

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»
Зав. кафедрою АВП
к.т.н., доцент
Олександр Дідик
«___» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

***«Комп'ютерно-інтегрована система для автоматичного керування
тепловими параметрами технологічних установок»***

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи АК-23М-1
ОПП «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»
_____ Ковальов В.О.
«___» _____ 20__ р.

Керівник роботи
доцент, к.т.н.
_____Сергій ПЛЕСКОВ
«___» _____ 20__ р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“___” _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Ковальова Владислава Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *«Комп'ютерно-інтегрована система для автоматичного керування тепловими параметрами технологічних установок»*

2. Керівник роботи

Плешков Сергій Петрович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 23.12.2024 року

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *це підвищення якості (зменшення динамічних похибок і підвищення швидкодії) цифро-аналогових систем автоматичного управління параметрами електричних печей шляхом застосування цифрових оптимальних за швидкодією, нечітких і ПД-регуляторів.*

5. Перелік графічного матеріалу *структурні схеми цифрового регулятора, ПД-регулятора та нечіткого регулятора; функції належності нечіткого регулятора; схеми параметричного синтезу регуляторів; перехідні процеси в системі з цифровим ПД-регулятором; результати досліджень математичної моделі.*

6. Консультанти розділів роботи_____

Розділ (Додатки)	Прізвище, ініціали консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Жесан Р.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем автоматичного управління параметрами електричних печей	20.09.2024	
2	Аналіз параметрів автоматичного регулювання печі	10.10.2024	
3	Обґрунтування вибору типу регулятора для забезпечення якісної роботи систем автоматичного регулювання печі	30.10.2024	
4	Синтез цифрових регуляторів систем автоматичного управління параметрами електричних печей	07.11.2024	
5	Дослідження ідентифікації систем автоматичного управління параметрами електричних печей	19.11.2024	
6	Дослідження робастності систем автоматичного управління параметрами електричних печей	11.12.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації до захисту	20.12.2024	

Дата видачі завдання

«__» _____ 20__р.

Підпис керівника

(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«__» _____ 20__р.

Підпис здобувача

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Вирішено задачу оптимальної швидкості з параметричним та цифровим нечітким ПД-регулюванням систем автоматичного керування електропечами . Це дослідження виконано з використанням методів математичного моделювання систем в інтегрованих системах, де є значні затримки. під час перевірки на зниження продуктивності.

Оцініть на основі цілей і обов'язків посади або дослідження.

Ми впроваджуємо серію регуляторів з плаваючою точкою та ПД та представляємо результати досліджень в аналоговій АСУ . За допомогою наших покрокових методів і засобів керування було створено багато чудових електронних електричних плит.

Ми визначаємо використання електричної печі як пристрою керування, виражаючи функцію мережі передачі через друге рівняння Паде. Ми перевіряли керованість повітрям (клас затримки контролю II) електричних труб трьох типів.

ABSTRACT

The optimal speed problem with parametric and digital fuzzy PID control of automatic control systems for electric furnaces is solved. This study is performed using methods of mathematical modeling of systems in integrated systems where there are significant delays. during the verification of performance degradation.

Evaluate based on the objectives and responsibilities of the position or research.

We implement a series of floating-point and PID controllers and present the results of research in analog ACS. With the help of our step-by-step methods and control tools, many excellent electronic electric stoves have been created.

We determine the use of an electric furnace as a control device by expressing the function of the transmission network through the second Padé equation. We tested the air controllability (control delay class II) of three types of electric tubes.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ

1.1. Локальні системи автоматичного управління параметрами печей в металургії

1.2. Типові схеми автоматичного регулювання параметрів печі

1.2.1. Регулювання температури з використанням електричного регулятора безперервної дії

1.2.2. Регулювання температури з використанням позиційного електричного регулятора

1.3. Висновки до розділу

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПЕЧІ

2.1. Регулювання співвідношення паливо-повітря

2.2. Регулювання тиску в печі

2.3. Регулювання витрат та тиску газу

2.4. Функціонування основних вузлів систем автоматики печей в металургії

2.5. Висновки до розділу

3. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТИПУ РЕГУЛЯТОРА З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПЕЧАМИ

3.1. Параметричний синтез цифрових ПІД-регуляторів

3.2. Параметричний синтез цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів

3.3. Параметричний синтез цифрових нечітких регуляторів

3.4. Висновки до розділу

4. СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ САУ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ

4.1. Синтез цифрового ПІД-регулятора та оптимального за швидкодією

4.2. Синтез цифрового нечіткого регулятора системи автоматичного управління температурою електричної печі

4.3. Синтез цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів при різних співвідношеннях кроку квантування регулятора та часу запізнювання процесів

4.4. Висновки до розділу

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА РОБАСТНОСТІ САУ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ

5.1. Ідентифікація параметрів електричної печі

5.2. Робастність системи автоматичного управління температурою електричної печі

5.3. Висновки до розділу

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Актуальність теми.

Теплова енергетика є одним із пріоритетів України. Вимоги до контролю якості та контролю технологічного процесу підвищуються навіть у високопродуктивних печей. Його неефективне використання призводить до значних економічних втрат. Найкраще (найдешевше) те, що основна функція електропечі управляється автоматично, тому її можна обслуговувати протягом тривалого часу.

В даний час основним засобом технічного прогресу в галузі металургії, нафтопереробки, нафтохімії та хімії є підвищення потужності та економічності технічних матеріалів, зниження витрат і підвищення якості супутньої продукції. Від способу нагріву і технології електропечей в основному залежить якість і кількість виробленої продукції, техніко-економічні характеристики всіх технічних виробів. Електричні труби відіграють певну роль у збільшенні корисного та важливого використання електричних труб. Зрозуміло, що електрична піч не може працювати без використання системи автоматичного керування, а цієї якості чекають перш за все від менеджера, який її використовує. Сучасні методи визначення параметрів електропечі базуються на використанні аналогових ПД-регуляторів.

Розвиток теорії і техніки в системах автоматичного керування в даний час відзначається надзвичайним прогресом в області комп'ютерних систем, особливо цифрових, завдяки розвитку мікропроцесорів і мікрокомп'ютерів. Математичний опис моделі та управління в конкретний момент полегшує використання та конкретну роботу менеджера. На основі пристрою можна будувати всілякі пристрої керування, а програмне забезпечення можна оновлювати під час програмування та експлуатації. Для системи автоматичного керування електропечами необхідно впровадження нових електронних пристроїв.

Об'єкт дослідження – системи автоматичного керування електропечами.

Предмет дослідження є підвищення точності та швидкості автоматичного керування електропроводами.

Мета та завдання дослідження - поліпшити якість системи за рахунок зменшення помилки та збільшення швидкодії

Для досягнення поставлених цілей визначаються та вирішуються наступні завдання:

- реалізація комп'ютерної системи максимальної швидкості, неоднозначності та ПД для автоматичного керування параметрами електропечі з урахуванням часу затримки керування.
- комп'ютерне налаштування систем автоматичного керування електропечами.
- складні та складні цифрові пристрої, акселерометри, PID . Вхідні дані застосовуються послідовно та реалізуються за допомогою методів математичного моделювання.
- проведено порівняльний аналіз ефективності різних видів контролю з метою надання рекомендацій щодо їх конкретного застосування в конкретних системах автоматичного керування пожежними автомобілями.

Методи дослідження. використання методів теорії аналогових та цифрових систем автоматичного управління, методів ідентифікації. Моделювання виконувалось на основі математичного апарату прикладної програми MATLAB.

Наукова новизна.

Поширено дію програми MATLAB для моделювання процесу автоматичного керування параметрами електричної печі за швидкодією, який «обчислює» результати в умовах реального часу. Це було вдосконалено за допомогою додаткового блоку, який генерує «статичні» імпульси з чіткою затримкою після «керуючих» імпульсів, що генеруються основним блоком.

Практичне значення отриманих результатів. За результатами магістерського дослідження можливе проектування мікропроцесорних пристроїв для автоматичного регулювання параметрів електропечей, що забезпечують оптимальне керування за швидкодією та плавністю роботи, а

також високий ступінь точності роботи. Система використовує ПД-регулятор і вважається найкращим з точки зору цифрової інтеграції швидкості.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій. Наукові теорії, висновки базуються на правильному використанні математичних та обчислювальних механізмів. Це підтверджується використанням методів моделювання.

Апробація результатів досліджень.

Підготовлено доповідь та взято участь у Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві» (13-14 листопада 2024 року, м. Кропивницький, ЦНТУ), секція автоматизації процесів керування та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Публікації.

Підготовлено та опубліковано 1 тези у збірнику тез доповідей до Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві» на тему «Justification of the development and research of an asynchronous electric drive of a production mechanism».

Структура та обсяг магістерської роботи.

Магістерська робота складається з п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить 90 сторінок.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ

1.1. Локальні системи автоматичного управління параметрами печей в металургії

У цій роботі основний акцент робиться на передові металургійні печі та печі.

Системи регулювання температури, потоку газу та місцевого тиску найбільш поширені в системах металевих печей. Це контролюється чотирма способами: шляхом нагрівання палива за допомогою співвідношення палива до повітря (кисню) і шляхом контролю тиску в печі. Організація роботи визначається класифікацією конструкцій, а також деяких пристроїв автоматичного контролю параметрів печі, локально. Система підключена до локальної мережі. Ця система є спеціальною системою стабілізації, яка в деяких випадках повинна підтримувати необхідні значення (температура, коефіцієнт вимірювання, вага, вага). Принципова схема системи автоматичної стабілізації представлена на рис. 1.1.

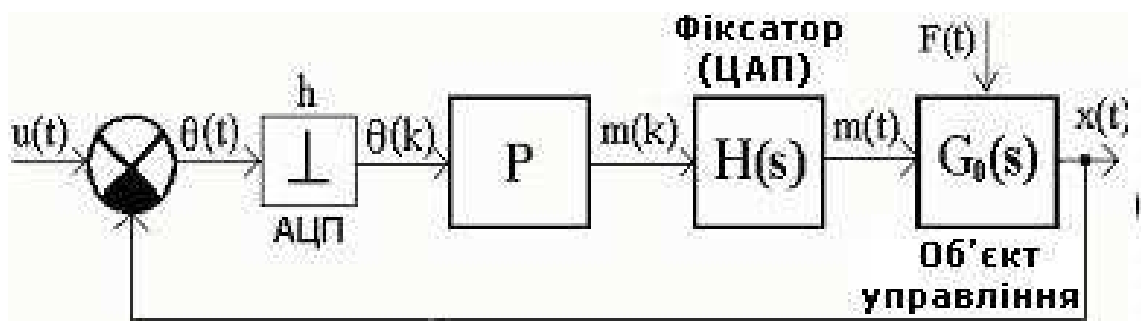


Рисунок 1.1. -Конфігурація системи автоматичної стабілізації

Контрольна ціна $x(t)$, яка є витратами на виробництво $u(t)$ контрольованого об'єкта АБО, призначається $\theta(t)$ контрольній функції P , а різниця використовується для цілей контролю. На вхід надходить керуючий сигнал від регулятора. Об'єкт також відчуває неконтрольовані збурення $F(t)$, які змінюють контрольне значення та викликають відхилення від заданого

значення. Менеджери, як автоматичні стабілізатори, усувають ці відволікання та зберігають ситуацію безпечною $\theta(t) = u(t) - x(t) = 0$. Виконання цієї умови $F(t)$ забезпечує не тільки компенсацію подій в контролері щодо періодичних змін у місії контролера, але й компенсацію подій в об'єкті. цифровий Якщо ви використовуєте контролер, вам потрібен аналого-цифровий АЦП і аналого-цифровий ЦАП. Будь-яка помилка у $\theta(k)$ функції АЦП передається на пристрій введення. Сигнал (ворт нульового порядку з функцією передачі $H(s) = (1 - e^{-hs}) / s$) надсилається з драйвера ЦАП і використовується драйвер.

Технічними характеристиками та динамікою металевих печей як способу регулювання є температура - витрата палива, співвідношення паливо - повітря - витрата повітря, тиск в печі - розрідження в печі та ін. Вони в основному контролюються фільтрами мережевого з'єднання першого рівня та функціями завершення та трансляції мережі [1] .

$$G_0(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s}, \quad (1.1)$$

Цей звіт приймається лише для певних типів одиниць використання, які характеризуються значними фіксованими цінами, нормативними вимогами та обмеженнями. Велика кількість експериментальних даних K показує, що τ параметри сильно залежать від параметрів печі. T

Поведінка автоматичної системи стабілізації сильно залежить від типу несправності. Як згадувалося вище, проблеми класифікуються за місцем розташування запиту. Водночас подія Події, що впливають на об'єкти, називають подіями і Розрізняють події, які впливають на власника, які називаються проблемами. Крім того, проблеми можуть відрізнятися за кількістю і характером змін, які відбуваються з часом, тобто можуть виникати повільно, періодично, нерегулярно і раптово.

Місце події визначає тип стабілізуючої передавальної функції. У випадку перешкод (див. рис. 1.1), якщо для реалізації перешкод використовується керуючий елемент, рівняння [1] можна записати таким чином:

$$x = G(s)(F - m); m = W_p(s)\theta,$$

Де режим привітання на моїй консолі? $W_p(s)$

Розв'язування цього рівняння дає передатну функцію системи до напруги навантаження : [1]:

$$W_c^H = \frac{x}{F} = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)W_p(s)}. \quad (1,2)$$

Якщо ви хвилюєтесь про роботу $F = 0$, ви можете зареєструватися

$$m = W_p(s)(u - x) = W_p(s)\theta; \quad x = G_o(s)m.$$

Розв'язуючи це рівняння, ми отримуємо вираз для передатної функції системи при порушенні цієї функції [1]

$$W_c^3 = \frac{x}{u} = \frac{G_o(s)W_p(s)}{1 + G_o(s)W_p(s)}. \quad (1.3)$$

Порівняння рівнянь (1.2) і (1.3), замкнутий цикл виявляється, що передавальна функція системи є іншою, коли вона обмежена її навантаженням і функцією, що необхідно враховувати при установці системи та аналізі якості. систематично.

