

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАСКАДНОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ Д-РАЗБИЕНИЯ.

Владимир П. Кривошеев\*, Борис А. Кап\*\*

\* Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Россия, Владивосток, (Тел. (8914)7974393 e-mail: krivosheev@vvsu.ru).

\*\* Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Россия, Владивосток, (Тел. (8914)2521244 e-mail: k.b.608@mail.ru).

*Аннотация:* В данной работе рассматривается параметрический синтез цифровой каскадной автоматической системы управления (АСУ). Описывается метод нахождения оптимальных настроечных параметров каскадной АСУ с использованием линии Д-разбиения. Выводятся передаточные функции двухконтурной каскадной АСУ для основной и вспомогательной регулируемых переменных.

*Abstract:* This article discusses the parametric synthesis cascade digital automatic control system (ACS). Describes a method for finding the optimal tuning parameters cascade ACS using the line D-decomposition. Were obtain the transfer function of a two-cascade control system for the main and auxiliary controlled variables.

*Ключевые слова:* цифровые системы управления, амплитудно-фазовые характеристики (АФХ), Д – разбиение, формула Мэйсона, переходной процесс, параметрический синтез.

*Keywords:* digital control system, the amplitude-phase characteristics (AFKH), D – partition, Mason's gain formula, transition process, parametric synthesis.

При автоматизации сложных технологических объектов управления (ТОУ) часто возникает задача применения многоконтурных (АСУ), одними из представителей которых являются каскадные АСУ. Такие АСУ обеспечивают достаточно высокое качество регулирования ТОУ, имеющих помимо выходных регулируемых координат еще и дополнительные промежуточные координаты, которые могут быть использованы для организации вспомогательных контуров стабилизации. Вследствие этого каскадные АСУ всегда имеют многоконтурную структуру и включают в свой состав два и более регулятора (рис. 1).

Здесь  $W_{o1}(z)$  - передаточная функция объекта по каналу управления для вспомогательной регулируемой переменной,  $W_o(z)$  - передаточная функция объекта по каналу управления для основной регулируемой переменной,  $R(z)$  - передаточная функция основного регулятора,  $R_1(z)$  - передаточная функция вспомогательного регулятора,  $W_B(z)$  - передаточная функция объекта по каналу возмущения для основной регулируемой переменной,  $W_{B1}(z)$  - передаточная функция объекта по каналу возмущения для вспомогательной регулируемой переменной.

Расчет каскадной АСУ предполагает определение таких настроек основного и вспомогательного регуляторов, при которых для заданного запаса устойчивости системы по степени колебательности обеспечивается минимальное значение квадратичной интегральной оценки. Поскольку настройки основного и вспомогательного регуляторов взаимозависимы, расчет их проводят методом итераций [1].

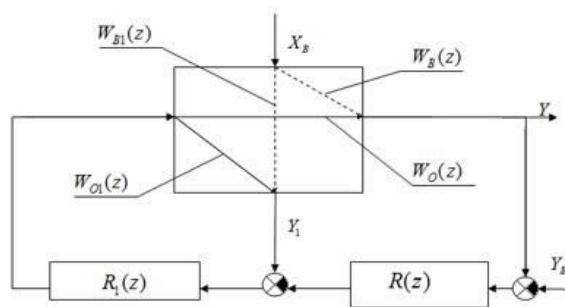


Рис. 1. Схема каскадной АСУ для общего случая.

В каждой итерации рассчитывают приведенную одноконтурную АСУ, в которой один из регуляторов условно относится к эквивалентному объекту. Параметрический синтез эквивалентной системы осуществляется с помощью частотного метода [2].

Эффективность работы АСУ, как правило, определяют по виду переходного процесса, показывающего изменение регулируемой переменной при подаче ступенчатого воздействия в систему управления.

Для расчета переходного процесса необходимо определить передаточную функцию замкнутой каскадной АСУ, её целесообразно определять с помощью формулы Мэйсона [3].

