

Б. Р. Боряк, О. Г. Дрючко, Д. О. Ненич, О. В. Сухоребрий

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЛІНІЙНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ КЕРОВАНОЇ ВЕЛИЧИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІД-РЕГУЛЯТОРА

Анотація. В статті запропоновано модель системи керування нагрівача для забезпечення лінійної зміни температури. Для верифікації працездатності системи було приведено експеримент, що передбачав зміну бажаного значення керованої величини за лінійним законом. З метою апроксимації проведення експерименту виконавчий механізм системи було замінено світлодіодом, а вимірювальний елемент фоторезистором. Система реалізована із застосуванням апаратно-обчислювальної платформи Arduino. Дана система дозволяє комбінувати можливості PID-регулятора та зміну бажаного значення регульованої величини в процесі роботи системи. У дослідженні наведені електрична схема, опис програмної реалізації системи керування та результати проведення експерименту.

Ключові слова: лінійна регуляція, PID-регулятор, Arduino, замкнена система керування.

Постановка проблеми

Метою нашої роботи було розроблення комплексу багатопільового програмного формувача лінійного закону зміни температури у робочій зоні легкокорозбінного касетного нагрівача, з можливістю візуального спостереження за зразком, й відтворенням умов і режиму дослідження, з високою надійністю та вдалим метрологічними характеристиками для оснащення лабораторних, наукових і виробничих термоаналітичних комплексів з вивчення температурної поведінки і встановлення функціональних залежностей параметрів досліджуваних об'єктів [1].

Багатопільовий термоаналітичний комплекс призначений для ідентифікації речовин за температурами фазових перетворень (плавлення, кипіння, кристалізації, поліморфних переходів), термічного розкладання; вивчення природи і температурних меж протікання низки теплових ефектів – ступінчастих; близько розташованим за температурним значенням; таких, які накладаються (зумовлені зміною просторової модифікації, дегідратації, розкладання та ін.); функціональних залежностей фізичних властивостей речовин; якісного, а в деяких випадках і кількісного аналізу механічних сумішей речовин; вимірювання температур фазових переходів індивідуальних речовин і систем, побудови на їх основі діаграм стану. Вітчизняна промисловість подібних комплексів не виготовляє. Залежно від цілей втілюваних завдань спосіб його технічної реалізації може бути використаний самостійно в локальних системах чи у комплексі засобів під час проведення термоаналітичних досліджень. Його робочий температурний інтервал визначається областю значень використання хромель-алюмелевих (ХА) перетворювачів, до 1300 С⁰.

Дослідження шляхів вирішення задачі

На даному етапі дослідження і розробки вище вказаної системи керування було вирішено провести дослід, замінивши вимірювальний елемент на фоторезистор, а виконавчий пристрій на світлодіод (для системи нагріву ми вбачаємо використання серводвигуна, що приєднується до потенціометра, який виконує роль пристрою, що задає бажане значення темпе-

ратури нагріву). Це дозволило мінімізувати витрати ресурсів, хоча і динаміка процесу нагріву суттєво відрізняється від запропонованої модифікації.

Відповідно до технічного завдання проєкту необхідно забезпечити можливість змінювати лінійно регульовану величину. У ролі закону регулювання було розглянуто можливість використання PID-регулятора, який є одним із найпоширеніших автоматичних регуляторів. Існують і інші регулятори, що перевершують ПІД-регулятор по адаптивності до керованої системи і стабільності, наприклад, лінійно квадратичний, але синтезувати такий регулятор складно. В літературі, та інформаційних ресурсах мережі internet [2– 4] наведено регулювання, що передбачає встановлення усталеної величини, тобто «setpoint» регулятора константний. У даному проєкті було запропоновано поєднання використання PID-регулятора та лінійного закону зміни регульованої величини.

Для експерименту було використано елементи апаратно-обчислювальної платформи Arduino, і пристрої, сумісні з платою керування Arduino UNO, яка виконувала роль пристрою керування.

Програмна реалізація системи керування

Електрична схема підключення елементів системи, яка використовувалась у досліді, наведена на рис. 1. Система складається із таких елементів:

- Arduino uno r3;
- фоторезистор r2 (gl5528);
- світлодіод d1 (білий);
- резистор r1 = 220 ом (обмеження струму на світлодіоді);
- резистор r3 10 ком (для обмеження струму та формування потрібної напруги).

Розглянемо структурні елементи програми, що забезпечують роботу системи керування.

