

Л и т е р а т у р а

1. Белоусов А.И., Токарев И.П., Чегодаев Д.Е. Газостатические опоры как амортизаторы и генераторы механических колебаний. - В сб.: Вибротехника. - Куйбышев: КуАИ, 1977.

2. Gawrzonski Wodzimiezs „Identyfikacja maciezy bezwladności, tumenia i sztywności za pomoca testow zezonansowych.”
Zeszyty naukowe politechniki Gdanskiej nr 337, Mechanika XLI, 1981.

3. Gawrzonski Wodzimiezs „Identyfikacja transmancji ukadu mechanicznego za pomoca testow zezonansowych” zeszyty naukowe politechniki Gdanskiej nr 337, Mechanika XLI, 1981.

4. SINHA N.K., PILLEW. A new method for reduction of dynamic Systems., „Int. J. Contr.” 1971, 14, N1, p. 111-118.

УДК 681.3.06

Б.Л.Свечинский, Е.Ю.Яковенко, Ю.В.Михеев,
И.Л.Козлова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАКЕТА "ДИП"

Широкое внедрение микропроцессоров в системы управления определяет возрастающий интерес к анализу и синтезу цифровых систем управления. Актуальным является создание развитых пакетов прикладных программ (ППП), являющихся основой систем автоматизированного проектирования. В настоящей статье с позиций теории линейных дискретных систем рассматриваются алгоритмические основы ППП "ДИП" (Дискретный пакет).

Пакет "ДИП" является специализированным пакетом, предназначенным для анализа и синтеза дискретных динамических систем. Тело пакета состоит из 10 программ, написанных на ФОРТРАНЕ-IV и обеспечивающих: переход от непрерывных систем к дискретным; выполнение

прямого и обратного Z -преобразования; анализ матрицы объекта, включающий определение обратной матрицы, определителя, собственных чисел, резольвенты, переходной матрицы; анализ наблюдаемости и управляемости; отыскание результирующего уравнения системы соединенных подсистем; выбор частоты квантования; синтез регулятора состояния; синтез регулятора, обеспечивающего заданное расположение собственных чисел; анализ переходных процессов в системе с дискретным регулятором в контуре управления как для систем, заданных моделями типа вход-выход, так и для моделей в пространстве состояний.

Организующая программа пакета, построенная на основе процессора косвенных командных файлов с использованием пакетного и текстового редакторов операционной системы ОС-РВ СМ-4, осуществляет диалог с пользователем для определения последовательности модулей (которые необходимо выполнить для решения задачи), генерацию программ пакета и их видов для выполнения действий по решению задачи. Язык пакета, предназначенный для описания задач, решаемых пакетом, организован в форме диалога, понятного неподготовленному в области программирования пользователю. "ДИП" построен по модульному принципу, является открытым и позволяет подключать как отдельные программные модули, так и целые ППП. В частности, допустимо расширение возможностей "ДИПа" за счет подключения пакетов графических программ "ГРАФОР" и "СИГ" [1], при этом вывод графической информации осуществляется на графический дисплей ЭПГ СМ и графопостроители АП-7252, АП-7251.

Ниже рассматриваются некоторые модули пакета.

Программа "Переход от непрерывной системы к дискретной АД" осуществляет преобразование непрерывной модели, записанной в пространстве состояний

$$\begin{aligned} \dot{x}(\tau) &= A_H x(\tau) + B_H u(\tau), \\ y(\tau) &= C_H x(\tau) \end{aligned} \quad (1)$$

в дискретную вида

$$\begin{aligned} x(i+1) &= A x(i) + B u(i), \\ y(i) &= C x(i). \end{aligned} \quad (2)$$

Матрицы A , B , C определяются на основе соотношений

$$A = e^{A_H T}, \quad B = \int_0^T e^{A_H \tau} d\tau B_H, \quad C = C_H, \quad (3)$$

где T - период квантования.

Матричная экспонента в последних соотношениях вычисляется на основе метода диагонализации, т.е.

$$e^{A_n T} = Z \text{diag}(e^{-\lambda_n T}) Z^{-1}, \quad (4)$$

где λ_n - собственные значения матрицы A_n ; Z - матрица собственных векторов матрицы A_n .

Программа "Анализ матрицы объекта *DMAT*" по заданной матрице дискретного объекта A вычисляет ее определитель, обратную матрицу A^{-1} , характеристический полином $\det(zI - A)$, собственные значения λ_n , переходную матрицу $\Phi(i) = A^i$ и резольвенту $\Phi(z) = (zI - A)^{-1}$. Прототипом программы *DMAT* является программа *BAS-MAT* [2].