Для получения переходного процесса использовался метод вещественных частотных характеристик [4].

*Пример параметрического синтеза каскадной АСУ с ПИ-регуляторами.*

Рассмотрим объект управления с передаточными функциями:

$$W_o = 0,5 \frac{1}{1+4S} e^{-4S}, \quad W_{o1} = 0,5 \frac{1}{1+12S} e^{-0,4S},$$

$$W_g = 0,5 \frac{1}{1+5S} e^{-3S}, \quad W_{g1} = 0,5 \frac{1}{1+10S} e^{-0,3S}.$$

С помощью подстановки Тастина [2], получены дискретные передаточные функции объекта управления:

$$W_o = 0,5 \frac{T(z+1)}{9z-7} z^{-\frac{4}{T}}, \quad W_{o1} = 0,5 \frac{T(z+1)}{25z-23} z^{-\frac{0,4}{T}},$$

$$W_g = 0,5 \frac{T(z+1)}{11z-9} z^{-\frac{3}{T}}, \quad W_{g1} = 0,5 \frac{T(z+1)}{21z-19} z^{-\frac{0,3}{T}}.$$

В данной работе применён метод итерационного расчёта каскадной АСУ в предположении, что на первой итерации корректирующий регулятор отключен [1].

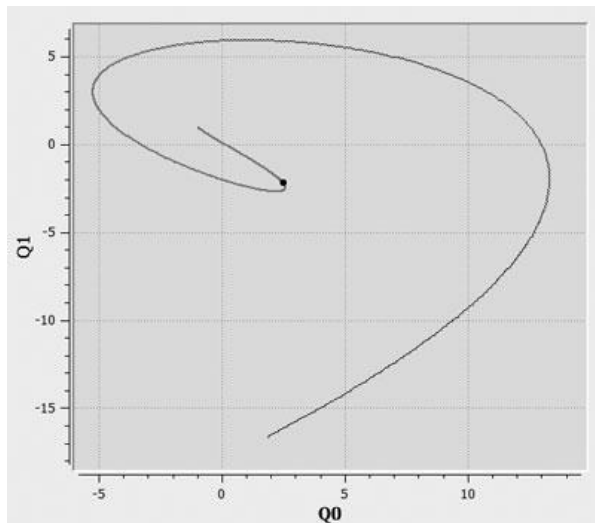


Рис. 2. Линия Д – разбиения для основной регулируемой переменной на последней итерации в диапазоне частот от  $0,0005 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$  до  $1 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ .

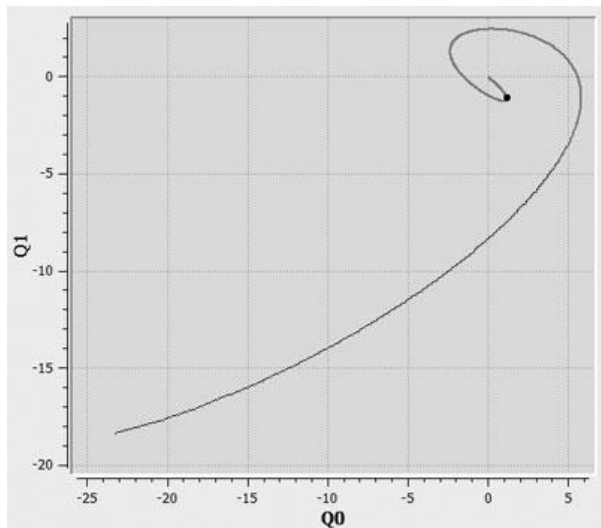


Рис. 3. Линия Д – разбиения для вспомогательной регулируемой переменной на последней итерации в диапазоне частот от

$$0,0005 \frac{\text{рад}}{\text{сек}} \text{ до } 1 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}.$$

На рисунках 2, 3 представлены линии Д - разбиения на последней итерации для выбора оптимальных настроек основного (2) и вспомогательного (3) регуляторов для  $m = 0,221$  и шаге квантования,  $T = 1$  сек., выбранном согласно рекомендациям [5].

