

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

Укладач

О. І. Шеремет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни
«Дискретні системи керування»

для студентів спеціальності 7.092203 всіх форм навчання

Затверджено
Декан ФАМІТ
_____ С.В. Подлесний

Затверджено
на засіданні
методичного семінару кафедри ЕСА
Протокол № 1 від 21 серпня 2012 р.

Краматорськ 2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни
«Дискретні системи керування»

для студентів спеціальності 7.092203 всіх форм навчання

Краматорськ 2012

Содержание

Распределение учебного времени.....	4
Лабораторная работа №1.....	5
Лабораторная работа №2.....	16

РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ

Триместр	Всього	Розподіл аудиторної роботи за триместрами та видами занять								Триместрова атестація
		Лекц.	Практичн.	Семін.	Лаб. роб	Комп'ют. практики	Контр. знань	СРС		
								Всього	У тому числі на викон. ІСЗ	
ЕСА 07-1, 2										
13	108	24			16		6	62	20	екзамен
Загальний обсяг 108 годин										

Лабораторная работа №1

Синтез передаточных функций замкнутой и разомкнутой САУ в программных средах Mathcad и MATLAB. Построение частотных характеристик.

Цель работы – научиться использовать TF-, SS- и ZPK-подклассы для анализа основных параметров аналоговых и дискретных САУ.

Форма занятий – создание программного продукта в среде MATLAB, реализующего заданные функциональные возможности дискретной системы управления, защита работы.

Последовательность занятия

1. Изучение теоретических основ и краткий опрос по теории изучаемого курса (20 мин).
2. Формализация поставленной задачи и перевод ее на язык внутреннего программирования системы MATLAB (40 мин).
3. Создание необходимого программного кода и его тестирование на работоспособность (50 мин).
4. Построение требуемых переходных функций дискретной САУ и их анализ (30 мин).
5. Формирование выводом по работе и ее защита (30 мин).

Перечень знаний, навыков, формируемых в процесс выполнения работы

1. Класс LTI

Основными вычислительными объектами Control System Toolbox являются:

- родительский объект (класс) **LTI** - (*Linear Time-Invariant System* - линейные, инвариантные во времени системы); в русскоязычной литературе за этими системами закрепилось название *линейных стационарных систем* (ЛСС);

- дочерние объекты (классы), т. е. подклассы класса **LTI**, которые отвечают трем разным представлениям ЛСС:

- **TF** - объект (*Transfer Function* - передаточная функция);

- **ZPK** - объект (*Zero-Pole-Gain* - нули-полюсы-коэффициент передачи);

- **SS** - объект (*State Space* - пространство состояний).

Объект **LTI**, как наиболее общий, содержит информацию, не зависящую от конкретного представления и типа ЛСС (непрерывного или дискретного).

Дочерние объекты определяются конкретной формой представления ЛСС, т. е. зависят от модели представления.

Объект класса **TF** характеризуется векторами коэффициентов полиномов числителя и знаменателя рациональной передаточной функции.

Объект класса **ZPK** характеризуется векторами, которые содержат значения нулей, полюсов передаточной функции системы и коэффициента передачи системы.

Наконец, объект класса **SS** определяется четырьмя матрицами, описывающих динамическую систему в пространстве состояний.

Пример задания системы с помощью дочернего класса TF:

```
>> sys=tf([2],[3 1]);
```

Transfer function:

```
  2
-----
 3 s + 1
```

Пример задания системы с помощью дочернего класса ZPK:

```
>> sys=zpk([1],[2, 3],10);
```

Zero/pole/gain:

10 (s-1)

(s-2) (s-3)

```
>> sys=zpk([], [2, 3], 10)
```

Zero/pole/gain:

10

(s-2) (s-3)

Пример задания системы с помощью дочернего класса SS:

```
>> A=[ 2, 1; 3, 5]; B=[0; 4]; C=[1, 7]; D=0; sys=ss(A, B, C, D);
```

a =

	x1	x2
x1	2	1
x2	3	5

b =

	u1
x1	0
x2	4

c =

	x1	x2
y1	1	7

d =

	u1
y1	0

Continuous-time model.

В MATLAB существует функция `c2d`, отвечающая за преобразование заданной непрерывной системы в дискретную систему. В качестве моделей могут быть указаны TF, SS, или ZPK-модели.

Функция `d2c` осуществляет обратное преобразование. Команда поддерживает несколько методов дискретизации, включая экстраполятор нулевого порядка – Zero-order Hold (ZOH), экстраполятор первого порядка First-order Hold (FOH), приближение Тастина, а также приближение с соответствием нулей и полюсов.

Синтаксис

```
sysd = c2d (sysc, Ts); % Ts = период выборки  
sysc = d2c (sysd);
```

В таком виде команда выполняет ZOH преобразование по умолчанию. Чтобы использовать альтернативные конверсионные схемы, следует определить желаемый метод как дополнительный параметр:

```
sysd = c2d (sysc, Ts, 'foh'); % экстраполятор первого порядка
sysc = d2c (sysd, 'tustin'); % приближение Тастина
```

2. Дискретизация с экстраполятором нулевого порядка (ZOH)

Дискретизация с экстраполятором нулевого порядка непрерывной LTI-модели изображена на рис. 1

