

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 №5
«Синтез регуляторов цифровых систем управления»

Ханты-Мансийск, 2009

Цель работы: изучить подходы к синтезу цифровых систем управления, приобрести навыки синтеза регуляторов цифровых систем автоматического управления.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.1 Постановка задачи синтеза систем управления

В данной лабораторной работе предполагается, что регулятор реализуется с помощью цифровых устройств и эквивалентная структурная схема (рисунок 1) включает дискретный фильтр (регулятор), реализующий требуемый закон управления $x(t)=f(e(t))$.

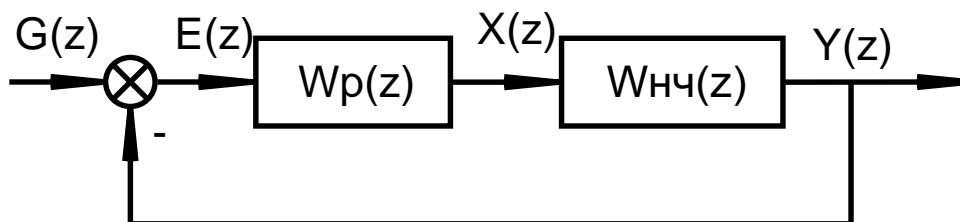


Рисунок 1 – Структурная схема дискретной системы

Для цифровых систем управления возможны две различные постановки задачи синтеза:

- 1) синтез параметров при фиксированной структуре;
- 2) синтез управляющего устройства при произвольной структуре.

1.2 Синтез параметров при фиксированной структуре регулятора

Если задача синтеза ставиться при фиксированной структуре регулятора, то регулятор реализует один из типовых законов управления.

Типовые законы управления в дискретном случае определяются следующим образом.

Пропорциональный закон, или П-закон (П-регулятор):

$$W_p(z) = k_P \quad (1.1)$$

Пропорционально-суммарный закон (аналог ПИ-закона), или ПС-закон (ПС-регулятор):

$$W_p(z) = k_P + k_C \frac{z}{z-1} \quad (1.2)$$

Пропорционально-разностный закон (аналог ПД-закона), или ПР-закон (ПР-регулятор):

$$W_p(z) = k_P + k_P \frac{z-1}{z} \quad (1.3)$$

Пропорционально-суммарно-разностный закон (аналог ПИД-закона), или ПСР-закон (ПСР-регулятор):

$$W_p(z) = k_I + k_C \frac{z}{z-1} + k_P \frac{z-1}{z} \quad (1.4)$$

В этом случае задача синтеза сводится к поиску параметров регулятора, или, как еще говорят, – к «настройке» параметров регулятора – коэффициентов k_n , k_c , k_p .

1.3 Синтез управляющего устройства при произвольной структуре

Рассматривается задача синтеза при произвольной (нефиксированной) структуре в следующей постановке. Задана дискретная передаточная функция $W_{nc}(z)$ неизменяемой части.

Известна также желаемая передаточная функция $W_{jc}(z)$. Требуется синтезировать регулятор, при котором передаточная функция $W_{yg}(z)$ синтезированной системы (рисунок 1) была бы равна желаемой:

$$W_{yg}(z) = \frac{W_p(z)W_{nc}(z)}{1 + W_p(z)W_{nc}(z)} = W_{jc}(z) \quad (1.5)$$

Разрешив это тождество относительно передаточной функции регулятора, получим

$$W_p(z) = \frac{1}{W_{nc}(z)} \cdot \frac{W_{jc}(z)}{1 - W_{jc}(z)} \quad (1.6)$$

При синтезе регулятора нужно позаботиться о том, чтобы он был физически осуществим и синтезированная система была грубой. Условие физической осуществимости регулятора, состоящее в том, что следствие не может предшествовать причине, может быть сформулировано следующим образом: весовая функция регулятора равна нулю при отрицательных аргументах или степень числителя его передаточной функции не превышает степень ее знаменателя.

При определении передаточной функции регулятора по формуле (1.6) синтезированная система будет негрубой, если передаточная функция неизменяемой части содержит нули или полюсы вне единичного круга, и они входят в передаточную функцию регулятора. В этом случае при вычислении передаточной функции разомкнутой системы указанные нули и полюсы сокращаются, если регулятор реализуется точно в соответствии с (1.6). Однако при малом изменении параметров регулятора указанные нули и полюсы могут не сократиться. Тогда разомкнутая система становится неустойчивой, что может привести к неустойчивости и замкнутой системы.

Разложим числитель и знаменатель передаточной функции неизменяемой части на два множителя, один из которых содержит нули внутри единичной окружности, другой – на и вне единичной окружности:

$$W_{нч}(z) = \frac{P(z)}{Q(z)} = \frac{P_в(z)P_n(z)}{Q_в(z)Q_n(z)} \quad (1.7)$$

где $P_в(z)$, $Q_в(z)$ – полиномы, нули которых расположены внутри единичной окружности;
 $P_n(z)$, $Q_n(z)$ — полиномы, нули которых расположены на и вне единичной окружности.

