、7、9、10、12为树支时，其相应的基本割集由以下支路构成：1-8，3-2，5-4，7-6，9-2-11-13-6，10-8-11-13-6，12-4-13-6。

据上定义不难看出，基本回路数等于连支数，亦即等于支路数减去节点数加1；基本割集数等于树支数，亦即等于节点数减1。

3. 图的矩阵

用矩阵可以描述图中节点、支路间的关系。

关联矩阵$\boldsymbol{A}$反映支路与节点之间的关系，它以行代表节点，列代表支路，并规定：若某支路（i）与某节点（j）无关联，则$\boldsymbol{A}$的元素a_{ij}为0；有关联、且节点为起始点，元素a_{ij}为+1（前面的“+”号可略），若为终止点，则a_{ij}为-1。据此原则，对于图1.2（a），若以节点④为参考点，则有

$$
\begin{array}{c} \text{支路} \longrightarrow \\ \end{array}
$$

$$
\boldsymbol{A}=\begin{array}{c} \text{节} \\ \downarrow \\ \text{点} \end{array}
\begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \end{array}
\begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \end{array}
\left(\begin{array}{cccccc} 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{array}\right)
$$

基本回路矩阵B_f反映支路与基本回路之间的关系，无关联时，矩阵中相应的元素为0，有关联，且方向与回路方向（回路方向的选取与其连支方向一致）相同者元素取+1，方向相反者取-1。据此原则，可写出图1.3的基本回路矩阵：

$$
\begin{array}{c} \text{支路} \longrightarrow \\ \end{array}
$$

$$
\boldsymbol{B}_f=\begin{array}{c} \text{基} \\ \text{本} \\ \text{回} \\ \text{路} \\ \downarrow \end{array}
\begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \\ ⑤ \\ ⑥ \end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 \end{array} \\
\left(\begin{array}{ccccccccccccc}
0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 1
\end{array}\right)
\end{array}
$$

基本割集矩阵$\boldsymbol{Q}_f$反映支路与基本割集之间的关系，无关联时，矩阵中相应的元素为0，有关联、且方向与该割集中的唯一树支的指向一致时元素取+1，指向相反时取-1。于是对图1.3有

$$Q_f=\begin{array}{cc} & \text{支路}\longrightarrow \\ & \begin{array}{ccccccccccccc}1&2&3&4&5&6&7&8&9&10&11&12&13\end{array} \\ \text{基本割集}\downarrow\begin{array}{c}\mathrm{I}\\ \mathrm{II}\\ \mathrm{III}\\ \mathrm{IV}\\ \mathrm{V}\\ \mathrm{VI}\\ \mathrm{VII}\end{array} & \left(\begin{array}{ccccccccccccc}1&0&0&0&0&0&0&-1&0&0&0&0&0\\0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&-1&0&0&1&1&0&0&-1\\0&0&0&0&0&-1&0&-1&0&1&1&0&-1\\0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&1&0&1\end{array}\right)\end{array}$$

（二）矩阵形式的电网络方程

1. 节点电压方程

$$V_n=Y_n^{-1}A(I_s-Y_bV_s)$$

式中V_n为所论电网络中的各节点（除参考节点外）的电压所构成的列向量；Y_n为节点导纳矩阵，Y_n^{-1}是Y_n的逆阵；A是网络拓扑图的关联矩阵；I_s和V_s分别为网络中的电流源列向量和电压源列向量；Y_b是网络的支路导纳矩阵。

2. 回路电流方程

$$I_m=Z_m^{-1}B_f(V_s-Z_bI_s)$$

式中I_m为所论电网络选定的基本回路电流所构成的列向量；Z_m为回路阻抗矩阵，Z_m^{-1}是Z_m的逆阵；B_f是网络拓扑图的基本回路矩阵；Z_b是网络的支路阻抗矩阵。

3. 割集电压方程

$$V_Q=Y_Q^{-1}Q_f(I_s-Y_bV_s)$$

式中V_Q为所论电网络选定的基本割集其电压所构成的列向量；Y_Q为割集导纳矩阵，Y_Q^{-1}是Y_Q的逆阵。

比较以上三个基本方程，不难发现它们有着相同的结构，在分析电网络时，根据具体情况，可选择V_n、I_m或V_Q之一为待求量，从而按三个方程中的一个去求解，这就是通常叫做节点法、回路法和割集法的三种求解电路的方法。下面归纳出这三种方法的基本步骤。