Программа "Обратное Z -преобразование *ZTRIN*" осуществляет обратное Z -преобразование дробно-рациональной функции

$$Z\{f(z)\} = \frac{P(z)}{Q(z)} = \frac{P_0 + P_1 z^{-1} + P_2 z^{-2} + P_3 z^{-3} + \dots + P_n z^{-n}}{Q_0 + Q_1 z^{-1} + Q_2 z^{-2} + Q_3 z^{-3} + \dots + Q_m z^{-m}}. \quad (5)$$

Оригинал $f(iT)$ определяется на основе последовательного деления $P(z)$ на $Q(z)$, в результате которого (5) принимает вид

$$Z\{f(iT)\} = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^{-n} \quad (6)$$

или

$$Z\{f(iT)\} = \sum_{n=0}^{\infty} f(iT) z^{-n}. \quad (7)$$

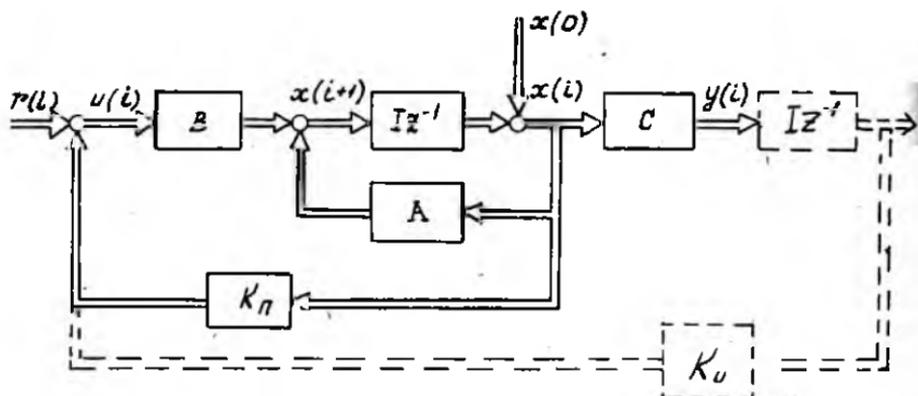
Программа "Дискретный переходный процесс *DP*" используется для определения переходного процесса замкнутой системы (рис.1).

$$x(i+1) = Ax(i) + Bu(i), \quad (8)$$

$$y(i) = Cx(i), \quad (9)$$

$$u(i) = [r(i) - K_n^T x(i)] \quad (10)$$

при произвольных начальных условиях $x(0) = x_0$ и входных воздейст-



Р и с. 1. Модель дискретного объекта в пространстве состояний с векторными П- и ПИ-регулятором

виях $r(i)$. Основой программы является алгоритм вычисления последующих значений $x(i+1)$ через предыдущие $x(i)$ и $u(i)$ в соответствии с рекуррентной формулой (8). Вычисление значения $u(i)$ в соответствии с формулой (9), где K_n^T - транспонированный вектор коэффициентов обратных связей. Задание $r(i)$ осуществляется при помощи генерации подпрограммы задания управляющих воздействий. Для построения переходного процесса с векторным ПИ-регулятором в программе *DP* предусмотрено расширение (8-10) до системы следующего вида

$$x(i+1) = Ax(i) + Bu(i), \quad (11)$$

$$y(i) = Cx(i), \quad (12)$$

$$x_{n+1}(i+1) = x_{n+1}(i) + y(i), \quad (13)$$

$$u(i) = r(i) - [K_n^T / K_u^T] \text{col} [x/x_{n+1}], \quad (14)$$

где $[x/x_{n+1}]$ - расширенный вектор состояния; K_n^T , K_u^T - транспонированные векторы коэффициентов соответственно при пропорциональных и интегрирующих составляющих.

Расширение системы (8-10) иллюстрируется на рис.1 пунктиром. Системы (8-10, 11-14) описывают реакцию системы на произвольное

возмущение $r(i)$ со стороны регулирующего органа. Путем соответствующего изменения входных матриц A, B, C программа обеспечивает анализ переходных процессов при возмущении заданием.

Программа "Определение переходного процесса в системе с ПИД-регулятором ZRES" предназначена для отыскания реакции

объекта $W_0(p) = \frac{\sum_{i=1}^n C_i p^i}{\prod_{i=1}^m (p - p_i)}$, охваченного обратной связью в виде

ПИД-регулятора. Алгоритм программы основан на вычислении Z -передаточной функции замкнутой системы в соответствии с соотношением

$$W_c(z) = \frac{W_0^*(z)}{1 + W_0^*(z)W_p(z)}, \quad (15)$$

где

$$W_0^*(z) = \frac{z-1}{z} z \left\{ \frac{W_0(p)}{p} \right\};$$

z - передаточная функция объекта и фиксатора; $W_p(z)$ - передаточная функция регулятора.

