

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Фізико-математичний факультет
Кафедра фізики

Дипломна робота (проект)

магістра

з теми: **«ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНЕ
КЕРУВАННЯ НАГРІВАЛЬНИМИ ПРИЛАДАМИ В ФІЗИЧНОМУ
ЕКСПЕРИМЕНТІ»**

Виконав:

Магістрант 2 курсу F1-M19p групи
спеціальності 014 Середня освіта
(Фізика)

Бенедь Олександр Валентинович

Керівник:

кандидат фізико-математичних наук,
доцент

Оптасюк С.В.

Рецензент:

доктор педагогічних наук, професор
Атаманчук П.С.

Кам'янець-Подільський – 2020 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ I. ТЕОРІЯ ПІД РЕГУЛЮВАННЯ.....	5
1.1 Історія відкриття ПІД регулювання	5
1.2. Методи та алгоритми автоматичного регулювання.....	6
1.3. Математична модель ПІД регулювання.....	15
1.4. Структурна схема ПІД регулятора.....	24
1.5. Складові ПІД регулятора.....	27
РОЗДІЛ II. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПІД РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ.....	30
2.1. Реалізація вимірювання температури.....	30
2.2. Проектування та апаратна реалізація регулятора температури.....	32
2.3. Налаштування ПІД регулятора.....	35
РОЗДІЛ 3. МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ МЕТОД КЕРУВАННЯ ПРОФІЛЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ У ФІЗИЧНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ.....	40
3.1. Структурні особливості термоелектричних перетворювачів.....	40
3.2. Конструктивна схема нагрівачів.....	41
3.3. Реалізація температурного поля в багатозонних електропечах для синтезу напівпровідникових сполук.....	44
3.4. Експериментальне дослідження профілю температурного поля...	50
РОЗДІЛ 4. СИНТЕЗ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СПОЛУК.....	55
4.1. Особливості синтезу кристалічних напівпровідникових сполук...	55
4.2. Вакуумування ампул.....	57
4.3. Конструкція технологічного пристрою.....	59
4.4. Проведення технологічних експериментів по вирощуванню кристалів.....	61
4.4.1. Статичний варіант.....	63
4.4.2. Динамічний варіант.....	64
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ВСТУП

Основним завданням при проектуванні електронних приладів було і залишається досягнення певних метрологічних характеристик. На різних етапах розвитку обчислювальної техніки ця задача вирішувалася різними методами. Ці та технологічні методи зводилися до вдосконалення технології та конструкції. Структурні методи отримали особливий розвиток при створенні цифрових технологічних приладів. Поліпшення метрологічних характеристик і розширення функціональних можливостей приладів досягалося реалізацією певних структур, які знаходяться в більшості випадків евристичним шляхом [1].

Удосконалення елементної бази і велика інтеграція цифрових схем привели до розробки структурно-алгоритмічних методів, в яких вдосконалені структури поєднуються з реалізацією обчислювальних операцій. Використання зазначених методів дозволило виконувати автоматичну корекцію ряду похідних вимірювань, поєднувати різні методи перетворення форми інформації і забезпечувати при цьому високу швидкість і розширення функціональних можливостей приладів [2-4].

Останні роки відзначені масовим наповненням ринку всілякою автоматизованою апаратурою різного призначення і різної складності. Мікроконтролери входять в усі сфери життєдіяльності людини, їх насиченість в нашому оточенні росте щорічно.

Управління технологічними процесами за допомогою регуляторів, які реалізовані на мікроконтролерах та працюють за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом (ПІД-регулятор) дозволяє підтримувати необхідну технологічну величину з досить високою точністю і прийнятною стабільністю до зовнішніх впливів. Сучасні ПІД-регулятори реалізуються як в вигляді програмного модуля SCADA-системи, так і у вигляді окремих технологічних регуляторів. В якості базових елементів обробки інформації та управління часто використовуються мікропроцесори з обмеженими функціональними можливостями, в зв'язку з чим виникає проблема нестачі апаратних ресурсів і

подорожчання системи.

Для повноцінної реалізації ПІД-регулювання в мікроконтролерних пристроях необхідно реалізувати наступні підсистеми:

- підсистема вимірювання; - підсистема обробки ПІД-алгоритму; - підсистема призначеного для користувача інтерфейсу управління; - підсистема видачі регулюючого впливу.