（三）节点法、回路法和割集法

1. 节点分析法求解电网络稳态特性的基本步骤（参阅〔例1.1〕）

（1）据电路图画出相应的有向线图，求出关联矩阵A及其转置矩阵A^T；

（2）写出支路导纳矩阵Y_b（当无互感时，它是一对角线矩阵）、电压源列向量V_s和电流源列向量I_s；

（3）求节点导纳矩阵Y_n

$$Y_n=AY_bA^T \tag{1.1}$$

（4）求节点电压向量V_n

$$V_n=Y_n^{-1}A(I_s-Y_bV_s) \tag{1.2}$$

（5）求支路电压向量V_b

$$V_b=A^TV_n \tag{1.3}$$

（6）求支路电流向量I_b

$$I_b=Y_b(V_b+V_s)-I_s \tag{1.4}$$

2. 用回路电流法求解电网络稳态特性的基本步骤（参阅〔例1.2〕）

（1）据电路图画出相应的有向线图，选定一株树，写出基本回路矩阵B_f及其转置矩阵B_f^T；

（2）写出支路阻抗矩阵Z_b（当无互感时，它是一对角线矩阵）、电压源列向量V_s和电流源列向量I_s；

（3）求回路阻抗矩阵Z_m

$$Z_m = B_f Z_b B_f^T \tag{1.5}$$

（4）求回路电流向量I_m

$$I_m = Z_m^{-1} B_f (V_s - Z_b I_s) \tag{1.6}$$

（5）求支路电流向量I_b

$$I_b = B_f^T I_m \tag{1.7}$$

（6）求支路电压向量V_b

$$V_b = Z_b (I_b + I_s) - V_s \tag{1.8}$$

3. 割集分析法求解电网络稳态特性的基本步骤（参阅〔例1.3〕）

（1）据电路图画出相应的有向线图，选定一株树，写出基本割集矩阵Q_f及其转置矩阵Q_f^T；

（2）写出支路导纳矩阵Y_b、电压源列向量V_s和电流源列向量I_s；

（3）求割集导纳矩阵Y_Q

$$Y_Q = Q_f Y_b Q_f^T \tag{1.9}$$

（4）求割集电压向量V_Q

$$V_Q = Y_Q^{-1} Q_f (I_s - Y_b V_s) \tag{1.10}$$

（5）求支路电压向量V_b

$$V_b = Q_f^T V_Q \tag{1.11}$$

（6）求支路电流向量I_b：利用式（1.4）。

（四）矩阵A、B_f、Q_f之间的关系

$$A B_f^T = 0 \quad 或 \quad B_f A^T = 0 \tag{1.12}$$

$$Q_f B_f^T = 0 \quad 或 \quad B_f Q_f^T = 0 \tag{1.13}$$

当已知矩阵A，可按下式求出矩阵B_f及Q_f

$$B_f = [-(A_t^{-1} A_l)^T \mid U] \tag{1.14}$$

$$Q_f = [U \mid A_t^{-1} A_l] \tag{1.15}$$

式中A_t、A_l分别是矩阵A的树支分块矩阵和连支分块矩阵，U为$n \times n$单位矩阵。B_f、Q_f的列按树支在前、连支在后的顺序排列。（参阅〔例1.5〕）

（五）电源变换（参阅〔例1.5〕）

纯电源支路的存在，会造成求网络阻抗矩阵或导纳矩阵的逆矩阵的困难，为此可以根据等效变换的原则，重新安排电源在网络中的位置。

1. 纯电压源支路的变换

对于一个没有无源元件与之串联的电压源支路b_k〔见图1.4(a)〕，可以将它移至与支路b_k的一个端点相关联的各个支路中去，原电压源代以短路线〔见图1.4(b)〕，这两个网络是等效的。

