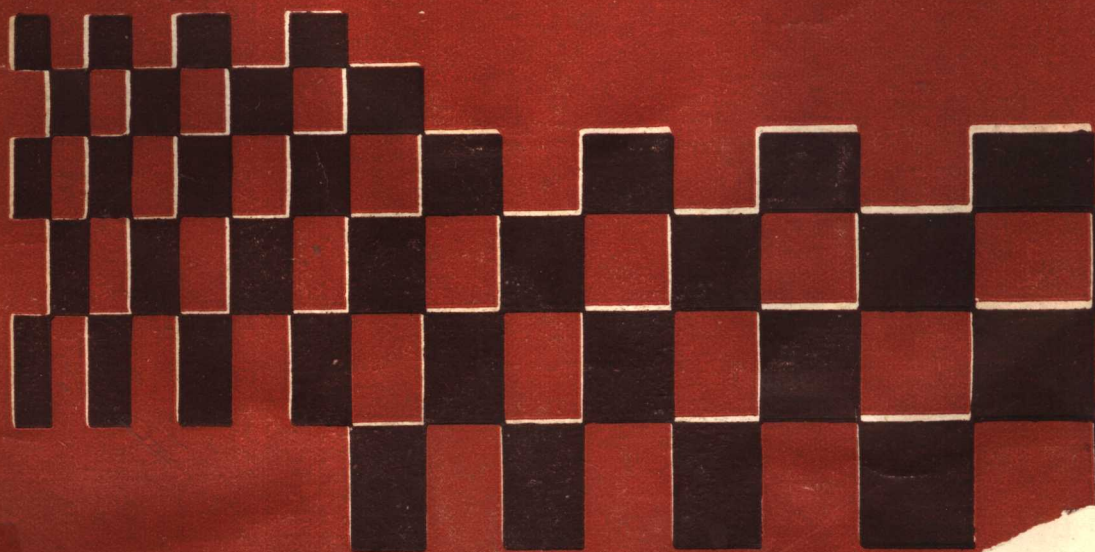


高等学校教材

控制系统的 分析设计程序

崔桃瑞 编译



西北工业大学出

控制系统的分析、设计、程序

崔 桃 瑞 编译

西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍分析和设计连续和离散控制系统的方法和程序。

主要内容包括：(1) 基于状态空间方法的程序九个（附程序清单）。(2) 基于传递函数方法的程序五个（附程序清单）。(3) 以上程序所使用的子程序共三十七个。(4) 为了说明如何应用所介绍程序，介绍了三个设计问题。

本书可作为线性控制系统理论的补充教材，可供从事控制工程、系统工程、计算机技术等科研工作者、研究生和工程技术人员参考。

主审稿人 陈新海

控 制 系 统 的 分 析、设 计、程 序

崔桃瑞 编译

责任编辑 李珂 柴文强

西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路127号)

陕西省新华书店经销

航空工业部〇一二基地印刷厂印刷

开本 787×1092毫米 1/16 14.63印张 355千字

1985年12月第一版 1987年5月第二次印刷

印数 2001—7000册

ISBN 7-5612-0013-7/TP·4

定价：2.45 元

统一书号：15433·019

前 言

近数十年来,由于计算技术和数字计算机在控制系统中广泛使用,使得控制理论得到进一步发展,出现了现代控制理论。随着电子计算机技术的不断发展和应用,也引起了控制系统设计方法,方式的重大改革,因为计算机已不只是一种单纯的高效率计算工具,而且越来越成为人们进行创造性设计活动的得力助手,因此利用计算机对控制系统进行辅助设计的技术蓬勃发展。同样,计算机技术的发展和应用也促进了教育和控制理论教学工作的改革。面对这些新的改革,我们在控制理论的教学工作和科学研究工作中,深感有必要给学生和广大工程技术人员提供一套方便的计算方法和相应的计算机程序,以便在控制理论的教学,学习和控制系统的设计,分析中广泛利用计算机解决有关计算问题。