В обертовій печі під час завантаження та вивантаження сировини виникають порушення температури, тиску та умов нагрівання масла. При цьому новий блок холодної зброї під навантаженням і повітрям при відкритті кришки може викликати перепад температури на кілька десятків градусів і відповідну зміну тиску в робочій камері. Використання повітря або газу, що надходить у топку, також викликає зміни теплового стану мазуту. Залежно від типу та потужності печі цей тип аварії може відбуватися періодично від 5-7 до 40-60 хвилин [2-8].

Великі нагрівальні та охолоджувальні печі для виробництва окремих виробів не викликають короточасних проблем у монтажі та підготовці обладнання, але створюють проблеми та проблеми в роботі менеджерів, яка змінюється відповідно до графіків. У розігрітій духовці зміна температури може досягати 2-2,5 градусів за хвилину, в розігрітій духовці - від 1 до 1,5 градусів за хвилину [3-11].

У безперервно нагрітих печах і доменних печах в результаті відкривання і закривання вікон під час завантаження і вивантаження металів виникають явища тертя, а також змінюється продуктивність печі, тобто змінюється робоча швидкість лиття. залізо в печі та ін. При виборі металоконструкцій.

Нещасні випадки, що виникають під час використання печей, залежать від складу, температури полум'я, тиску масла, вологості, тиску повітря тощо. Аварії та аварії пов'язані з корозією і старінням основних елементів печі. Наприклад, плавлення гірської породи супроводжується підвищенням теплової температури за рахунок тепловіддачі породою і збільшенням витрати газу або витрати залежно від умов тиску в печі.

Динамічні та динамічні характеристики металевої печі як керуючого пристрою сильно відрізняються - використання масла, повітря, масла, тиску в печі - і розрідження в шарі, передача роботи звідти. Користувальницькі канали та об'єкти також відрізняються.

1.2. Типові схеми автоматичного регулювання параметрів печі

Основною функцією металевих печей зазвичай є автоматичне управління терморегуляторами. Контроль температури, тобто рівень температури в печі, визначає температуру сталі, яка, в свою чергу, визначає нагрів, розподіл тепла в сталі, стійкість до утворення продукту та знос печі. та інші важливі фактори. На ній показано процес термічної обробки матеріалу і використання самого агрегату.

Температура печі визначається надходженням масла та тепла, якими в даному випадку можна керувати, але максимальну температуру печі також

можна вважати контрольним заходом на основі температури сталі або конструкції.

Правильний контроль температури в робочій камері печі включає в себе вибір розташування елементів управління, правильну установку нагрівального приладу, вибір правильного типу регулювання і правильного налаштування, а також точність температури обрання контролюючого органу.

Датчик температури зазвичай являє собою термопару або пірометр, межі якого відповідають контрольному значенню температури. Термопару або пірометр необхідно встановити в спеціальний пристрій на дні або стінці духовки. Пірометр призначений для нагрітого скла. Нагрівальна плита або плита вставляється в робочу зону печі після теплообміну з полум'ям, гарячими газами і гарячими поверхнями конструкції, температура відповідає середній температурі процесу. певне приміщення або частина робочого простору печі.

У високотемпературних печах теплообмін між металом і загальна функція печі (горіння, гарячі гази та утворення) можна виразити рівнянням [14]:

$$Q_M = c_0 \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{T_{II}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right] F_M, \quad (1,4)$$

де Q_M - Передача тепла металу. ε_{np} - Відсутність захисту від газів, конструкцій і металів; c_0 Відмова від чорних тіл T_{II} ; - Температура духовки. T_M - Гарячий на металевих поверхнях. F_M метал.

Температура духовки T_{II} вираз (1.4) виражає деякі загальні характеристики теплоємності робочого місця, цей параметр Q_M визначає величину тепловіддачі сталі. Тому, щоб контролювати металевий радіатор, необхідно встановити термометр для вимірювання температури поблизу повітря T_{II} . Навчання та практика дозволили знайти джерела тепла для існуючих агрегатів. При проектуванні нової печі ці питання повинні бути вирішені на основі наявного досвіду, порівняльної інформації, експериментів і попередніх досліджень.

У них використовується пневматичне електричне, пневматичне та гідравлічне керування. Найпоширенішим є перший. Вид правоохоронних органів залежить від виду виконавчої влади та виборного правоохоронного органу.

У червоних печах керуючим пристроєм для заміни використаного газу або мазуту зазвичай є інший охолоджуючий і регулюючий клапан. У регулюванні температури в електричній печі спеціальні організаційні обов'язки виконуються шляхом ефективного електричного перетворення, контактів або перетворення.

Сталеплавильні печі є тимчасовими і не можуть витримувати характеристики тиску гарячих нафтових труб.

Для даної печі ця функція зміни каналу зазвичай виражається як (1.1) , тобто сталеливарна піч є безперервною мережею, з'єднаною мережевою затримкою.

Динаміка вимірюваного об'єкта залежить від методу вимірювання температури. Існує два основних способи контролю температури в печі: 1. Випромінювальна термопара або пірометр, який направляють під нагріте скло. Гарячий термометр спрямований прямо на вогонь, стінку печі або металевий вогонь.

Вибір методу вимірювання температури залежить від теплотехнічних, метрологічних і організаційних вимог.

Повільна затримка та постійний час циклу нагріву багатьох печей може досягати кількох хвилин, що пов'язано з сильною інерцією печі та теплом, яке, як правило, охоплює Велика стіна.

Характерна форма перехідної кривої багато в чому залежить від роботи печі. У безперервних печах (безперервна піч, безперервна піч, безперервна піч) характеристики та тиск змінюються з розвитком виробництва, тобто зі збільшенням складності. У комбінованих печах питомі характеристики і динаміка використання тепла в процесі нагрівання істотно відрізняються. На початку нагрівання температура металу низька, а завдяки внутрішній структурі печі вони мають хорошу здатність збирати тепло і транспортувати його до тіла.

При нагріванні металів і конструкцій знижується їхня здатність поглинати тепло і зменшується корисність.

У зв'язку з динамічними і нестабільними характеристиками печі в тепловій системі це необхідно враховувати при виборі та налаштуванні блоку управління: права управління в будь-якому випадку повинні базуватися на призначенні кожного об'єкта.

1.2.1. Регулювання температури з використанням електричного регулятора безперервної дії

Приклад температури активної частини сталеливарної печі наведено в 1.2.

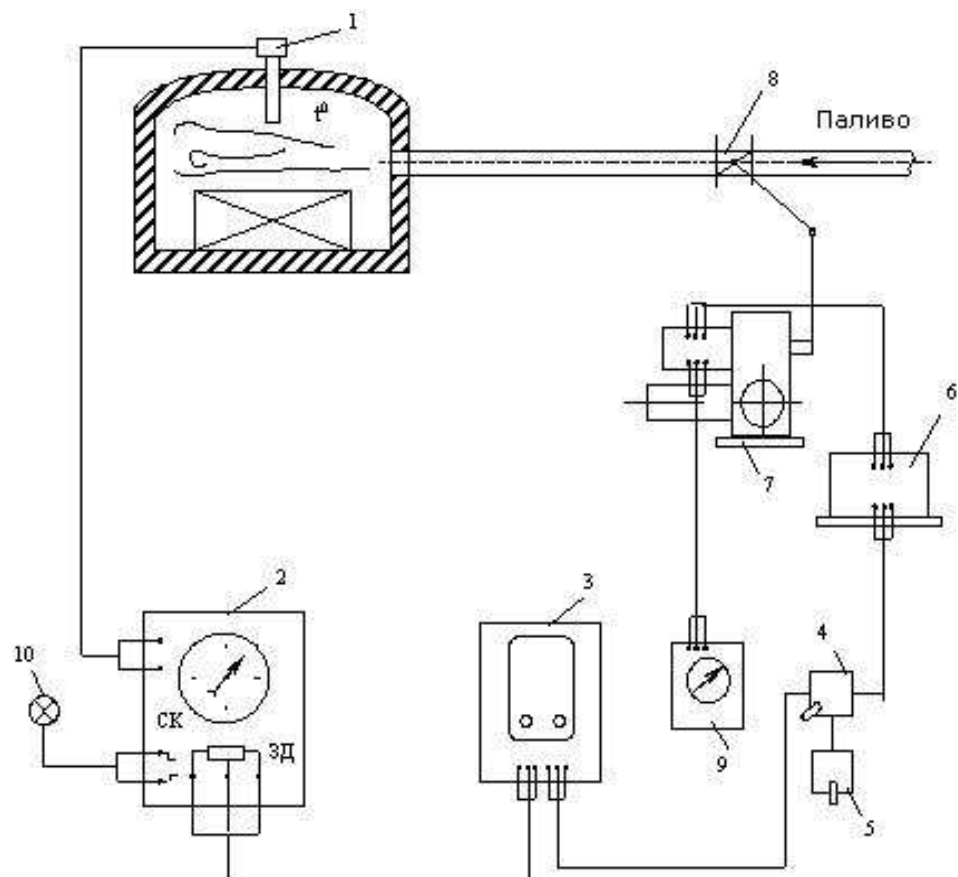


Рисунок 1.2. - Принципова схема регулювання температури в робочій зоні печі

Вимірюється, відображається та реєструється термопарою або пірометром 1 плюс автоматичним потенціометром 2. Праворуч від

потенціометра розташований пристрій, який генерує електричний сигнал, коли тепло передається від мішені в одному або іншому напрямку. Цей незбалансований сигнал є входом до ПД-генератора 3, який працює безперервно. Контроль керує блоком керування 7, який керує органом керування 8, призначеним для живлення топки паливом. Контролер зменшує споживання палива контролером і корпусом контролера, коли температура відхиляється від цільового значення, і збільшує його, коли нагрів зменшується відносно цільового значення.

Сила, створювана приводом, залежить від типу та розміру приводу. Якщо ви хочете використовувати керуючий пристрій для підвищення ефективності, вищезазначений блок керування необхідно поєднати з шістьма магнітними блоками в системі керування. Вторинне регулювання призначене для законодавства про низьке споживання. У таких випадках схема керування не має мультиплікативного блоку.

Вісь спеціального пристрою керування і положення органу керування контролюються пультом керування (9), який керує рухом і постановкою машини і служить для приводу ручного пульта керування спецмашиною. З'єднання сигналу від потенціометра СК і контрольної лампи 10 свідчить про несправність нагрівача.

Якщо температура відхиляється від заданої, регулятор напруги ZD переміщується із середнього положення і на керуючий вхід подається несиметричний сигнал. За допомогою кнопок 4, 5 здійснюється управління магнітним силовим сигналом 6, встановленим за обраним правилом, що обмежує певні зміни машини. Різні екскурсії з місцевою інформацією та автоматичним перекладом. Підсилювач налаштований так, щоб не виявляти вхідний сигнал, навіть якщо вхідного сигналу немає. Якщо вхідний сигнал подається на одну з керуючих котушок підсилювача, відображатиметься той самий сигнал стану. Після розширення керуючий сигнал надходить до системи контролю та безпеки, електронної системи керування машиною. Двигун приводиться в рух асинхронним конденсаторним двигуном з малою інерцією.

Коли на кермо надходить спеціальний сигнал, двигун обертається в правильному напрямку.

1.2.2. Регулювання температури з використанням позиційного електричного регулятора

Печі опору (рис. 1.3), температура вимірюється термопарою, пірометром або термометром опору 1, обладнаним автоматичним потенціометром індикатора або каналу 2 і положення. Якщо температура змінюється або падає нижче заданого значення, контакти керування регулятора К1 або К3 закриті і максимальна або мінімальна потужність подається в піч через герметичний з'єднання трансформатора Р1 або Р3. Значення струму живлення регулюється амперметром 4. Введення максимального рівня гарантує максимальну температуру, використання мінімального рівня знижує внутрішню температуру духовки. Контроль також може бути налаштований на зменшення тепла, а регулювання повністю зменшує споживання електродвигуна [14] .

