

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



**ИВАНОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

Институт текстильной индустрии и моды

Кафедра мехатроники и радиоэлектроники

Проектирование цифровой следящей системы

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проекту по дисциплине

“Теория дискретных систем автоматического управления”

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки

15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

**Профиль Автоматизация технических систем и технологических
процессов в текстильной и легкой промышленности**

Иваново 2020

Проектирование цифровой следящей системы. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине “Теория дискретных систем автоматического управления” / Сост. Н.А.Кулида. – Иваново: ИВГПУ, 2020.

Введение

Цель курсового проекта – получить навыки расчета линейных дискретных систем автоматического управления.

В продолжение расчета следящей системы с коррекцией частотных характеристик непрерывным корректирующим устройством [1] необходимо разработать дискретное корректирующее устройство, удовлетворяющее заданным техническим условиям.

1. Определение дискретной передаточной функции корректирующего звена

Для получения дискретной передаточной функции звена по его непрерывной передаточной функции можно воспользоваться любым известным методом перехода от передаточной функции в форме изображения по Лапласу к z -изображению

Непрерывная передаточная функция может быть задана либо в форме (2) постоянными времени числителя и знаменателя и коэффициентом усиления звена, либо в форме дробно-рациональной функции коэффициентами полиномов числителя и знаменателя:

$$W(s) = \frac{d_0 + d_1s + d_2s^2 + \dots + d_ms^m}{c_0 + c_1s + c_2s^2 + \dots + c_ns^n}. \quad (1)$$

Порядок полинома знаменателя n должен быть не меньше порядка полинома числителя m .

Для определения дискретной передаточной функции корректирующего звена необходимо выбрать период квантования T_0 . Чем меньше T_0 , тем более дискретная система приближается по своим свойствам к непрерывной. Однако при слишком малых значениях T_0 процессор в реальной системе может не успевать выполнять все необходимые вычисления. Кроме того, при уменьшении T_0 увеличивается число шагов переходного процесса. Так как вычисления проводятся по рекуррентным формулам, неизбежные ошибки вычислений накапливаются от шага к шагу и при чрезмерно большом числе шагов ошибка вычислений может превысить допустимую величину (система может оказаться неустойчивой, либо с неудовлетворительным качеством переходного процесса). В силу сказанного, T_0 не должно быть слишком мало. Рекомендуется выбирать T_0 в пределах $(0,1 \dots 0,01)/\omega_c$, где ω_c – частота среза скорректированной системы.

В рассматриваемом примере передаточная функция корректирующего устройства $W_{\text{кy}}(s) = \frac{(T_2s+1)(T_0s+1)(T_{\text{кз}}s+1)}{(T_1s+1)(T_3s+1)(T_ys+1)}$ и $T_0 = 0,015$ с. Выполняя переход от передаточной функции в форме изображения по Лапласу к z -изображению, получим

$$W_{\text{кy}}(z) = \frac{0,247z^3 - 0,612z^2 + 0,5z - 0,134}{z^3 - 2z^2 + 1,234z - 0,233}. \quad (2)$$

2. Получение рекуррентного уравнения цифрового корректирующего звена

Пусть дискретная передаточная функция имеет вид (1), которую запишем следующим образом:

$$W_{\text{кy}}(z) = \frac{b_0 + b_1z + b_2z^2 + \dots + b_mz^m}{a_0 + a_1z + a_2z^2 + \dots + a_nz^n} = \frac{U(z)}{X(z)}, \quad (3)$$

где $X(z)$, $U(z)$ – z -изображения соответственно входной и выходной величин цифрового корректирующего устройства.

Перепишем (3), избавившись от знаменателя в левой и правой частях:

$$(a_0 + a_1z + a_2z^2 + \dots + a_nz^n)U(z) = (b_0 + b_1z + b_2z^2 + \dots + b_mz^m)X(z). \quad (4)$$

Раскрыв скобки, поделив левую и правую части уравнения на z^n и перейдя от изображений к оригиналам, получим:

$$\begin{aligned} a_0U[k-n] + a_1U[k-n+1] + a_2U[k-n+2] + \dots + a_nU[k] = \\ = b_0X[k-n] + b_1X[k-n+1] + b_2X[k-n+2] + \dots + b_mX[k-n+m], \end{aligned}$$

где $X[k]$, $U[k]$ – значения входной и выходной величин в произвольный такт времени k , $X[k-1]$, $X[k-2]$, \dots , $U[k-1]$, $U[k-2]$, \dots – значения входной и выходной величин в предшествующие такту k моменты времени.