2. 纯电流源支路的变换

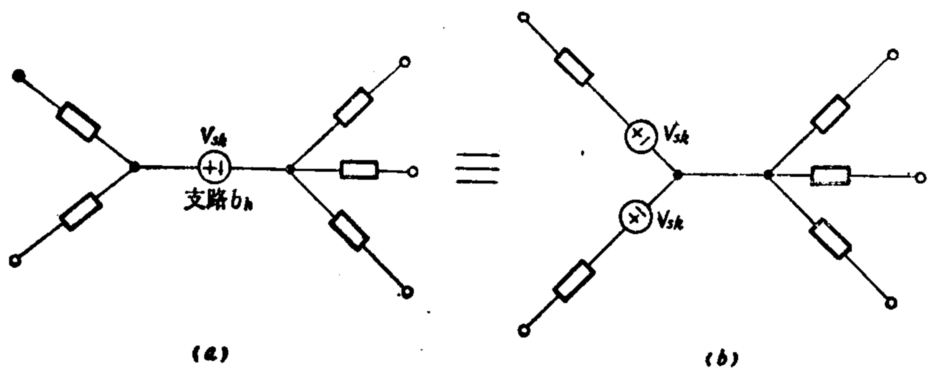

图 1.4

对于一个没有无源元件与之并联的电流源支路b_k，可以将它移至与支路b_k构成任一回路的每一支路并联，原电流源支路换以“开路”，可用图1.5来说明。

（六）含受控源网络的分析〔参阅〔例1.6〕〕

当网络中包含受控源时，网络的分析原则和基本步骤仍和前面所讲差不多，只是节点电压方程的编写过程稍复杂些。

设含受控源网络的一般支路具有如图1.6所示的标准形式，其中V_{sk}、I_{sk}分别表示独立压源和流源，V_{dk}、I_{dk}表示受控压源和流源；无源元件是电阻、电容或电感。

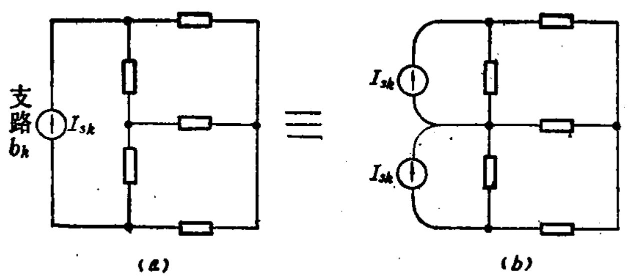

图 1.5

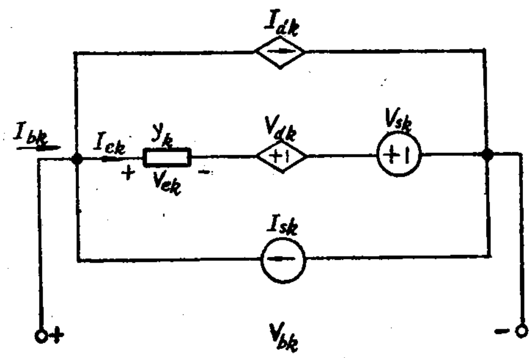

图 1.6

假设第k条支路的受控电流源I_{dk}既受网络中通过i支路元件的电流控制，同时又受j支路元件上的端电压控制，则

$$I_{dk}=\beta_{ki}I_{ei}+g_{kj}V_{ej} \tag{1.16}$$

式中β_{ki}表示第i条支路元件电流控制第k条支路电流源的放大倍数，g_{kj}表示第j条支路的元件电压控制第k条支路电流源的互导。

再假设第k条支路中的受控电压源V_{dk}既受第l条支路元件的电流I_{el}控制，控制参数是互阻，用R_{kl}表示，同时还受到第p条支路元件上的电压V_{ep}控制，控制参数是电压放大倍数，用μ_{kp}表示，则

$$V_{dk}=R_{kl}I_{el}+\mu_{kp}V_{ep} \tag{1.17}$$

建立在上述假定下的含受控源的网络，其节点分析法可按以下步骤进行：

（1）据网络画出有向线图，写出关联矩阵$\boldsymbol{A}$、电压控制电流源互导矩阵$\boldsymbol{G}$，电流控制电流源放大系数矩阵$\boldsymbol{B'}$、电压控制电压源放大系数矩阵$\boldsymbol{M'}$及电流控制电压源互阻矩阵$\boldsymbol{R}$；

（2）列出独立电源列向量$\boldsymbol{V}_s$、$\boldsymbol{I}_s$及元件导纳矩阵$\boldsymbol{Y}_e$；

（3）按下式计算支路导纳矩阵$\boldsymbol{Y}_b$

$$Y_b=(U+B)Y_e(U+M)^{-1} \tag{1.18}$$

式中U为单位矩阵；

$$B=GY_e^{-1}+B' \tag{1.19}$$

$$M=RY_e+M' \tag{1.20}$$

当Y_b求出后，接下去的步骤和方法与前面（1.1）、（1.2）、（1.3）、（1.4）式是相同的。可见，含受控源的网络主要是在确定支路导纳矩阵Y_b时的工作量比不含受控源时要烦难些，后者的Y_b和元件导纳矩阵Y_e是一致的。