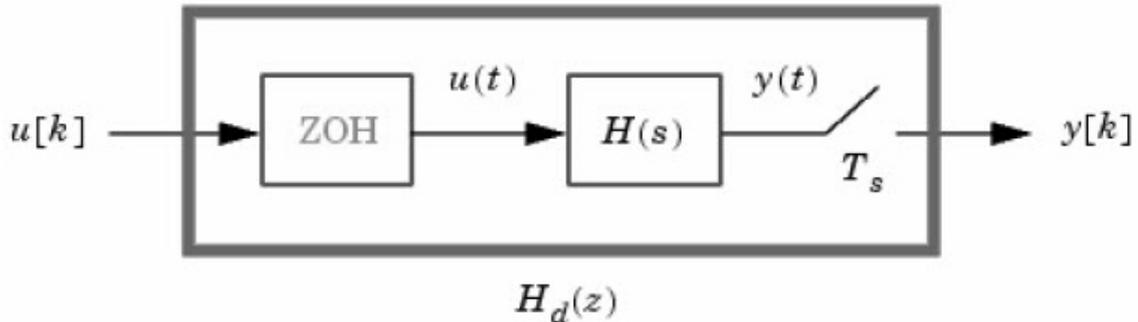


Рисунок 1 – Дискретизация непрерывной модели с экстраполятором нулевого порядка

ZOH-устройство генерирует непрерывный входной сигнал $u[k]$, поддерживая каждую величину $u(t) = u[k]$ постоянной в течение одного периода квантования:

$$u(t) = u[k], \quad kT_s \leq t \leq (k+1)T_s$$

Сигнал $u(t)$ подается непрерывной системе $H(s)$, получающийся выход $y(t)$ отбирается каждые T_s секунд, для получения $y[k]$.

Наоборот, для данной дискретной системы, преобразование d2c построит непрерывную систему $H(s)$, чья ZOH-дискретизация совпадает с $H_d(s)$.

Это обратное действие имеет следующие ограничения:

- d2c не может работать с LTI-моделями с полюсами в $z = 0$;
- отрицательные вещественные полюса в области z отображаются парой комплексных полюсов в области s . В результате преобразование d2c дискретной системы с отрицательными вещественными полюсами построит непрерывную систему с более высоким порядком.

FOH отличается от ZOH механизмом экстраполяции. Для перевода входной последовательности импульсов $u[k]$ в непрерывный выход $u(t)$ FOH использует линейную интерполяцию:

$$u(t) = u[k] + \frac{t - kT_s}{T_s} (u[k+1] - u[k]), \quad kT_s \leq t \leq (k+1)T_s$$

Этот метод является более точным, чем ZOH, применяется при больших значениях T_s . Доступен только для c2d-преобразования.

Пример преобразования с повышением порядка:

```
>> Hd=zpk([],-0.5,1,0.1);
>> Hd
```

Zero/pole/gain:

1

(z+0.5)

Sampling time: 0.1

```
>> Hd=zpk([],-0.5,1);  
>> Hd
```

Zero/pole/gain:

1

(s+0.5)

```
>> Hd=zpk([],-0.5,1,0.1); %Дополнит. Параметр указывает на значение периода квант.  
>> Hd
```

Zero/pole/gain:

1

(z+0.5)

Sampling time: 0.1

```
>> Hc=d2c(Hd);
```

Warning: The model order was increased to handle real negative poles.

> In warning at 26

In ltipack.ssddata.utInvDiscretizeZOH at 76

In ltipack.ssddata.d2c at 21

In ltipack.zpkdata.d2c at 152

In lti.d2c at 60

```
>> Hc
```

Zero/pole/gain:

4.621 (s+149.3)

(s^2 + 13.86s + 1035)

Если снова провести дискретизацию, то получится оригинальная дискретная система (с сокращаемой парой полюс/нуль в $z = -0.5$):

```
>> c2d(Hc,0.1)
```

Zero/pole/gain:

(z+0.5)

(z+0.5)^2

Sampling time: 0.1

3. Построение переходных процессов в дискретных САУ

Можно изменить время квантования TF, SS, или ZPK-модели sys1, используя команду: sys2 = d2d(sys1, Ts). Новый период квантования Ts не должен быть кратным предыдущему.

Реакцию на единичный скачок для систем с различным периодом квантования можно получить следующим образом:

```
>> h1=tf([1 0.4], [1 -0.7], 0.1)
```

Transfer function:

$$z + 0.4$$

$$z - 0.7$$

Sampling time: 0.1

```
>> h2=d2d(h1, 0.25)
```

Transfer function:

$$z + 1.754$$

$$z - 0.41$$

Sampling time: 0.25

```
>> step(h1, '-', h2, '-')
```

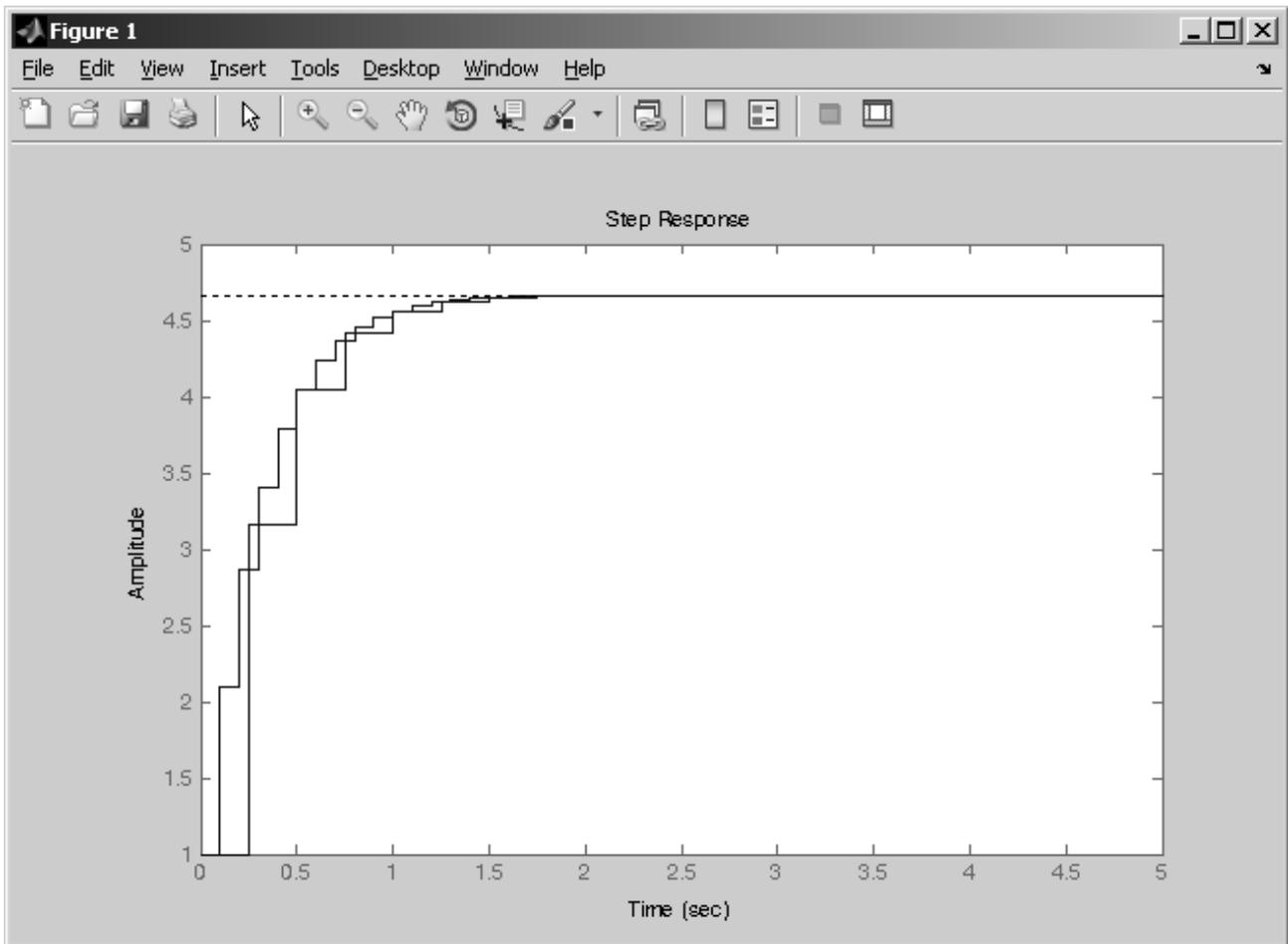


Рисунок 2 – Дискретизация непрерывной модели с экстраполятором нулевого порядка

Можно также использовать `c2d` для дискретизации систем с запаздыванием:

- задержка τ секунд в непрерывной модели отображена к задержке к тактов в дискретизированной модели, где $k = \text{fix}(\tau/T_s)$;
- остаточная задержка $\tau - k \cdot T_s$ поглощается коэффициентами дискретизированной модели (только для методов с экстраполяцией нулевого и первого порядков).

Например, для того, чтобы дискретизировать передаточную функцию $H(s) = e^{-0.25s} \frac{10}{s^2 + 3s + 10}$ с использованием экстраполяции нулевого порядка при периоде квантования 0,1, следует выполнить:

```
>> h=tf(10, [1 3 10], 'inputdelay', 0.25)
```

Transfer function:

$$\exp(-0.25*s) * \frac{10}{s^2 + 3 s + 10}$$

```
>> hd=c2d(h,0.1)
```

Transfer function:

$$z^{(-3)} * \frac{0.01187 z^2 + 0.06408 z + 0.009721}{z^2 - 1.655 z + 0.7408}$$

Sampling time: 0.1

Сравнение реакции на ступенчатое воздействие для непрерывной и дискретной систем:

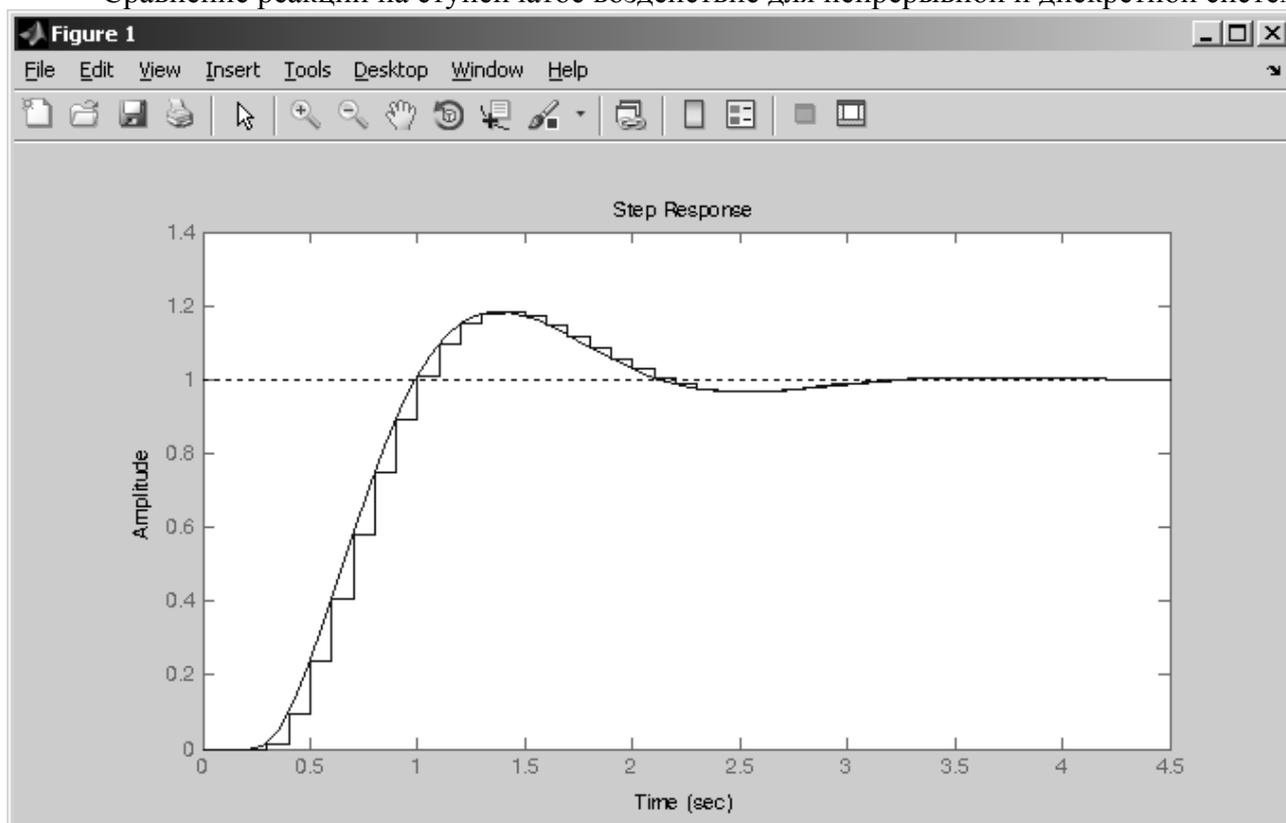


Рисунок 3 – Сравнение реакций на ступенчатое воздействие для непрерывной и дискретной систем