Из последнего уравнения выразим $U[k]$:

$$\begin{aligned} U[k] = (b_0X[k-n] + b_1X[k-n+1] + b_2X[k-n+2] + \dots + b_mX[k-n+m] - \\ - a_0U[k-n] - a_1U[k-n+1] - a_2U[k-n+2] - \dots - a_{n-1}U[k-1]) / a_n. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнение (5) является рекуррентным уравнением, описывающим алгоритм работы цифрового корректирующего устройства. По нему может быть составлена программа работы данного устройства.

Для рассматриваемого примера

$$U[k] = (b_0X[k-3] + b_1X[k-2] + b_2X[k-1] + b_3X[k] -$$

$$-a_0U[k-3]-a_1U[k-2]-a_2U[k-1])/a_3. \quad (8)$$

3. Определение дискретной передаточной функции корректирующего устройства с помощью приложения Control System Toolbox вычислительной системы MATLAB

Для решения поставленной задачи воспользуемся методикой, изложенной в [2].

Передаточная функция нескорректированной системы в разомкнутом состоянии имеет вид: $W_p(s) = \frac{K_c}{s(T_y s + 1)(T_{\kappa 3} s + 1)(T_\theta s + 1)}$, где $K_c = 100 \text{ с}^{-1}$,

$T_y = 0,015 \text{ с}^{-1}$, $T_{\kappa 3} = 0,06 \text{ с}^{-1}$, $T_\theta = 0,037 \text{ с}^{-1}$. Представим эту передаточную функцию в виде четырех последовательно соединенных звеньев:

```
>> syms s
>> W1=tf([0 1], [1 0]);
>> W2=tf([0 100], [0.015 1]);
>> W3=tf([0 1], [0.06 1]);
>> W4=tf([0 1], [0.037 1]);
>> Wp=W1*W2*W3*W4
```

Transfer function:

100

3.33e-005 s^4 + 0.003675 s^3 + 0.112 s^2 + s

Для перехода от непрерывной модели к дискретной используем аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в виде экстраполятора нулевого порядка с периодом квантования 0,015 с.

```
>> Ts=0.015;
>> Hd=c2d(Wp,Ts,'zoh')
```

Transfer function:

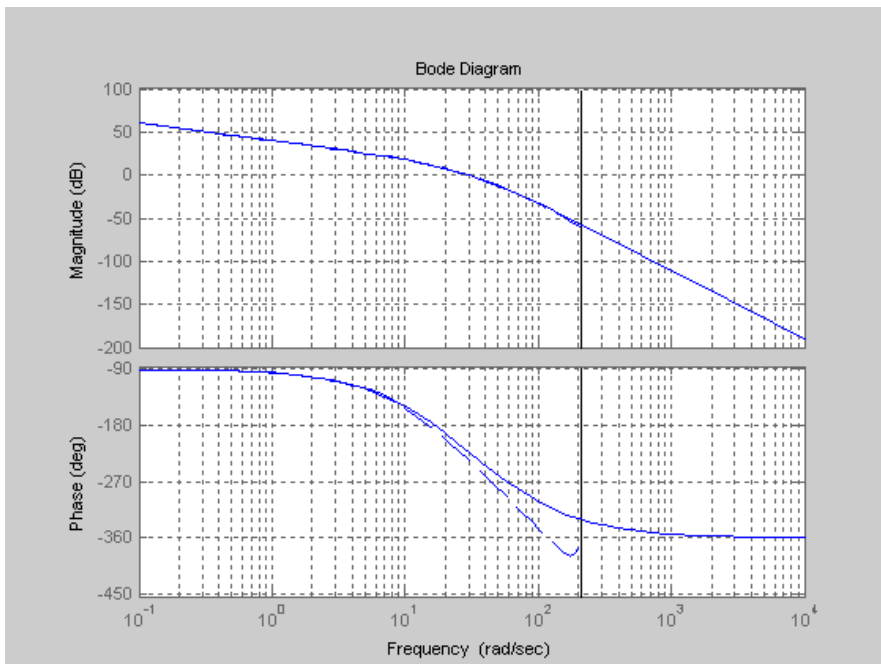
0.004599 z^3 + 0.037 z^2 + 0.0266 z + 0.001705

z^4 - 2.813 z^3 + 2.864 z^2 - 1.242 z + 0.191

Sampling time: 0.015

С помощью функции **bode** выясним, насколько отличаются частотные характеристики исходной непрерывной **Wp** и полученной **Hd** моделей (рис. 8):

```
» bode(Hd, '--', Wp, '-')
```



*Рис. 8. Частотные характеристики непрерывной **Wp** и дискретной **Hd** моделей*

Сформируем разомкнутую цепь системы как последовательное соединение моделей объекта и компенсатора. Модель компенсатора принимаем в виде трех последовательно соединенных звеньев:

```
» W5 = tf([0.5 1],[9.091 1]);
» W6 = tf([0.037 1],[0.033 1]);
» W7 = tf([0.06 1],[0.015 1]);
» Komp1 = W5* W6* W7
```