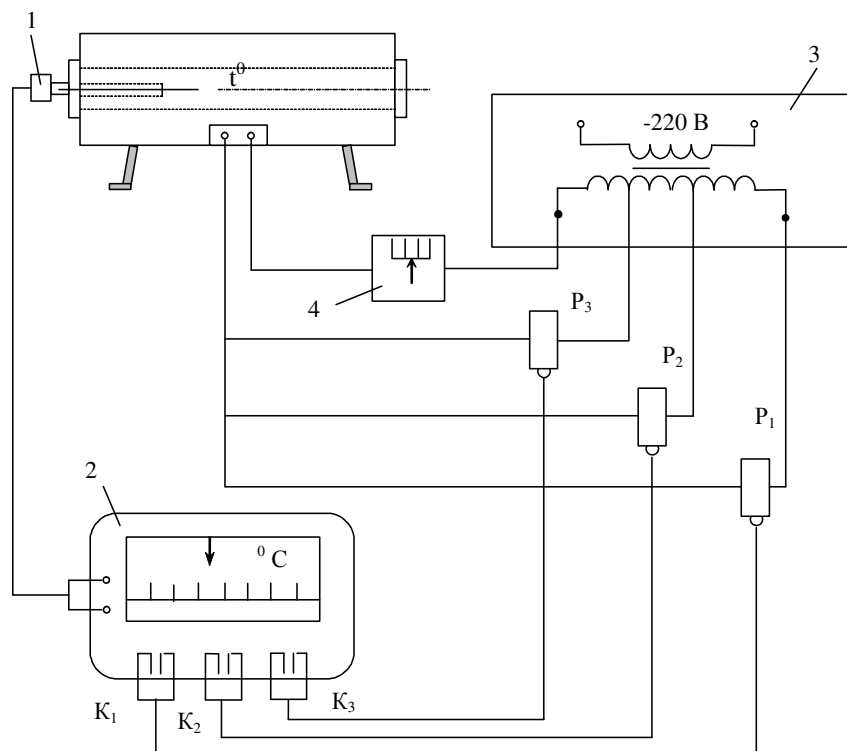


Рисунок 1.3 - Електричний терморегулятор

Якщо температура в печі дорівнює встановленому значенню, контакт контролера K2 замикається і піч працює, тобто подається енергія для забезпечення регулювання температури. Оскільки фактична швидкість залежить від температури, ваги нагрівача та умов печі, досягти постійної температури практично неможливо, оскільки ці параметри постійно змінюються. Це точно того варте. У цьому прикладі для вибраного контакту K2 вказана середня ціна доставки, яка близька до розрахункової вартості експлуатації печі. Вибір відповідного центрального уряду визначає рівень регулювання. Для підвищення якості монтажу тепер можна коригувати загальну вартість інвентарю, оскільки деталі змінюються залежно від температури (вага або тип тепла, коефіцієнт використання печі тощо). Температура робочого місця та навколишнього середовища.

Контрольні контакти 1 і K3 розташовані на панелі керування, тому використовуються лише два рівні потужності духовки. Система досить проста, має три режими. Він забезпечує нижні рівні системи.

1.3. Висновки до розділу

Хоча існують різні типи електричних печей і різні типи термічної обробки металу, основне призначення печі (перенесення тепла та матеріалів) однакове, тому печі використовуються для однієї роботи. Проекти організації локальні, а це призводить до одноманітності в структурі системи.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПЕЧІ

2.1. Регулювання співвідношення паливо-повітря

Правильні умови вогню повинні бути забезпечені автоматичним регулюванням співвідношення використовуваного палива та повітря, що подається до пальника. Ці умови відрізняються залежно від призначення печі, але загалом їх можна налаштувати таким чином:

1. Паливо має бути дешевим для спалювання.
2. Спалювання палива необхідно організувати так, щоб отримати оптимальні умови для теплообміну палаючого металу та його утворення в топці.
3. Горіння палива необхідно регулювати так, щоб газова атмосфера спеціальної речовини залишалася в топці.

має відповідати одній або декільком із перелічених вимог .

Чисельно співвідношення паливо/повітря визначається повітряним коефіцієнтом, який визначається як [15]:

$$\alpha = \frac{B_{\Pi}}{B_{\Pi}^0} = \frac{B_{\Pi}}{V_{\Pi}^0 B_T}, \quad (2.1)$$

де B_{Π} - поточне споживання повітря. B_{Π}^0 -Використання повітря необхідне для повного згорання палива. V_{Π}^0 -кількість повітря, необхідна для повного спалювання одиниці рідини. B_T - Використовуйте масло.

Якщо ви використовуєте таке паливо, як природний газ, мазут, повітря від вентилятора, стиснене повітря та кисень, щоб нагріти піч, вогонь поглине та спалить цю деревину, що означає число та символ (2.1) та кількість кисню. і споживання палива.

Рівняння (2.1) наочно показує, що для правильного визначення витрати повітря необхідно правильно розуміти не тільки витрату масла, але і масла і повітря, так як від них залежить ціна V_{Π}^0 .

Повітря і хороше змішування створюють високі температури горіння. $\alpha = 1$. Коли частина палива не згорає через брак кисню і не досягає максимальної температури. Коли паливо згорає повністю $\alpha < 1$, $\alpha > 1$ але частина тепла передається температурі повітря і не досягає максимальної температури. Оцінка обґрунтованості конкретних проблем зміни температури двигуна. Це означає, що тепло, яке утворюється при нагріванні мазуту без нагрівання продукту, обмінюється теплом з навколишнім середовищем, яке також поширюється на фактичне тепло, яке надходить на робоче місце. спосіб

На рисунках 2.1а,б показано залежність калориметра і фактичної температури від повітря, що подається $t_K^0 \cdot t_{II}^0$

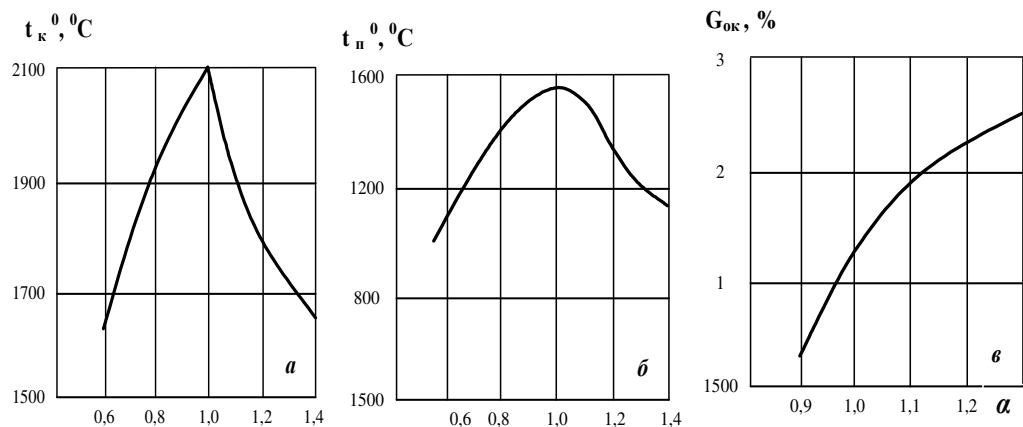


Рисунок 2.1. - Графік залежності температури приземного повітря від фактичної температури

Максимальна температура виявляється при дещо вищому значенні α 1 , але для поточної суміші потрібно більше повітря для її повного нагрівання. Через теплообмін між лампою та навколишнім середовищем фактична температура дещо нижча. Експерименти також показують, що температуру двигуна можна регулювати, змінюючи потік повітря. Вона зменшується (праворуч від кривої) і збільшується α показали, що для всіх типів реальних печей максимальна температура при згорянні газу $\alpha = 1,05$ 1,15 і максимальна температура при згорянні рідкого палива $\alpha = 1,15$ 1,25 [15-18] .

Тому, щоб максимізувати функцію нагріву металу та споживання палива, піч має бути на найвищому рівні, тому потік повітря має автоматично збільшуватися до відповідного рівня. У конвекційних печах багато операцій часто пов'язані з необхідністю знизити температуру полум'я, змінити його довжину і форму, зберегти температуру і структуру продукту, перемістити більше або менше повітря для забезпечення комфорту всередині упаковки.

Потік повітря впливає не тільки на теплообмін, а й на масообмін в печі. Очевидно, що зміна коефіцієнта α змінює склад атмосфери печі. Якщо воно менше 1 α , то α в печі створюється знижена атмосфера. *в* показано вплив повітряного потоку на нагрівання сталі шляхом окислення киснем в печі *а*. На цьому графіку кількість накопиченої піни *відкладено* на вертикальній осі після цього G_{ok} у відсотках від маси металу. Поганий контроль якості повітря може збільшити корозію металу та серйозно зашкодити прибутковості заводу. У безкисневих печах, які працюють без повітря у високотемпературних зонах, регулювання потоку повітря забезпечує атмосферу та ефективну роботу печі, тому силові заходи не потрібні. У таких печах коефіцієнт α підтримується на рівні 0,45-0,55 [15-18].

Зі сказаного вище можна зробити висновок, що використання системи співвідношення паливо-повітря автоматично вирішує важливе завдання забезпечення роботи та економічної ефективності сталеплавильних печей.

Деякі печі з регульованою швидкістю автоматично регулюють кількість палива та повітря, що надходить. У більшості випадків основним потоком для опалення та використання спеціальних матеріалів є мазут, використання якого контролюється терморегулятором. Це повідомлення надає інформацію про витрату палива та повітря, яка регулює потік повітря, що забезпечує контрольований потік. У деяких випадках використовується паралельний рух з регульованим основним потоком повітря і мастила. Витрата палива та повітря зазвичай вимірюється механічними пристроями, такими як діафрагми, сопла та трубки Вентурі. Витрата палива вимірюється безперервним або об'ємним витратоміром.

Контроль кількості палива і повітря, що подається в піч, має кілька недоліків.

Перш за все, раптові витoki повітря можуть виникнути в трубопроводах, встановлених після вимірювання обладнання, в основному через течії в рекуператорі, генераторі, трубопроводах і стінах робочого місця, що призводить до порушення роботи системи кондиціонування. . Слід зазначити, що регулюванню співвідношення підлягає ділянка труби між газовим лічильником і регулюючою арматурою, а не робоча камера топки, де мазут повинен охолоджуватися до швидкості повітря.

По-друге, на об'єм всмоктування можуть вплинути помилки дозування палива та повітря та коливання палива. Викликані різними похибками вимірювання температури, тиску, в'язкості тощо. Розраховується загальна вартість машини. Наприклад, змінюється температура повітря в кальцинаторі через знос ремонту. Якщо витратомір із самокомпенсацією не використовується, зміни температури повітря призведуть до похибок витрати. Зміни у складі та об'ємі коксового газу можуть спричинити зміни у складі палива, а також у газовій суміші, і склад мазуту також може відрізнитися від партії до партії. Щоб використовувати коефіцієнт, необхідно точно виміряти витрату і визначити властивості масла.

По-третє, усі системи керування використовуються для підтримки точної частоти повітряного потоку, коли середнє значення становить від 35 до 100% від максимуму. Якщо глибше, наприклад в духовці, то обмін масла і повітря може бути 5-6 разів. При цьому тиск в гумовій пляшці, що вимірює витрату, змінюється в 25-36 разів , а при малих витратах чутливість вимірювального приладу значно знижується. . Помилки вимірювань і контролю в системі кондиціонування повітря. Крім вищесказаного, на нагрівання мазуту в працюючій печі також впливає повітря, що витягується з навколишнього середовища. У більшості конструкцій печей зазначені вище похибки не дуже значні, а регулювання потоку повітря в топку є цілком задовільним. У багатьох випадках необхідні коригування на основі контролю споживання палива.

Тому контроль здійснюється шляхом корекції роботи контрольного пристрою за комбінацією запалювання. Успішне використання такої системи залежить від продуктивності проб газу, взятих для автоматизованого аналізу. Рівень концентрації летючих речовин у точці всмоктування газу відповідає рівню концентрації, при якому вимірюється відхилення приміщення. доступний шлях Правильне встановлення газової системи може призвести до того, що, наприклад, після закриття, заміни або розширення труби невеликі тріщини в трубі можуть призвести до того, що об'єм, з якого забирається повітря, буде видалено. або від вентиляційного повітря. Області з різним газовим складом На додаток до відбору тестових проб для головної площі, зразки промиваються, охолоджуються та повільно переміщуються вздовж шляху транспортної труби, щоб мінімізувати аналіз газу.

Як згадувалося вище, контроль обертів обмежений трубою між витратоміром повітря та регулятором, тому система має невелику затримку.

Принципова схема контролю паливно-повітряного співвідношення електронним регулятором. Схема установки з автоматичним визначенням витрати з електронним обладнанням наведена на рис. 2.2.

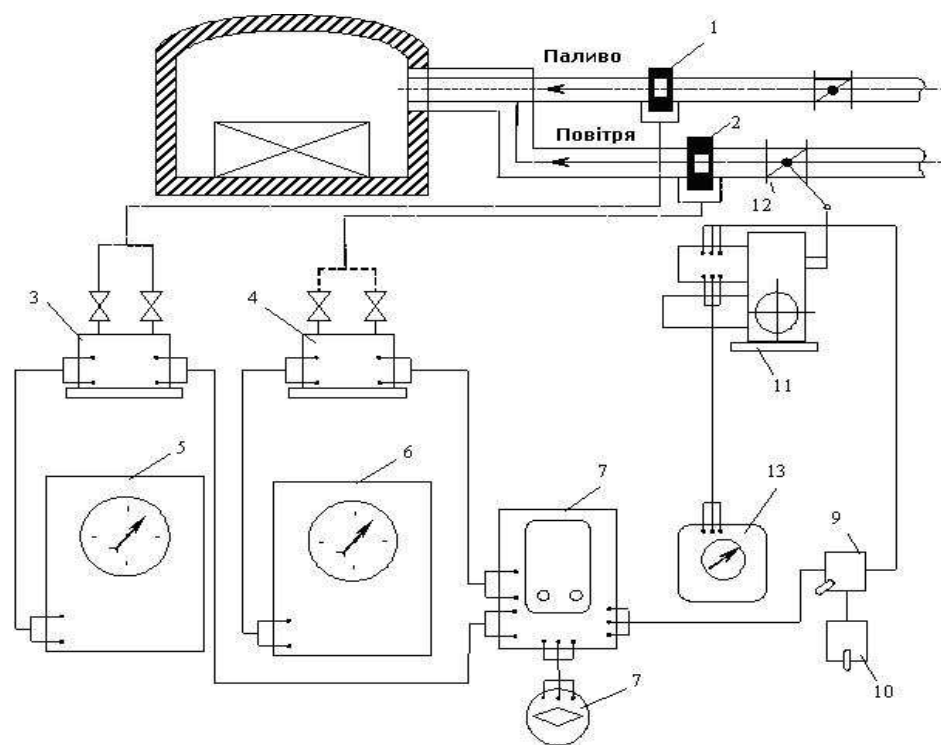


Рисунок 2.2 - Схема автоматичної стабілізації помилки

Паливо (газ) і повітря вимірюються в циліндрі 1. І номер два , Втрата ваги визначається на третій і четвертій шкалах . Сигнал від електричного пристрою через кілька метрів надходить на другий маркувально-реєструючий пристрій 5 і 6, а також на сьомий електронний пристрій. Цією функцією керують вісім пультів дистанційного керування . При роботі контролера сигнали управління надходять через глобальні кнопки 9 і 10 на спеціальний контролер 11, вісь якого поєднується з віссю регулюючого клапана 12 в повітрі.