Для построения дискретной модели, заданной в пространстве состояний или в форме передаточной функции системы можно также использовать команду `c2dm`, записанную одним из следующих способов:

```
[numDz, denDz] = c2dm (num, den, Ts, 'zoh')
```

```
[F,G,H,J] = c2dm (A, B, C, D, Ts, 'zoh')
```

Пример построения дискретной модели по передаточной функции:

Пусть есть непрерывная передаточная функция

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k},$$

где $M = 1$ кг; $b = 10 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$; $k = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; $F(s) = 1\text{Н}$; $T_s = 0,01$ с.

Создадим внутренний файл системы MATLAB, так называемый m-файл. Для этого в главном окне следует выбрать меню `File` → `New` → `M-File`:

```
M = 1;
```

```
b = 10;
```

```
k = 20;
```

```
num = [1];
```

```
den = [M, b, k];
```

```
Ts = 1/100;
```

```
[numDz, denDz] = c2dm(num, den, Ts, 'zoh')
```

Далее файл следует сохранить под любым англоязычным именем, например lab1.m. Далее, в меню редактора следует выбрать Debug → Run lab1.m. После этого результат его работы появится в рабочем пространстве MATLAB.

Если теперь в главном окне набрать имя файла, то получим результат его выполнения:

```
>> lab1
```

```
numDz =
```

```
1.0e-004 *
```

```
0 0.4837 0.4678
```

```
denDz =
```

```
1.0000 -1.9029 0.9048
```

Коэффициенты матриц числителя и знаменателя будут представлены по убыванию степеней z . Исходя из вида этих матриц, можно записать передаточную функцию:

$$\frac{X(z)}{F(z)} = \frac{0,0001(0,4837z + 0,4678)}{z^2 - 1,9029z + 0,9048}$$

Пример построения дискретной модели по матрицам в пространстве состояний:

Пусть есть непрерывная передаточная функция

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -k/M & -b/M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1/M \end{pmatrix} (F)$$

$$y = (1 \ 0) \begin{pmatrix} x \\ v \end{pmatrix} + (0)(F)$$

где $M = 1 \text{ кг}$; $b = 10 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$; $k = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; $F(s) = 1\text{Н}$; $T_s = 0,01 \text{ с}$.

Создаем еще один файл, например, lab1_.m:

```
M = 1;
```

```
b = 10;
```

```
k = 20;
```

```
A = [0 1; -k/M -b/M];
```

```
B = [0; 1/M];
```

```
C = [1 0];
```

```
D = [0];
```

```
Ts = 1/100;
```

```
[F, G, H, J] = c2dm(A, B, C, D, Ts, 'zoh')
```

Запуск этого файла дает следующий результат:

```
>> lab1_
```

```
F =
```

```
0.9990 0.0095
```

```
-0.1903 0.9039
```

G =

0.0000
0.0095

H =

1 0

J =

0

Корни полиномов можно найти, воспользовавшись функцией roots(A).

Перечень контрольных вопросов

1. Понятие аналоговой и цифровой системы управления.
2. Различие между понятиями «цифровая» и «импульсная» система автоматического управления.
3. Суть понятия «квантование», виды квантования.
4. Основные параметры последовательности импульсов, варьируемые при цифровом управлении.
5. Суть амплитудно-импульсной модуляции первого и второго рода.
6. Широотно-импульсная и фазоимпульсная модуляции: общие сведения.
7. Импульсный элемент, основные параметры характеризующие его.
8. Передаточная функция экстраполятора. Его назначение. Понятие экстраполятора нулевого порядка.
9. Понятие δ - импульса.
10. Назначение формирователя, передаточная функция простейшего формирователя, ее вывод.

Задание на самостоятельную работу:

1. Для заданной передаточной функции непрерывной САУ (таблица 1) определить передаточные функции дискретизированной САУ с использованием TF, ZPK и SS – классов, а также обоих видов экстраполяторов (ZOH и FOH).
2. Построить переходные процессы при реакции аналоговой и дискретной САУ на единичное ступенчатое воздействие для случая применения экстраполятора ZOH и FOH, совместив в одной системе координат зависимости для ZOH-системы при периодах квантования $T_s, T_s/2, T_s/3$ и аналоговой САУ, а в другой – то же для FOH-системы.
3. Выполнить пункт 1, используя m-файлы и возможности классов TF и SS.
4. Сделать выводы о влиянии периода квантования на характер переходного процесса.

Таблица 1 – Передаточные функции непрерывной САУ

Передаточная функция	$W(s) = \frac{a_1s + a_0}{b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0}$
Вариант	Параметры передаточной функции