Метою даної роботи є огляд принципів побудови пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів і проектування, розробка та виготовлення на базі проведеного огляду ПІД-регулятора температури. Розробка методу керування профілем температурного поля вздовж електродів головної термопари ТЕП, який дозволить забезпечити стійкість і необхідну точність встановлення заданого профілю без потреби складних теоретичних та експериментальних досліджень об'єкта регулювання та матиме невисоку обчислювальну складність, що дозволить його реалізувати в системах, що ґрунтуються на мікроконтролера.

Об'єктом дослідження є вивчення загальних принципів побудови пропорційно-інтегрально-диференціальних технологічних регуляторів і проектування алгоритму регуляторів температури на базі мікроконтролерів Arduino.

Предметом дослідження є пропорційно-інтегрально-диференціальний контроль над тепловими процесами .

Завдання роботи:

- розглянути технічні можливості та структуру ПІД регуляторів.
- розглянути основні принципи пропорційно-інтегрально-диференціального контролю над тепловими процесами;
- розробити робочу модель ПІД регулятор теплових процесів.
- розробити робочу модель інтерфейсу управління ПІД регулятора

Практичне значення полягає у розробці програмно-апаратного комплексу системи автоматичного регулювання параметрів енергетичної установки.

ВИСНОВКИ

Робота містить теоретичний опис пропорційно-інтегрально-диференційного методу контролю нагрівних та охолоджуючих пристроїв, що забезпечує максимальну стабілізацію температурних режимів.

Розглянуто загальні питання створення ПІД-регуляторів. Проаналізовано похибки, які вносить в процес регулювання диференційний вузол. Детально розглянуто інтегральний вузол ПІД-регулятора. Детально обговорюється коло питань, пов'язаних зі стійкістю ПІД-регулювання

Незважаючи на різноманітність і складність реальних об'єктів управління, в ПІД-регуляторах використовуються, як правило, тільки дві структури математичних моделей: модель першого порядку з затримкою і модель другого порядку з затримкою.

Налаштування ПІД регулятора носить ітераційний характер. Тобто пункти підбору коефіцієнтів можуть багаторазово повторюватися до тих пір, поки не буде досягнутий прийнятний результат.

Завдяки високим характеристикам і універсальності ПІД регулятори широко застосовуються в системах автоматизації виробництва.

Під час роботи було побудовано робочу модель ПІД автоматизованої системи керування нагрівальними приладами на базі апаратно-обчислювальної платформи Arduino. До переваг такого регулятора можна віднести те, що він може працювати як в режимі нагрівання, такі в режимі охолодження. Також розроблено робочу модель інтерфейсу управління ПІД регулятора

Використання ПІД - закону в фізичному експерименті веде до підвищення якості регулювання. Це пояснюється особливістю роботи автоматизованих систем з ПІД – регуляторами та дозволяє підтримувати коливання температури більш точно у всьому діапазоні продуктивності, що є першочерговим завданням.

Використання ПІД - алгоритму обмежено складністю його налаштування. Це пояснюється особливістю роботи систем з ПІД - регуляторами: висока чутливість до відхилення оптимуму їх налаштувань і неможливість

застосування крокового методу для отримання перехідного процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Манаєв Є.І. Основи радіоелектроніки: навч. посібник/ Є.І. Манаєв – М.: Радіо і зв'язок, 2005. — 241 с.
- 2) Буличов А.Л. та ін Електронні прилади: підручник/ А.Л. Буличов – М.: Лайт Лтд., 2008. – 432 с.
- 3) Опадчий Ю.Ф. Аналогова та цифрова електроніка: підручник для вузів/ Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкін, А. І. Гуров – М.: Гаряча Лінія - Телекому, 2009. – 768 с.
- 4) Прянішніков В.А. Електроніка: Курс лекцій/ В.А. Прянішніков — СПб.: Корона-принт, 2008. – 343 с.
- 5) Ang K.H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2005. Vol. 13. No. 4. P. 559-576.
- 6) Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. 1942. Vol. 64. P. 759-768.
- 7) O'Dwyer A. PID compensation of time delayed processes 1998-2002: a survey // Proceedings of the American Control Conference, Denver, Colorado, 4-6 June 2003. P. 1494-1499.
- 8) Quevedo J., Escobet T. Digital control: past, present and future of PID control // Proceedings of the IFAC Workshop, Eds., Terrassa, Spain, 5-7 Apr. 2000.
- 9) Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. – ISA (The Instrumentation, System, and Automation Society) , 2006. — 460 p.
- 10) Li Y., Ang K.H, Chong G.C.Y. Patents, software, and hardware for PID control. An overview and analysis of the current art // IEEE Control Systems Magazine. Feb. 2006. P. 41-54.
- 11) Столяр О.М. Алгоритми регулювання параметрів технологічного процесу в енергетичних установках / Столяр О.М. // Матеріали VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016. – Тернопіль: ТНЕУ, 2016. – С. 51-52.