Значення витрати повітря засноване на порівнянні величини сигналу, що надходить на блок управління від електричного пристрою, виробленого диференціальним лічильником - витратоміром. Якщо цей коефіцієнт відрізняється від значення визначеної витрати повітря, тобто співвідношення газ/повітря, регулятор повинен внести необхідні зміни до витрати повітря через органи контролю та спеціальні регулятори. Якщо потік повітря зменшується, контролер збільшить потік повітря, а якщо він збільшиться, потік повітря зменшиться.

Використовуйте глобальний ключ 9 10. Необхідний перехід від ручного керування машинами до автоматичного та дистанційного. Система також має виносний дисплей, який показує положення вала машини та орган керування 13.

У досліджуваній програмі основним потоком є нафта, за нею йде повітря. Витрата палива не залежить від роботи круїз-контролю. Регулятор може змінювати потік повітря так, щоб він плавно адаптувався до споживання газу та співвідношення повітря. На додаток до цієї прямої структури використання палива, існує також зворотне рішення в системі доменної печі, тобто система з основним повітряним потоком і підпорядкованим блоком управління.

У топці міститься не один, а два або три види палива, наприклад нафта і газ, а необхідний для опалення кисень подається декількома шляхами (наприклад, свіже повітря і кисень). Система запалювання не сильно змінилася. У цьому випадку сигнали всіх паливомірів об'єднуються і передаються на один контролер. Інше використання полягає в отриманні показників на основі

споживання кисню для кожного рівня кисню. Регулятор передбачає використання кисню, що забезпечує нагрівання всіх видів палива.

Параметри регулювання потоку повітря для корекції складу продуктів згоряння. Функція керування повітряним потоком базується на комбінації летких речовин, які використовуються для покращення функції керування співвідношенням палива, як згадувалося раніше. На рисунку 2.3 [15-18] показана принципова схема цієї системи керування .

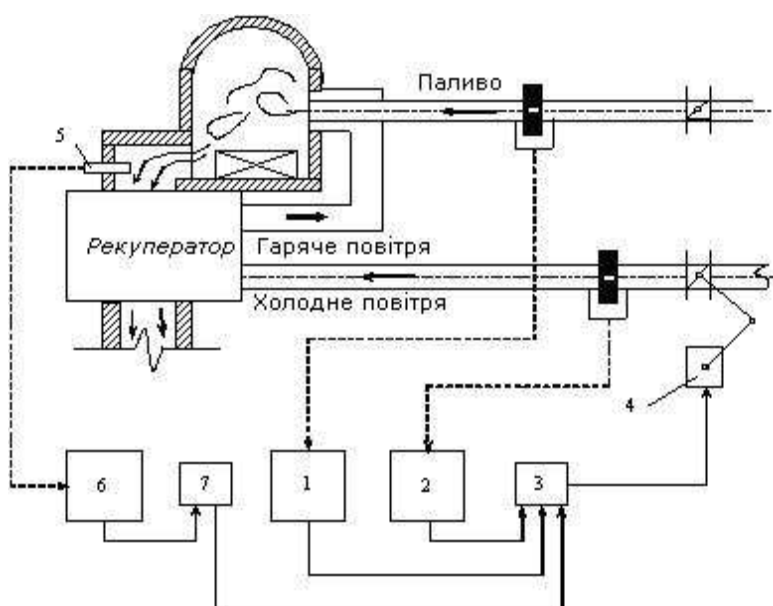


Рисунок 2.3 - Розрахунок витрати повітря і корекція складу продуктів згоряння

Витратоміри 1 і 2 , регулятор 3 і контролер 4 встановлені горизонтально на органі управління в каналі потоку і утворюють блок управління, розроблений для оцінки вартості. Продукти згоряння залишають працюючу піч і безперервно перевіряються охолоджуючою водою 5 і відправляються в дослідний кабінет 6. Дані, що надходять на блок корекції 7, впливають на блок управління 3.

При повному згорянні масла, тобто в газі, що виділяється, немає горючих речовин, для контролю потоку повітря достатньо використовувати кисень, а приладом 6 в цьому випадку є газовий кисень-детектор. Якщо в місці газової

установки паливо не може згоріти повністю (це визначається конструкцією печі), то з газосигналізатором буде складніше. Важливо включити пристрій або блок для контролю кількості горючих компонентів. Блок 7 відображає код корекції.

Оскільки при повному згорянні палива існує реальна різниця між витратою повітря та киснем, що міститься в пальнику, у цьому випадку блок 7 забезпечує постійне процентне співвідношення між основним значенням кисню та поточним значенням. Вміст кисню встановлюється на задане значення. Якщо фактичне значення відхиляється від заданого значення, генерується коригувальний сигнал і змінюється шкала функції. Закон регулювання сигналів корекції, як і будь-якої іншої системи керування, повинен базуватися на вивченні специфічних і динамічних характеристик керованого автомобіля. У разі недосконалого згорання масла блок 7 може безперервно та автоматично розраховувати значення повітря та регулювати його відповідно α . Перевірте поточні ціни α . Це супроводжувалося аварійно-відновлювальними роботами, які проводила група. Конкретне значення концентрації кисню, або α коефіцієнт, що відповідає оптимальним умовам палива, залежить від конструкції агрегату та його використання і визначається попередніми технічними випробуваннями.

Увесь процес працює так: несправність пов'язана зі змінами у споживанні палива, які виявляє система регулювання швидкості 3. Якщо, наприклад, розгони двигуна спричиняють збільшення втрати повітря в зоні охолодження продукту, то фактично повітря, що подається до двигуна збільшиться. Його стає менше і кисень, що міститься в продуктах згорання, також змінюється. Це не гарантовано. Блок компенсації 7 дає команду збільшити навантаження регулятора 3 на компенсацію втрати повітря в регенераторі. Подібним чином система працюватиме з іншими збуреннями, пов'язаними з поточною схемою повітряного потоку затвердженого діапазону. У цьому варіанті є система управління і система управління, тому це двотактна система управління.

В принципі, проблему вимірювання кисню в продукті та вентиляції можна вирішити одним електронним пристроєм, який включає в себе пристрій

виявлення газу, пристрій контролю повітря та спеціальний пристрій повітряного клапана. Якщо умови двигуна відрізняються від зазначених умов, контролер відрегулює потік повітря. Відстеження цін в таких системах не реалізовано. У будь-якому випадку цей спосіб не засекречений, тому що при тривалому знаходженні в топці, особливо при використанні газу, система проявляє певні зміцнювальні властивості. Якщо надходження інформації про поточний стан масла затримується, ми повинні бути готові до несподіваних змін споживання масла, що неминуче призведе до зниження контролю якості. Двоконтурної системи більше не існує, оскільки трансмісія отримує інформацію про фактичну витрату палива від витратоміра з невеликою затримкою, а звіт компенсує різницю у витраті повітря через зміну робочої швидкості. Компенсаційна частина компенсує можливі ускладнення, спричинені вищезгаданою помилкою розрахунку. Таким чином, двоконтурна система регулювання співвідношення повітря і палива підтримує високу якість і забезпечує високу подачу повітря.

2.2. Регулювання тиску в печі

Тиск в працюючій печі суттєво впливає на ККД нагрівання та економічність обладнання. Гарячі печі і закриті печі для термообробки металу обладнані системою контролю тиску.

Неправильна конструкція та встановлення вікон призведе до витoku обладнання, брудних газів і повітря з робочої зони в довкілля через високий тиск у печі, що розсіює тепло та сприятиме розкладанню. Зовнішня конструкція печі ускладнює візуальний огляд і технічне обслуговування установки, що шкодить робочому середовищу. Якщо робочу поверхню пропилювали, холодне повітря буде втягнуто через пилюку, що знизить температуру духовки, нагріє камінь і сталь і спричинить утворення вапняного нальоту. Тому ігнорування та зменшення ваги призводить до витрати палива та псування роботи агрегату.

Для червоної печі найкраще бути без тиску на землю, тому що джерела повітря немає, а при зростанні геометричного тиску на висоті робочої поверхні

видно лише слабкий газ. Для ванних печей Martin це означає підтримку нульового тиску на висоті підвіконня.

У захищених і спеціальних печах, де проводяться металургійні і термохімічні процеси, необхідно підтримувати тиск для зменшення втрат завдяки спеціальним газовим клапанам і прокладкам, якими заповнюється піч. Навколишнє повітря може заважати навколишньому середовищу духовки та вплинути на якість продукту.

Важкі колби зазвичай видаляють із простору під камерою згоряння. У той же час слід зазначити, що через зміну температури газу під час циклу нагріву в печі, геометричний тиск є основною різницею між гарячими газами в печі та навколишньою вентиляцією. Кількість інженерів розраховується згідно [10-15].

$$h = H \left(\rho_O^H \frac{1}{1 + \alpha t_H^O} - \rho_O^G \frac{1}{1 + \alpha t_G^O} \right), \quad (2.2)$$

Або H - висота духовки ρ_O^H, ρ_O^G - Стійкий до повітря та топкових газів за нормальних умов. t_H^O, t_G^O - Коефіцієнт теплового розширення гарячого повітря/газової плити становить $\alpha 1/273$ [10-15].

Відповідно до твердження (2.2), коли об'єм печі збільшується і температура топкового газу підвищується, зміна тиску під шаром збільшується, а значення залишається над шаром.

Щоб усунути цей ефект, простіше вибрати важкі макарони в такій духовці. Однак слід зазначити, що якщо вибраний пристрій розташувати під духовкою, то в обраній зоні можуть виникнути пошкодження через сильний вплив потоку газу і тиску повітря. При виборі місця для встановлення випробувального обладнання необхідно виключити сильний вплив газу. Конструкція і розташування зонда дозволяє насос Це також запобігає ковзанню або засміченню труби, що ідеально підходить, якщо ваші труби встановлені під землею.

Абсолютна значимість тиску в робочій зоні червоної печі НЕВЕЛИКА, В СЕРЕДНЬОМУ 40-100 Н/м² (4-10 мм Н₂O) [10-15].

Динамічні характеристики печей з методом регулювання тиску істотно відрізняються від таких з методом регулювання температури. На рис. 2.4 показано характеристики прискорення печі та положення диму, як видно зсередини печі. Затримка циклу становить 0,25 секунди, а постійна часу становить 4 секунди. Це означає, що на цій доріжці піч має малий момент інерції [18].

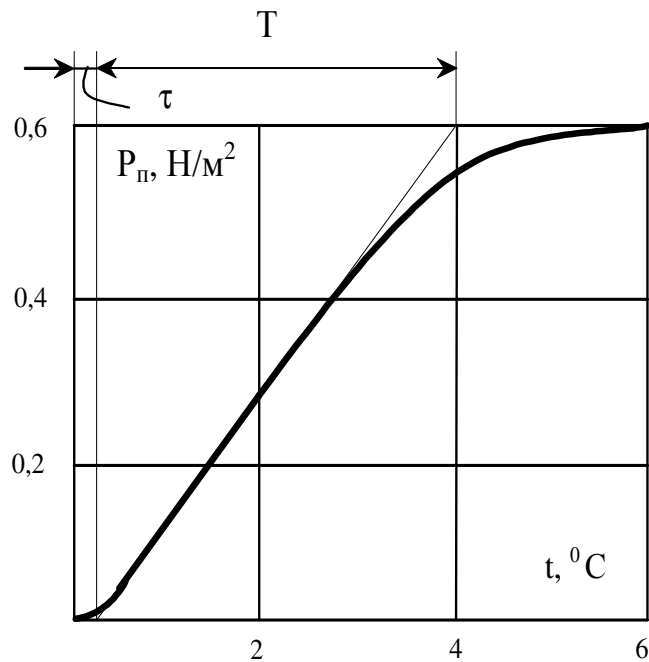


Рисунок 2.4 - Крива прискорення регулювання тиску

Як видно з аеродинамічних розрахунків і моделювання вище Він вказує на інерцію об'єкта, викликану затримкою лінії та обладнання. Інерційність топки значно менше. Тимчасовий процес зміни робочого тиску при швидкій дії диму відбувається за сто секунд. Якщо прийняти логічне пояснення, що тиск газу не відповідає нормальному тиску в сталеливарних печах, напруга. Це впливає з монтажного положення органу керування в вимірювальному просторі, оскільки воно має бути на швидкості звуку з малою інерцією. Однак інструменти є важливою частиною виробничого процесу, як і тіло. Його мотивація є однією з мотивацій кожного.

Інерція зміни тиску в робочій камері сталеливарної печі невелика, тому навіть у великій печі немає необхідності ділити її на зони регулювання тиску. Він працює на високій швидкості, тому однакове навантаження додається до всіх сторін робочого простору. Необхідність поділу контрольних зон виникає в деяких розширювальних печах, які містять кілька термічних камер (камер), розділених спеціальними тамбурами . Кожна частина печі містить різні атмосферні гази, які не повинні циркулювати з однієї кімнати в іншу. Це виходить шляхом розрахунку ваги деталі.