本书的目的就是打算提供一套适用于线性控制理论教学,控制系统设计和分析用的计算方法和相应的计算机程序,这一套计算机程序,几乎可以解决所有线性控制理论中的基本计算问题。

利用这些程序,不需要在计算上作很大努力,就能详细地研究各种实际问题。此外,使用这些程序,还可以获得计算机辅助控制系统设计和分析方面的实际经验,这是现代工程实际中非常重要的。

使用本书中介绍的程序,只需要具有起码的 FORTRAN 编程知识,同时会用卡片递送 FORTRAN-IV 程序,对于比较熟悉 FORTRAN-IV 语言的读者,本书为他们提供了程序清单,以及有关的参考资料,以便帮助他们了解这些程序,并进一步作出可能的改进,这里假定读者已经熟悉线性控制理论的基本知识,这些内容在任何一本控制理论教科书中都可以找到。

本书所介绍的计算机程序,包括连续系统部分和离散系统部分。连续系统部分主要根据美国 MCGRAW-HILL BOOK COMPANY 1973 年出版的《Computer Programs for Computational Assistance in the Study of Linear Control Theory》(第二版),编者作了某些修改,罗键同志提供了计算多变量频率响应的部分程序。本书所介绍的程序绝大部分编者在 Felix-256 计算机上通过。

在本书编译过程中,张洪才同志对全书进行了详细地校阅,华南工学院钟慕良同志给予了很大帮助,西北工业大学陈新海副教授审阅了全部书稿,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1985.2.

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1-1 本书的概貌	(1)
§ 1-2 输入, 输出格式	(1)
第二章 状态变量程序	(5)
§ 2-1 引 言	(5)
§ 2-2 线性系统时间响应 (GTRESP) 程序	(5)
§ 2-3 灵敏度分析 (SENSIT) 程序	(15)
§ 2-4 状态变量反馈 (STVARFDBK) 程序	(27)
§ 2-5 可观测性指数的计算 (OBSERV) 程序	(45)
§ 2-6 龙伯格观测器设计 (LUEN) 程序	(49)
§ 2-7 串联补偿器 (SERCOM) 程序	(58)
§ 2-8 最优控制—卡尔曼滤波 (RICATI) 程序	(68)
§ 2-9 多输入, 多输出系统的解耦 (MIMO) 程序	(79)
§ 2-10 离散线性调节器 (DLIREG) 程序	(98)
第三章 传递函数程序	(106)
§ 3-1 引 言	(106)
§ 3-2 频率响应 (FRESP) 程序.....	(106)
§ 3-3 根轨迹 (RTLOC) 程序.....	(117)
§ 3-4 部分分式展开 (PRFEXP) 程序.....	(127)
§ 3-5 多变量频率响应 (MUTFRE) 程序.....	(134)
§ 3-6 离散系统频率响应 (DFRESP) 程序.....	(141)
第四章 设计问题	(145)
§ 4-1 引 言	(145)
§ 4-2 一个简化的纵向通道着陆状态自动驾驶仪的设计.....	(145)
§ 4-3 核反应堆系统的状态变量反馈控制.....	(151)
§ 4-4 一个通讯问题.....	(154)
附录A 子程序	(157)
附录B 绘制图形程序	(215)

第一章 绪 论

§1-1 本书的概貌

现代控制理论的发展,使得解决大型复杂的控制问题成为可能,它具有许多突出的优点,但是,它不能完全取代古典控制理论,二者互相促进,互为补充,因此,一般大学中所开设的控制理论课程,既有古典控制理论,又有现代控制理论。古典控制理论基于频率响应方法(或称传递函数法),现代控制理论的基础是状态空间方法,因此本书所介绍的计算方法及相应的计算机程序分两大部分,第一大部分是基于状态空间方法的计算机程序—称状态变量程序,第二大部分是与传递函数有关的计算方法和计算机程序。第二章介绍了九个状态变量程序,包括:计算连续系统时间响应程序,研究闭环系统对参数变化的灵敏度程序,还有七个用于设计线性系统的程序,内容包括:使用状态变量反馈的系统设计,使用串联补偿器的控制系统设计,观测器设计,多变量系统解耦设计以及基于二次型性能指标的连续和离散线性系统的最优设计程序等。