	a ₁	a ₀	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀	T _s , c
01	0,25	10	0,0011	0,212	12	120	0,012
02	0,35	11	0,0022	0,325	36	121	0,023
03	0,45	12	0,0038	0,341	31	235	0,031
04	0,55	13	0,0098	0,554	23	221	0,045
05	0,17	14	0,0012	0,551	12	231	0,052
06	0,28	15	0,0096	0,355	15	243	0,066
07	0,96	16	0,0017	0,987	94	125	0,071
08	0,85	17	0,018	0,355	65	136	0,082
09	0,37	18	0,036	0,478	15	117	0,093
10	0,24	19	0,064	0,341	52	109	0,013
11	0,73	20	0,097	0,951	26	198	0,025
12	0	21	0,032	0,581	34	110	0,036
13	0,95	22	0,0018	0,552	36	91	0,047
14	1,2	23	0,0079	0,694	53	98	0,059
15	2,5	24	0,0067	0,155	64	82	0,061
16	3,7	25	0,0014	0,364	94	320	0,073
17	4,6	26	0,0132	0,615	29	301	0,081
18	7,3	27	0,0284	0,187	35	292	0,092
19	6,2	28	0,0311	0,284	29	234	0,011
20	9,2	29	0,154	0,384	28	341	0,023
21	4,8	30	0,0715	0,145	48	328	0,038
22	7,7	31	0,0641	0,525	13	371	0,042
23	6,5	32	0,0321	0,441	15	231	0,058
24	0,06	33	0,0212	0,454	94	247	0,063
25	0,08	34	0,0025	0,547	24	203	0,071
26	0,09	35	0,0052	0,581	26	193	0,086
27	0,03	36	0,0038	0,945	65	186	0,091
28	12,2	37	0,0087	0,874	84	137	0,017
29	13,4	38	0,0141	0,664	52	124	0,024
30	16,7	39	0,0251	0,554	25	321	0,039
31	11,9	40	0,0541	0,158	23	215	0,041
32	8,8	41	0,584	0,751	27	114	0,053
33	9,3	42	0,0368	0,712	81	300	0,067
34	3,2	43	0,0344	0,716	29	125	0,079
35	10,1	44	0,0369	0,547	24	402	0,081
36	8,7	45	0,0125	0,151	49	410	0,093
37	0,96	46	0,0321	0,255	43	361	0,016
38	0,67	47	0,0154	0,541	64	231	0,021
39	2,7	48	0,0951	0,513	46	287	0,033
40	3,3	49	0,0378	0,149	51	120	0,044
41	3,7	50	0,0361	0,924	23	137	0,055
42	4,9	51	0,0183	0,123	32	192	0,066
43	7,3	52	0,0217	0,215	58	146	0,078
44	11,8	53	0,0298	0,772	13	231	0,086

Продолжение таблицы 1

Передаточная функция	$W(s) = \frac{a_1s + a_0}{b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0}$						
Вариант	Параметры передаточной функции						
	a_1	a_0	b_3	b_2	b_1	b_0	T_s, c
45	24,9	54	0,0361	0,619	51	274	0,093
46	12,5	55	0,0373	0,135	55	241	0,012
47	0,8	56	0,0392	0,842	81	360	0,023
48	0,61	57	0,0235	0,157	56	390	0,034
49	0,92	58	0,0975	0,521	62	325	0,041
50	1,35	59	0,0241	0,348	77	311	0,053
51	1,96	60	0,0561	0,517	88	198	0,062
52	2,37	61	0,0541	0,549	97	127	0,071

Перечень рекомендуемых источников

1. Э Джури. Импульсные системы автоматического регулирования. – М.: Физматгиз, 1963. – 456 с.
2. Я.З. Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 968 с.
3. В.А. Бесекерский. Цифровые автоматические системы.-М.:Наука, 1976. –576 с.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с
5. Х. Квакернаак, Р. Сиван. Линейные оптимальные системы управления. Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 638 с
6. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М. : Мир, 1984. – 541 с.
7. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 288 с.
8. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

Лабораторная работа №2

Исследование устойчивости дискретных систем в среде MATLAB.

Общие подходы к коррекции дискретных систем.

Цель работы – научиться использовать TF-, SS- и ZPK-подклассы для корневого и частотного анализа дискретных систем.

Форма занятий – создание программного продукта в среде MATLAB, реализующего заданные функциональные возможности дискретной системы управления, защита работы.

Последовательность занятия

1. Изучение теоретических основ и краткий опрос по теории изучаемого курса (20 мин).
2. Формализация поставленной задачи и перевод ее на язык внутреннего программирования системы MATLAB (40 мин).
3. Создание необходимого программного кода и его тестирование на работоспособность (50 мин).
4. Построение требуемых переходных функций дискретной САУ и их анализ (30 мин).
5. Формирование выводом по работе и ее защита (30 мин).

Перечень знаний, навыков, формируемых в процесс выполнения работы

Для непрерывных систем поведение определяется расположением полюсов на s-плоскости. Например, система неустойчива, если полюса расположены в правой полуплоскости. Поведение дискретных систем можно анализировать, исходя из расположения полюсов на плоскости z. Характеристики плоскости z могут быть соотнесены с характеристиками плоскости s в соответствии с выражением $z = e^{sT_0}$.

Мнимая ось (граница области устойчивости на плоскости z) переходит в окружность единичного радиуса (граница области устойчивости на плоскости z) $|z|=1$. Система будет устойчивой, если все полюса расположены внутри единичной окружности, и неустойчивой, если хотя бы один полюс расположен вне ее.

Для анализа переходной характеристики применяются те же три уравнения, которые используются и для непрерывных систем:

$$\xi\omega_n \geq \frac{4.6}{T_s}$$
$$\omega_n \geq \frac{1.8}{T_r}$$
$$\xi \geq \frac{\sqrt{\left(\frac{\ln M_p}{\pi}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\ln M_p}{\pi}\right)^2}}$$

где

zeta = скорость затухания

ω_n = собственная частота (радиан/сек)

T_s = время стабилизации

T_r = время нарастания

M_p = максимальное перерегулирование

Важно: собственная частота (W_n) на плоскости z -plane измеряется в радиан/выборка, но при использовании приведенных выше уравнений в качестве единицы измерения W_n нужно брать радиан/сек.