Характеристики, описані в динамічних характеристиках печі методом контролю тиску, призводять до того, що систему контролю якості зазвичай отримують за допомогою регуляторів різної конструкції.

Принципова схема регулювання тиску в печі електронним регулятором [22]. Леткі речовини видаляються з робочого простору печі першим способом (рис. 2.5), другим способом. через трубу регенерації та продукти згоряння в Ш. або четвертий Це робиться за допомогою вакууму, створеного димовою трубою . Під час нормального використання пристрою летючий продукт потрапляє в регенераційну трубку V, коли трубка VI закрита . Коли ремонтна або випробувальна установка зупиняється для ремонту та чищення, горючі матеріали потрапляють у трубу, і 8-й клапан закривається . Управління клапаном здійснюється електродвигуном 14 за допомогою пульта або шафи від камери автоматичної печі.

Тиск холодної зони вимірювали зі зразком 1 через клапан печі. Шлях імпульсу та зсув ведуть до вимірювача передавача (2) , електричний сигнал якого надсилається на другий реєстратор . 3. електричне керування 5. 3 4 дистанційними кодерами 6. Менеджер сигналів управління за допомогою кнопок 7. Перемкніть цю систему з ручного керування на автоматичне та назад на гучномовець. 8. І ключ 9 10. На основі оцінки ефективності 11 причин вибрати видавця VI . І номер 7 .

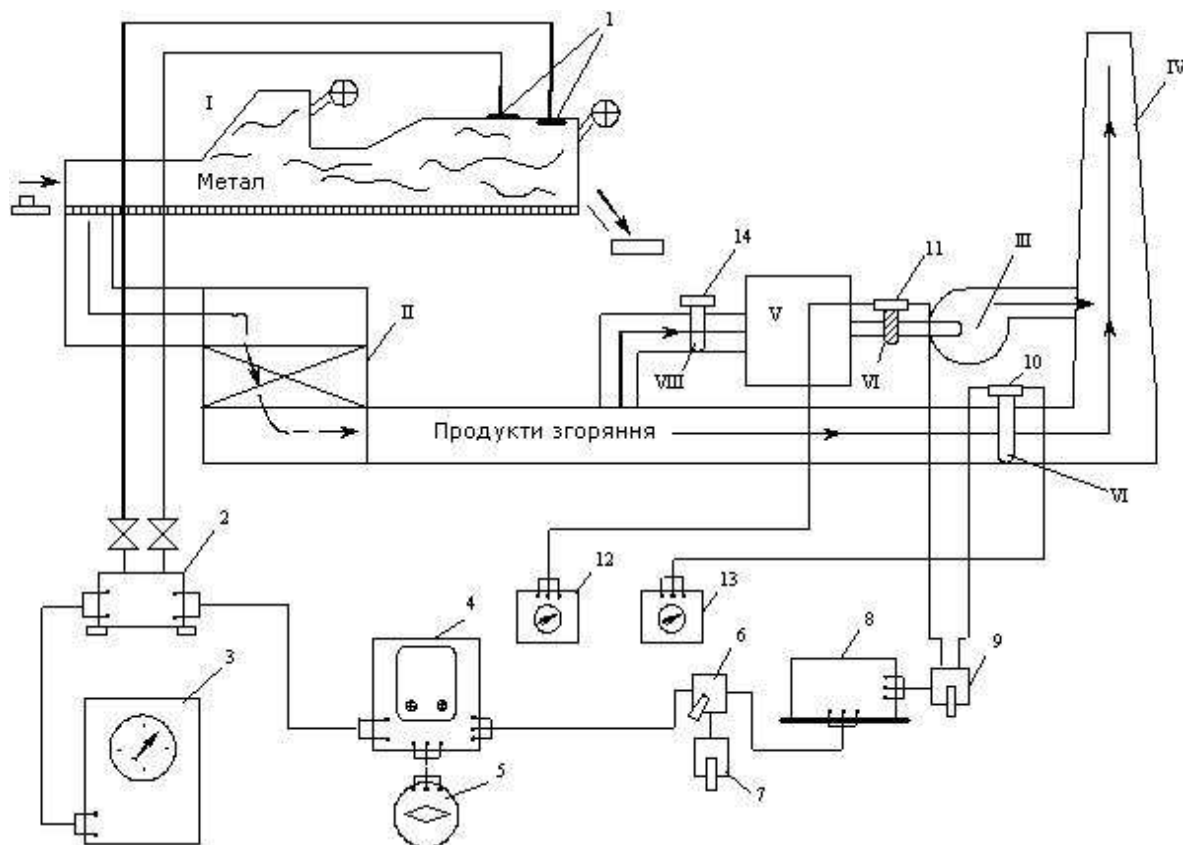


Рисунок 2.5 - Схема регулювання тиску в топці електронним регулятором

Коли автомобіль працює , він змінюється на VI , а коли бустер вимкнено . Кнопка 9 підключає контролер до плеєра 10 або 11. Це залежить від використання основного корпусу. Траки промислових печей мають великий поперечний переріз і оснащені фізичними елементами керування, які вимагають більше зусиль для переміщення. Тому в інтегрованій електроніці та підсилювачах керуючого сигналу 8 використовується більш висока потужність. Рівень опору 10 і сліпий 11 ним можна керувати за допомогою 12 пультів в печі 13 шт .

Якщо тиск у печі відрізняється від встановленого рівня або якщо функція змінюється вручну з параметра 5 на контрольний вхід 4 Відображається сигнал дисбалансу. 10- Менеджери організовують діяльність управління через системи контролю. 11:00 Засідання колегії VI Сьомий регулює розрідження продукту полум'я і тим самим тиск в топці, що виключає аварійні ситуації .

2.3. Регулювання витрат та тиску газу

Автоматичні пристрої для вимірювання витрат і тиску газу широко застосовуються в системах металургійних печей. Наприклад, при використанні печі в березні необхідно автоматично визначати витрату солярки. У розпилувальній печі потік регулюється. У конвекційних печах, газовому захисті та ін. автоматично контролюється. Спалювання відбувається добре, оскільки маса газу палива, повітря та кисню є постійною. Якщо вага, застосована в газовій лінії, не дотримується, точні вимірювання потоку неможливі. Насправді автоматичне вимірювання витрати зазвичай залежить від вимірювань тиску газу.

Регулятори витрати і тиску газу в цих точках зазвичай встановлюються за проектом. На рисунку 2.6 наведені принципові схеми регулятора витрати (рисунок 2.6 , а) і регулятора тиску газу (рисунок 2.6 , б). Ця програма має схожу структуру. Першим вимірювальним елементом регулятора витрати є дросель, керований двома різними регуляторами тиску. Цей клапан і регулятор тиску оснащений обмежувачем, керованим двома кнопками [19] .

Відношення мас і електричний сигнал відношення мас подається на допоміжний пристрій реєстрації 3. На регулюючому клапані клапана (6) розташовані чотири елементи управління, які регулюють роботу двигуна (5) .

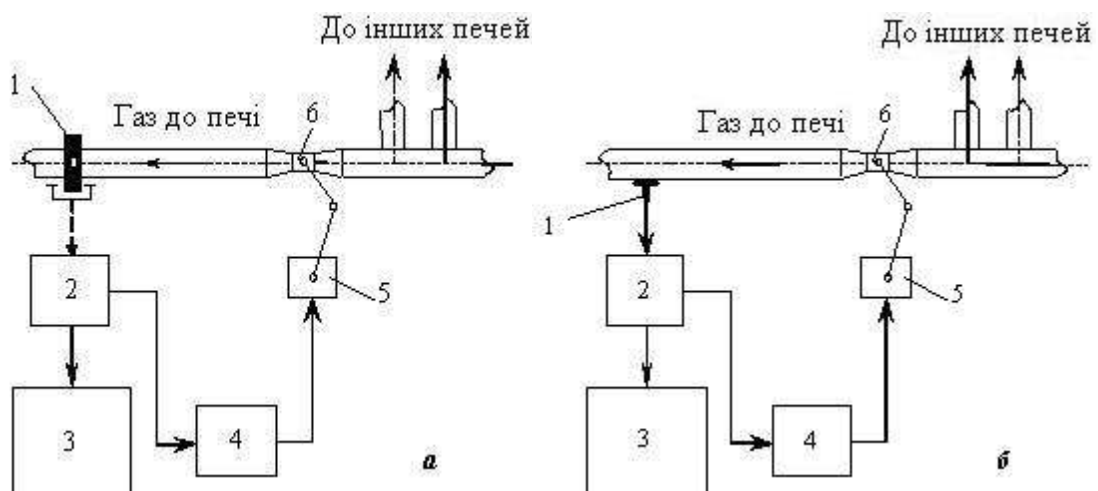


Рисунок 2.6. - Модель контролю потоку газу та тиску

У випробувальному циклі використовується електричне, пневматичне та гідравлічне обладнання, а в деяких випадках для контролю тиску газу використовуються прямі приводи.

Елемент регулювання витрати і тиску газу, який є частиною трубопроводу між основним елементом 1 і органом управління 6, за своїми динамічними характеристиками ідентичний елементу, який використовується для регулювання тиску на вході і подачі повітря в топку. Згідно з повідомленням, вони мають низьку інерційність і часто використовуються в перевірках.

2.4. Функціонування основних вузлів систем автоматики печей в металургії

Точки обмінюються даними між собою під час роботи сталеливарної печі, включаючи пристрої, які автоматично визначають температуру, співвідношення мастило-повітря та тиск.

Кореляція між виміряним і контрольованим тиском є односпрямованою, оскільки зміни робочого тиску мало впливають на вимірювання гідравлічного та пневматичного тиску. Зміни повітря в печі збільшують або зменшують загальну кількість повітря, що подається в піч, і кількість виробленої пари, тим самим змінюючи рівень тиску на робочому місці, а також змінюючи фіксоване положення заслінки димоходу печі. .

Численні експериментальні дослідження показують, що печі діють як фільтри, регулюючи температуру та допускаючи різні втручання через контрольовані проходи тиску та швидкості. Приблизний розрахунок пересічних ліній для кожного обраного каналу : $\omega_{\alpha} \approx 3,3$; $\omega_{t_0} = 0,02 \div 0,07$ [$\omega_p \approx 0,721$] .

зверніть увагу на функціональну схему двоконтурної системи , яка визначає співвідношення тепла і масла і повітря в топці, як показано на рис. 2.7.

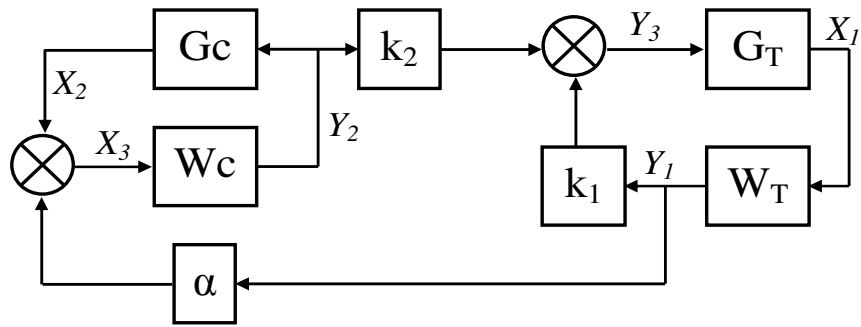


Рисунок 2.7 - Принципова схема системи контролю температури печі

Вхідне значення терморегулятора x_1 . Сигнал керування споживанням палива надходить на регулятор температури через мережу k_1 та пропорційно регулюється через y_1 зв'язок α . Оскільки розподіл палива та повітря вважається рівним, $x_2 = \alpha y_1$ вхідне значення виражається диференціальним рівнянням. Де чотири АС $x_3 = \alpha y_1 - x_2$? Показник вироблення одиниці y_2 , який визначає витрату повітря α , впливає не тільки на співвідношення матеріалів, але й на управління повітрям через способи зв'язку k_2 . Вплив регулятора на регулювання повітря наступний $y_3 = k_1 y_1 + k_2 y_2$: [21].

Щоб побачити, як характеристики терморегулятора впливають на діапазон температур, обчислимо залежність $x_1 = f(y_1)$. Рівняння записується в контрольній формі:

$$x_2(p) = G_c y_2(p), \quad (2.3)$$

$$y_2(p) = W_c x_3(p) = W_c [\alpha y_1(p) - x_2(p)] \quad (2.4)$$

$x_2(p)$ з рівняння (2.3) твердження (2.4) маємо:

$$y_2(p) = W_c [\alpha y_1(p) - G_c y_2(p)] = \frac{W_c \alpha}{G_c W_c + 1} y_1(p) \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} x_1(p) &= G_T y_3(p) = G_T [\kappa_1 y_1(p) + \kappa_2 y_2(p)] = \\ &= G_T \left[\kappa_1 + \kappa_2 \alpha \frac{W_c}{G_c W_c + 1} \right] y_1(p) \end{aligned} \quad (2,6)$$

Ми припускаємо, що передаточна функція досліджуваної мережі є формою

$$G_T = \frac{e^{-p\tau}}{T_1 p + 1}; \quad G_c = \frac{1}{T_2 p + 1}; \quad G_e = \frac{1}{T_3 p}. \quad (2,7)$$

З наведеної вище інформації про те, як контролювати динаміку, вимірювання та масу гарячого об'єкта, ми бачимо, що $T_1 \gg T_2$: Отже, використовуючи контролер I, ми бачимо, що мають бути виконані умови для виконання тимчасової дії, коли завдання зупинено $T_2 \approx T_3$. Розглянувши це, розглянемо другу частину рівняння (2.8) [19-22].

$$\frac{W_c(p)}{1 + G_c(p)W_c(p)} = \frac{\frac{1}{T_3 p}}{\frac{1}{T_2 p + 1} \cdot \frac{1}{T_3 p} + 1} = \frac{T_2 p + 1}{(T_2 p + 1)T_3 p + 1}, \quad (2,8)$$

При малих значеннях T_2 рівняння T_3 (2.9) наближається до $k = k_1 + k_2 \alpha$, Залежність (2.9) зводиться до такого вигляду:

$$x_1(p) = k G_T y_1(p) = \frac{k e^{-p\tau}}{T_1 p + 1} y_1(p). \quad (2, 10)$$

Отже, розрахунок концентрації не впливає на інтенсивність різниці температур, тому різницю температур можна розрахувати відомими методами,

як і при простому регулюванні. Подібні результати були отримані під час аналізу комбінованого тепла та ваги автомобіля.