第三章讨论了五个传递函数程序,这些程序可以用来确定单变量和多变量系统的频率响应,离散系统的频率响应以及绘制单变量线性系统的根轨迹图形等。第四章介绍了利用这些程序设计控制系统的实例,附录A介绍了所用的全部子程序共37个,介绍这些子程序是为了帮助有兴趣的读者了解程序的运行,并使读者能由这些子程序编制出新的程序来。在这些计算机程序的开发中,广泛利用子程序是为了增强灵活性,例如,也许有人希望将灵敏度分析和时间响应程序或者状态变量反馈和根轨迹程序结合起来使用,以便进行某些特殊研究。

附录B给出了一组共三个图形显示子程序,前两章使用了这些子程序。这些显示程序通用性强,并且可以在行式打印机上迅速打印出程序运算结果的图形。这里介绍的分别是绘制对数图形,半对数, $x-y$ 图形及 $x-t$ 图形的子程序。

第二章和第三章介绍的十四个程序,除离散系统频率特性外,一律按同样格式来叙述,首先简要说明程序的目的,接着介绍计算机程序中所涉及的理论概念,计算方法,然后解释程序的输入输出格式,并举例说明,继而列出所举例题的输入数据卡片组。跟着再列出程序的输出结果并加以讨论。在某些情况下,必须稍微修改或压缩计算机的输出结果,以符合纸张尺寸的要求,但保留所得输出结果的基本形式。最后列出每个程序的清单以供参考。

总的说来,程序限于解决十阶以下问题。虽然算法本身不一定需要有这种限制,但是,我们感到这种限制对几乎所有理论问题及大部分实际问题都是满足的。如需要的话,只要修改相应的维数语句就可以去掉这种限制。

§ 1-2 输入,输出格式

各个程序的输入格式分别在第二和第三章详细介绍,这一节的目的是想说明适用于所有程序的输入格式的某些一般特点。在输入格式的选择上主要考虑使程序的使用尽可能的简单,而同时保持足够的灵活性。其次考虑使各种程序的输入格式尽可能接近一致。由于这些考

虑，在所选的输入格式下，其卡片数往往多于程序需要的输入数据卡片数。但在另一方面，输入格式易于记忆，因为绝大多数卡片具有相同的形式，而且在每一个程序中又使用同样的通用格式。此外，仔细设计的输入数据卡片组，使得它与基本问题的描述密切相关，这样，如需要的话，就很容易对问题进行修改。

所有的程序，在一次运行中，都可以用来同时解决几个问题，为此只要将输入卡片组一个接一个地放在一起就行，换句话说，就是对一个问题准备一个输入卡片组，然后将这些卡片组加在一起为该程序组成一个组合输入卡片组。

为了熟悉FORTRAN 语言的读者参考，在输入数据格式的描述中，包含了FORTRAN 格式的资料。每个输入卡片组的第一张卡片包含标题信息，以便以后参考。任何字母和数字字符都可以设置在这第一张卡片的前 20 列。倘若需要，这第一张卡片紧接着的两列(21-22)将是按定点格式表示的问题的阶次。读者还记得，定点数在它们的字段中总是右侧对齐的。