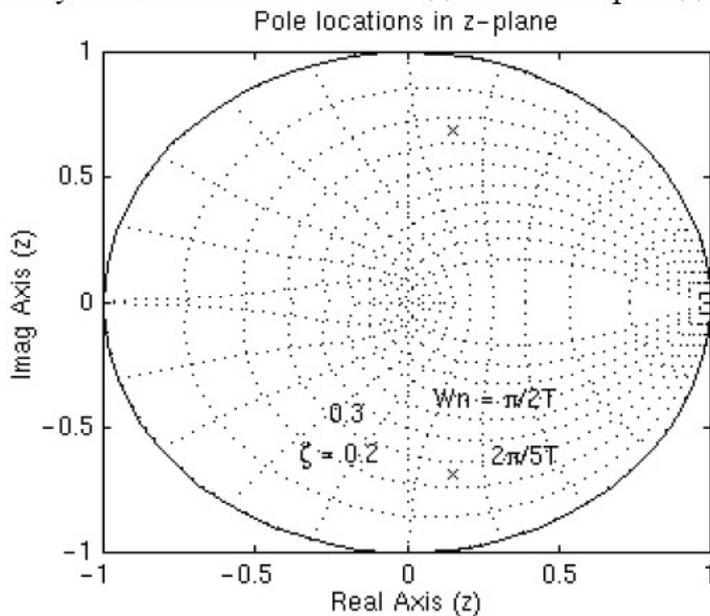
Пусть есть дискретная передаточная функция:

$$\frac{Y(z)}{F(z)} = \frac{1}{z^2 - 0.3z + 0.5}$$

Создадим новый m -file и запишем в него команды:

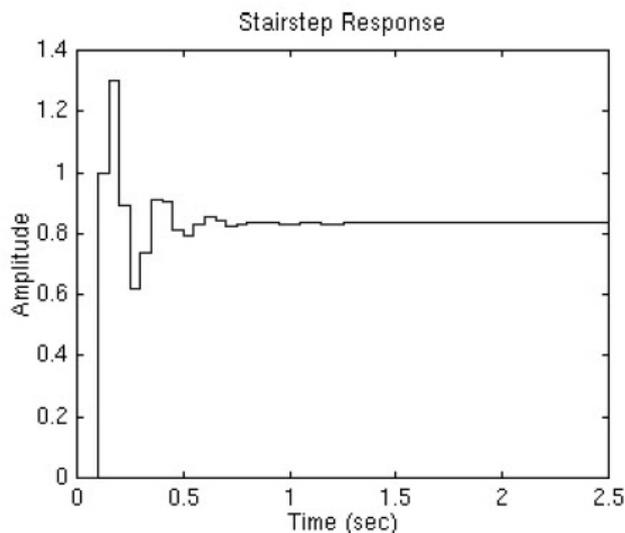
```
numDz=[1];
denDz=[1 -0.3 0.5];
pzmap(numDz,denDz)
axis([-1 1 -1 1])
zgrid
```

Запуск этого m -file в командном окне приведет к отображению графика:



Можно видеть, что полюса расположены приблизительно в области собственной частоты $9\pi/20T$ (рад./выб.) и скорости затухания 0.25. Принимая, что время выборки составляет $1/20$ сек (что приводит к $W_n = 28.2$ рад/сек), и используя приведенные выше три уравнения, определяем, что рассматриваемая система должна иметь время нарастания 0.06 сек., время установления 0.65 сек. и максимальное перерегулирование 45% (установившегося значения). Получим переходную характеристику и покажем, что эти утверждения верны. Для этого добавим приведенные ниже команды в m -file и вернемся в командное окно. После запуска получим переходную характеристику.

```
[x] = dstep (numDz,denDz,51);
t = 0:0.05:2.5;
stairs (t,x)
```

На графике видно, что время нарастания, время установления и перерегулирование таковы, как и предполагалось. Таким образом, мы доказали, что можно использовать расположение полюсов и приведенные три уравнения для анализа переходной характеристики.

Discrete Root-Locus

Траектория представляет собой расположение точек, в которых могут находиться корни характеристического уравнения при изменении усиления от 0 до бесконечности. Характеристическое уравнение для системы с обратной связью:

$$1 + KG(z)Hzoh(z) = 0$$

где $G(z)$ – компенсатор, примененный к цифровому контроллеру, а $H(z)$ – передаточная функция объекта.

Механизм построения траектории для плоскостей z и s аналогичен. В случае непрерывных систем используется функция `sgrid`, в случае дискретных систем используется функция `zgrid`, обладающая теми же характеристиками. Команда `zgrid(zeta, Wn)` прорисовывает линии постоянной скорости затухания ($zeta$) и собственной частоты (Wn).

Пусть есть дискретная передаточная функция:

$$\frac{Y(z)}{F(z)} = \frac{z - 0.3}{z^2 - 1.6z + 0.7}$$

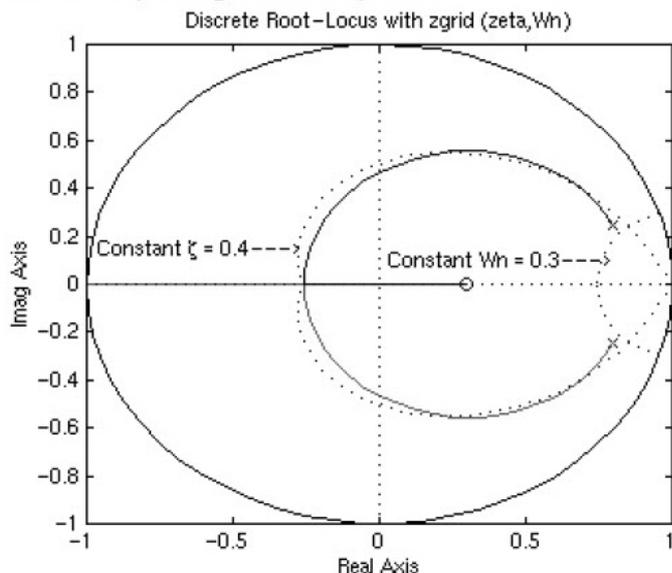
и требования к скорости затухания (больше 0.6) и собственной частоте (больше 0.4 рад./выб.). Создадим новый `m-file` и запишем в него:

```
numDz=[1 -0.3];
denDz=[1 -1.6 0.7];
```

```
rlocus (numDz,denDz)
axis ([-1 1 -1 1])
```

```
zeta=0.4;
Wn=0.3;
zgrid (zeta,Wn)
```

После запуска файла получим:



По виду графика можно сделать вывод, что система устойчива, так как все полюса находятся внутри окружности единичного радиуса с центром в начале координат. Кроме того, видны две линии, прорисованные точками – постоянной скорости затухания и собственной частоты. Собственная частота превышает 0.3 вне постоянной- W_n линии, а скорость затухания превышает 0.4 внутри постоянной- ζ линии. В этом примере траектория расположена в желаемой области. In this example, we do have the root-locus drawn in the desired region. Следовательно, усиление (K), выбранное из локусов в желаемой области, даст реакцию, удовлетворяющую требованиям разработки.

