
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2023

ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)

12-14 декабря 2023 г.

Новокузнецк
2023

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, к.т.н., доц. В.А. Кубарев,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве)
AS'2023: труды Всероссийской научно–практической конференции
(с международным участием), 12-14 декабря 2023 г. / Министерство
науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский
государственный индустриальный университет ; под общ. ред.
В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2023. –
420 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2023

Цифровые технологии связи, измерения, управления открытыми угольными предприятиями развиваются быстрыми темпами. Они охватывают все основные аспекты деятельности, связанные с открытой угледобычей, начиная от контроля состояния бортов и отвалов карьера и управления производством до управления самочувствием и здоровьем трудящихся, а также беспилотной техникой и экологической обстановкой. Они позволяют наращивать производительность труда, повышать его безопасность и комфортность.

Библиографический список

1. «Наука, уголь, экономика. Задачи 21 века и способы их решения» [Электронный ресурс] // URL: <https://www.vnedra.ru/lyudi/kadri/nauka-ugol-ekologiya-zadachi-xxi-veka-i-sposoby-ih-resheniya-14461/> (Дата обращения: 08.11.2023)
2. «Принцип работы и использования георадара» [Электронный ресурс] // URL: <http://redut-security.ru/english-printsip-raboty-i-ispolzovanie-geor> (Дата обращения: 08.11.2023)
3. «Система связи добывающих предприятиях: модернизация и эксплуатация» [Электронный ресурс] // URL: <https://dprom.online/unsolution/sistemy-svyazi-na-dobyvayushhih-predpriyatiyah-modernizatsiya-i-ekspluatatsiya/> (Дата обращения: 08.11.2023) [Автор: Анна Кучумова]
4. «Применение БПЛА в горнодобыче и геологоразведке» [Электронный ресурс] // URL: <https://dprom.online/mtindustry/primeneniye-bpla/> (Дата обращения: 08.11.2023)
5. «Цифровой двойник горного предприятия. Всё и немного больше» [Электронный ресурс] // URL: <https://dprom.online/mtindustry/tsifrovoy-dvoynik-gornogo-predpriyatiya/> (Дата обращения: 08.11.2023)
6. «Грузовой Робокон» [Электронный ресурс] // URL: <https://insergposad.ru/news/transport/podmoskovnyj-zavod-razrabotal-bespilotnyj-samosval/> (Дата обращения: 14.11.2023)
7. «Инновация – основа производства» [Электронный ресурс] // URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4540267> (Дата обращения: 14.11.2023)
8. «Роботы как ключ к безопасности горных работ» [Электронный ресурс] // URL: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/roboty-kak-klyuch-k-bezopasnosti-gornyh-rabot-16095/> (Дата обращения: 14.11.2023)

УДК 621.3.07

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

Арбузов И.С., Кузнецова Е.С.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, arbuzovkrut@gmail.com

Аннотация. Рассматривается методика синтеза цифрового регулятора по критерию динамической точности. Проводится дискретная аппроксимация регулятора, полученного аналитическим способом. Составляется программа для реализации цифрового регулятора на программируемом логическом контроллере.

Ключевые слова: генератор мощных импульсов тока, система автоматического регулирования параметров генератора, контуры регулирования напряжения на конденсаторах и тока заряда, синтез регулятора, дискретная аппроксимация, программная реализация.

Abstract. In this paper the method of synthesis of a regulator according to the criterion of dynamic accuracy. Held discrete regulator approximation derived analytically. Components of the program in the CoDeSys environment for the realization of the digital controller in the programmable logic controller.

Keywords: generator of powerful current pulses, system of automatic regulation of generator parameters, circuits of regulation of voltage on capacitors and charge current, synthesis of regulator, discrete approximation, software implementation.

С появлением генераторов мощных импульсов тока появилась возможность изучения физических свойств металлов при токовом воздействии, а также возможность его изучения его характеристик.