其余的输入卡片将随所研究的不同程序而不同。但是对以矩阵形式和以多项式形式输入的信息需要遵循几个常用的格式规则。下面让我们分别研究这些输入型式。

1.2-1 矩阵数据

本书所介绍的程序中，一个矩阵的元素，每次只读一行，依次往下读。这很象它们在原始数组中的情况。每个数都以浮点格式写在一个十列字段中。若矩阵的维数大于 8，则元素继续写在下一张卡片上。但是下一行的元素要从一张新的卡片上开始写。因此，如对一个方阵，若 $N \leq 8$ ，则用 N 张卡片就可输入这个矩阵，而如果 $8 < N \leq 10$ ，则需要 $2N$ 张卡片。例如，假定我们希望读入一个 3×3 矩阵

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ -1 & 2 & 0 \\ 4 & 1.2 & 3 \end{pmatrix}$$

那么输入卡片形式如表 1.2-1 所示。

表 1.2-1

卡 片 序 号	列序号																													
				5					10					15					20						25					30
1	3	.	0						0	.	0								1	.	0									
2	-	1	.	0					2	.	0								0	.	0									
3	4	.	0						1	.	2								3	.	0									

列向量的情况，为了尽可能减少输入卡片数，其元素按列读入。同样，若向量的维数小于或等于 8，则仅用一张卡片就能输入向量；若 $8 < N \leq 10$ ，那么将需要两张卡片。为了简化叙述，在第二章和第三章的输入格式描述中，已假定 $N \leq 8$ 。如 $N > 8$ ，则仅需将描述向量或矩阵的卡片数双倍就行了。

1.2-2 多项式数据

多项式可用两种不同格式输入，即按多项式系数，或者多项式因子形式输入；这两种格式分别称为 *P* 型或者 *F* 型，凡是采用多项式输入的程序，都可以使用两种格式中的任何一种。

若选择 *P* 型，多项式系数就宛如是矩阵元素那样，以浮点形式写在10列字段中。首先是常数项，并且最高阶次项系数设为1，这个系数可以不写，程序自动提供。

注意，倘若多项式次数等于8，则必须加一张空白卡片。换句话说，倘若要读入一个8次多项式，则前8个系数放在一张卡片的8个10列字段中，而 S^8 的系数必须写在下一张卡片上，尽管它肯定是1，而且可以不写，也要加一张空白卡片。

倘若按 *F* 型，即用多项式因子形式读入多项式，那么一个因子单独放在一张卡片上。前10列写入因子的实数部分，接着10列写入虚数部分。实数部分为正时，因子是在左半平面。一对复数共轭根，只需用一张卡片来提供虚部为正的那一个根，虚部为负的那一个共轭根由程序自动提供。

为了表示使用的是哪一种多项式类型，在每个多项式输入前设置一张控制卡片，这张卡片的第1列写有一个字母 *P* 或 *F* 表示输入时采用的型式。接着两列按定点格式写上多项式的阶次，下面我们来研究一个3次多项式 $P(S)$

$$P(S) = 5 + 9S + 5S^2 + S^3 = (S+1)[(S+2)^2 + 1]$$

这个多项式按 *P* 型输入时的输入卡片组如表 1.2-2a 所示，*F* 型时如表 1.2-2b 所示。注意， S^3 项系数设为1，所以不必写入。

表 1.2-2

多项式输入卡片组：(a) *P* 型，(b) *F* 型。

(a)

卡 片	列 序 号																	
序 号			5			10			15			20			25			30
1	P	3																
2	5	• 0							9	• 0					5	• 0		

(b)

卡 片	列 序 号																	
序 号			5			10			15			20			25			30
1	F	3																
2	1	• 0																
3	2	• 0				1	• 0											

1.2-3 输出格式

所有的程序输出本身几乎都带有注释，程序输出中，矩阵总是写成正常形式，即水平为行，垂直为列。而列向量则以转置形式打印出来。

多项式采用因子和多项式系数两种形式打印，这与它的输入形式无关。系数按升幂打印，首项为常数项，因子形式则按原样打印，负的实部表示根在左半平面。因此，读者应注意在因子的输入格式与输出打印方式之间，有一个符号的差别。