На рисунке 2 отмечена точка со значениями  $q_0 = 2,47363$ ,  $q_1 = -2,19063$  при  $\omega = 0,36601$ .

На рисунке 3 отмечена точка со значениями  $q_0 = 1,1141$ ,  $q_1 = -1,01495$ ,  $\omega = 0,37801$ .

Указанные значения параметров получены по рекомендациям, приведенным в работе [2].

Ниже приведены графики переходных процессов каскадной АСУ: аналоговой (рисунок 4, 5); цифровой при переводе оптимальных настроек аналоговых регуляторов в настройки цифровых регуляторов с помощью подстановки Тастина (рисунок 6, 7); цифровой системы управления при оптимальных настройках основного и вспомогательного регуляторов, найденных на основе Д – разбиения для цифровой системы управления (рисунок 8, 9).

На рисунках 4, 5 показаны графики переходных процессов по основному (4) и вспомогательному (5) каналам каскадной аналоговой АСУ с настройками регуляторов:

$$R(s) = \frac{1,81s + 0,434s}{s}, \quad R_1(s) = \frac{1,024s + 0,122}{s}.$$

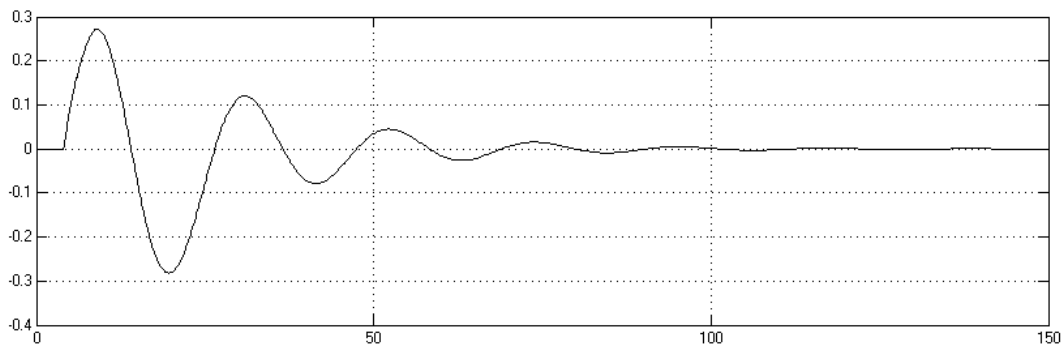


Рис. 4. Переходной процесс по основной регулируемой переменной в каскадной аналоговой АСУ.

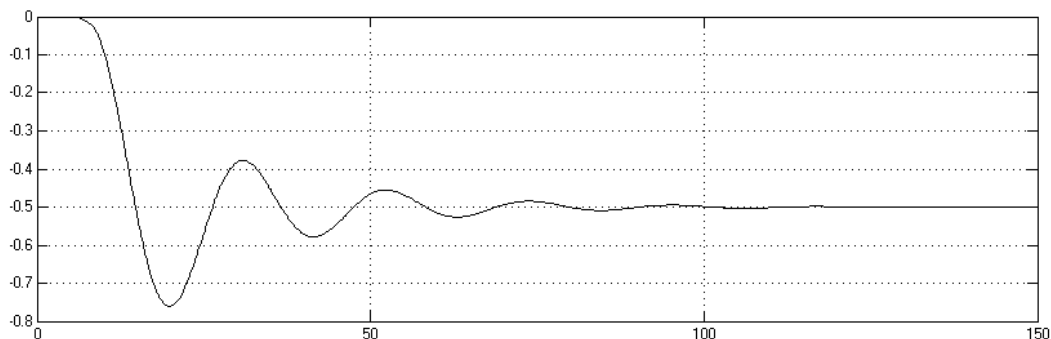


Рис. 5. Переходной процесс по основной регулируемой переменной в каскадной аналоговой АСУ.