（七）节点分析法的计算机解法

以上介绍了三种求解网络的拓扑与矩阵分析法的基本步骤，从后面给出的对应例题中可以发现，不论是三种方法中的哪一种，其计算量都较大，特别是当节点、支路和元件的类型增加时，用手算去解题的难度将越来越大。在一开始就谈到，采用这些方法最好借助计算机这一有力工具，目前专门用于电网络分析或设计的应用程序已很丰富，可从有关文献中获得。下面要介绍的SUMXX.FOR程序是用FORTRAN-77语言编写的，它采用了模块化的结构，严格按前面给出的节点分析法解题步骤，虽然它是针对图1.4给出的网络而设计的，但可用来分析一般只含电阻和独立电源的网络。通过它，可以体会到计算机是怎样帮助我们解决电网络的分析计算的，为将来在第九章学习更加复杂的计算机通用程序打下一个基础。

SUMXX.FOR程序包含六个模块，任何一个模块只要输入适当数据都可单独运行，获得需要的结果，这对程序的设计和阅读都是方便的。从语句的1～9是程序的第一部分，它起说明、定义变量和连接数据文件XX.DAT的作用；第二部分（XX1）有20条语句，它用来形成关联矩阵A及其转置矩阵；第三部分（XX2）的20条语句是用来列写支路导纳矩阵Y_b、再按式（1.1）求出节点导纳矩阵Y_n的；第四部分（XX3）有35条语句，它用于求矩阵Y_n的逆阵；第五部分（XX4）有23条语句，它根据求得的Y_n的逆阵、A和Y_b，利用式（1.2）计算出节点电压列向量V_n；第六部分（XX5）的18条语句，是按式(1.3)及（1.4）分别计算支路电压列向量V_b和支路电流列向量I_b。

程序中各变量的意义是：

N——节点数－1；B——支路数；

A——关联矩阵；T——关联矩阵的转置矩阵；LO——支路的起始节点号；MO——支路的终止节点号，YB——支路导纳矩阵，VS——电压源列向量，CS——电流源列向量，YN——节点导纳矩阵，VN——节点电压列向量，VYN——节点导纳矩阵的逆阵；VB——支路电压列向量，CB——支路电流列向量。

