

电路的 计算机辅助 解题

江家麟 主编

西安交通大学出版社

电路的计算机辅助解题

江家麟 主编

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书是《电路》课程的计算机辅助解题上机指导书。根据《电路》课程中的主要内容用 FORTRAN 77 语言编制了程序。共有 10 个上机作业，可供选用，书中并列出了全部程序。

本书可作为高等工科院校电类各专业《电路》课程的上机教学用书，也可供有关工程技术人员参考。

电路的计算机辅助解题

江家麟 刘国柱 叶金官 范丽娟 陈森 夏承铨

责任编辑

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路 24 号)

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 4.875 字数：101 千字

1987 年 8 月第 1 版 1987 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—3500 册

ISBN 7-5605-0081-1/TP-10

书号：15340-132

定价：1.00 元

序 言

在电子计算机应用日益普及的今天，工科高等院校电类专业的学生应适应目前形势发展的要求，提高应用计算机的能力。因此就要创造条件，使学生在校期间有充分机会学习使用计算机，并贯穿在整个学习过程中。在我校电类专业的教学计划中提出了使用计算机不断线的要求。《电路》是电类专业学生必修的一门重要课程，如果在教学过程中引入计算机的应用，将是实现这一要求的重要环节。为此，我们拟定了在《电路》课程中用计算机辅助解题的方案，对《电路》课程中的“二阶电路时域分析、网络函数、图论、非线性电阻电路”等主要内容编制了程序。学生上机应用这些程序，既可解一些比较复杂和计算费时的题，同时又能培养和提高学生使用计算机的能力。至于《电路》课程中的一些基本分析方法和解题能力，仍要求学生通过笔算来掌握和提高。

本书根据《电路》课程的主要内容编写而成，作为学生的上机指导书。全部程序用 FORTRAN 77 语言编制，在电工原理实验室中的 ACS 68000 计算机（带 10 个终端）上调试通过，并已经过两届学生在该机上使用，效果良好。本书共 10 个上机作业，每次上机为 2 小时，每个学生总的上机时间为 12 小时，教师可在这些内容中选用。书中列出了全部程序，可供学生参考学习，并可供各有关高等学校采用。

参加本书编写的教师为：江家麟（序言，第二节，附录1），

刘国柱(第一节),叶金官(第三节,第五节),范丽娟(第四节),陈燕(第六节),夏承铨(第七节至第十节)。由江家麟主编,统校全稿。在编写过程中得到教研室同志的关心和支持,将指导上机过程中发现的问题及时反映给我们,在此表示感谢。

限于编者的水平,书中难免有不完善和错误之处,恳请读者指正。

编 者

1987年1月于西安交通大学

目 录

第一节	线性代数方程组的求解·····	(1)
第二节	二阶电路时域分析·····	(16)
第三节	网络函数·····	(29)
第四节	图论·····	(39)
第五节	状态方程的数值解·····	(55)
第六节	二端口网络参数的转换·····	(67)
第七节	单节点对或单回路非线性电阻电路的求解···	(72)
第八节	双节点对或双回路非线性电阻电路的求解···	(79)
第九节	三节点对或三回路非线性电阻电路的求解···	(87)
第十节	四节点对或四回路非线性电阻电路的求解···	(92)
附录 1	ACS 68000 计算机操作简介·····	(96)
附录 2	1. GED.for 2. GEA.for ·····	(103)
附录 3	1. SOCZIR.for 2. SOCSR.for 3. SOCUIR.for ·····	(107)
附录 4	NTW.for ·····	(119)
附录 5	TREE.for·····	(128)
附录 6	STAEQU.for ·····	(133)
附录 7	PARAM.for·····	(137)
附录 8	NRS1.for ·····	(140)
附录 9	SNSE21.for ·····	(141)
附录 10	SNSE31.for ·····	(143)
附录 11	SNSE41.for ·····	(147)