Подставим полученное выражение для $W_{нч}(z)$ в (1.6):

$$W_p(z) = \frac{Q_в(z)Q_n(z)}{P_в(z)P_n(z)} \cdot \frac{W_{жс}(z)}{1 - W_{жс}(z)} \quad (1.8)$$

Как отмечалось, для того чтобы синтезированная система была грубой, передаточная функция регулятора (1.8) не должна содержать полиномы $P_n(z)$ и $Q_n(z)$, содержащие нули вне единичной окружности.

Но, как это следует из (1.8), для этого нужно, чтобы $W_{жс}(z)$ включало полином $P_n(z)$, а $1 - W_{жс}(z)$ – полином $Q_n(z)$, т.е. желаемая передаточная функция должна удовлетворять соотношениям

$$W_{жс}(z) = \frac{P_n(z)M(z)}{G(z)} \quad (1.9a)$$

$$1 - W_{жс}(z) = \frac{Q_n(z)N(z)(z-1)^r}{G(z)} \quad (1.9б)$$

где $M(z)$ и $N(z)$ – неопределенные полиномы;

$G(z)$ – знаменатель желаемой передаточной функции, т.е. характеристический полином синтезируемой системы; множитель $(z-1)^r$ вводится для обеспечения требуемого порядка астатизма.

Исключив $W_{жс}(z)$ из (1.9), получим *полиномиальное уравнение*

$$P_n(z)M(z) + Q_n(z)N(z)(z-1)^r = G(z), \quad (1.10)$$

откуда определяются полиномы $M(z)$ и $N(z)$.

Подставив (1.9a), (1.9б) в (1.8), находим

$$W_p(z) = \frac{Q_в(z)M(z)}{P_в(z)N(z)(z-1)^r} \quad (1.11)$$

Условие физической осуществимости регулятора из (1.11) можно записать в виде

$$n_{Qв} + n_M \leq n_{Pв} + n_N + r \quad (1.12)$$

Полиномиальное уравнение (1.10) разрешимо, если число неизвестных (коэффициентов полиномов $M(z)$ и $N(z)$) не меньше числа уравнений, получаемых приравниванием коэффициентов при одинаковых степенях в уравнении (1.10). И так как число неизвестных равно $(n_M + 1) + (n_N + 1)$, а число уравнений по $n_G + 1$, условие разрешимости полиномиального уравнения принимает вид:

$$n_M + n_N + 1 \geq n_G. \quad (1.13)$$

В (1.96) степени полиномов числителя и знаменателя равны. Поэтому из его правой части имеем

$$n_G = n_{Q_H} + n_N + r,$$

откуда

$$n_N = n_G - n_{Q_H} - r. \quad (1.14)$$

Объединяя условие физической осуществимости (1.12) и условие разрешимости (1.13), с учетом (1.14) получим

$$n_{Q_H} + r - l \leq n_M \leq n_{P_6} + n_G - n_Q, \quad (1.15)$$

где $n_Q = n_{Q_6} + n_{Q_H}$ – степень знаменателя передаточной функции неизменяемой части.

Таким образом, условия физической осуществимости регулятора и разрешимости полиномиального уравнения будут выполнены, если степени полиномов $M(z)$ и $N(z)$ удовлетворяют соотношениям (1.14) и (1.15).

Из условия (1.15) получаем, что степень характеристического полинома синтезируемой системы должна удовлетворять неравенству:

$$n_G \geq n_{Q_H} + r + n_Q - l - n_{P_6}. \quad (1.16)$$

Хотя вначале мы предполагали, что желаемая передаточная функция известна, в действительности она не может быть выбрана заранее (см. (1.9а)).

Порядок синтеза системы управления методом полиномиальных уравнений можно сформулировать следующим образом.

1. Разложить полиномы числителя и знаменателя передаточной функции неизменяемой части на два множителя, один из которых имеет нули внутри единичной окружности, другой – на и вне единичной окружности. Если указанные полиномы не имеют нулей на и вне единичной окружности, то положить $P_H(z) = 1$ и $Q_H(z) = 1$; если они не имеют нулей внутри единичной окружности, то приравнять $P_6(z)$ и $Q_6(z)$ постоянному множителю этих полиномов.

2. Исходя из требований к качеству синтезируемой системы в переходном режиме и порядку астатизма выбрать характеристический полином синтезируемой системы $G(z)$ и число r . Степень полинома $G(z)$ должна удовлетворять условию (1.16).

3. Из соотношений (1.14) и (1.15) определить степени неопределенных полиномов $M(z)$ и $N(z)$ и записать их с неопределенными коэффициентами.

4. Подставить полученные неопределенные полиномы в полиномиальное уравнение (1.10) и определить их коэффициенты.

5. Подставить найденные полиномы $M(z)$ и $N(z)$ в формулу для передаточной функции регулятора (1.11).