- 12) Конструкция и расчет нагревательных установок / В.А. Двойнишников - Москва: Машиностроение. 1988.
- 13) Основы энерготехнологии промышленности / В.А. Маляренко, Н.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О.Б. АНИПКО. Підручник – Харків: НТУ ХПІ, 2002.-436с.
- 14) Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / Б.Н. Голубкова. - Москва: Энергия, 1979.
- 15) Измерения при регулировке и настройке. Виды и методы измерений. Погрешности измерений. Инструкция / А.Ю. Симановский. – м. ІваноФранківськ: Мікрол, 2003.
- 16) Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов / Петров И.К. – Москва: Энергия, 1986, 354 с. 10. Heat Transfer Equipment Design and Performance, CRC Press, 2002.
- 17) Типы регуляторов. Методика настройки регуляторов. Инструкция / А.Ю. 81 Симановский. – м. Івано-Франківськ: Мікрол, 2004.
- 18) Современные средства регулирования технологических процессов на микропроцессорах / Егорова А. С. – Москва: ЦНИИТЭИ приборостроения 1981. - 39 с.
- 19) Руководство и рекомендации по электромагнитной совместимости. / – м. Івано-Франківськ: Мікрол, 2004.
- 20) Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Підручник./ Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Маляренко. – Київ.: «Політехніка», 2003. – 232с.
- 21) Автоматизация технологических процессов пищевых производств. / Е.Б. Карпина – Москва: Агропромиздат. 1985. - 368с.
- 22) Основы теплофизики зданий и энергосбережения. / В.А. Маляренко. - Харків: ХНАГХ, 2006 -498с.
- 23) On modeling of heat exchangers in modelica // S. E. Mattsson, - in: Proceedings of the 9th European Simulation Symposium, 1997.

24) . Микропроцессорные контроллеры в системах автоматического регулирования // Г. Г. Иордан., Н. М. Курносов., М. Г. Козлов., Приборы и системы управления. 1981, №2;

25) Киренко И.И. Некоторые законы термоэлектрической неоднородности // Исследования в области температурных измерений: Сб.тр. – М.: ВНИИМ. 1976. – С.11–15.

26) Кочан О., Васильків Н., Кочан Р., Яскілка В. Оцінка максимальної похибки неоднорідних термопар // Вісн. Терноп. держ. техн. ун-ту. 2007. – №1. – С.122–129.

27) Кочан О.В., Кочан Р.В. G01K 7/02. Термоелектричний перетворювач. Заявка на пат. України № а 2007 01855. Заявл. 22.02.2007.

28) Кочан О. Термоелектричний перетворювач з корекцією похибки неоднорідності // Вимірювальна техніка та метрологія. 2008. Вип. 68. – С.144–153.

29) Кочан О. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля // Вісн. Терноп. держ. техн. ун-ту. 2008. – №2. – С.102–108.

30) Соболев А.В. Повышение точности регулирования температурного поля путем совершенствования алгоритма управления многозонным термическим объектом : Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06: – Рыбинск, 2004. – 159 с.

31) Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1975. – 568 с.

32) Крижанівський С.Є. Диференціальні рівняння. – Харків: Держ. наук.-техн. вид-во України ім. Гонти, 1938. – 398 с.

33) Недужий И.А., Алабовский А.Н. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 248 с.

34) Кочан О.В., Кочан Р.В. Оцінка похибки вимірювання температури з допомогою термоелектричного перетворювача з керованим профілем

температурного поля // Вісн. Хмельницьк. нац. ун-ту. – Хмельницький, №2, т. 1 “Технічні науки”. 2007. – С.237–241.