第一节 线性代数方程组的求解

一、功能

线性代数方程组的求解程序用来求解联立线性代数方程组，包括两个程序：

1. GED.for 用于直流电路，方程组的系数为实数。
2. GEA.for 用于交流电路，方程组的系数为复数。

程序适用于方程数 $N \leq 20$ 时。

运行本程序，需要输入方程组的系数和方程右端的常数，先建立数据文件再输入。输出是要求的未知量（节点电压或回路电流）。

二、原理说明

在分析电路问题时，常常需要求解具有 N 个未知数的 N 阶联立线性代数方程组，对于大型网络，用手算是极费时的。为此，我们考虑应用计算机来求解这些方程组。本程序就是为这一目的而编制的，所用的算法是高斯主元消去法。

为了便于了解本程序，下面介绍用高斯主元消去法求解 N 阶联立线性代数方程组的一般计算方法。

设有 N 阶线性代数方程组为：

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = a_{1,n+1} \quad (1-1.1)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = a_{2,n+1} \quad (1-1.2)$$

$$\dots\dots\dots a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \dots + a_{kn}x_n = a_{k,n+1} \quad (1-1.k)$$

$$\dots\dots\dots a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = a_{n,n+1} \quad (1-1.n)$$

设 a_{11} 不等于零, 则可用 a_{11} 除方程式 (1-1.1), 从而得到:

$$x_1 + \frac{a_{12}}{a_{11}}x_2 + \dots + \frac{a_{1n}}{a_{11}}x_n = \frac{a_{1,n+1}}{a_{11}} \quad (1-2.1)$$

或写成

$$x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + \dots + a_{1n}^{(1)}x_n = a_{1,n+1}^{(1)} \quad (1-2.1a)$$

然后, 将式 (1-1.2) 减去 a_{21} 与式 (1-2.1) 的乘积, 则得

$$\begin{aligned} & \left(a_{22} - a_{21} \cdot \frac{a_{12}}{a_{11}} \right) x_2 + \dots + \left(a_{2n} - a_{21} \cdot \frac{a_{1n}}{a_{11}} \right) x_n \\ &= a_{2,n+1} - a_{21} \cdot \frac{a_{1,n+1}}{a_{11}} \end{aligned} \quad (1-2.2)$$

或写成

$$a_{22}^{(1)}x_2 + \dots + a_{2n}^{(1)}x_n = a_{2,n+1}^{(1)} \quad (1-2.2a)$$

同样, 我们可以由式 (1-1. k) 减去 a_{k1} 与式 (1-2.1) 的乘积, 得到一个新的方程。这样, 我们可以得到从式 (1-1.3) —— (1-1. n) 各式消去 x_1 后的一组方程式。考虑到式 (1-2.1a) 和 (1-2.2a), 最后可以写成:

$$x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + \dots + a_{1n}^{(1)}x_n = a_{1,n+1}^{(1)} \quad (1-2.1a)$$

$$a_{22}^{(1)}x_2 + \dots + a_{2n}^{(1)}x_n = a_{2,n+1}^{(1)} \quad (1-2.2a)$$

$\dots\dots\dots$

$$a_{n2}^{(1)}x_2 + \dots + a_{nn}^{(1)}x_n = a_{n,n+1}^{(1)} \quad (1-2.na)$$

上式中的系数 $a_{jk}^{(1)}$ 可由下式求出:

$$a_{1k}^{(1)} = \frac{a_{1k}}{a_{11}} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n, n+1)$$

$$a_{jk}^{(1)} = a_{jk} - \frac{a_{j1}}{a_{11}} \cdot a_{1k} \quad (j=2, 3, \dots, n; k=1, 2, 3, \dots, n, n+1)$$

如果经过以上的运算所得的系数 $a_{22}^{(1)}$ 不等于零, 则可以用 $a_{22}^{(1)}$ 去除式 (1-2.2a), 然后乘以 $a_{k2}^{(1)}$ ($k=3, 4, \dots, n$), 并用式 (1-2.3a)——(1-2.na) 依次分别与所得的各式相减, 得到下列的方程式:

$$x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + a_{13}^{(1)}x_3 + \dots + a_{1n}^{(1)}x_n = a_{1,n+1}^{(1)} \quad (1-3.1)$$

$$x_2 + a_{23}^{(2)}x_3 + \dots + a_{2n}^{(2)}x_n = a_{2,n+1}^{(2)} \quad (1-3.2)$$

$$a_{33}^{(2)}x_3 + \dots + a_{3n}^{(2)}x_n = a_{3,n+1}^{(2)} \quad (1-3.3)$$

.....