[注]：本书中矩阵和向量的表示，一律采用在英文字母下加“-”表示，如A表示A为矩阵，X表示X为向量等。

第二章 状态变量程序

§ 2-1 引 言

本章将讨论基于状态空间方法的状态变量程序，共 9 个程序。这组程序可用于线性控制系统的分析和设计。

2-2 节讨论线性系统对任意输入时的时间响应程序 (GTRESP)，该程序同时可以在行式打印机上，打印出响应的图示曲线。设 $K = 0$ ，则程序可用于研究开环系统；设 $r(t) = 0$ ，则它们还可以用于研究自由系统。

线性系统分析和设计的基本问题之一是，参数变化时灵敏度问题。2-3 节将讨论灵敏度分析程序 (SENSIT)。2-4 节讨论状态变量反馈程序 (STVARFDBK)。这个程序在科学研究和工业设计方面得到广泛应用，尤其是设计线性状态变量反馈控制系统。这个程序既可以求出开环系统和闭环系统的传递函数，又可以根据给定的传递函数来设计闭环系统。2-5 节到 2-7 节介绍了三个程序，这三个程序可用来设计某些状态变量不能直接测量的状态变量反馈系统。OBSERV 程序是用来求取系统可观测性指数和确定龙伯格观测器 (LUEN) 程序或串联补偿器 (SERCOM) 程序所需要的补偿器的阶数。最后三节介绍三个程序，可用来设计多输入，多输出系统的状态变量反馈结构。即系统解耦设计 (MIMO) 程序，最优控制——卡尔曼滤波 (RICATI) 程序，离散线性系统最佳调节器设计 (DLIREG) 程序。

§ 2-2 线性系统时间响应 (GTRESP) 程序

线性系统时间响应程序可用来确定闭环系统对于初始条件 $\underline{X}(0)$ 和任意参考输入 $r(t)$ 的时间响应，闭环系统为：

$$\begin{aligned}\dot{\underline{X}}(t) &= \underline{A} \underline{X}(t) + \underline{b} u(t) \\ u(t) &= K \{ r(t) - \underline{K}^T \underline{X}(t) \} \\ Y(t) &= \underline{C}^T \underline{X}(t)\end{aligned}$$

2.2-1 原 理

GTRESP 程序是基于四阶龙格—库塔数值积分算法的应用，基本上是建立在子程序的基础上，以便获得最大限度的灵活性。

在 $r(t)$ 已知的情况下， $\underline{X}(t), u(t), y(t)$ 的当前值（即时刻 t_i 时的值）由下列方程组决定。将 $\underline{X}(t_i), u(t_i), y(t_i)$ 分别记为 $\underline{X}_i, u_i, y_i$ ；其上标，如 $\underline{X}_i$ 右上方的 'j' 表示龙格—库塔积分迭代计算中第几次迭代值。）

$$(1) \quad \begin{cases} \underline{X}_1^1 = \underline{X}_{i-1} \\ r_1^1 = r(t_{i-1}) \\ u_1^1 = K(r_1^1 - K^T \underline{X}_1^1) \\ \dot{\underline{X}}_1^1 = \underline{A} \underline{X}_1^1 + \underline{b} u_1^1 \end{cases}$$

$$(2) \quad \begin{cases} \underline{X}_1^2 = \underline{X}_1^1 + 0.5h\dot{\underline{X}}_1^1 \\ r_1^2 = r(t_{i-1} + 0.5h) \\ u_1^2 = K(r_1^2 - K^T \underline{X}_1^2) \\ \dot{\underline{X}}_1^2 = \underline{A} \underline{X}_1^2 + \underline{b} u_1^2 \end{cases}$$