程序段XX3是按叶尔绍夫法求逆阵编写的，该法要求待求逆的矩阵YN，其各级子式YN(I)应满足

$|YN(I)| \neq 0$，$I=1,2,\cdots,N$。

程序中的实变量DE是用来存放校验求逆是否正确的校验值的，在正常情况下，DE的值应很接近于矩阵的阶次N，当求逆失效时，它将被赋值为“－1”。

关于叶尔绍夫法细致情况，可参阅有关计算方法方面的参考书。

表1.1就是SUMXX.FOR程序的清单。

表1.1

```
C     THES IS A SIMPLI RESISTOR CIRCUIT ANALYSIS PROGRAM RAP
$DO66
      INTEGER N, B, A, T
      DIMENSION LO(8), MO(8), A(8,8), T(8,8), YB(8,8), VS(8), CS(8)
      DIMENSION YN(4,4), VN(4), C(4), VYN(4,4), S1(8), S2(8), S3(4)
      DIMENSION S(4), SS(4,8), VB(8), CB(8), V(8)
      OPEN(1,FILE='XX.DAT')
      READ(1,*)N, B, EP, LO, MO, VS, CS, YB
      CLOSE(1)
C
C ************ XX1 *************
C
      DO 15 I=1,N
      DO 15 J=1,B
      A(I,J)=0
 15   T(J,I)=0
      DO 16 I=1,B
      L=LO(I)
      A(L,I)=1
      T(I,L)=1
      M=MO(I)
      A(M,I)=-1
 16   T(I,M)=-1
*     WRITE(*101)
 101  FORMAT(//18X,'MATRIX  A')
      DO 11 I=1,N
 11   WRITE(*, 102)(A(I, J), J=1,B)
 102  FORMAT(/2X, 8I5)
      WRITE(*,103)
 103  FORMAT(//12X, 'MATRIX  T')
      DO 12 J=1,B
 12   WRITE(*,102)(T(J.I), I=1,N)
C
C     ************** XX2 ***************
C
      WRITE(*,205)
 205  FORMAT(//24X, 'THE YB IS')
      DO 21 I=1,B
 21   WRITE(*, 210)(YB(I, J), J=1,B)
 210  FORMAT(/2X, 8F8.3)
      DO 22 J=1,N
      DO 22 J=1,B
      SS(I,J)=0.0
```

```
      DO 22 K=1,B
22    SS(I, J)=SS(I, J)+A(I,K)*YB(K,J)
      DO 24 I=1,N
      DO 24 J=1,N
      YN(I,J)=0.0
      DO 24 K=1,B
24    YN(I, J)=YN(I, J)+SS(I, K)*T(K,J)
      WRITE(*, 240)
240   FORMAT(//20X, 'MATRIX YN')
      DO 25 I=1,N
25    WRITE(*, 250)(YN(I,J), J=1,N)
250   FORMAT(/2X, 4F10.4)
C
C **************** XX3 ****************
C
      DO 31 I=1,N
      C(I)=0.
      DO 32 J=1,N
32    C(I)=C(I)+YN(I, J)
31    YN(I, I)=YN(I, I)-1.
      DO 33 K=1,N
      DO 34 J=1,N
      S(J)=YN(K,J)
34    YN(K,J)=0.
      YN(K,K)=1.
      W=S(K)+1.
      IF (ABS(W).LT.EP)GOTO 77
      DO 33 I=1,N
      Y=YN(I,K)/W
      DO 33 J=1,N
33    YN(I, J)=YN(I,J)-S(J)*Y
      DE=0.
      DO 35 J=1,N
      S(J)=0.
      DO 36 I=1,N
36    S(J)=S(J)+YN(I,J)
35    DE=DE+C(J)*S(J)
      DO 37 I=1,N
      DO 37 J=1,N
37    VYN(I,J)=YN(I,J)
      WRITE(*, 399)
399   FORMAT(//30X, 'VYN')
      WRITE(*,300) VYN
300   FORMAT(/4E20.10)
```

```
      WRITE(*,301)
301   FORMAT(/30X, 'DE')
      WRITE(*,305)DE
305   FORMAT(/20X, E16.7)
      GOTO 40
77    DE=-1.
      WRITE(*, '(2X, ''DE=-1!!!'')')
C
C *************** XX4 ****************
C
40    DO 47 I=1,B
47    S1(I)=0.0
      DO 48 I=1,B
      DO 48 K=1,B
48    S1(I)=S1(I)+YB(I,K)*VS(K)
      DO 49 I=1,B
49    S2(I)=0.0
      DO 42 I=1,B
42    S2(I)=CS(I)-S1(I)
      WRITE(*,460)
460   FORMAT(//12X, 'THE VOLTAGE OF NODS')
      DO 44 I=1,N
44    S3(I)=0.0
      DO 43 I=1,N
      DO 43 K=1,B
43    S3(I)=S3(I)+A(I,K)*S2(K)
      DO 45 I=1,N
45    VN(I)=0.0
      DO 46 I=1,N
      DO 46 K=1,N
46    VN(I)=VN(I)+VYN(I,K)*S3(K)
      WRITE(*,470)(I,VN(I),I=1,N)
470   FORMAT(/14X, 'VN('I2, ')='F8.5'(V)')
C
C *************** XX5 ***************
C
      DO 51 I=1,B
      VB(I)=0.0
      DO 51 J=1,N
51    VB(I)=VB(I)+T(I,J)*VN(J)
      WRITE(*,500)
500   FORMAT(//20X, 'VOLTAG OF BRANCHS')
      WRITE(*,510)(I,VB(I),I=1,B)
510   FORMAT(/14X, 'VB(', I2, ')=', F8.5'(V)', 4X,'VB(', I2, ')=',F8.5,'(V)')
```

```
      DO 53 I=1,B
      V(I)=VB(I)+VS(I)
      CB(I)=0.0
      DO 52 J=1,B
52    CB(I)=CB(I)+YB(I, J)*V(J)
53    CB(I)=CB(I)-CS(I)
      WRITE(*,520)
520   FORMAT(//20X, 'CURENT OF BRANCHS')
      WRITE(*,530)(I,CB(I), I=1,B)
530   FORMAT(/14X, 'CB(', I2,')=', F8.5, '(A)', 4X, 'CB(', I2, ')=', F8.5,
      '(A)')END
```