35) Kochan O., Kochan R., Wojko O., Chyrka M. Temperature Measurement System Based on Thermocouple With Controlled Temperature Field. Proc.of the IEEE international workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2007), Dortmund, Germany, September 6 – 8, 2007 pp. 47–51.

36) http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Гаусса. 13. Кочан О.В., Васильків Н.М., Яскілка В.Я. Піч дослідження впливу температурного поля на термоелектричний перетворювач // XII наук. конф. Тернопільськ. держ. техн. ун-ту імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 15 травня 2008. С. 150.

37) Lachish, U. CdTe and CdZnTe Crystal Growth and Production of Gamma Radiation Detectors [Electronic resource] / U. Lachish. – Available at: <http://urila.tripod.com/crystal.htm>

38) Шляхов, И. Н. Применение детекторов на основе полупроводниковых соединений CdTe и CdZnTe в задачах анализа источников γ -излучения [Текст]: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / И. Н. Шляхов. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – Харьков, 2012. – 20 с.

39) Новий економічний ПД-регулятор ОВЕН ТРМ500 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.svaltera.ua/presscenter/news/8798.php>

40) Пекуровський, Г. В. Налаштування параметрів ПД-регулятора при синтезі адаптивної системи автоматичного управління активною компенсацією вібрації [Текст] / Г. В. Пекуровський, О. В. Барабаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 4(32). – С. 139–142.

41) Petrenko, V. R. Automation of managment by the technological processes to produce bulk Cz-Si single crystals [Text]: avtor. dis. ... doctor of technical sciences : 05.13.07 / V. R. Petrenko. – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute, 2009. – 39 p.

42) Moskalenko, V. V. The intelligent system of support decision for automation of growing of scintillation monocrystals from the melt [Text] : Thesis for

... candidate of technical sciences: 05.13.07 / V. V. Moskalenko. – Kharkiv, 2014. – 16 p.

43) Bolchini, C. A Framework to Model Self-Adaptive Computing Systems [Text] / C. Bolchini, M. Carminati, A. Miele, E. Quintarelli // Proc. NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems, 2013. – P. 71–78. doi: 10.1109/ahs.2013.6604228

44) Cámara, J. Assurances for Self-Adaptive Systems: Principles, Models, and Techniques [Text] / J. Cámara, R. de Lemos, C. Ghezzi, A. Lopes // Verlag, Berlin, Heidelberg. – 2013. – Vol. 7740. – P. 340.

45) Rajkumar, R. Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution [Text] / R. Rajkumar, L. Insup, S. Lui, J. Stankovic // Design Automation Conference (DAC), 2010 47th ACM/IEEE, Anaheim, USA, 2010. – P. 731–736.

46) Bell, R. O. Calculated Temperature Distribution During Laser Annealing in Silicon and Cadmium Telluride [Text] / R. O. Bell, M. Toulemonde, P. Siffert // Applied Physics. – 1979. – Vol. 19, Issue 3. – P. 313–319. doi: 10.1007/bf00900475

47) Жвавий, С. П. Численное моделирование динамики фазовых переходов в CdTe, инициируемых наносекундным излучением эксимерного лазера [Текст] / С. П. Жвавий, Г. Л. Зыков // Физика и техника полупроводников. – 2006. – Т. 40, Вып. 6. – С. 652–655. 12. Zanio, K. Semiconductors and Semimetals. Vol.

48) Cadmium Telluride [Text] / K. Zanio. – N. Y.: Academic Press, 1978. doi: 10.1016/s0080-8784(08)60064-2

49) Рогов, Р. В. Структурно-логічна організація серверного програмного забезпечення для управління технологічними мережами [Текст] / Р. В. Рогов, Г. І. Воробець, О. І. Воробець // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – Вип. 81, № 05. – С. 205–208.

50) Mazurenko, M. I. WEB- system dynamical reconfiguration based on metric analysis of vulnerability databases OTS-components [Text] / M. I. Mazurenko, V. S. Kharchenko, A. V. Gorbenko // Radioelectronic and computer systems. – 2014. – Vol. 5, Issue 69. – P. 135–139.