$$a_{n3}^{(2)}x_3 + \dots + a_{nn}^{(2)}x_n = a_{n,n+1}^{(2)} \quad (1-3.n)$$

在上面的方程中, 式 (1-3.3) 至 (1-3.n) 的 x_2 已经消去。如果 $a_{22}^{(1)}$ 等于零, 只要方程是线性独立的, 就可以进行换行, 使 $a_{22}^{(1)}$ 不为零。当然也可以根据需要进行换列, 然而这样做需要对变量 x_i 重新编号。

在对如上所进行的计算重复了 n 次之后, 最后得到的方程组为:

$$x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + a_{13}^{(1)}x_3 + \dots + a_{1n}^{(1)}x_n = a_{1,n+1}^{(1)} \quad (1-4.1)$$

$$x_2 + a_{23}^{(2)}x_3 + \dots + a_{2n}^{(2)}x_n = a_{2,n+1}^{(2)} \quad (1-4.2)$$

$$x_3 + \dots + a_{3n}^{(3)}x_n = a_{3,n+1}^{(3)} \quad (1-4.3)$$

.....

$$x_n = a_{n,n+1}^{(n)} \quad (1-4.n)$$

其中

$$a_{jk}^{(i)} = a_{jk}^{(i-1)} - \frac{a_{ji}^{(i-1)}}{a_{ii}^{(i-1)}} \cdot a_{ik}^{(i-1)}$$

$i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,n; k=1,2,3,\dots,n+1$ 。

第 j 个方程式的第 k 个系数 $a_{ij}^{(i)}$ ，其圆括号内的上标是表示所进行的运算次数。

从方程 (1-4.1) 至 (1-4. n) 可以看出，通过回代很容易求出解答：

$$x_j = a_{ij}^{(j)} x_{n+1} - \sum_{k=j+1}^n a_{ij}^{(j)} x_k \quad (j=n, n-1, \dots, 2, 1) \quad (1-5)$$

现在用一个数值例子来说明这一方法的详细过程。设求解下列三阶联立线性代数方程组：

$$2x_1 + 4x_2 - x_3 = 1 \quad (1-6.1)$$

$$2x_1 + 4x_2 + 2x_3 = 4 \quad (1-6.2)$$

$$x_1 - x_2 + x_3 = 0 \quad (1-6.3)$$

将式 (1-6.1) 除以 x_1 的系数，使第一个主对角线元素为 1：

$$x_1 + 2x_2 - \frac{1}{2}x_3 = \frac{1}{2} \quad (1-7.1)$$

为使第一个主对角元素下面的元素为零，用式 (1-6.2) 中 x_1 的系数乘以式 (1-7.1)，然后从式 (1-6.2) 减去这个乘积，得到：

$$3x_3 = 3 \quad (1-7.2)$$

类似地，用式 (1-6.3) 中 x_1 的系数乘以式 (1-7.1)，然后从式 (1-6.3) 减去这个乘积，得到：

$$-3x_2 + \frac{3}{2}x_3 = -\frac{1}{2} \quad (1-7.3)$$

这样经过第一次的运算后得到的方程组为：

$$x_1 + 2x_2 - \frac{1}{2}x_3 = \frac{1}{2} \quad (1-7.1)$$

$$3x_3 = 3 \quad (1-7.2)$$

$$-3x_2 + \frac{3}{2}x_3 = -\frac{1}{2} \quad (1-7.3)$$

下面应该用式 (1-7.2) 中 x_2 的系数相除, 但式 (1-7.2) 中 x_2 的系数等于零。因此为了能够继续进行下去, 重新排列式 (1-7.2) 与 (1-7.3) 的次序, 从而得到:

$$x_1 + 2x_2 - \frac{1}{2}x_3 = \frac{1}{2} \quad (1-8.1)$$

$$-3x_2 + \frac{3}{2}x_3 = -\frac{1}{2} \quad (1-8.2)$$

$$3x_3 = 3 \quad (1-8.3)$$

这样, 就可以按照第一次的方法继续进行运算。从而得到第二次运算的结果为:

$$x_1 + 2x_2 - \frac{1}{2}x_3 = \frac{1}{2} \quad (1-9.1)$$

$$x_2 - \frac{1}{2}x_3 = \frac{1}{6} \quad (1-9.2)$$

$$3x_3 = 3 \quad (1-9.3)$$

由第三次运算得到:

$$x_1 + 2x_2 - \frac{1}{2}x_3 = \frac{1}{2}$$

$$x_2 - \frac{1}{2}x_3 = \frac{1}{6}$$

$$x_3 = 1$$

注意, 当每个主对角线元素均已化为 1 时, 就没有什么可以简化了。这标志着简化方程的消元过程已经结束。这样, 随着第一个未知量的确定, 通过回代就可得到各未知量为:

$$x_3 = 1$$

三、程序框图

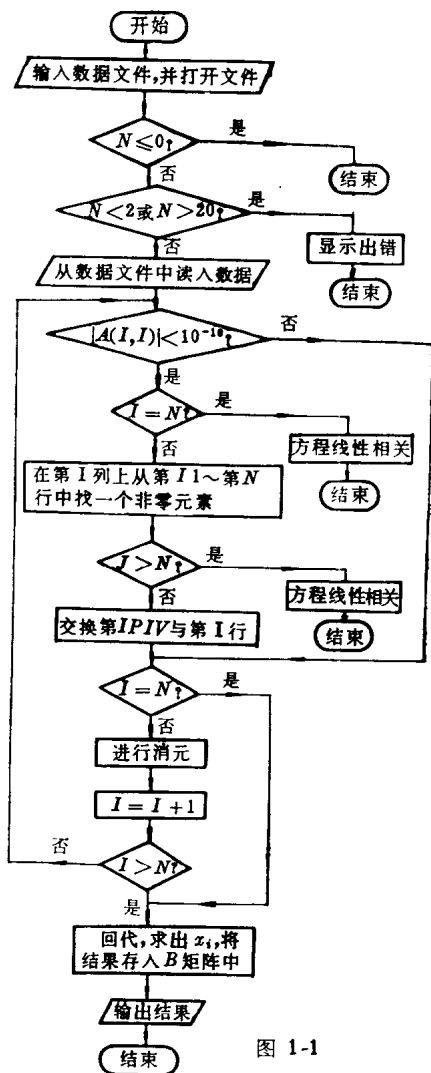


图 1-1

$$x_2 = \frac{1}{6} + \frac{1}{2} \times 1 = \frac{2}{3}$$

$$x_1 = \frac{1}{2} - 2 \times \frac{2}{3} + \frac{1}{2} \times 1 = -\frac{1}{3}$$

由上面的例子可以看出，在第一次运算后，第一行不再改变，第二次运算后第二行不再改变，以下各次依此类推。因此，只要对需要改变的行进行运算。在运算的过程中出现主对角线元素为零时，要求重新排列方程。如果重新排列方程仍不能找到一个非零的主对角线元素，则此方程组是线性相关的。这方程组就没有唯一解。

本程序就是根据上述算法编制的。

四、操作步骤

1. 接通计算机终端开关，按一下 Retn 键，当屏幕显示 `altos-1 login:`

时，键入 `circuit` ↵

屏幕显示

Welcome to

.

.

\$

\$ 为系统的提示符，\$ 出现后表示可以开始工作。

2. 使用本程序时，首先应建立需要计算的 N 阶联立线性代数方程组的数据文件。当计算机终端屏幕上出现提示符 \$ 时，就可以用 `ed` 来建立数据文件。数据文件的格式是：在第一行键入一个标题来说明要计算的问题；第二行键入方

程数；第三行键入变量名，变量名最多只能用两个字符来表示。从第四行起开始键入方程组的系数和方程式右端的常数，这些数用逗号隔开。键完一个方程式后再换行键入另一个方程式的系数和其右端的常数，直至完毕。注意每一行都从屏幕第 1 列开始键入。

建立数据文件的具体步骤如下：

\$ ed xxx (数据文件名, 自取) ↵

a ↵

(数据文件的第一行) ↵

(数据文件的第二行) ↵

.....