Ltview

Средство просмотра LTI для анализа реакции системы.

Синтаксис:

```
Ltview
Ltview (sys1, sys2, ..., sysn)
Ltview ('plottype', sys1, sys2, ..., sysn)
Ltview ('plottype', sys, extras)
Ltview (' clear ', viewers)
Ltview('current',sys1,sys2,....,sysn,viewers)
```

Описание

Вызов Ltview без параметров инициализирует новое LTI-средство просмотра для LTI анализа реакции системы.

Ltview (sys1, sys2, ..., sysn) открывает LTI Средство просмотра, содержащее реакцию на скачок LTI-моделей sys1, sys2, ..., sysn. Для каждой из систем можно определить отличительный цвет, тип линии, и маркер:

```
>> Sys1 = rss (3, 2, 2);
>> Sys2 = rss (4, 2, 2);
>> Ltview (sys1, ' r- * ', sys2, ' m. - ');
```


Ltview ('plottype', sys) инициализирует LTI-средство просмотра, содержащее тип реакции, обозначенный как plottype для модели системы. Значение plottype может быть любым из:

- 'step'
- 'impulse'
- 'initial'
- 'lsim'
- 'pzmap'
- 'bode'
- 'nyquist'
- 'nichols'
- 'sigma'

Кроме того, plottype может представлять собой вектор размерностью до шести из таких типов. Например, команда Ltview ({'step'; 'nyquist'}, sys) показывает графики обоих типов реакции для данной системы.

Ltview (plottype, sys, extras) допускают наличие дополнительных входных аргументов, поддерживаемых различными частотными характеристиками модели LTI, которые будут переданы к команде ltview. Extras - один или более входных аргументов, определенных функцией в plottype. Эти аргументы могут быть обязательными или опциональными в зависимости от типа LTI реакции. Например, если plottype - 'step', тогда extras может представлять собой желаемое время завершения, T_{final} , как показано ниже.

```
Ltview ('step', sys, Tfinal)
```

Однако если plottype - 'initial', аргументы extras должны содержать начальные условия x_0 , а также могут содержать аргументы типа T_{final} :

```
ltview('initial', sys, x0, Tfinal)
```

Ltview ('clear', viewers) очищают графики и данные от LTI -средств просмотра с дескрипторами viewers.

Ltview('current',sys1,sys2,...,sysn,viewers) добавляет новые записи реакции систем sys1, sys2, ..., sysn на LTI-средства просмотра с дескрипторами viewers. Если эти новые системы имеют размерность входа/выхода, отличную от текущей размерности LTI-средства просмотра, то оно предварительно очищается, после чего отображаются новые реакции систем.

И, наконец,

```
Ltview (plottype, sys1, sys2, ... sysN)
```

```
Ltview (plottype, sys1, PlotStyle1, sys2, PlotStyle2, ...)
```

```
Ltview (plottype, sys1, sys2, ... sysN, extras)
```

инициализируют LTI-средство просмотра, содержащее реакции множества моделей, используя графические стили, указанные в PlotStyle.

Частотная характеристика

Команда bode позволяет получить частотную характеристику моделей LTI

bode - вычисляет амплитуду и фазу частотной характеристики модели LTI. Вызов без указания аргументов приведет к отображению диаграммы Боде на экране. Амплитуда выражена в децибелах (dB), фаза - в градусах. Вычисление децибел для mag осуществляется как $20\log_{10}(|H(j\omega)|)$, где $|H(j\omega)|$ является частотной характеристикой системы. Диаграммы Боде используются для

анализа таких свойств системы, как предел усиления, пороговое значение фазы, коэффициента усиления, ширины полосы частот, подавление внешних воздействий и устойчивость системы.

`bode(sys)` – строит диаграмму реакции произвольной модели системы. Эта модель может быть непрерывна или дискретна, SISO или MIMO. В MIMO случае, команда составит массив диаграмм Боде, каждый график в котором будет показывать реакцию одного определенного канала входа-выход. Диапазон частот определяется автоматически, основываясь на расположении корней и полюсов.

`bode(sys,w)` – явно определяет диапазон частот или частоты, которые будут использоваться для построения графика. Для фокусировки на определенном интервале частот `[wmin, wmax]` следует задать `w = {wmin, wmax}`. Чтобы использовать специфические частоты, укажите в качестве `w` вектор желательных частот. Используйте `logspace` для генерации логарифмически разделенных векторов частот. Все частоты должны быть определены в радианах/сек.

`bode(sys1,sys2,...,sysN)`, `bode(sys1,sys2,...,sysN,w)` – размещают реакции нескольких LTI-модели на одном графике. Все системы должны иметь одинаковое число входов и выходов. Кроме того, здесь могут быть микшированы непрерывные и дискретные системы.

`bode(sys1,'PlotStyle1',...,sysN,'PlotStyleN')` – определяет, какой цвет, стиль линии и маркер должен использоваться для графика каждой системы. Например,

```
>> bode(sys1, 'r - ', sys2, 'gx')
```

использует красные пунктирные линии для первой системы `sys1` и зеленые маркеры 'x' для системы `sys2`.