Вычисление дискретной передаточной функции $W_0^*(z)$ основано на разложении $\frac{W_0(p)}{p}$ на элементарные дроби и дальнейшем преобразовании в соответствии с соотношением

$$\frac{1}{p+\alpha} = \frac{z}{z-e^{-\alpha T}}.$$

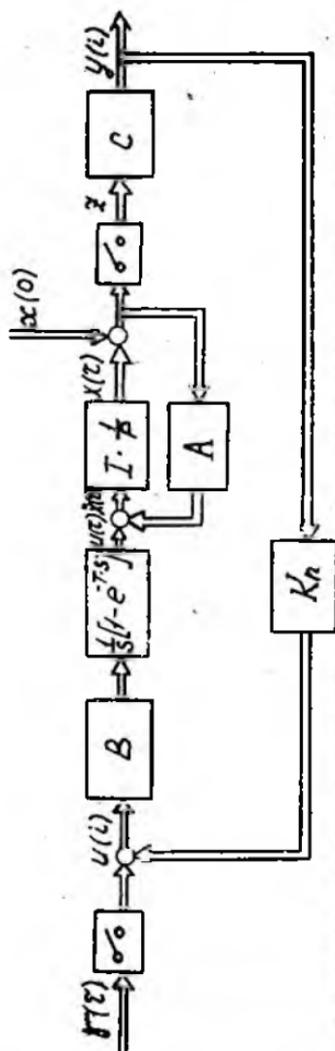
В ряде случаев, в частности, при больших периодах дискретизации или высокочастотных входных сигналах, модели (8-10), (11-14), (15) оказываются неудовлетворительными, так как отражают поведение системы лишь в дискретном множестве точек. Программа "Анализ дискретно-непрерывных систем ADRESP" обеспечивает построение переходных режимов на всем временном интервале работы системы. Модель системы (рис.2) в этом случае имеет вид

$$\dot{x}(\tau) = Ax(\tau) + Bu(\tau), \quad (16)$$

$$y(\tau) = Cx(\tau), \quad (17)$$

$$z(\tau) = y(\tau) \sum_{i=0}^{[\frac{\tau}{T}]} \delta(\tau - iT) = \sum_{i=0}^{[\frac{\tau}{T}]} y(iT) \delta(\tau - iT), \quad (18)$$

$$u(\tau) = \sum_{i=0}^{[\frac{\tau}{T}]} [r(iT) - K_0 u(iT)] [H(\tau - iT) - H[\tau - (i-1)T]], \quad (19)$$



Р и с. 2. Модель системы управления с дискретным регулятором в контуре управления

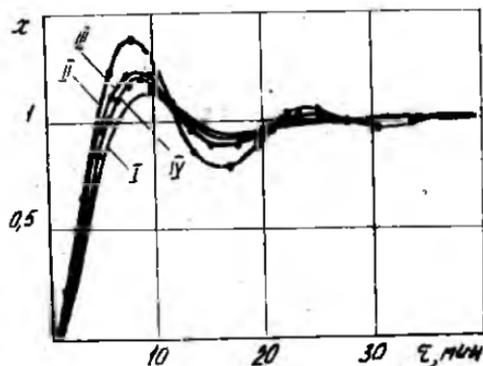
где $H(\tau)$ - единичная функция Хевисайда;
 $\delta(\tau)$ - дельта-функция Дирака.

Переходные процессы в системе (16-19) рассчитываются на основе метода Рунге-Кутты 4-го порядка.

Наряду с рассмотренными программными модулями в пакет входят программы:

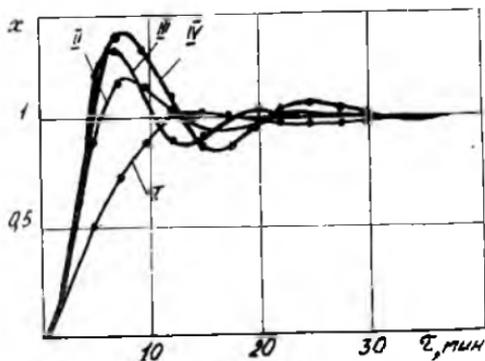
- RICCATI** - аналитическое конструирование нестационарного дискретного оптимального регулятора;
- DOBSERV** - анализ наблюдаемости дискретной системы управления;
- DCONT** - анализ управляемости дискретной системы;
- DCVANT** - выбор частоты квантования;
- ADD** - построение матрицы соединенных подсистем.

На рис. 3,4 приведены графики переходных процессов в системе управления с объектом $W(p) = \frac{3.5}{(3p+1)(7p+1)}$, построенные на основе программы **ZRES**, **DP** для разных частот квантования и настроек ПИ-регулятора.



Р и с. 3. Переходные процессы для объекта 2-го порядка с ПИ-регулятором ($K_D = 1$, $T_{и} = 10$) при различных значениях периодов квантования T :

- I - непрерывная система;
- II - $T = 2$ мин;
- III - $T = 1$ мин;
- IV - $T = 0,5$ мин



Р и с. 4. Переходные процессы для объекта II-го порядка с ПИ-регулятором при различных параметрах настройки регулятора и периоде дискретизации $T = 0,5$ мин:

- I - $K_p = 0,5$; $T_u = 10$;
 II - $K_p = 1$; $T_u = 10$;
 III - $K_p = 1,5$; $T_u = 10$;
 IV - $K_p = 1$; $T_u = 0,5$.

Л и т е р а т у р а

1. Базовое программное обеспечение АРМ. Краткое описание программ комплекса ГРАФОР. Инструкция по эксплуатации. -Таллин: Изд-во СНПО "Алгоритм", 1983.

2. Дж. Л. Мелса, Ст. К. Джонс. Программы в помощь изучающим теорию линейных систем управления. -М.: Машиностроение, 1981.