Принцип действия генератора основан на периодическом разряде предварительно заряженного конденсатора на низкоомную нагрузку. Главной задачей становится снижение мощности генератора, потребляемой из сети 380 В, а также возможность регулирования амплитуды импульса в широких пределах.

Система автоматического управления параметрами зарядного устройства генератора выполнена как система подчиненного регулирования и содержит два контура регулирования: внутренний – тока заряда конденсаторов (далее контур тока), состоящий из ПИ-регулятора тока, реверсивного тиристорного преобразователя (РТП), объекта регулирования и обратной связи, содержащей малоинерционный датчик тока; внешний – напряжения на конденсаторах (далее контур напряжения), состоящий из П-регулятора напряжения, оптимизированного контура тока, объекта регулирования (емкости конденсаторов СВ), а также датчика обратной связи по напряжению. Вышеперечисленные контуры настраиваются на модульный оптимум.

Передаточная функция $W_{ТП}$ тиристорного преобразователя равна:

$$W_{ТП} = \frac{K_{ТП}}{T_{\mu ТП} p + 1}, \quad (1)$$

где $K_{ТП} = 60$ и $T_{\mu ТП} = 5$ мс – коэффициент усиления и малая (некомпенсируемая) постоянная времени тиристорного преобразователя.

Передаточная функция $W_{ОТ}$ объекта регулирования тока заряда имеет вид:

$$W_{ОТ} = \frac{\frac{1}{C}}{T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1}, \quad (2)$$

где C – емкость конденсаторной батареи, Ф;
 T_0 – постоянная времени колебательного контура тока, с;
 ξ – коэффициент затухания колебательного контура тока;
 p – оператор Лапласа.

Передаточная функция $W_{ОН}$ объекта регулирования напряжения на конденсаторах равна:

$$W_{ОН} = \frac{1}{C}. \quad (3)$$

Если $T_0^2 \gg 2\xi T_0$, то величиной $T_0^2 p^2$ в формуле (2) можно пренебречь. В этом случае передаточная функция объекта регулирования тока упрощается и имеет вид:

$$W_{ОТ} = \frac{1/C}{2\xi T_0 p + 1}. \quad (4)$$

Известно, что при настройке на модульный оптимум используется пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор, а его передаточная функция имеет следующий вид:

$$W_{РТ} = \frac{2\xi T_0 p + 1}{T_{и} p}, \quad (5)$$

где постоянная времени определяется по формуле 6:

$$T_{и} = 2T_{\mu ТП}(CK_{ТП}K_{дт}) \quad (6)$$

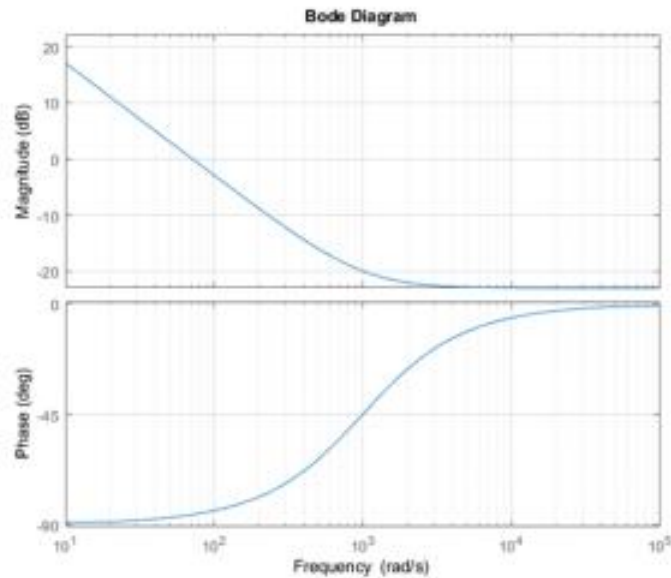


Рисунок 1 – Диаграмма Бode

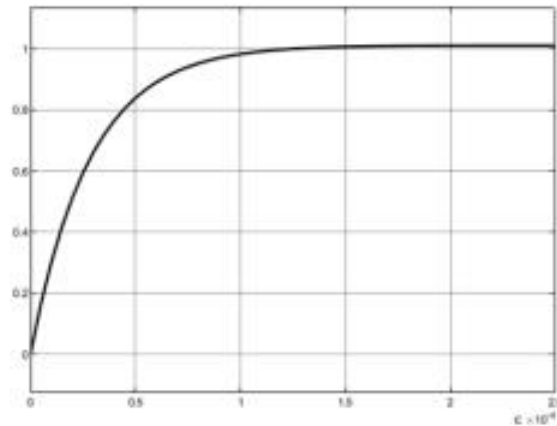


Рисунок 2 – Переходная характеристика регулятора

Далее применим билинейное z-преобразование передаточной функции. Для расчета коэффициентов воспользуемся командой `bilinear` в среде Matlab. Частоту дискретизации возьмем равную 10 кГц. Коэффициенты получились равные $n_1 = 0.075$, $n_0 = -0.0679$, $d_1 = 1$, $d_0 = -1$. Уравнения состояния имеют следующий вид:

$$x_1[(k+1)T_0] = -d_1 x_2(kT_0) - d_0 x_1(kT_0) + \Delta u(kT_0), \quad (7)$$

$$x_2[(k+1)T_0] = x_1(kT_0). \quad (8)$$

И уравнение выхода цифрового регулятора:

$$u_p(kT_0) = (n_1 - d_1 n_1) x_1(kT_0) + (n_0 - d_0 n_1) x_2(kT_0) + n_0 \Delta u(kT_0). \quad (9)$$

Для реализации цифрового регулятора на программируемом логическом контроллере составляем программу. Листинг программы приведен на рисунке 3. Программа реализации цифрового алгоритма предназначена для работы в устройствах на базе микроконтроллеров ATmega.

```

#define AO_PIN 3
#define AI_PIN 3
float d[2]={1,-1};
float n[2]={0.075,-0.0679};
float x[2]={0,0};
float xx[2]={0,0};
float u;
void setup()
{
  pinMode(AO_PIN,OUTPUT);
  pinMode(AI_PIN,INPUT);
}
void loop()
{
  int InputValue = analogRead(0);
  float voltage = InputValue * (5.0 / 1023.0);
  xx[1]=-d[2]*x[2]-d[1]*x[1] + voltage;
  xx[2]=x[1];
  u=(n[2]-d[2]*n[2])*x[1]+(n[1]-d[1]*n[2])*xx[2]+n[0]*voltage;
  analogWrite(AO_PIN, u*255);
  x[1]=xx[1]; x[2]=xx[2];
}

```

Рисунок 3 – Листинг программы

Оператор «#define» создает имена входной AI_PIN 0 и выходной AO_PIN 3 переменных, и привязывает их к определенным выводам микроконтроллера. Оператор «float» сообщает о типе созданной переменной. Данный тип переменной с плавающей запятой float d[1], float n[1] обеспечивает высокую точность программы (6–7 знаков) и обозначают коэффициенты соответствующих уравнений. Операторами float x[1] и float xx[1] обозначены переменные состояния $x(k+1)$ и $x(k)$ соответственно, float u объявляет вектор выхода соответствующего уравнения. Функция setup (), которая инициализирует и устанавливает первоначальные значения, вызывается, когда стартует программа. Она запускается только один раз, после каждой подачи питания или сброса микроконтроллера. Внутри данной функции канал микроконтроллера, предназначенный для ввода информации, переведен в режим входа, а канал, предназначенный для вывода информации, в режим выхода с помощью команды «pinMode». Основная расчетная часть программы находится внутри функции loop(), которая повторяется в цикле и постоянно считывает состояние входа и формирует выходной сигнал, который отправляется на выход микроконтроллера. График переходного процесса в системе с цифровым регулятором идентичен графику, представленному на рисунке 2.

