



УКРАЇНСЬКЕ ЦЕНТРАЛЬНЕ І ЗАКАРПАТСЬКЕ ОБЛАСНЕ
ПРАВЛІННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТОВАРИСТВА
ПРИЛАДОБУДУВАЛЬНИКІВ І МЕТРОЛОГІВ
ЗАКАРПАТСЬКЕ ВІДДІЛЕННЯ ДЕРЖАВНОГО
НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ
МЕТРОЛОГІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ І
УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ НДЦ "СИСТЕМА"
УЖГОРОДСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ПРОБЛЕМИ
ЕКОНОМІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ
РЕГІОНУ І ПРАКТИКА
НАУКОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Науково-технічний збірник

Випуск 13

Київ-Ужгород, 1997

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В СТАНДАРТІ КАМАК

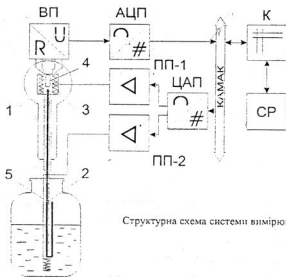
Біланч В.С., Габорець В.В., Горват А.А., Молнар О.О. Наконечний Ю.С.

В практиці вимірювання та регулювання температури часто використовуються системи побудовані на основі пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) алгоритму регулювання. Апаратна реалізація цього алгоритму порівняно проста в аналогових системах керування [1,2]. Використання цифрових методів дозволяє значно підвищити як точність регулювання, так і надійність систем керування. В даній роботі описана система автоматичного регулювання температури об'єктів на базі модульної електроніки КАМАК з використанням ПІД алгоритму. Система розроблена для проведення лабораторних досліджень проте вона легко адаптується до любых об'єктів та широкого класу технологічних процесів.

Система вимірювання та регулювання температури в обмеженому об'ємі по наперед заданому закону (в тому числі і підтримання незмінного значення) складається із газопротічного вакуумного термостату 1 (див. малюнок), посудини 2 з рідким азотом холодні пари якого поступають в термостат, мідного кристалотримача 3 температура якого регулюється, платинового терморезистора 4, котрий розміщений всередині кристалотримача, вторинного перетворювача опір-напряга ВП з нормованим значенням вихідної напруги постійного струму 0-10 В, аналогово-цифрового перетворювача АЦП, цифро-аналогового перетворювача ЦАП, двох підсилювачів потужності ПП-1 та ПП-2 для живлення електронагрівників, розташованих в кристалотримачі та в рідкому азоті. Перетворювач ВП є нестандартним, виготовлений у вигляді окремого винесного модуля, і закріплюється безпосередньо на термостаті з метою зменшення впливу довжини з'єднувальних провідників. Для компенсації похибок, обумовлених опором цих провідників, використовується чотирипровідна схема при'єднання терморезистора до ВП. В системі використовується керуюча ЕОМ типу АТ-286, яка з'єднана з крейтом за допомогою контролера К.

В режимі вимірювання та стабілізації температури система функціонує слідуочим чином. Платиновий терморезистор змінює свій опір при зміні температури. З інтервалом 0,5 секунди ЕОМ видає команду АЦП на перетворення напруги U , яка пропорційна температурі, в цифровій код. Обчислення значень температури здійснюється в реальному масштабі часу шляхом нелінійної інтерполяції з використанням сплайну, побудованого по 5-ти сусідніх точках шкали. Таблиця градування платинового терморезистора [1] з дискретністю 1 К записана в пам'яті ЕОМ. Застосування табличного методу збереження кривої градування терморезистора для знаходження проміжкових значень температури дозволяє швидше виконувати обчислення в

порівнянні з обчисленнями по поліному при тій же точності. Одержане значення температури виводиться на дисплей для оперативного контролю за процесом. Одночасно відповідний код значення температури передається підпрограмі регулювання температури. З метою усунення адитивних та мультиплікативних похибок обумовлених температурним та часовим дрейфом напруги та коефіцієнтів перетворення АЦП здійснюється процедура самокалібровки АЦП з періодом в 10 хвилин. При регулюванні температури розрахований параметр керування у вигляді вихідного коду виводиться в ЦАП, напруга з якого через підсилювач потужності ПП-1 поступає на електронагрівник кристалотримача. В режимі охолодження, або при стабілізації низьких температур працюють ПП-2 та нагрівник, розташований в рідкому азоті. В залежності від потужності, яка виділяється в нагрівнику і відповідно від тиску парів азоту в посудині Дюара через коаксіальні трубки 5 (див. малюнок) у внутрішню порожнину кристалотримача попадають пари азоту, або сама рідина. Для зменшення тепловідводу та запобігання утворенню водяного конденсату при низьких температурах внутрішній об'єм термостату відкачується. Одні випробовування системи та її експлуатація показали доцільність заповнення внутрішнього об'єму термостату інертним газом або азотом, що значно зменшує градієнти температури в досліджуваних об'єктах.