Тому, незважаючи на те, що існує багато публічних публікацій про вимірювання та контроль температури, тиску, порівняння опору можна проводити лише на індивідуальній основі.

2.5. Висновки до розділу

1. Основним контрольним параметром електродвигуна зазвичай є тепло. У системі функція перетворення печі може розглядатися як постійний контроль.

2. Якість системи керування параметрами електродвигуна, як правило, визначається керуванням користувача. Тепер новий клас елементів керування, особливо ті, що мають більшу швидкість. Було розроблено елементи керування, які забезпечують вищу продуктивність системи, ніж звичайні засоби керування.

3. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТИПУ РЕГУЛЯТОРА З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПЕЧАМИ

3.1. Параметричний синтез цифрових ПІД-регуляторів

В даний час найпоширенішим видом системи автоматичного регулювання є ПІД-регулятор швидкості. Контроль і розмиття цифровий Це водій.

PID можна пояснити простотою використання. Щоб керувати певним об'єктом за допомогою цієї команди, K, K_i, K_d вам потрібно встановити три частини (параметри):

- приблизне значення
- комбінуванням параметрів методу
- виражається диференціальним альфа.

На відміну від багатьох сучасних розробок, PID може бути реалізований у цифровій (комп'ютер) та аналоговій (апаратна) формі .

Цифрові PID можуть бути записані різними способами, і інтеграція та диференціація в цифровій формі можуть бути досягнуті різними способами.

При порівнянні вихідного сигналу першого диференціала та методу інтегрування на основі трапецієподібного підходу передачу цифрового ПІД-регулятора можна записати як [14-17]:

$$W(z) = K + \frac{K_i h_0}{2} \frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{h_0} \frac{z-1}{z},$$

$$W(z) = G_1 + G_2 \frac{z+1}{z-1} + G_3 \frac{z-1}{z} \quad (3.1)$$

Функціональна схема цифрового ПІД-регулятора представлена на рис. 3.1.

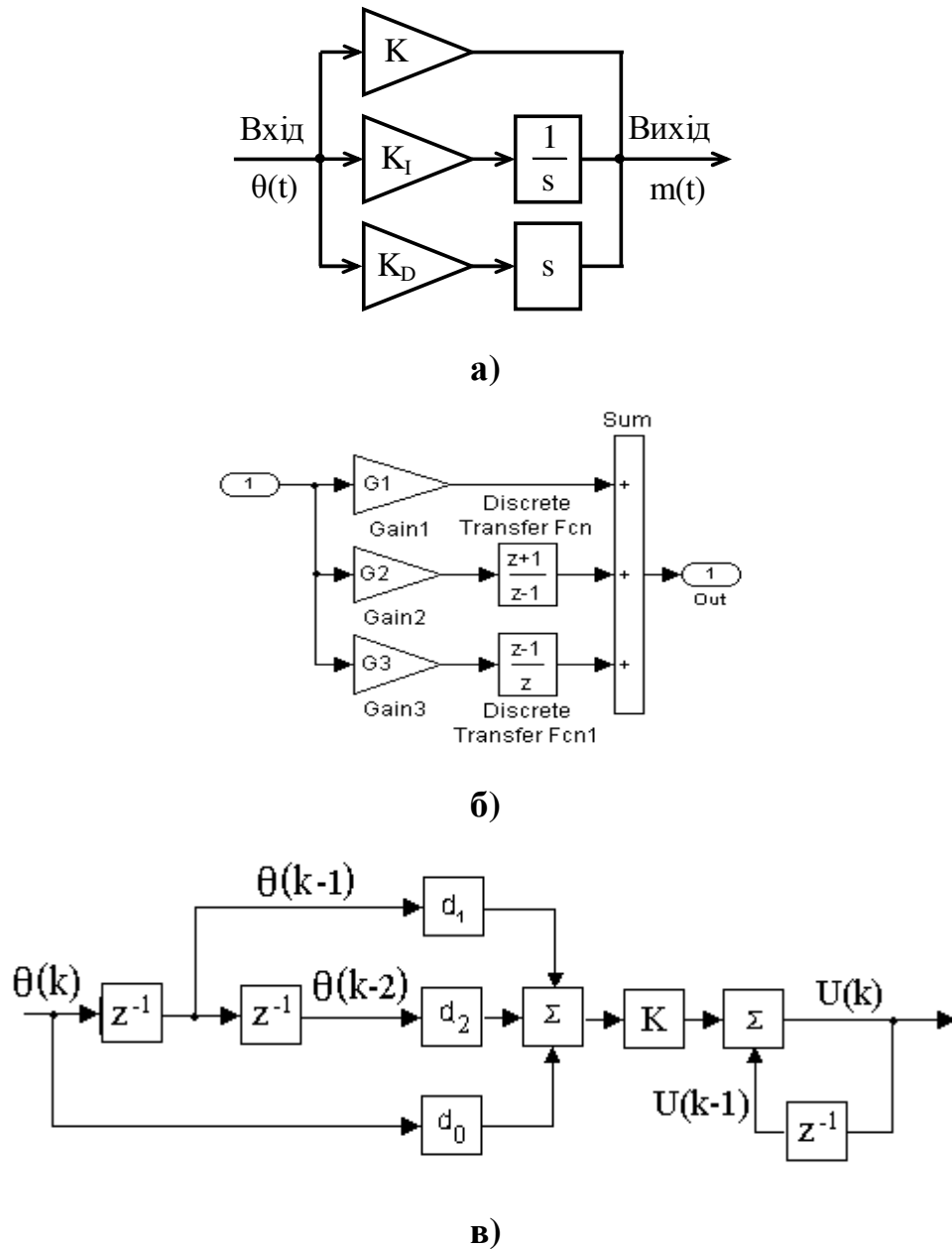


Рисунок 3.1. - Цифровий ПІД- регулятор

Інші типи передавальних функцій ПІД часто використовуються при дослідженні спеціальних систем керування , наприклад:

$$W(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}. \quad (3.2)$$

Перепишіть перше рівняння (3.1) для цифрової передатної функції ПІД у такому вигляді:

$$W(z) = G_1 + G_2 \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} + G_3 (1 - z^{-1}),$$

Знайдіть і порахуйте.

$$b_0 = G_1 + G_2 + G_3; \quad b_1 = G_2 - G_1 - 2G_3; \quad b_2 = G_3$$

Обидва приклади переказу використовують однакові номери PID.

цифровий Коли справа доходить до контролерів, цифрові ПІД-регулятори є цифро-цифровими (АЦП) і цифро - цифровими перетворювачами. Він розташований між цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП) (див. рис. 3.2а).

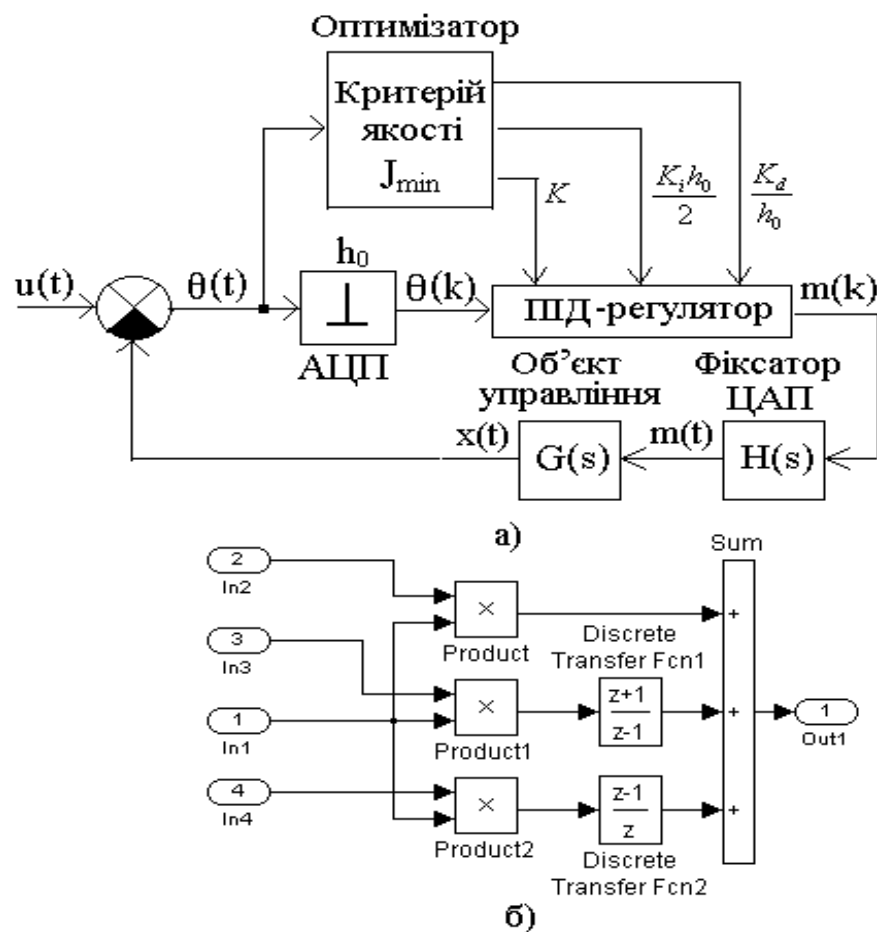


Рисунок 3.2 - Структурна схема цифрового ПІД-регулятора в MATLAB

На рис. 3.2, показана блок-схема цифрового ПІД-регулятора в MATLAB, який використовує помилку нахилу в In1 і застосовує параметри до входів In2 , In3 і In4.

$$G_1 = K, G_2 = \frac{K_i h_0}{2}, G_3 = \frac{K_d}{h_0}.$$

Цифровий ПДД контролює не лише ті, які надають математичні моделі, але й ті, які не надають формальної інформації або дуже важко зв'язати з формальною інформацією.

Враховуючи параметри цифрового ПДД-регулятора, їх вплив на продуктивність і роботу (регулювання та / або збурення) має бути збалансованим. Якщо програміста турбує швидкість керування машиною, час керування, визначений послідовністю процесу (відповідь системи на робочі кроки), можна вважати хорошою умовою.

$$J = t_p \Rightarrow \min. \quad (3.3)$$

Крім того, на реакцію системи повинні бути накладені певні обмеження, такі як кількість коливань і ступінь контролю під час процесу коливань.

Якщо необхідно зменшити фактичну похибку (для забезпечення точності введення), часто використовується одна зі спеціальних моделей, напр. [15].

$$J = \frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} \theta_v^2 \Rightarrow \min, \quad (3.4)$$

Систематична похибка θ_v базується на рівні вибірки h_0 , а її значення L визначає період спостереження.

В інтерфейсі MATLAB блок DRMS розраховує ефективні значення. У цьому випадку можна ввести максимальне значення [15]:

$$J = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} \theta_v^2} \Rightarrow \min \quad (3.5)$$

PID — це контролер, який реагує на низькі витрати на якість і автоматично знижує якість для покращення процесів системи керування. Доступно багато вдосконалених стандартних алгоритмів.

Алгоритми цифрового керування вважаються однією з найважливіших частин комп'ютерної системи, тобто мікропроцесорного керування та керуючих комп'ютерів, які досліджують сигнали, що надходять від машини, та визначають значення керуючих сигналів відповідно до певних законів керування. потім вони пішли. . система регулювання. Час кількісного визначення варіюється від кількох секунд до кількох десятків секунд залежно від використовуваного процесу. В даний час спостерігається тенденція до заміни аналогових систем управління цифровими пристроями. Це називається цифровим Це проілюстровано різними можливостями використання передових алгоритмів керування, які гарантують високу якість і швидкість у вашій системі. Алгоритми цифрового ПД-регулювання, якщо правильно налаштовані, перевершують більшість технологій. Чим більше ви контролюєте свої пристрої, тим ефективнішими вони будуть.

Розглянемо інший спосіб отримання цифрового алгоритму ПД-регулювання з того ж постійного закону, який має вигляд:

$$u(t) = K \cdot \left[\theta(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \theta(t) dt + T_d \frac{d\theta(t)}{dt} \right],$$

де неправильний напрямок $\theta(t)$

Це різницеве рівняння $t = kh$ Замість цього ми пишемо: де $k = 1, 2, 3 \dots$ кількість порівнянь h - часовий ліміт :

$$u(k) = K \left[\theta(k) + \frac{1}{T_i} \sum_{n=0}^k e(n)h + T_d \frac{\theta(k) - \theta(k-1)}{h} \right]$$

Крім того, оскільки цифрове ПД-регулювання має короткий цифровий час, ефективність керування майже така ж, як і безперервного керування.

Наприклад, замість того, щоб порівнювати значення керуючих сигналів, $\Delta u(k)$ простіше порівняти їх еволюцію з кожним циклом. У цьому випадку ці

алгоритми можна використовувати для керування спеціальними компонентами та інструкціями. Результатом є так званий швидкий алгоритм.