(数据文件的最后一行) ↵

. ↵

w ↵

q ↵

3. 在数据文件建立之后，就可以调用程序 GED 来进行计算。在提示符 \$ 后键入如下命令：

\$ GED<xxx (数据文件名) ↵

这时屏幕上就显示出计算结果。

4. 如果终端屏幕上显示：

EQUATIONS ARE LINEARLY DEPENDENT,
PLEASE INPUT NEW DATA FILE OR EDIT
YOUR DATA FILE.

Stop-Program terminated.

这是提示方程组是线性相关的，要求输入新的数据文件或将原数据文件改正。

5. 当数据文件的方程数 $N < 2$ 或 $N > 20$ 时, 终端屏幕上将显示:

THE NUMBER OF N IS WRONG, I. E. $N < 2$ OR $N > 20$, PLEASE EDIT YOUR DATA FILE.

Stop-Program terminated.

这时要重新考虑计算的问题, 将数据文件重新编辑。

6. 如果要分析的是交流电路, 这时需要调用程序 GEA。建立数据文件的方法与建立直流电路的数据文件的方法是相同的, 不过这时各方程的系数是复数。由于计算机的需要, 输入的复数要采用代数形式。每个复数的输入形式为 (a, b) , a 为复数的实部, b 为复数的虚部。

数据文件建立后, 就可以调用程序 GEA 来进行计算。在提示符 \$ 后键入如下命令:

\$ GEA < xxx (数据文件名) ↵

屏幕上就显示出计算结果。

7. 如果要打印运算结果, 应先把结果存入另一新文件 (结果文件, 名自取) 中, 然后才能打印出结果。两个步骤的命令如下:

\$ GED (或 GEA) < xxx (数据文件名) > △△△ (结果文件名) ↵

(运行, 并将运算结果存入新文件。)

\$ cat △△△ (结果文件名) > /dev/plp ↵ (打印运算结果)

8. 工作结束时, 同时按下 Ctrl 和 D 键, 断开计算机终端开关。上机结束。

五、例题

1. 电路的节点电压方程如下:

$$3U_1 + 2U_2 + U_3 = 6$$

$$2U_1 + 2U_2 + 2U_3 = 4$$

$$4U_1 - 2U_2 - 2U_3 = 2$$

其对应的数据文件为:

NODE METHOD EX. 8

3

U

3, 2, 1, 6

2, 2, 2, 4

4, -2, -2, 2

屏幕上显示出的计算结果为:

NODE METHOD EX. 8

THE COEFFICIENT MATRIX IS AS FOLLOWS:

3.0000	2.0000	1.0000	6.0000
2.0000	2.0000	2.0000	4.0000
4.0000	-2.0000	-2.0000	2.0000

VALUES OF THE UNKNOWNs:

U 1 1.0000

U 2 2.0000

U 3 -1.0000

2. 电路的回路方程如下:

$$(100 + j300)\dot{I}_1 + j500\dot{I}_2 = 220$$

$$j500\dot{I}_1 + (100 + j1000)\dot{I}_2 = 220$$

其对应的数据文件为:

LOOP METHOD EX. 4

2

I

(100,300) (0,500) (220,0)

(0,500) (100,1000) (220,0)

屏幕上显示出的计算结果为:

LOOP METHOD EX. 4

THE COEFFICIENT MATRIX IS AS FOLLOWS:

.1000E+03 + J(.3000E+03)

.0000E+00 + J(.5000E+03)

.2200E+03 + J(.0000E+00)

.0000E+00 + J(.5000E+03)

.1000E+03 + J(.1000E+04)

.2200E+03 + J(.0000E+00)

VALUES OF THE UNKNOWN:

I 1 .7254E+00 + J(-.3924E+00)

I 2 -.3568E+00 + J(-.5946E-01)
