

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт Прикладной математики, информатики и управления

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ
«МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4
«Показатели качества цифровых систем управления»

Ханты-Мансийск, 2009

Цель работы: изучить основные показатели качества цифровых систем автоматического управления.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.1 Общие сведения. Оценка качества цифровых САУ.

Качество дискретных систем управления определяется аналогично непрерывным системам, и разделяются на показатели качества *в переходном* и *установившемся* режимах.

1.2 Показатели качества в переходном режиме

Показатели качества в переходном режиме делятся на *прямые* и *косвенные*. Прямыми показателями качества называются числовые показатели, которые определяются по переходной характеристике. Показатели качества, определяемые не по переходной характеристике, называются косвенными.

Прямые показатели качества

Среди прямых показателей наиболее часто используются *время регулирования* и *перерегулирование*.

Временем регулирования t_p называется минимальное время, по истечении которого отклонение переходной характеристики от установившегося значения $h(\infty)$ не превышает заданной величины Δ (Обычно принимают $\Delta = (0,02 - 0,1) h(\infty)$).

Перерегулированием называют максимальное отклонение переходной характеристики от установившегося значения, выраженное в процентах к установившемуся значению.

Для графического определения прямых показателей качества необходимо иметь переходную характеристику. Ее можно построить по дискретной переходной функции $h[nT]$, соединяя дискретные точки плавной кривой.

Рассмотрим вычисление переходной функции. По определению переходная функция $h[nT]$ есть функция, которая описывает реакцию системы на единичное воздействие $g[nT] = 1[nT]$ при нулевых начальных условиях. И так как z -изображение от единичной решетчатой функции имеет вид $G(z) = Z\{1[nT]\} = z/(z - 1)$, z -изображение переходной функции равно

$$H(z) = W_{yg}(z)G(z) = W_{yg}(z) z/(z - 1), \quad (1.1)$$

где $W_{yg}(z)$ – передаточная функция относительно входа $g[nT]$ и выхода $y[nT]$.

Изображение переходной функции есть отношение полиномов:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 z^m + b_1 z^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 z^l + a_1 z^{l-1} + \dots + a_l} \quad (m \leq l) \quad (1.2)$$

С другой стороны, по определению z -преобразования:

$$H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h[nT] z^{-n} \quad (1.3)$$

Поэтому значения переходной функции $h[nT]$ можно найти, разложив $H(z)$ в ряд Лорана путем деления числителя $B(z)$ на знаменатель $A(z)$ по правилу деления многочленов. При этом в многочленах $B(z)$ и $A(z)$ слагаемые должны располагаться в порядке убывания степени z .

Косвенные показатели качества.

Как и в случае непрерывных систем, для оценки качества дискретных систем используются следующие косвенные показатели качества: корневые, частотные и суммарные.

Корневым показателем качества является *степень устойчивости* η , которая определяется следующим образом:

$$\eta = \min_v \left\{ -\ln |z_v| \right\}, \quad (1.4)$$

где z_v — корни характеристического уравнения.

Степень устойчивости является косвенной мерой быстродействия системы.

Суммарной квадратической ошибкой называется ряд

$$J_{20} = \sum_{n=0}^{\infty} e_n^2[nT], \quad e_n[nT] = e[nT] - e_{\infty}[nT] \quad (1.5)$$

где $e_n[nT]$ — переходная составляющая ошибки,

$e[nT]$ — ошибка,

$e_{\infty}[nT]$ — установившаяся ошибка (вынужденная составляющая ошибки).

1.3 Условие оптимальности системы (по переходному процессу).

В непрерывных линейных системах переходная функция всегда принимает установившееся значение при $t = \infty$. Однако возможны линейные дискретные системы, в которых переходный процесс заканчивается за конечное число шагов, т. е. существует такое положительное число n_0 , что

$$h[nT] = h[n_0T] = h[\infty] \quad (1.6)$$

Если выполняется условие (1.6), то переходный процесс называется *оптимальным*, а система, в которой происходит такой процесс, называется *оптимальной (по переходному процессу) системой*.

В общем случае передаточная функция $W_{yg}(z)$ представляет собой отношение полиномов:

$$W_{yg}(z) = \frac{b_0 z^m + b_1 z^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 z^l + a_1 z^{l-1} + \dots + a_l} \quad (m \leq l) \quad (1.7)$$

и она при разложении в ряд Лорана будет иметь конечное число слагаемых, если

$$a_1 = a_2 = \dots = a_l = 0. \quad (1.8)$$

Действительно, в этом случае имеем:

$$W_{yg}(z) = \frac{b_0}{a_0} z^{m-l} + \frac{b_1}{a_0} z^{m-l-1} + \dots + \frac{b_m}{a_0} z^{-l} \quad (1.9)$$

Таким образом, система (1.7) является оптимальной (переходный процесс в ней заканчивается за конечное число шагов), если выполняется условие (1.8).