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K \left[\theta(k) - \theta(k-1) + \frac{h}{T_i} \theta(k) + \right. \\ \left. + \frac{T_d}{h} [\theta(k) - \theta(k-1) - (\theta(k-1) - \theta(k-2))] \right],$$

Або якщо ви введете ту саму інформацію, ви отримаєте таке:

$$u(k) = u(k-1) + K(d_0\theta(k) + d_1\theta(k-1) + d_2\theta(k-2))$$

Так і вийшло

$$d_0 = 1 + \frac{h}{T_i} + \frac{T_d}{h}; \quad d_1 = -1 - 2\frac{T_d}{h}; \quad d_2 = \frac{T_d}{h}.$$

Цифровий PID показаний на малюнку. 3.1 , с , Z^{-1} Перейменуйте блок сигналу затримки на період квантування .

Цифровий PID рекомендуємо вибрати період квантування з цього огляду:

$T_{95}/15 < h < T_{95}/5$, де час, поки T_{95} 95% вхідного сигналу буде використано у вхідній фазі.

Щоб спростити конфігурацію ПД-регулятора, рекомендується (згідно Зіглера та Ніколса) вибрати таке співвідношення $h = 0.1T_{kp}$ [14-17]:

$$h/T_i = 0.2; \quad T_d/h = 1.25.$$

Те саме рівняння (див. рисунок 3.1в) має вигляд:

$$d_0 = 2.45; \quad d_1 = -3.5; \quad d_2 = 1.25.$$

Таким чином, регульовані параметри в алгоритмі залишаються єдиним джерелом контролю K , що пояснює простоту та загальне використання цього методу аудіо.

Аналогові контролери мають багато переваг, але в багатьох випадках вони залишаються поступають сучасним цифровим контролерам. Для цієї машини ми використовуємо цифровий контролер на основі швидкості та оптимальних функцій. Ви можете визначити елементи керування.

3.2. Параметричний синтез цифрових оптимальних за швидкістю регуляторів

Швидке цифрове управління дозволяє досягти позитивних змін в найкоротші терміни, без застережень і обмежень, і в той же час підвищує точність автоматизованих систем управління в критичних додатках. Це можливо за допомогою команди з функцією носія, яка гарантує повну зміну. Простим способом $W(z)$ визначення оптимальної швидкості передачі є варіація методу [19]. Цей метод розглядає регулятор як змінний у часі підсилювач K_v , посилення якого швидко змінюється в різний час h і використовує кроки. Це називається нічія. Також зауважте, що регулятор посилення залишається незмінним під час фази квантування.

Загалом функція передачі у високошвидкісному комп'ютері така:

$$W(z) = \frac{\sum_{v=0}^l u'(vh^+) z^{-v}}{\sum_{v=0}^l u(vh^+) z^{-v}}, \quad (3,6)$$

де: $u(vh^+)$ є вхідним сигналом контролера на $(v+1)$ кроці квантування і $u'(vh^+)$ є вихідним сигналом контролера на $(v+1)$ кроці квантування і l , кількість кроків квантування.

Прямий шлях до цифрового Стаціонарні та лінійні інструменти один дисплей із включеним контролером У системних дослідженнях [20-22] $u(t) = U + \sigma \cdot t$ лінійний Використання елементів керування визначається як контрольоване та непостійне. Це функція $t_p = Nh$ порядку N об'єкта (порядку диференціальних рівнянь, які описують об'єкт) і h числа. є кроком квантування контролера. Ефективний механізм керування для пристроїв керування з декількома функціями передачі представлено в $G(s) = \alpha[s(s+a)(s+b)]^{-1}$ [21]. Наприклад, для регулятора з передатною функцією ширина послідовності керуючих імпульсів h визначається оптимальною довжиною керування.

$$m_0 = K_0(U + S_0\sigma);$$

$$m_1 = K_0[q_1(U + S_0\sigma) + h\sigma];$$

$$m_2 = K_0[q_2(U + S_0\sigma) + h\sigma(1 + q_1)];$$

$$m_i = K_0h\sigma(1 + q_1 + q_2) = \frac{ab}{\alpha}\sigma \quad (3,7) \quad i \geq 3$$

$$\text{Або } K_0 = \frac{ab}{\alpha h(1-A)(1-B)}; \quad S_0 = 3h + \frac{a+b}{ab} - \frac{h(2+q_1)}{(1-A)(1-B)};$$

$$q_1 = -(A+B); \quad q_2 = AB; \quad A = e^{-ah}; \quad B = e^{-bh}.$$

Випадковий сигнал при реалізації системи обчислюється лінійно на початку інтервалу часу , причому щоразу $t_p = Nh$ визначається n значення сигналу U_n та швидкість зміни випадкового сигналу $\sigma_n \cdot n = 0,1,2,\dots$, Контролер може бути налаштований на створення оптимальної послідовності в заданий час $t_p = Nh$ [20] .

-ОПісля обчислення довгих інтервалів, $t_p = Nh$ Бачимо, що на виході регулятора зберігається напруга «заданого значення». $(n-1)$. Так, наприклад,

n передаточна функція, правильна довга послідовність в елементі керування -о h записується $G(s) = \alpha[s(s+a)(s+b)]^{-1}$ так :

$$\begin{aligned} m_0 &= K_0(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + R \sigma_{n-1}, nt_p \leq t \leq nt_p + h; \\ m_1 &= K_0[q_1(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + h \Delta \sigma] + R \sigma_{n-1}, \\ &nt_p + h \leq t \leq nt_p + 2h; \\ m_2 &= K_0[q_2(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + h \Delta \sigma(1 + q_1)] + R \sigma_{n-1}, \\ &nt_p + 2h \leq t \leq nt_p + 3h, \end{aligned} \quad (3.8)$$

Де $R = \frac{ab}{\alpha}$ помилка $\Delta U = \theta_n$ при введенні θ_n команди n - . Помилка виникає nt_p на початку періоду керування $t_p = Nh$. $N = 3$ - Управління контентом. $\Delta \sigma = \sigma_n - \sigma_{n-1}$ Швидкість росту під час підготовки $nt_p \leq t < (n+1)t_p$. Це σ_n початкова різниця $(n-1)t_p \leq t < nt_p$ (середня швидкість) використання процесу під час підготовки та початкова різниця $nt_p \leq t < (n+1)t_p$ (середня швидкість) використання процесу під час підготовки σ_{n-1} .

Використовуйте функцію передачі, щоб призначити номер кожному напрямку $nt_p \leq t < (n+1)t_p$

$$W(z) = \frac{M(z)}{\theta(z)} = \frac{m_0 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2}}{\Delta U(1 + z^{-1} + z^{-2})} \quad (3.9)$$

Або диференціальні рівняння

$$m_i = \left(\sum_{k=0}^2 m_k \theta_{i-k} - \Delta U \sum_{k=1}^2 m_{i-k} \right) / \Delta U, \quad (3.10)$$

де $\theta = \Delta U$ в символі $i - k \geq 0$ і 0 в $\theta = 0$, $m = 0$ символі $i - k < 0$.

У рівнянні (3.8) відсоткова зміна потоку доходу за поточний або попередній період має бути записана для кожного періоду $t_p = Nh$.

Протягом $u(t)$ першого n періоду nt_p тривалість $t_p = Nh$ контролює тривалість. $nt_p \leq t < (n+1)t_p$

$$\sigma_n = \{u[(n+1)t_p] - u(nt_p)\} / t_p \quad (3.11)$$

(якщо це ще не визначено), але ви можете виміряти фактичне значення рівня активності користувача.

$$\sigma = \{u(kh_0) - u[(k-1)h_0]\} / h_0, \quad (3.12)$$

місце h_0 відбору проб крок (h_0 вибраний дуже малий h) і використовуйте першу оцінку різниці.

$$\hat{\sigma}_n = \sigma(nt_p) \quad (3.13)$$

Перша відмінність (звичайний дизайн) полягає в зміні використання процесу порівняно з попереднім періодом адаптації, що пояснюється наступним чином: $(n-1)t_p \leq t < nt_p$

$$\hat{\sigma}_{n-1} = \sigma[(n-1)t_p]. \quad (3.14)$$

Приріст швидкості в період адаптації визначається як: $nt_p \leq t < (n+1)t_p$

$$\Delta\sigma = \{\sigma(nt_p) - \sigma[(n-1)t_p]\} / t_p. \quad (3.15)$$

Блок-схема використання цифрової швидкості в інтерактивному моделюванні системи SIMULINK, пакет розширення MATLAB встановлено та показано на рисунку 3.3, відповідно до інформації (3.8) та (3.11 до 3.15) [13].

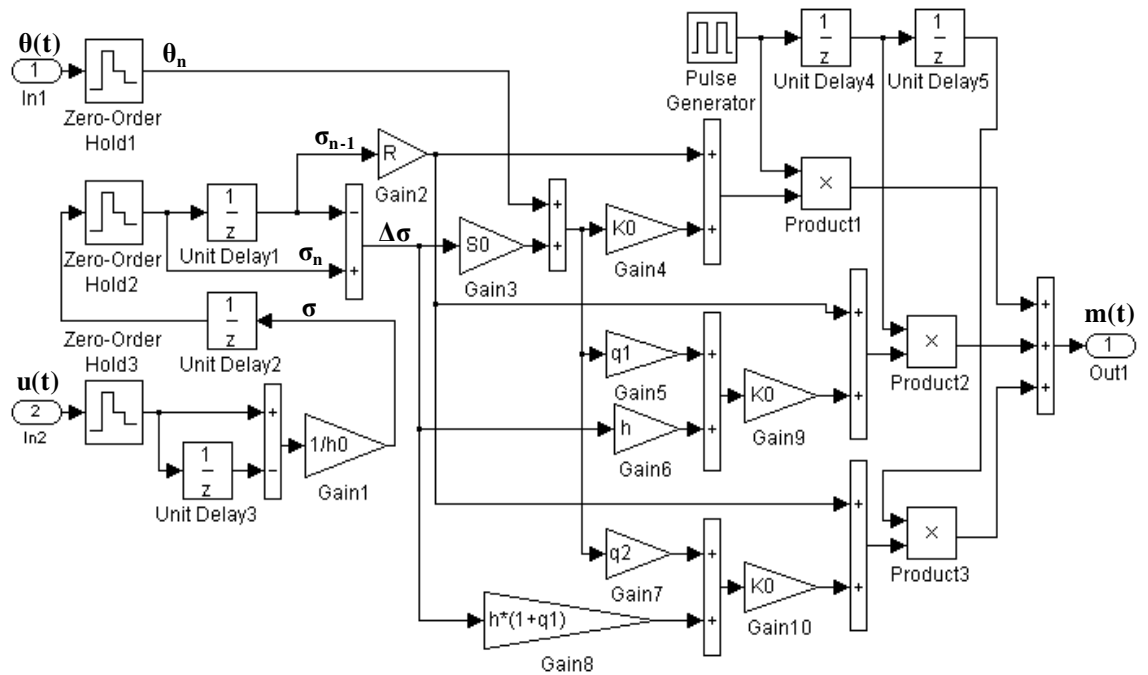


Рисунок 3.3 - Збільшення цифрової швидкості Блок-схема контролера

Підтримка нульового порядку3 (Моделювання Крок (робота зі старими блоками h_0 блоків Delay3 (моделювання Зробіть крок) h_0 , а також колектор і підсилювач Gain1 (параметри передачі) $1/h_0$ реалізує Показати (3.12). Вихід підсилювача Gain1 є фактичним значенням вхідної швидкості σ .

Перемикач затримки нульової послідовності 2 (керуюча послідовність Nh працює на N етапі 2 , який є етапом квантування h) , блок затримки 1 (працює на Nh етапі 2) і накопичувач. ПОКАЗАТИ Індикатори (3.13) - (3.15) . Поведінка Unit Delay1 — це початкова різниця σ_{n-1} (середня швидкість) під час використання початкової процедури встановлення, а поведінка розширення — це збільшення швидкості під час налаштування $\Delta\sigma$.

Збереження нульового порядку 1 (рух А режим Nh) вимірює помилку в системі керування.

Ширина h одиниці , час прибуття і час прибуття Nh . Ці імпульси йдуть безпосередньо від генератора до старих ліній блоку 4 і старого блоку 5 (без

квантування. (перетворенням імпульсу) через h затвор Це частина більшості кредитних продуктів h . насіння Оптимальна конфігурація m_0, m_1, m_2 (див. формулу (3.8)). Відповідно до інформації (3.8) , цифровий дизайн інших пристроїв інтегровано.

3.3. Параметричний синтез цифрових нечітких регуляторів

Реалізація системи автоматичного керування на основі нечіткої логіки (нечіткого контролера або системи фазового керування) представлена в 3.4 . Це показано на фото. Подібні пропозиції описані в статтях [23-28].

Конструкція включає калькулятор, оптичний драйвер НР, драйвер АБО та зворотний зв'язок Включаючи посилення.