$$(3) \quad \begin{cases} \underline{X}_1^3 = \underline{X}_1^1 + 0.5h\dot{\underline{X}}_1^2 \\ r_1^3 = r(t_{i-1} + 0.5h) \\ u_1^3 = K(r_1^3 - K^T \underline{X}_1^3) \\ \dot{\underline{X}}_1^3 = \underline{A} \underline{X}_1^3 + \underline{b} u_1^3 \end{cases}$$

$$(4) \quad \begin{cases} \underline{X}_1^4 = \underline{X}_1^1 + h\dot{\underline{X}}_1^3 \\ r_1^4 = r(t_{i-1} + h) \\ u_1^4 = K(r_1^4 - K^T \underline{X}_1^4) \\ \dot{\underline{X}}_1^4 = \underline{A} \underline{X}_1^4 + \underline{b} u_1^4 \end{cases}$$

$$(5) \quad \begin{cases} \underline{X}_i = \underline{X}_1^1 + \frac{h}{6}(\dot{\underline{X}}_1^1 + 2\dot{\underline{X}}_1^2 + 2\dot{\underline{X}}_1^3 + \dot{\underline{X}}_1^4) \\ r_i = r_1^4 = r_i \\ u_i = K(r_i - K^T \underline{X}_i) \end{cases}$$

$$y_i = C^T \underline{X}_i$$

式中 $\underline{X}_i^j$ 如 $\underline{X}_1^1$ 表示 N 维向量 $\underline{X}$ 在 i 时刻的第一次迭代值。

$$\underline{X}_1^1 = \begin{bmatrix} X_{1,1}^1 \\ \vdots \\ X_{n,1}^1 \end{bmatrix}, \quad u, r \text{ 为标量。}$$

h 表示积分步长, 由使用者选取。按此, 我们可以求得在给定时间间隔内 (初始时间 TZERO, 终了时间 TF) 各个状态变量的时间函数值, 以及输入, 输出的数值。

本程序的打印步长为 $\text{FREQ} \cdot h$, FREQ 称输出频率, 由使用者选取, 控制输出打印的点数, 并且在打印步长时, 将各变量的当前值送入存贮单元 $SK(I, J)$, 供打印图象用。

GTRESP程序由子程序CALCU, RUNGE, TRESP, 和 YDOT (参看附录 A) 以及绘图子程序 Y8VSX (参看 B4 节) 组成。输入函数 $r(t)$ 用插入一段小程序的办法来定义, 如子程序CALCU所示。

虽然本程序是按线性系统写成, 但是适当地修改子程序 YDOT 它也能用于非线性时变系统。

2.2-2 输入格式

GTRESP 程序输入的第一部分为闭环系统的数据, 第二部分包括初始条件 $X(0)$, 和时间间隔以及绘图子程序所需的参数, 输入格式如表 2.2-1 所示。

标题, 系统阶次 N 和 A , b , C , K , K 以及 $X(0)$, 在前 $N+6$ 张卡片上输入。接下去一张卡片包括所需的时间范围, 从 TZERO 到 TF, 积分时间步长 DT, 打印时间步长与积分时间步长之比值即输出频率 FREQ。输入的最后一张卡片指出需要绘图的变量。绘图变量不大于 8 个, 可以在变量 $y(t)$ 、 $r(t)$ 、 $u(t)$ 、 $e(t)=r(t)-y(t)$ 和 $X_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, N$) 中任选八个或少于八个变量, 把符号 Y , R , U , E , $I=1, 2, \dots, N$ 放在最后一张卡片相应的两列字段上, 以指明要画曲线的变量。如果符号只有一个字符, 它必须右侧对齐, 其左侧留一空格。如不绘图, 最后一张卡片就是空白卡。