У програмній реалізації системи керування було використано бібліотеку PID_v1, розроблену Бреттом Борегардом [5], для створення об'єкту PID-регулятора. Підключення бібліотеки, а також визначення змінних, які використовуються для збереження даних про бажане значення (Setpoint), виміряне значення регульованої величини (Input), сигналу керування (Output), а також коефіцієнтів PID-регулятора, наведені у наступній частині коду програми:

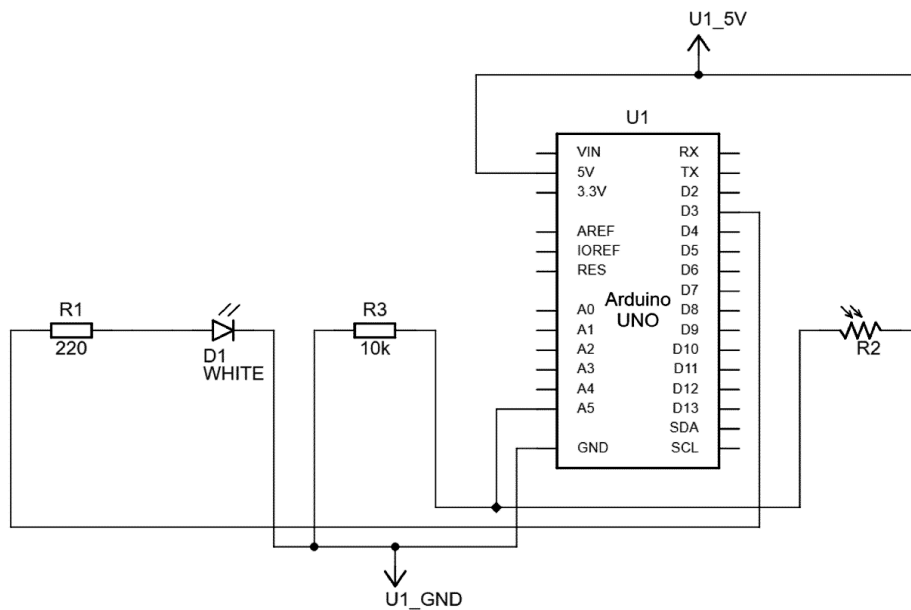


Рис. 1. Схема системи, що використовувалась в експерименті

```
#include<PID_v1.h>
double Setpoint;
double Input;
double Output;
double Kp = 0, Ki = 10, Kd = 0;
```

Програмна реалізація створення об'єкту PID-регулятор, запропонована Бреттом Борегардом, передбачає використання об'єкто-орієнтованої парадигми програмування і реалізовується наступним чином:

```
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

У функції `setup`, що використовується для встановлення початкових налаштувань, відбувається ініціалізація передачі даних для відслідковування процесу, відбувається встановлення режиму роботи, коефіцієнтів регулятора, а також налаштується режим роботи цифрового виводу, до якого підключений світлодіод. Програмна реалізація функція `setup` наведена нижче:

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  myPID.SetTunings(Kp, Ki, Kd);
  pinMode(3, OUTPUT);
}
```

Головний алгоритм роботи описується у функції `loop`. Першим кроком відбувається визначення поточного часу в мілісекундах. Це необхідно для подальшого формування лінійної зміни бажаного значення (`Setpoint`). Воно визначається за допомогою функції `map` та обмеження мінімального та максимального значення функцією `constrain`:

```
Setpoint = map(constrain(currentTime, 0, 20000), 0, 20000, 125, 175);
```

Таким чином, `Setpoint` лінійно змінюється в межах від 125 до 175, пропорційно часу, що пройшов від 0 до 20000 мілісекунд. У досліді було вказано два бажані значення керованої величини, початкове 125, і кінцеве 175. Ці значення є масштабованими значеннями рівня освітлення від фоторезистора. Мікроконтролер кодує значення фоторезистора за допомогою

10-бітного аналогово-цифрового перетворювача і у числовому значенні вони коливаються від 0 до 1023. Ці значення масштабуються з використанням функції `map` і записуються у змінну `Input`:

```
Input = map(analogRead(5), 0, 1024, 0, 255);
```

Наступним етапом є визначення значення сигналу керування, що здійснюється шляхом виклику методу об'єкта PID-регулятора `Compute`. Після чого відбувається формування ШІМ-сигналу, за допомогою виклику функції `analogWrite`, другим параметром якої є значення змінної `Output`.

Для відлагодження процесу роботи системи, а також збору даних відбувається надсилання даних від мікроконтролера до комп'ютера за допомогою методів об'єкту послідовного порту і встановлюється затримка `dt = 100` мілісекунд. Програмна реалізація функції `loop` наведена нижче:

```
void loop() {
  unsigned long currentTime = millis();
  Setpoint = map(constrain(currentTime, 0, 20000), 0, 20000, 125, 175);
  Input = map(analogRead(5), 0, 1024, 0, 255);
  myPID.Compute();
  analogWrite(3, Output);
  Serial.print(Input);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(Output);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(Setpoint);
  delay(100);
}
```

Результат роботи системи, а також дані, що були зібрані під час досліді візуалізовано на рис. 2. Варто зазначити, що різкі зміни даних, що були отримані із вимірювального пристрою вказують на низьку інерційність процесу. У випадку із імплементацією цієї системи у систему керування процесу нагріву характер процесу буде відрізнятися.

Подальші кроки модифікації системи полягають у додаванні можливості задавати початкове та кінцеве значення керованої величини, а також часу протягом якого має змінюватись вихідна величина.