Библиографический список

1. Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С., Громов В.Е., Косинов Д.А. Система автоматического управления процессом электростимулированного волочения. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2018;Т. 61№ 8. С. 613-619.
2. Кузнецов В.А., Громов В.Е., Кузнецова Е.С., Гагарин А.Ю. Аппаратурное обеспечение электростимулированной обработки металлов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 2. С. 157 – 163.
3. А.В. Евстифеев. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel. Изд-во «Додека-XXI», М, 2005г.
4. Н.А. Малев, О.В. Погодицкий, А.Н. Цветков. Синтез и реализация цифрового регулятора высокого порядка на программируемом логическом контроллер // ТРУДЫ IX Международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2016 Пермь, 2016 г. С. 187 – 190.
5. Богомолов, С.А. Основы электроники и цифровой схемотехники: Учебник / С.А. Богомолов. - М.: Academia, 2018. - 208 с.

6. Стрижнев, А. Г. Автоматизированный синтез цифровых регуляторов на основе дискретных передаточных функций объектов управления / А. Г. Стрижнев, А. Н. Русакович // Информатика. – 2013. – № 3(39). – С. 105-114.

УДК 004.514

СООБЩЕНИЯ НА ПОЛЕ ЭКРАННЫХ ФОРМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКАМИ ЛИНИЙ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Ахремчик О.Л., Асатрян А.Г., Редькина Н.А.

Российский биотехнологический университет «Росбиотех»
г. Москва, Россия, axremchic@mail.ru

Аннотация. Выделены базовые функции системы автоматизации теплообменников пищевой промышленности для отражения в сообщениях экранных форм. Представлена теоретико-множественная модель сообщения на поле формы. Выделены приоритет, метка времени и отклонения от уставок как базовые составляющие сообщения. Отмечено использование цвета как свойства сообщения.

Ключевые слова: управление, сообщение, состояние, схема, теплообменник, экранная форма.

Abstract. The basic functions of the automation system of heat exchangers of the food industry are highlighted for reflection in messages of screen forms. A set-theoretic model of the message on the form is presented. Priority, timestamp and deviations from the setpoints are highlighted as basic components of the message. The using of color as message property is marked.

Keywords: control, message, status, circuit, heat exchanger, screen form.

В линиях производства продуктов пищевой промышленности широко применяется теплообменное оборудование при пастеризации, стерилизации, мойке, дефростации сырья и готовых продуктов. Базовой составляющей оборудования являются теплообменники различных конструкций. Актуальной является унификация систем управления тепловыми аппаратами в рамках отдельной отрасли (пищевой промышленности). Рассматривается верхний уровень систем автоматизации, а именно - средства отображения информации оператору. Решаемой задачей является выделение ключевых параметров, отражаемых на экранных формах панелей оператора при управлении теплообменником. Подобная задача относится к классу сложных с большим уровнем неопределенности и не может решаться в общем виде для всего многообразия технологического оборудования [1]. Известны подходы к постановке и решению подобных задач в нефтехимической промышленности [2].

На технологических линиях пищевых производств в качестве теплоносителя обычно используется пар от парогенераторов или ТЭЦ. Система автоматизации теплообменника обеспечивает стабилизацию параметров технологической воды, продукта или полуфабриката на выходе теплообменника. В качестве основы для проектирования экранных форм рассматриваются функциональные схемы автоматизации теплообменника (рисунок 1). В состав системы автоматизации на нижнем уровне входят датчики температуры, давления и расхода (TE, PE, FE) теплоносителя и продукта на выходе теплообменника. Отображение значений контролируемых и регулируемых параметров осуществляется на поле экранной формы многофункционального устройства верхнего уровня (UI). Подобное устройство позволяет обеспечивать индикацию и регистрацию значений параметров (RI).

Экранная форма панели оператора является составляющей системы автоматизации, обеспечивающей функционирование канала связи с оператором. Сообщение может передаваться посредством изменения свойств выделенного фрагмента поля (нормальное состояние функционирования отражается зеленым полем символа, соответствующего фрагмента оборудования (рисунок 1)). Система автоматизации теплообменника осу-