字符所代表的变量及顺序如下表

序 号	字 符	代 表 变 量	变 量 说 明	序 号	字 符	代 表 变 量	变 量 说 明
1	'1'	X_1	状态变量 X_1	8	'8'	X_8	状态变量 X_8
2	'2'	X_2	状态变量 X_2	9	'9'	X_9	状态变量 X_9
3	'3'	X_3	状态变量 X_3	10	'10'	X_{10}	状态变量 X_{10}
4	'4'	X_4	状态变量 X_4	11	'E'	E	$E=r-Y$
5	'5'	X_5	状态变量 X_5	12	'U'	U	控制变量
6	'6'	X_6	状态变量 X_6	13	'Y'	Y	输出变量
7	'7'	X_7	状态变量 X_7	14	'R'	R	系统输入

序号和字符由 DATA 语句读入, 当程序读入要绘图的变量后, 主程序将它们按序号排列, 并用序号代表绘图变量参加以后的运算, 这是因为用数字参加运算比用文字参加运算省时。

表2.2-1 GTRESP程序的输入格式

卡 片 序 号	列 序 号	说 明	格 式
1	1—20 21—22	标题 N = 系统阶数, $N \leq 10$	5A4, I2

表 2.2-1(续)

卡 片 序 号	列 序 号	说 明	格 式
2	1—10 11—20 等等	a_{11} = 对象矩阵 a_{12} ...	8 F10.3
3	1—10 11—20 等等	a_{21} a_{22} ...	8 F10.3
$n + 2$	1—10 11—20 等等	b_1 = 控制向量 b_2 ...	8 F10.3
$n + 3$	1—10 11—20 等等	c_1 = 输出向量 c_2 ...	8 F10.3
$n + 4$	1—10 11—20 等等	k_1 = 反馈系统 k_2 ...	8 F10.3
$n + 5$	1—10	k = 控制器增益	8 F10.3
$n + 6$	1—10 11—20 等等	$X_1(0)$ = 初始条件 $X_2(0)$...	8 F10.3
$n + 7$	1—10 11—20 21—30 31—40	$TZERO$ = 初始时间 TF = 终了时间 DT = 时间步长 $FREQ$ = 输出频率*1	8 F10.3

表2.2-1(续)

n + 8	1—2	可以任选8个符号, 写入这些字段, 表示需要绘图的变量, 这些符号是: $Y, R, U, E, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ 。如果符号只有一个字符, 则必须右侧对齐, 左边留一空格。	8 A 2
	3—4		
	5—6		
	7—8		
	9—10		
	11—12		
	13—14		
	15—16		

$$\bullet 1(TF-TZERO)/(C(DT)(FREQ)) \leq 100$$

2.2-3 输出格式

GTRESP 程序的基本输出为标题, $\underline{A}$, $\underline{b}$, $\underline{C}$, $\underline{K}$, $\underline{K}$ 和 $\underline{X}(0)$ 。此外, 打印时间 TZERO, TF, 以及 DT 和 FREQ 供参考。其后, 以表格形式打印出变量 $y(t)$, $r(t)$, 和 $X_i(t)$, ($i = 1, 2, \dots, N$) 随时间变化的值。最后为输入时最后一张卡片上所列变量随时间变化的曲线。

2.2-4 例题

我们希望确定下列系统的误差 $e(t) = r(t) - y(t)$, 输入函数 $r(t)$ 和状态变量 $x_2(t)$, 并绘制它们的曲线。系统方程为:

$$\dot{\underline{X}} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 \\ -1.0 & -1.0 \end{bmatrix} \underline{X}(t) + \begin{bmatrix} 0.0 \\ 1.0 \end{bmatrix} u(t)$$

$$u(t) = 5.0 \{ r(t) - (1.0 \ 0.5) \underline{X}(t) \}$$

$$y(t) = (1.0 \ 1.0) \underline{X}(t)$$

感兴趣的时间范围是 $0 \leq t \leq 4$ 。假定步长为 $DT = 0.01$, 并且要求每10步打印一次输出值, 所以 $FREQ = 10$ 。设初始条件 $\underline{X}(0) = 0$ 输入函数是

$$\begin{aligned} r(t) &= 5.0 && \text{当 } 0 \leq t \leq 1 \\ &= 0 && \text{其他时间} \end{aligned}$$