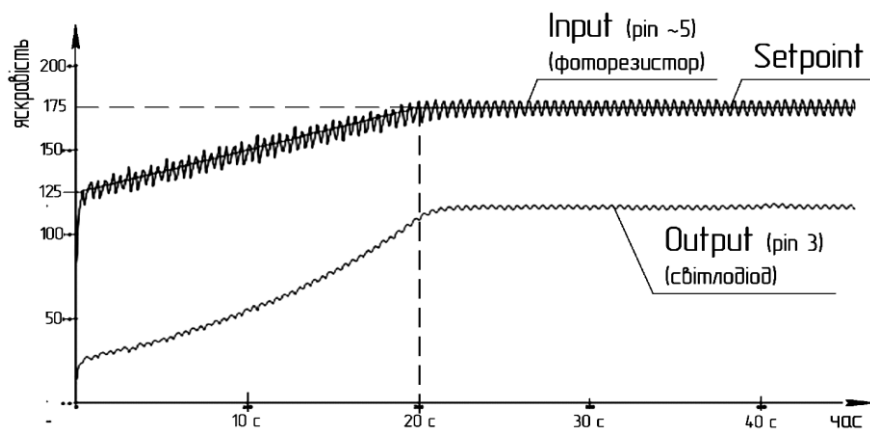


Рис. 2. Графік зміни значень Input, Output та Setpoint

Для впровадження даних модифікацій передбачається додавання пристроїв введення і виведення даних. Для задавання початкового і кінцевого значень передбачається використання матричної цифрової клавіатури, а також LCD-дисплею для відслідковування поточного стану процесу і заданих значень. У розрізі програмної реалізації необхідно впровадити кілька режимів роботи, а саме режим задавання вхідних параметрів: початкової температури, кінцевої температури і часу, протягом якого буде забезпечена зміна вихідної величини. Також необхідно передбачити проміжний режим, який буде забезпечувати попередній нагрів речовини до початкового значення. У режимі лінійного регулювання на екрані пристрою виведення передбачається відображати наступні дані: поточне значення температури від вимірювального пристрою, час, що

пройшов від початку проведення досліду, а також бажане значення температури на поточний момент часу.

Висновок

Результати проведення досліду, наведені у статті, дозволяють зробити висновок, що запропонована система забезпечує лінійну зміну керованої величини і може бути застосована для системи керування температурою. Для вибору оптимальних коефіцієнтів PID-регулятора необхідно провести додаткові дослідження із врахуванням інерційності системи нагріву, а також врахувати масштабування даних від датчика температури та положення валу серводвигуна, який використовується для встановлення бажаних значень регульованої величини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Спосіб програмного формування лінійного закону зміни температури нагрівника / Д. О.Стороженко, Н. В. Бунякіна, І. О. Іваницька, О. Г. Дрючко. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://uapatents.com/5-43549-sposib-programnogo-formuvannya-linijnogo-zakonu-zmini-temperaturi-nagrivnika.html>.
2. PID control on arduino. – 2017. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=crw0Hcc67RY&t=287s>.
3. Driver PID Settings. – 2023. – URL: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=9013.
4. Kalsbeek J. The PID Controller / Jelle Kalsbeek. – 2017. – URL: <https://www.pid-tuner.com/pid-control/>.
5. Beauregard B. Arduino-PID-Library / Brett Beauregard – URL: <https://github.com/br3ttb/Arduino-PID-Library>

Received (Надійшла) 11.09.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.11.2023

Automated system of linear controlled variable regulation with a PID-controller

B. Boriak, O. Driuchko, D. Nenyh, O. Sukhorebryi

Abstract. The aim of this study was to develop a multifunctional software suite for generating a linear temperature change law for the thermo-analytical complex. The multifunctional thermo-analytical complex is designed for identifying substances based on temperatures of phase transitions. The study involved the development of a heating control system. To verify the system's functionality, an experiment involving a linear change in the desired value of the controlled variable was conducted. To approximate the conditions of the experiment as an executive mechanism of the system a light-emitting diode was used, while a photoresistor served as the measuring element. This allowed minimizing the resource costs for developing the control system prototype, although the dynamics of the heating process significantly differ from the proposed modification. According to the project's technical specifications, it is necessary to ensure the capability of adjusting a linearly controlled parameter. The system was implemented using the hardware-software platform Arduino. The research results presented in the article allow concluding that the proposed system ensures linear variation of the controlled parameter and can be applied to temperature control systems. To select the optimal coefficients for the PID controller, additional research considering the inertia of the heating system is necessary. It is also important to consider scaling the data from the temperature sensor and the position of the servo motor shaft used to set the desired values of the controlled parameter. This system allows combining the capabilities of a PID controller with real-time changes in the desired value during system operation. The research includes an electrical diagram, a description of the software implementation of the control system, and the results of the conducted experiment.

Keywords: Linear regulation, PID controller, Arduino, Closed-loop control system.