Transfer function:

$$\frac{0.00111 s^3 + 0.05072 s^2 + 0.597 s + 1}{-----}$$

$0.0045 s^3 + 0.4369 s^2 + 9.139 s + 1$
 Переходя от непрерывной модели к дискретной, получим

» Wky=c2d(Komp1,Ts,'zoh')

Transfer function:

$0.2467 z^3 - 0.6124 z^2 + 0.5005 z - 0.1344$

$z^3 - 2.001 z^2 + 1.234 z - 0.2331$

Sampling time: 0.015

Передаточная функция скорректированной системы

» Wck=Hd*Wky

Transfer function:

$0.001134 z^6 + 0.006309 z^5 - 0.0138 z^4 + 0.00203 z^3 +$

----->

$z^7 - 4.814 z^6 + 9.728 z^5 - 10.68 z^4 + 6.868 z^3 -$

$+ 0.007299 z^2 - 0.002721 z - 0.0002291$

->-----

$- 2.583 z^2 + 0.5253 z - 0.04453$

Sampling time: 0.015

В обратной связи принимаем звено

» Woc=1;

Передаточная функция замкнутой системы

» Hs=feedback(Wck,Woc)

Transfer function:

$0.001134 z^6 + 0.006309 z^5 - 0.0138 z^4 + 0.00203 z^3 +$

----->

$z^7 - 4.813 z^6 + 9.735 z^5 - 10.69 z^4 + 6.87 z^3 - 2.576 z^2 +$

$0.007299 z^2 - 0.002721 z - 0.0002291$

->-----

$+ 0.5226 z - 0.04476$

Sampling time: 0.015

Переходная характеристика (рис. 9):

» step(Hs, 1.8)

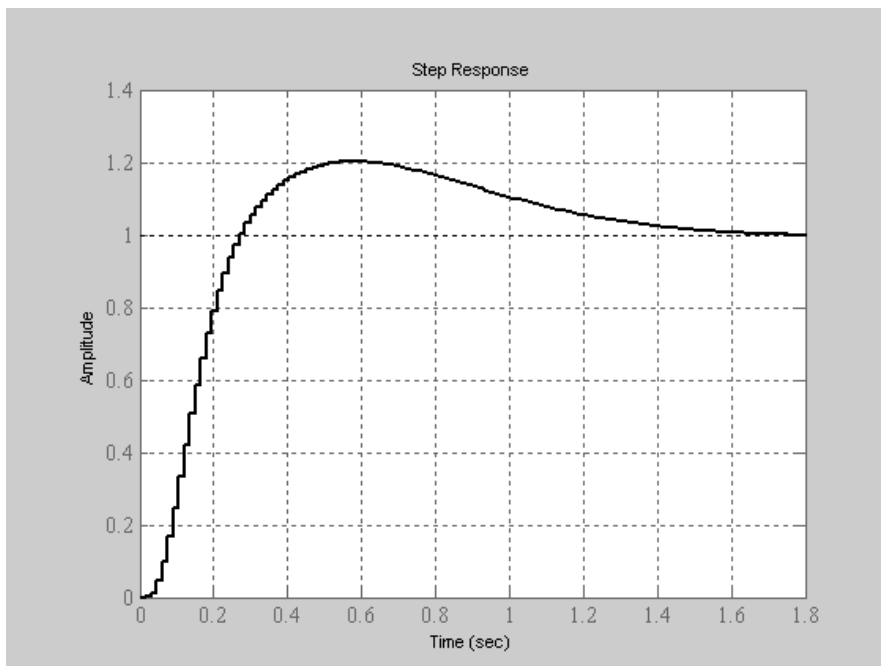


Рис. 9. Переходная характеристика скорректированной системы

Из переходной характеристики (рис. 9) следует, что в системе с дискретным корректирующим устройством перерегулирование не превышает 20 %, а время регулирования $\approx 1,4$ с.

4. Разработка принципиальной схемы цифровой следящей системы

На принципиальной схеме должны быть изображены сельсин-датчик и сельсин-трансформатор, фазовый детектор, АЦП, цифровой вычислитель, ЦАП, электронный усилитель мощности, ЭМУ, двигатель, редуктор.

Проводить расчет электронных схем и изображать их развернутые принципиальные схемы не требуется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулида, Н.А. Проектирование следящей системы. Методические указания к курсовой работе по дисциплине “Теория линейных непрерывных систем автоматического управления” / Сост. Н.А. Кулида. – Иваново: ИВГПУ, 2020. – 26 с.
2. Кулида, Н.А. Исследование линейных систем автоматического управления с помощью приложения Control System Toolbox вычислительной системы MATLAB (версия 6.5). – Иваново: ИГТА, 2005. – 32 с.