Когда команда `bode` вызывается с аргументами в левой части:

- `[mag,phase,w] = bode(sys)`
- `[mag,phase] = bode(sys,w)`,

возвращается амплитуда и фаза (в градусах) частотной характеристики в частотах `w` (в рад/сек). Выходы амплитуда и фаза являются трехмерными матрицами. Амплитуду можно выразить в децибелах:

```
>> Magdb = 20*log10(mag)
```

Пример

Построим диаграмму Боде для непрерывной SISO системы:

$$H(s) = \frac{s^2 + 0.1s + 7.5}{s^4 + 0.12s^3 + 9s^2}, \text{ и ее дискретизации.}$$

```
>> g = tf([1 0.1 7.5], [1 0.12 9 0 0]);  
>> bode(g)
```

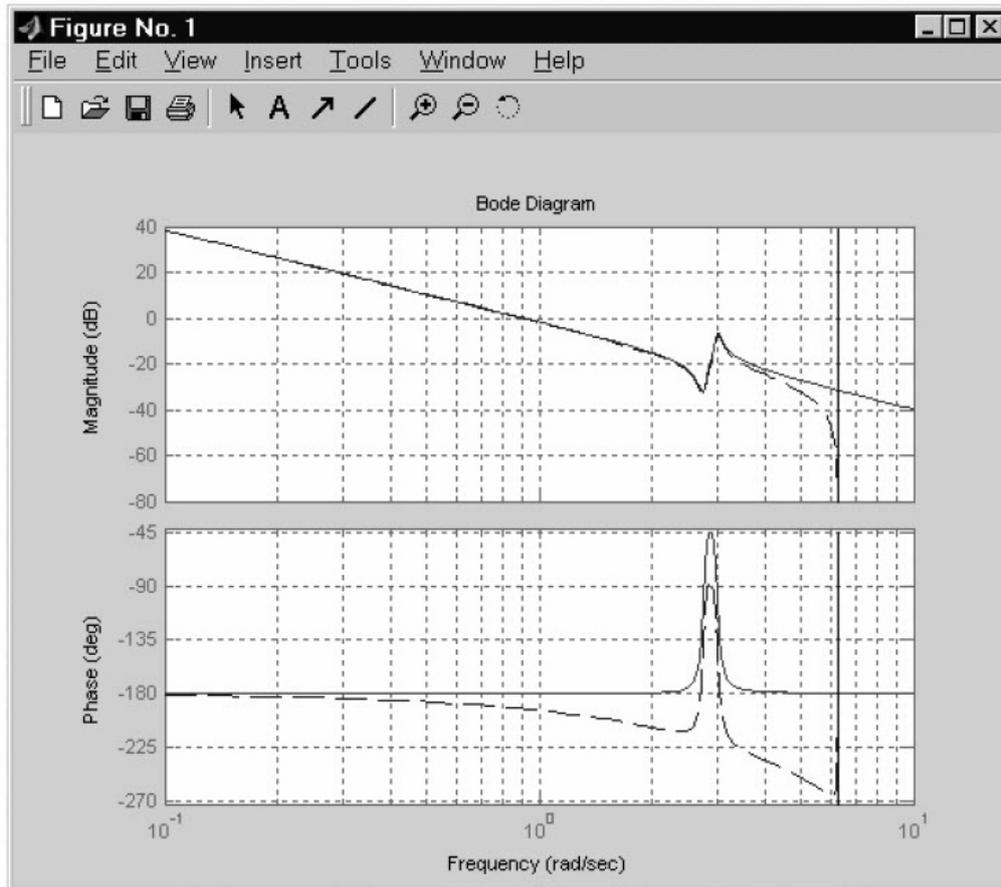
Для получения реакции в более широком диапазоне частот, например, от 0.1 до 100 рад/сек, следует набрать:

```
>> bode(g, {0.1, 100});
```


Затем построим дискретную модель, используя экстраполяцию нулевого порядка и $T_s = 0.5$ секунд, и сравним непрерывные и дискретизированные реакции, набрав:

```
>> gd = c2d(g, 0.5)
>> bode(g, 'r', gd, 'b--')
```

В этом случае график будет иметь вид:



Для дискретных систем частотная характеристика получается путем оценивания передаточной функции $H(z)$ в единичном круге. Чтобы облегчить истолкование, верхняя половина единичного круга параметризована как

$$z = e^{j\omega T_s}, \quad 0 \leq \omega \leq \omega_N = \frac{\pi}{T_s},$$

где T_s является временем выборки, ω_N - частота Найквиста. Эквивалент "непрерывной частоты" ω затем используется как переменная x -оси.

Поскольку $H(e^{j\omega T_s})$ периодична с периодом $2\omega_N$, команда bode отобразит реакцию только до частоты Найквиста ω_N . Если время T_s не определено, по умолчанию принимается $T_s = 1$.

Если система имеет полюс на единичном круге (в дискретном случае) и w , содержит эту частоту, коэффициент усиления бесконечен, $j\omega I - A$ является сингулярной, и bode выведет предупреждающее сообщение:
«Singularity in freq. response due to jw-axis or unit circle pole.»

Перечень контрольных вопросов

1. Влияние квантования на установившуюся ошибку.
2. Вычисление установившегося значения ошибки для конечного значения решетчатой функции. Исключительные случаи.
3. Оценки качества импульсных систем.
4. Интегральные оценки качества импульсных систем.
5. Задачи, решаемые в процессе коррекции цифровых систем управления.

Задание на самостоятельную работу:

1. По найденной передаточной функции дискретной САУ из лабораторной работы №1 построить график расположения корней на z-плоскости для значений $T_s, T_s/2, T_s/3$, а также траектории перемещения корней Root Locus.

2. В одной системе координат построить частотные характеристики для непрерывной системы и для дискретных систем со значениями периода квантования $T_s, T_s/2, T_s/3$.

3. Сделать выводы о влиянии периода квантования на характер частотных характеристик и траекторий перемещения корней в z-плоскости.

Перечень рекомендуемых источников

1. Э Джури. Импульсные системы автоматического регулирования. – М.: Физматгиз, 1963. – 456 с.
2. Я.З. Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 968 с.
3. В.А. Бесекерский. Цифровые автоматические системы. – М.: Наука, 1976. – 576 с.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с
5. Х. Квакернаак, Р. Сиван. Линейные оптимальные системы управления. Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 638 с
6. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
7. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
8. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.