1.4 Показатели качества в установившемся режиме

Наиболее полной характеристикой качества в установившемся режиме является установившаяся ошибка, а также показателем качества в установившемся режиме являются коэффициенты ошибки. Переходя к оригиналам, из равенства

$$E(z) = W_{eg}(z)G(z)$$

Используя теорему о свертке и разложив входную функцию в ряд Тейлора получим:

$$e_{\infty}[nT] = \sum_{k=0}^{\infty} C_k^{(k)} g[nT], \quad (1.10)$$

где

$$C_k = (-1)^k \sum_{i=0}^{\infty} \frac{w_{eg}[nT](iT)^k}{k!}$$

или

$$C_k = \frac{1}{k!} W_{0k}(z) \Big|_{z=1}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1.11)$$

где $W_{0k}(z)$ определяется по рекуррентной формуле:

$$W_{00}(z) = W_{eg}(z) \quad W_{0k}(z) = Tz \frac{dW_{0,k-1}(z)}{dz}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Откуда следует, что коэффициент позиционной ошибки $C_0 = W_{eg}(1)$.

Коэффициенты C_k характеризуют качество системы в установившемся режиме и называются коэффициентами ошибки. При этом C_0 называют коэффициентом позиционной ошибки, C_1 – коэффициентом скоростной ошибки и C_2 – коэффициентом ошибки по ускорению.

1.5 Статические и астатические системы

Система называется *статической*, если статическая ошибка отлична от нуля, и *астатической*, если статическая ошибка равна нулю. Статическая ошибка – это установившаяся ошибка при постоянных внешних воздействиях.

Система является астатической и обладает астатизмом r -го порядка, если первые r коэффициентов равны нулю, а $(r + 1)$ -й коэффициент ошибки отличен от нуля:

$$C_0 = C_1 = \dots = C_{r-1} = 0, C_r \neq 0. \quad (1.12)$$

Для астатической системы с астатизмом r -го порядка первые $r+1$ коэффициентов ошибки можно определить по формуле

$$C_k = \left. \frac{T^k W_{eg}(z)}{(z-1)^k} \right|_{z=1} \quad k = 0, 1, 2, \dots, r \quad (1.13)$$

Иначе говоря, этой формулой можно пользоваться при вычислении до первого отличного от нуля коэффициента ошибки.

Система обладает астатизмом r -го порядка, если передаточная функция ошибки $W_{yg}(z)$ может быть представлена в виде

$$W_{eg}(z) = (z-1)^r W_{eg}^0(z), \quad W_{eg}^0(z) \neq 0. \quad (1.14)$$

Передаточная функция разомкнутой системы может быть представлена в указанном выше виде, если передаточная она имеет вид:

$$W(z) = \frac{W^0(z)}{(z-1)^r}, \quad W^0(1) \neq 0, \quad W^0(1) < 0 \quad (1.15)$$

Пусть дискретная система состоит из дискретного фильтра (регулятора) и приведенной непрерывной части (рисунок 1) Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W(z) = W_p(z) W_{нч}(z) \quad (1.16)$$

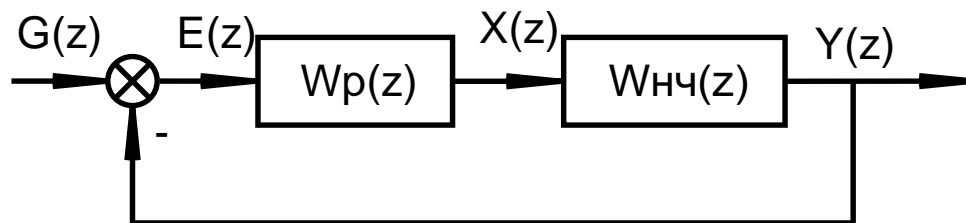


Рисунок 1 – Структурная схема дискретной системы

Система будет астатической и иметь астатизм r -ого порядка, если передаточная функция $W(z)$ включает множитель $1/(z-1)^r$.

2. Задание

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Для заданной передаточной функции¹ замкнутой системы: путем разложения переходной функции в ряд Лорана, построить переходную характеристику замкнутой системы. Определить время регулирования, перерегулирование (если возможно), степень устойчивости и суммарную квадратическую ошибку ($T=0,1$ с.).
3. Найти первый ненулевой коэффициент ошибки для полученной системы и определить степень астатизма системы.
4. Подготовить отчет.