Структурна схема системи вимірювання та регулювання температури

Протоколювання результатів вимірювань здійснюється шляхом виведення на принтер інформації про параметри процесу через заданий проміжок часу (1 ... 10 хв).

Цифровий метод реалізації ПІД алгоритму базується на дискретизації в часі контрольованого параметру (температури). Стандартний пропорційно-інтегрально-диференціальний алгоритм регулювання реалізується формулою:

$$Y = K_p x + K_i \int x dt + K_d \frac{dx}{dt}$$

де Y - вихідний код; $x = s_0(t) - s(t)$ - відхилення параметру, що регулюється $s(t)$, від заданного значення $s_0(t)$; T_i - постійна інтегрування; T_d - постійна диференціювання; K_p , K_i , K_d - коефіцієнти. В записаному виразі інтегрування замінюється додаванням відхилень x , а диференціювання - їх різницею $x_i - x_{i-1}$. Оскільки перша різниця досить чутлива до випадкових похибок та кроку квантування, тому в диференціальній складовій вихідного коду використовується середнє значення похідної із попередніх чотирьох циклів регулювання. При довготривалих вимірюваннях інтегральна складова вихідного коду може досягати великих значень, що приводить до переповнення ЦАП. Для усунення цього додавання відхилень x слід проводити лише в певному околі (який визначається експериментально) заданого значення параметру. Крім того, з метою зменшення впливу випадкових похибок та промахів кожне значення контрольованого параметру в межах одного циклу регулювання вимірюється 5-10 разів і в подальших розрахунках використовується його середнє значення.

Для експериментального визначення постійних часу інтегрування та диференціювання знімається крива розгону [2], динамічними параметрами якої є коефіцієнт передачі $K_{06} = \Delta Y / \Delta x$, постійна часу T_{06} та час запізнення τ_{06} . Використовуючи ці параметри по приведених в таблиці формулах розраховувались постійні часу T_i та T_d .

Таблиця для розрахунку постійних часу інтегрування та диференціювання

Перехідний процес		
Аперіодичний	З 20%-ним перерегулюванням	З мінімальним $\int x^2 dt$
$K_0^{-1} = 1.25 K_{06} \frac{\tau_{06}}{T_{06}}$	$K_0^{-1} = 1.15 K_{06} \frac{\tau_{06}}{T_{06}}$	Реалізується рідко, так як вимагає відношення $\frac{T_d}{T_i} > 0.25$
$T_i = 1.9 \tau_{06}$	$T_i = 1.45 \tau_{06}$	
$T_d = 0.5 \tau_{06}$	$T_d = 0.55 \tau_{06}$	

Описаний алгоритм ПДД регулювання реалізований програмно на мові Turbo Pascal (див. Додаток), використання якого дозволило підтримувати незмінне значення температури з похибкою, яка не перевищує 0,002 К та задавати швидкості зміни температур в межах 0,002 ... К/хв. Діапазон робочих температур 77 ... 400 К.

Технічні відомості про модулі системи:

- платиновий терморезистор типу Р100/1509А фірми TDI Ltd (Англія), або типу ТСПН-2В;
- аналогово-цифровий перетворювач, 20-ти розрядний, в стандарті КАМАК, типу АЦП-20, розробка СКБ обчислювального центру Інституту кібернетики АН Естонії;
- цифро-аналоговий перетворювач, 16-ти розрядний, типу ФК70-2;
- контролер крету типу Ф4410 (в комплекті з інтерфейсною платою в стандарті IBM), виробництва СКБ Вільнюського заводу VEMT;
- підсилювачі потужності ПП-1, ПП-2 - нестандартні, виготовлені в лабораторії, вихідна напруга 30 В, максимальний струм 1А.

Література.

1. Теплофизические измерения и приборы. Под ред. Платунова Е.С. -Л. Машиностроение, 1986, 256с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. -М. Наука, 1972, -766с.

Додаток. Програма реалізації ПДД - алгоритму регулювання.

Var

```
reference, {величина, що регулюється}
setpoint, {точка стабілізації}
pidCalc, {теперішня величина PID}
propGain, {пропорційний коефіцієнт}
resetMin, {інтегральний коефіцієнт}
derivMin, {диференціальний коефіцієнт}
scanPeriod, {час між вимірами в секундах}
scanMin, {minute/scan = scanPeriod/60.0}
sumError, {сума попередніх відхилень - інтегральний член}
newError, {теперішнє відхилення}
ei1,ei2,ei3, {три останні відхилення}
highClamp, {величини верхньої та нижньої меж дії PID}
lowClamp : real;
```

Procedure initParameters;

begin

```
setpoint := 45;
```