二、例　　题

【例1.1】 用节点分析法求图1.7所示网络的支路电流。

【解】（1）画有向线图（如图1.8）、写出A及A^T；

以节点⑤为参考点，关联矩阵为

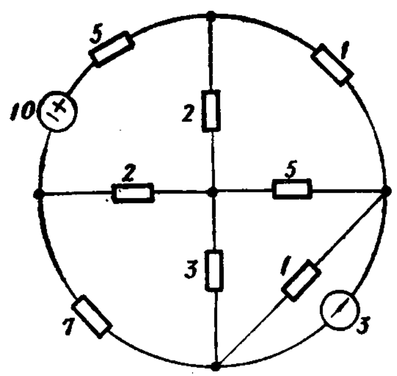

图1.7　(单位Ω,A,V)

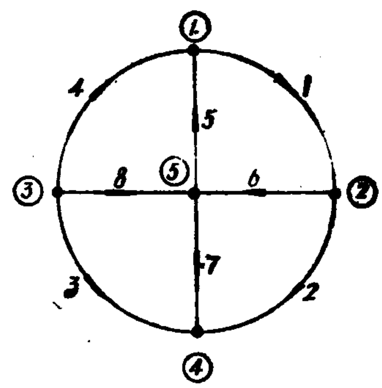

图　1.8

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

A的转置矩阵为

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

（2）写出$\boldsymbol{Y}_b$、$\boldsymbol{V}_s$和$\boldsymbol{I}_s$

$$\boldsymbol{Y}_b=\mathrm{diag}[1,1,1/7,1/5,1/2,1/5,1/3,1/2]$$

$$\boldsymbol{V}_s=[0,0,0,10,0,0,0,0]^T$$

$$\boldsymbol{I}_s=[0,3,0,0,0,0,0,0]^T$$

（3）据式（1.1）求$\boldsymbol{Y}_n$：

$$\boldsymbol{Y}_n=\boldsymbol{A}\boldsymbol{Y}_b\boldsymbol{A}^T=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & & & & \\ & 1 & & & & & & \\ & & 1/7 & & & & & \\ & & & 2/5 & & & & \\ & & & & 1/2 & & & \\ & & & & & 1/5 & & \\ & & & & & & 1/3 & \\ & & & & & & & 1/2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1/5 & -1/2 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1/5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/7 & 1/5 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & -1 & -1/7 & 0 & 0 & 0 & -1/3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1.7 & -1 & -0.2 & 0 \\ -1 & 2.2 & 0 & -1 \\ -0.2 & 0 & 59/70 & -1/7 \\ 0 & -1 & -1/7 & 31/21 \end{bmatrix}$$

（4）据式（1.2）求$\boldsymbol{V}_n$。为此，先求$\boldsymbol{Y}_n^{-1}$：因为

$$\boldsymbol{Y}_n^{-1}=\frac{\boldsymbol{Y}_n^*}{\Delta}=\frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} Y_{n11} & Y_{n21} & Y_{n31} & Y_{n41} \\ Y_{n12} & Y_{n22} & Y_{n32} & Y_{n42} \\ Y_{n13} & Y_{n23} & Y_{n33} & Y_{n43} \\ Y_{n14} & Y_{n24} & Y_{n34} & Y_{n44} \end{bmatrix}$$

式中

$$Y_{n11}=\begin{vmatrix} 2.2 & 0 & -1 \\ 0 & 59/70 & -1/7 \\ -1 & -1/7 & 31/21 \end{vmatrix}=2.2\times\frac{59}{70}\times\frac{31}{21}-\frac{59}{70}-\frac{2.2}{7\times 7}=1.8495$$

$$Y_{n12}=Y_{n21}=-\begin{vmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -0.2 & 59/70 & -1/7 \\ 0 & -1/7 & 31/21 \end{vmatrix}=\frac{59}{70}\times\frac{31}{21}+\frac{0.2}{7}-\frac{1}{7^2}=1.2524$$

$$Y_{n31}=Y_{n13}=-\begin{vmatrix} -1 & 2.2 & -1 \\ -0.2 & 0 & -1/7 \\ 0 & -1 & 31/21 \end{vmatrix}=-0.2+\frac{1}{7}+0.44\times\frac{31}{21}=0.5924$$

$$Y_{n14}=Y_{n41}=-\begin{vmatrix} -1 & 2.2 & 0 \\ -0.2 & 0 & 59/70 \\ 0 & -1 & -1/7 \end{vmatrix}=50/70+0.44/7=0.9057$$