2. Задание

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Для заданной передаточной функции¹ рассчитать передаточную функцию регулятора, при которой статическая ошибка равна нулю и переходный процесс заканчивается за конечное число шагов.
3. Произвести имитационное моделирование полученной системы управления с синтезированным регулятором в переходном режиме (переходная характеристика).
4. Найти первый ненулевой коэффициент ошибки для полученной системы.
5. Определить устойчивость разомкнутой и замкнутой систем, сделать вывод об изменении устойчивости в связи с применением регулятора.
6. Подготовить отчет.

Таблица 1 – Варианты индивидуального задания

Номер задания	Коэффициенты дискретной передаточной функции неизменяемой части						
	$W_{fx}(z) = \frac{b_0 z^2 + b_1 z + b_2}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z^1 + a_3}$						
	a_0	a_1	a_2	a_3	b_0	b_1	b_2
1	14.5	-64.815	-0.2	96.26	1,2	11,2	-34,5
2	15	-23,1	-0.6	9,488	0,54	0,12	0,17
3	5	-12,9	-1.8	9,457	1,3	-5,7	0,03
4	34	-144,16	-3.2	202,127	-2	-215,6	100,3
5	5	-17,9	-10	20,057	-2,56	0,13	-0,4
6	2	-4,72	-18	2,128	2	-0,49	0,5
7	34	-38,42	-29.4	12,6888	2.5	0,91	-0,3
8	5,4	-31,392	-44.8	4,68	3	1,5	-1,9
9	0.02	-0.073	-64.8	0.089	3.5	-0.05	0,94
10	5	-7,9	-0.03	4,356	5	0,45	-0,12
11	15	-38,1	-0.24	31,988	10	-21,788	-4,5
12	1	-2,5	-0.9	1,77	1.5	0,12	0,17
13	15	-68,1	-2.4	100,688	2	-100,1	38,45
14	34	-106,42	-5.25	100,409	2.5	0,07	0,65
15	1,5	-2,34	-10.08	1,137	3	0,01	-0,05
16	34	106.42	-17.64	100.409	3.5	0,45	-0.78
17	2	-4,06	-2.88	3,026	4	1,4	0,13

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

18	1	-1,5	-0.81	0,57	4.5	0,07	-0.537
19	34	-110,16	-2.7	96,047	5	-100,1	8,45
20	1	-3,5	-5.28	4,17	5.5	1,5	1,9
21	2	-2.72	-8.4	1.0078	6	0,02	-0.71
22	7,2	-13,392	-11.7	4,68	6.5	1,7	-0,91
23	14.5	-64.815	-14.7	96.26	7	11,2	-34,5
24	15	-23,1	-16.8	9,488	7.5	0,12	0,17
25	5	-12,9	-15.12	9,457	8	-5,7	0,03
26	34	-144,16	-1.36	202,127	8.5	-215,6	100,3
27	1	-0,6	1	0,11	9	1,2	0,37
28	1,2	-2,58	1,2	1,66128	9.5	0,54	3,5
29	1.5	-6.84	1.5	10.317	2	1,3	-0.34
30	1,5	-2,04	1,5	1,256	5	-2	1,13
31	1,5	-3,54	1,5	2,156	5	-2,56	-1,3
32	1,5	-6,54	1,5	9,836	10	-8,95	7,62
33	1,5	-5,04	1,5	5,936	1.5	-2,56	-1,3
34	1	-2,6	1	1,81	2	0,45	-0,71
35	15	-21,45	15	8,034	2.5	-0,78	0,43
36	4,3	-16,297	4,3	18,63448	3	0,6	9,1
37	4.5	-18.54	4.5	25.2	3.5	8,95	7,62
38	34	-42,16	34	15,807	4	12,3	0,45
39	1	0,6	1	0,1	4.5	0,01	0,003
40	2	-8,06	2	9,946	5	0,91	-0,3
41	5	-22,9	5	35,157	5.5	40,7	22,4
42	15	-51,45	15	45,084	6	-2,56	-1,3
43	5	-9,4	5	5,7615	6.5	0,2	0,54
44	5	-12,3	5	9,0715	7	0,521	1,45
45	20	-86.8	20	122.31	7.5	14,3	-12,6
46	1	-0,5	1	0,17	8	0,13	-0,4
47	2	-6,06	2	6,226	8.5	0,12	0,17
48	15	-53,1	15	48,188	9	-21,788	-1,5
49	1,5	-6,54	1,5	9,836	9.5	-10,2	6,7
50	5	-19,4	5	22,712	2	0,51	2,3
51	2	-2.72	2	1.0078	5	0,02	-0.71
52	7,2	-13,392	7,2	4,68	-8,95	1,7	-0,91

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. 2-6 заданий на лабораторную работу, переходную характеристику полученной системы)
5. Выводы по лабораторной работе.

4. Контрольные вопросы

1. Опишите основные подходы к синтезу регуляторов цифровых систем управления.
2. Напишите и поясните физический смысл типовых законов управления.
3. Поясните алгоритм расчета передаточной функции регулятора при модальном синтезе.
4. На основании полученной при имитационном моделировании переходной характеристики системы управления доказать правильность выполнения задания.

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