На рисунках 6, 7 показаны графики переходных процессов по основному (6) и вспомогательному (7) каналам каскадной цифровой АСУ с настройками регуляторов, полученными подстановкой Тастина:

$$R = \frac{4,054z^2 + 0,868z - 3,186}{2z^2 - 2}, \quad R_1 = \frac{2,17z^2 + 0,244z - 1,926}{2z^2 - 2}.$$

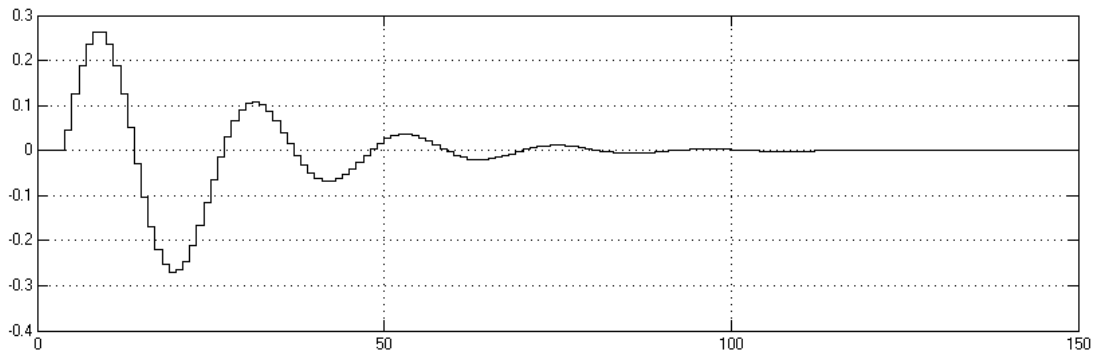


Рис. 6. Переходной процесс по основной регулируемой переменной в каскадной цифровой АСУ при настройках регуляторов, полученных по Тастину

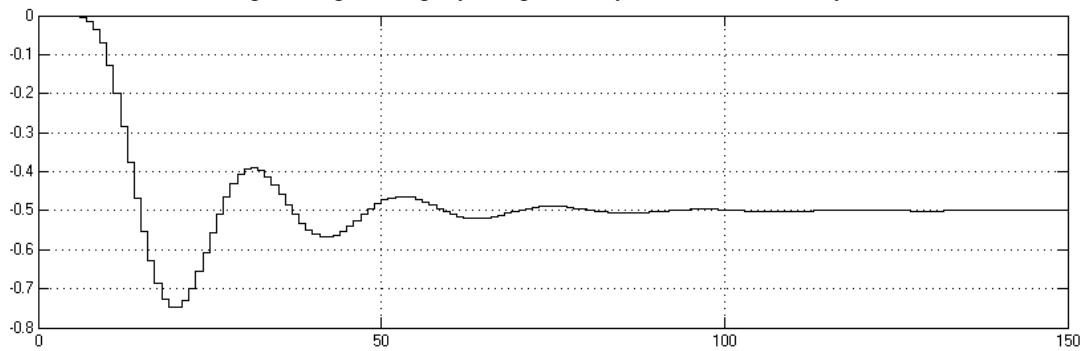


Рис. 7. Переходной процесс по вспомогательной регулируемой переменной в каскадной цифровой АСУ при настройках регуляторов, полученных по Тастину.