而Δ代表矩阵$\mathbf{Y}_n$对应的行列式的值，它可由沿任一行或任一列的每个元素乘以它们的余因子而后相加求得。注意到$\mathbf{Y}_n^*$的元素Y_{nij}正是$\mathbf{Y}_n$对应行列式的余因子，于是，沿第一行求Δ时应为：

$$\begin{aligned}\Delta&=1.7\times Y_{n11}+(-1)\times Y_{n12}+(-0.2)Y_{n13}\\&=1.7\times 1.8495-1.2524-0.2\times 0.5924=1.7733\end{aligned}$$

则

$$\mathbf{Y}_n^{-1}=\frac{1}{\Delta}\begin{pmatrix} Y_{n11} & Y_{n21} & Y_{n31} & Y_{n41} \\ Y_{n12} & Y_{n22} & Y_{n32} & Y_{n42} \\ Y_{n13} & Y_{n23} & Y_{n33} & Y_{n43} \\ Y_{n14} & Y_{n24} & Y_{n34} & Y_{n44} \end{pmatrix}$$

$$=\frac{1}{1.7733}\begin{pmatrix} 1.8495 & 1.2524 & 0.5924 & 0.9057 \\ 1.2524 & 2.0214 & 0.5381 & 1.4214 \\ 0.5924 & 0.5381 & 2.3448 & 0.5914 \\ 0.9057 & 1.4214 & 0.5914 & 2.2214 \end{pmatrix}$$

$$=\begin{pmatrix} 1.0430 & 0.7063 & 0.3341 & 0.5108 \\ 0.7063 & 1.1399 & 0.3034 & 0.8016 \\ 0.3341 & 0.3034 & 1.3223 & 0.3335 \\ 0.5108 & 0.8016 & 0.3335 & 1.2527 \end{pmatrix}$$

而

$$\begin{aligned}\mathbf{Y}_b\boldsymbol{V}_s&=\mathrm{diag}\left(1,\ 1,\ \frac{1}{7},\ \frac{1}{5},\ \frac{1}{2},\ \frac{1}{5},\ \frac{1}{3},\ \frac{1}{2}\right)\\&\quad\times[0,\ 0,\ 0,\ 10,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0]^T\\&=[0,\ 0,\ 0,\ 2,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0]^T\\ \boldsymbol{I}_s-\mathbf{Y}_b\boldsymbol{V}_s&=[0,\ 8,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0]^T\end{aligned}$$

$$-[0,\ 0,\ 0,\ 2,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0]^T$$
$$=[0,\ 3,\ 0,\ -2,\ 0,\ 0,\ 0,\ 0]^T$$

所以 $V_n=Y_n^{-1}A(I_s-Y_bV_s)$

$$=\begin{bmatrix} 1.0430 & 0.7063 & 0.3341 & 0.5108 \\ 0.7063 & 1.1399 & 0.3034 & 0.8016 \\ 0.3341 & 0.3034 & 1.3223 & 0.3335 \\ 0.5108 & 0.8016 & 0.3335 & 1.2527 \end{bmatrix}$$

$$\times\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ -2 \\ -3 \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} 2.0043 \\ 1.8207 \\ -2.0067 \\ -0.9987 \end{bmatrix}\ (\mathrm{V})$$

（5）按式（1.3）求支路电压：

$$V_b=A^TV_n$$

$$=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 2.0043 \\ 1.8207 \\ -2.0667 \\ -0.9987 \end{bmatrix}$$

$$=[0.1836,\ 2.8194,\ -1.0680,\ -4.0710,\ -2.0043,\ 1.8207,\ 0.9987,\ -2.0667]^T\ (\mathrm{V})$$

（6）按式（1.4）求支路电流

$$I_b=Y_b(V_b+V_s)-I_s=$$

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & & & & \\ & 1 & & & & & & \\ & & 1/7 & & & & & \\ & & & 1/5 & & & & \\ & & & & 1/2 & & & \\ & & & & & 1/5 & & \\ & & & & & & 1/3 & \\ & & & & & & & 1/2 \end{bmatrix}\left(\begin{bmatrix} 0.1836 \\ 2.8194 \\ -1.0680 \\ -4.0710 \\ -2.0043 \\ 1.8207 \\ 0.9987 \\ -2.0667 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 10 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}\right)-\begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$