这个例题的输入卡片组, 由表 2.3-2 给出。为了定义输入, 我们将下列小程序段加到子程序 CALCU 中。

```
1000 IF(T.GT.1.0)GO TO 1001
      R=5.0
      GO TO 1002
1001 R=0.0
1002 CONTINUE
```

程序输出如表 2.3-3 所示。为了便于观察结果, 已经将响应图形的数据点联成了曲线。

表 2.2-2 GTRESP例题输入卡片组

卡片 序号	列序号																													
			5			10					15					20					25					30				
1	G	T	R	E	S	P		E	X	A	M	P	L	E																
2																														
3	0	.	0									1	.	0																
4	-	1	.	0								-	1	.	0															
5	0	.	0									1	.	0																
6	1	.	0									1	.	0																
7	1	.	0									0	.	5																
8	5	.	0																											
9	0	.	0									0	.	0																
10	0	.	0									4	.	0																
	E	R																												

表 2.2-3

GTRESP例题程序输出

GRAPHICAL TIME RESPONSE

PROBLEM IDENTIFICATION - GTRESP EXAMPL

THE A MATRIX

0.0 1.00000000E 00
- 1.00000000E 00 -1.00000000E 00

THE B MATRIX

0.0 1.00000000E 00

THE C MATRIX

1.00000000E 00 1.00000000E 00

FEEDBACK COEFF.

1.00000000E 00 5.00000000E-01

GAIN= 5.00000000E 00

INITIAL CONDITIONS

0.0 0.0

TZERO= 0.0

TF= 4.000000

DT= 0.010000

FREQ= 10

T	Y(T)	U(T)	X1(T)	X2(T)
0.0	0.0	2.500000 E 01	0.0	0.0
9.999990 E-02	2.199443 E 00	1.922372 E 01	1.110644 E-01	2.088379 E 00
1.999998 E-01	3.848458 E 00	1.439480 E 01	3.936214 E-01	3.454837 E 00
2.999997 E-01	5.026528 E 00	1.047669 E 01	7.827941 E-01	4.243734 E 00
3.999996 E-01	5.813385 E 00	7.397809 E 00	1.227492 E 00	4.585893 E 00
4.999995 E-01	6.284925 E 00	5.065398 E 00	1.688916 E 00	4.596008 E 00
5.999994 E-01	6.510508 E 00	3.376522 E 00	2.138885 E 00	4.371623 E 00
6.999993 E-01	6.551410 E 00	2.226191 E 00	2.558115 E 00	3.993295 E 00
7.999992 E-01	6.460109 E 00	1.513309 E 00	2.934568 E 00	3.525540 E 00
8.999991 E-01	6.280244 E 00	1.144614 E 00	3.261911 E 00	3.018332 E 00
9.999990 E-01	6.047029 E 00	1.037025 E 00	3.538161 E 00	2.508868 E 00
1.099982 E 00	3.620378 E 00	-1.819321 E 01	3.656905 E 00	-3.652740 E-02
1.199965 E 00	1.698620 E 00	-1.313748 E 01	3.556374 E 00	-1.857754 E 00

3.499579 E 00	8.149618 E-02	-1.150310 E-02	-7.689488 E-02	1.583911 E-01
3.599563 E 00	8.478630 E-02	-5.793137 E-02	-6.161377 E-02	1.464001 E-01
3.699546 E 00	8.283365 E-02	-8.772963 E-02	-4.774184 E-02	1.305755 E-01
3.799529 E 00	7.728511 E-02	-1.043089 E-01	-3.556158 E-02	1.128467 E-01
3.899512 E 00	6.948203 E-02	-1.107377 E-01	-2.518698 E-02	9.466904 E-02
3.999496 E 00	6.048328 E-02	-1.096897 E-01	-1.660740 E-02	7.709068 E-02

表2.2-3 (续)