На рисунках 8, 9 показаны графики переходных процессов цифровой каскадной АСУ с настройками регуляторов, полученными частотным методом [2]. При этом:

$$R = \frac{2,32491z - 1,96057}{z - 1}, \quad \text{на частоте } \omega = 0,36601.$$

$$R_1 = \frac{1,13733z - 1,04116}{z - 1}, \quad \text{на частоте } \omega = 0,37801.$$

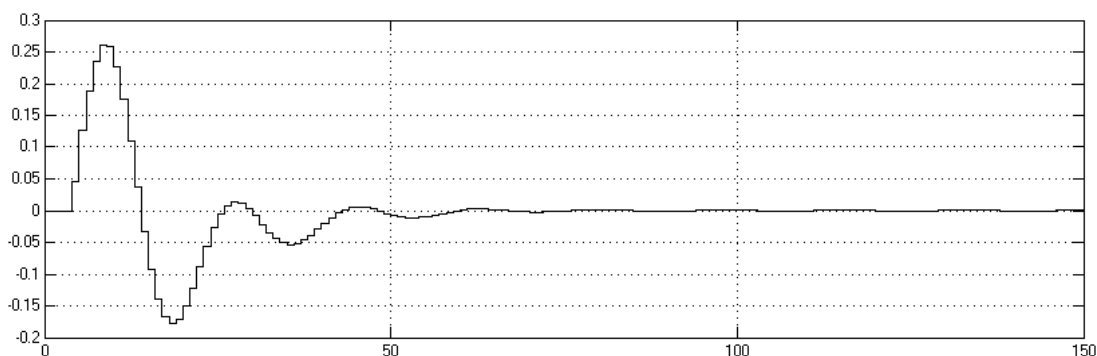


Рис. 8. Переходной процесс для вспомогательной регулируемой переменной цифровой каскадной АСУ.

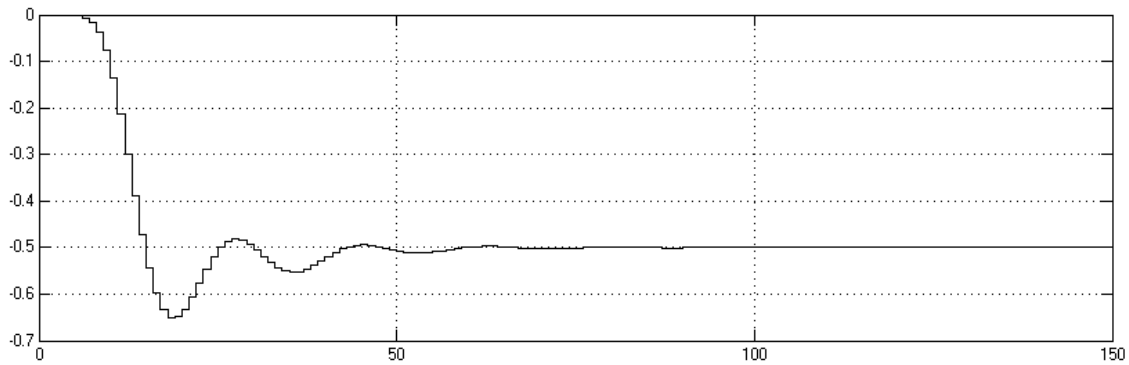


Рис. 9. Переходной процесс по основной регулируемой переменной в каскадной аналоговой АСУ.

#### *Заключение.*

Предложен частотный метод определения оптимальных настроек основного (корректирующего) и вспомогательного (стабилизирующего) регуляторов каскадной цифровой системы управления для общего случая подачи возмущающего воздействия на объект управления. Установлена близость оптимальных переходных процессов в аналоговой АСУ, в цифровой АСУ с настройками регуляторов, полученными по Тастину из аналоговой АСУ, и в цифровой АСУ с настройками регуляторов, полученными частотным методом [2].

#### Библиографический список

1. Автоматическое управление в химической промышленности. / Е.Г. Дудников [и др.]. М., 1987. 368с.
2. Кривошеев В.П., Елифанцев А.В., Кан Б.А. Метод параметрического синтеза цифровых систем управления на основе расширенных амплитудно-фазовых характеристик. // Информатика и системы управления. 2012. № 4 (34). С. 138-147.
3. Лукас В.А. Теория управления техническими системами. Екатеринбург, 2002. 675с.
4. Теория автоматического управления / С.Е. Душин [и др.]. М., 2003. 567с.
5. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М., 1984. 541с.