5. Таблица 1 – Варианты индивидуального задания

Номер задания	Коэффициенты передаточной функции замкнутой системы управления						
	$W(z) = \frac{b_0 z^2 + b_1 z + b_2}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z^1 + a_3}$						
	a_0	a_1	a_2	a_3	b_0	b_1	b_2
1	10	-13	3.2	-0.2	0	1,2	0,37
2	20	-28	8.6	-0.6	0	0,54	3,5
3	30	-45	16.8	-1.8	0	1,3	-0.34
4	40	-64	27.2	-3.2	0	-2	1,13
5	50	-95	55	-10	0	-2,56	-1,3
6	60	-126	84	-18	0	-8,95	7,62
7	70	-161	120.4	-29.4	0	-2,56	-1,3
8	80	-200	164.8	-44.8	0	0,45	-0,71
9	90	-243	217.8	-64.8	0	-0,78	0,43
10	5	-3	0.55	-0.03	5	-85	350
11	10	-9	2.6	-0.24	10	-110	180
12	15	-18	7.05	-0.9	1.5	-16.5	36
13	20	-30	14.8	-2.4	2	-22	56
14	25	-45	26.75	-5.25	2.5	-27.5	75
15	30	-63	43.8	-10.08	3	-39	126
16	35	-84	66.85	-17.64	3.5	-38.5	98
17	40	-72	35.6	-2.88	4	-44	96
18	45	-54	13.05	-0.81	4.5	-49.5	81

¹ Индивидуальное задание полностью определяется таблицей 1 и номером, который выдается каждому студенту преподавателем лично, после проверки основных теоретических знаний.

19	50	-70	25.5	-2.7	5	-60	100
20	55	-82.5	37.4	-5.28	5.5	-66	148.5
21	60	-96	49.8	-8.4	6	-72	192
22	65	-110.5	62.4	-11.7	6.5	-78	227.5
23	70	-126	74.9	-14.7	7	-84	252
24	75	-142.5	87	-16.8	7.5	-90	262.5
25	80	-152	88.8	-15.12	8	-96	256
26	85	-93.5	22.1	-1.36	8.5	-102	229.5
27	90	-108	26.1	-1.62	9	-99	162
28	95	-114	33.25	-2.28	9.5	-85.5	76
29	100	-130	50	-5.6	2	-34	140
30	5	-3	0.55	-0.03	5	-85	350
31	100	-60	11	-0.6	5	-55	50
32	95	-85.5	24.7	-2.28	10	-100	90
33	90	-108	42.3	-5.4	1.5	-13.5	12
34	80	-120	59.2	-9.6	2	-16	14
35	75	-135	80.25	-15.75	2.5	-17.5	15
36	70	-147	102.2	-23.52	3	-24	21
37	65	-156	124.15	-32.76	3.5	-17.5	14
38	60	-108	53.4	-4.32	4	-16	12
39	55	-66	15.95	-0.99	4.5	-13.5	9
40	53	-74.2	27.03	-2.862	5	-15	10
41	45	-67.5	30.6	-4.32	5.5	-22	16.5
42	40	-64	33.2	-5.6	6	-12	6
43	35	-59.5	33.6	-6.3	6.5	-13	6.5
44	30	-54	32.1	-6.3	7	-14	7
45	25	-47.5	29	-5.6	7.5	-15	7.5
46	20	-38	22.2	-3.78	8	-16	8
47	15	-16.5	3.9	-0.24	8.5	-17	8.5
48	10	-12	2.9	-0.18	9	-18	9
49	5	-6	1.75	-0.12	9.5	-19	9.5
50	1	-1.3	0.5	-0.056	2	-4	2
51	0.5	-0.3	0.055	-0.003	5	-55	50
52	0.6	-0.54	0.156	-0.014	-8,95	-215,6	100,3
53	0.7	-0.84	0.329	-0.042	-2,56	0,13	-0,4

3. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист (Приложение А).
2. Цель лабораторной работы.
3. Основные теоретические сведения.
4. Описание хода выполнения индивидуального задания (выполнение п. 2-3 заданий на лабораторную работу, переходную характеристику полученной системы)
5. Выводы по лабораторной работе.

4. Контрольные вопросы

1. Перечислите основные оценки качества цифровых систем управления.
2. Поясните алгоритмы построения переходной характеристики и дальнейшего исследования качества системы с ее помощью
3. Сформулируйте условие оптимальности системы по переходному процессу.
4. Объясните физический смысл коэффициентов ошибки. Дайте определения статической и астатической систем.

5. Список рекомендуемой литературы

1. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
2. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. – М.: Наука, 1976. – 576 с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: Физматлит, 2003. – 288 с.

Пример оформления титульного листа

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт Прикладной математики, информатики и управления

Отчет по лабораторной работе №

<Тема лабораторной работы>

по дисциплине «Микропроцессорные системы управления»

Выполнил: студент группы <номер группы>

<Фамилия И.О.>

Проверил: преподаватель С.Н. Горбунов