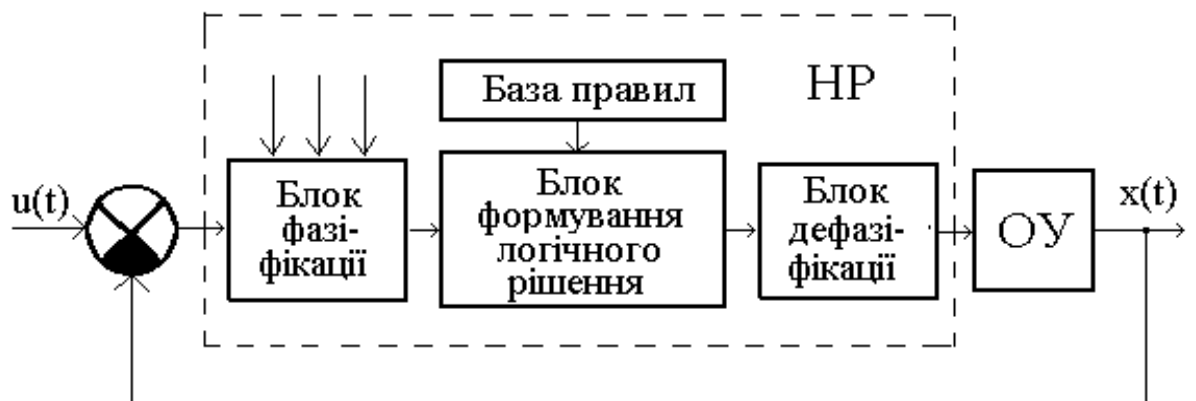


Рисунок 3.4 – Принципова схема використання системи керування, заснованої на використанні логіки

Контролери (деструктивний контролер, штрафний контролер мають нечіткі ефекти) Блоки, блоки логічного прийняття рішень (міркування) і блоки Є три основні блоки:

У блоці плутанини, $x_i, i = \overline{1, n}$ Використання таких термінів, як $\ddot{\theta}$ частота помилок θ , частота помилок змін (перший рядок) $\dot{\theta}$ і частота помилок (2-й рядок 2), пояснюється в окремих випадках за допомогою набору термінів (другий рядок) (деякі мови) a_i^j , SM тощо. , Менша людина (НМ),

нуль (Н) , мінімальний позитивний (PM) , позитивний шлях (PS) , позитивний (П) . Він визначається в термінах $\mu(u)$ глобальної множини U з функцією FN . FN обчислює ступінь приналежності u кожного члена до групи, число від 0 до 1. Це називається рівнем достовірності лінгвістичного варіанту, який розглядається для конкретного члена. , , Лінійні зміни в змінних використання, таких як, $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$ перераховуються (показано $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$), щоб встановити поточне значення змінної використання $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ на глобальне та 1. $U_i = [0, L_i - 1]$. Це значення відповідає кількості членів у кожній мові. L_i $x_i, i = \overline{1, n}$. (j Кількість вхідних даних для кожної вибраної мови зазвичай однакова). Тому для кожного поточного значення вихідної змінної ступінь участі у виразі (нечітка частина) (справжнє значення) вказує на варіацію мови. PN часто групують так, що кілька PN можуть представляти ненульові рівні довіри для однієї програми [29].

IF (початкова умова), TO (відповідь) разом називаються правилами карти та записуються у відповідний блок результатів відповідно до інформаційної таблиці (закону). Зв'язок між входом і функцією IF-THEN FN називається спеціальним зв'язком (логічним з'єднанням). Частина IF (гіпотеза) означає комбінацію функцій, а частина TO (рішення, висновок) зазвичай є простим твердженням про мову реалізації керованої функції (об'єкта керування).

Якщо правило сформульовано правильно, то можна отримати результат, що правило прийнято для всіх значень мови системи моніторингу. У більшості випадків використовується метод логіки логічного висновку "Max-Min" , у якому FN розділу TO кожного правила спочатку поєднується з фактичним значенням розділу IF (одночасно FN розділу TO група).

Частина, обмежена значенням події, — це частина IF («мініатюрний» процес) , після обмеження FN у частині TO — збіг результатів FN і максимального значення, визначеного перекриттям (режим «maxi»). Грайте за результатом FN Визначається дія струму на вимикач. Основним принципом створення FN є гарне рішення для оцінки початкового значення NR.

Іди геть Елементи керування зазвичай реалізовані в мікроконтролерах (або мікропроцесорах) і використовуються в комбінації. Тому автоматичне керування з нечіткою логікою включає пристрої, що з'єднують мікроконтролер і керований об'єкт (АЦП, аналого - цифровий і ЦАП, цифро - аналоговий перетворювач). Наведена блок-схема системи керування хмарним контролером на рис. 3.5.

АЦП вимірює правильну похибку $\theta(t) = u(t) - x(t)$ Існує крок кількісного визначення h . У випадку першої та другої помилок різниця між першою та другою помилками зазвичай обчислюється за такою формулою:

$$\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)]/h, \quad (3.16)$$

$$\ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]/h = [\theta(k) - 2\theta(k-1) + \theta(k-2)]/h^2 \quad (3.17)$$

або: квантова помилка на виході $\theta(k)$ АЦП . ЦАП — це в основному некерований термінал із функцією передачі.

$$H(s) = (1 - e^{-hs}) / s. \quad (3.18)$$

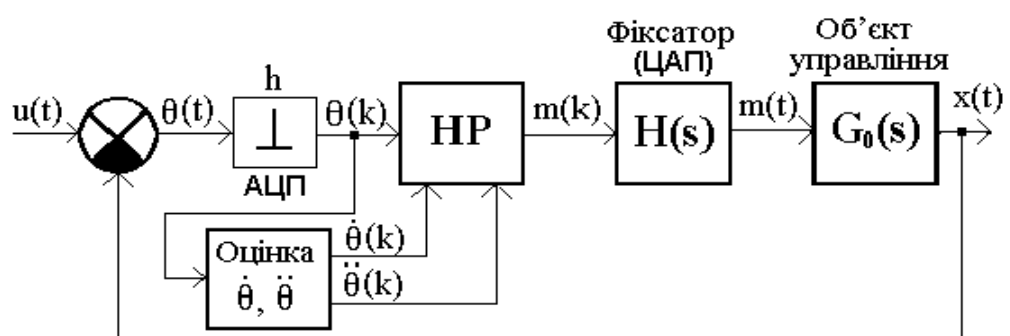


Рисунок 3.5 – Блок-схема системи управління

Нечітка ACS — це алгоритм керування нечіткою логікою, оскільки його можна реалізувати лише за допомогою комп'ютера. Використовуйте логіку. Найважливішою частиною цифрової САУ є компаратор. Крок h (вибір

аналогових сигналів. Значення параметрів h визначають інші значення контрольних сум, особливо загальні контрольні суми. Тому необхідно звернути увагу на установку системи управління і спеціальні вказівки щодо вибору значень h кроку квантування.

MATLAB надає спеціальні інструменти для керування динамічною моделлю. Повна блок-схема нечіткого керування в системі керування (рис. 3.6a) містить блок без перевірки (операція на кроці моделі h_0), блок, який порівнює першу та другу системні помилки з двома блоками: задані параметри (normal) і вихід (normalout). ЦП використовує нечітку логіку та блокування Zero-Order Hold1 (використовується на етапі квантування h_0).

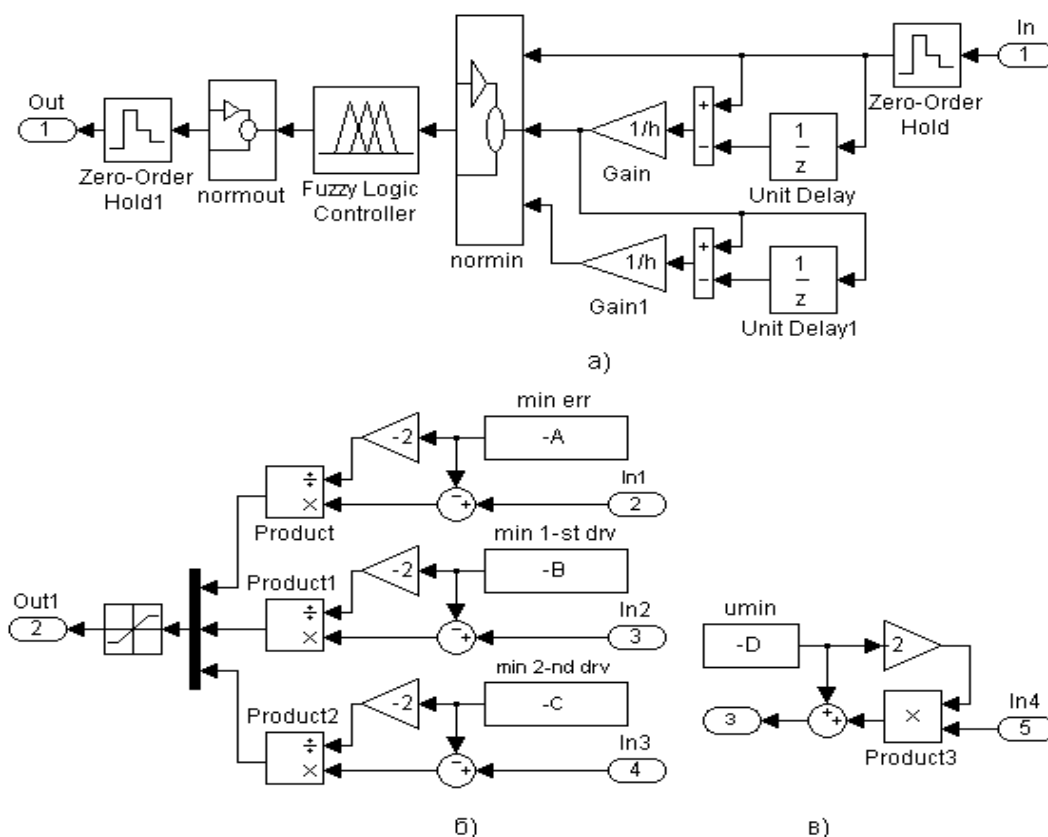


Рисунок 3.6. - Схема контролера з нечітким регулятором в MATLAB

Перша та друга перевірка помилок Порівняйте блоки інструментів:

$$\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)]/h, \quad \ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]/h. \quad (3.19)$$

Вхід (*Nomin*) і вихід (*Norout*) і Fuzzy в логіці *MATLAB* Центральний блок контролера розташований у блоці блоку .

Normin) та індекс виробництва (норма) на основі стандартного відхилення

$$\left. \begin{aligned} u_1^* &= (\theta^* - \theta_{\min}) / (\theta_{\max} - \theta_{\min}); \\ u_2^* &= (\dot{\theta}^* - \dot{\theta}_{\min}) / (\dot{\theta}_{\max} - \dot{\theta}_{\min}); \\ u_3^* &= (\ddot{\theta}^* - \ddot{\theta}_{\min}) / (\ddot{\theta}_{\max} - \ddot{\theta}_{\min}); \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

$$u_c^* = (m^* - m_{\min}) / (m_{\max} - m_{\min}). \quad (3.21)$$

Сортувати (єдиний глобальний Для полегшення порівняння значень визначених елементів ми використовуємо символ (контроль Масив об'єктів) слід розглянути з використанням і зміною функцій.

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\max} &= -\theta_{\min}; \\ \dot{\theta}_{\max} &= -\dot{\theta}_{\min}; \\ \ddot{\theta}_{\max} &= -\ddot{\theta}_{\min}; \\ m_{\max} &= m_{\min} \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

маємо:

$$u_1^* = -(\theta^* - \theta_{\min}) / (2\theta_{\min}); \quad (3.23)$$

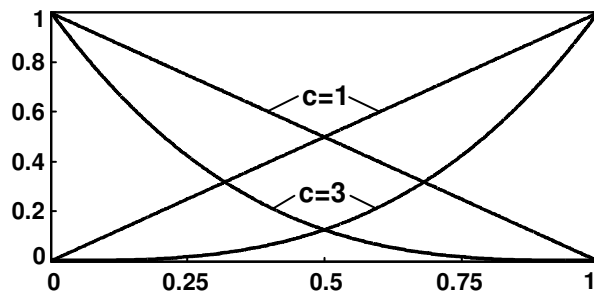
$$u_2^* = -(\dot{\theta}^* - \dot{\theta}_{\min}) / (2\dot{\theta}_{\min}); \quad (3.24)$$

$$u_3^* = -(\ddot{\theta}^* - \ddot{\theta}_{\min}) / (2\ddot{\theta}_{\min}); \quad (3.25)$$

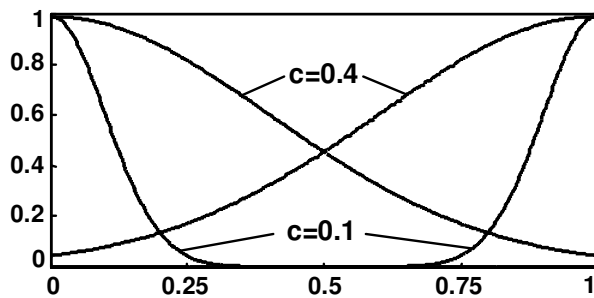
$$m^* = m_{\min} (1 - 2u_c^*). \quad (3.26)$$

На основі прикладів (3.23) - (3.26) ми створили кілька функціональних схем сигналів (*Norms*) і дій (*Norms*) сигналів. Звичайний код використовується в блоці 3.6 (нормальний) , як показано на малюнку В. Спеціальний блок Код (звичайний) - 3,6. Значення ліній А , В , С , D розмиті.

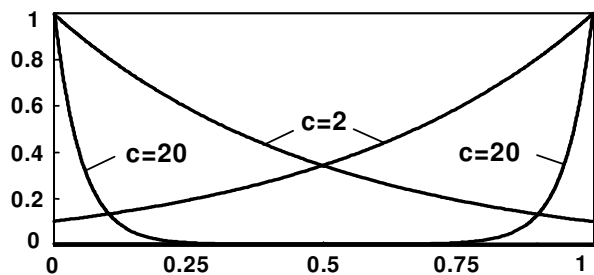
Його можна визначати вручну або автоматично для вирішення задач оптимальності під час створення системи (оптимізація параметрів) .



а)



б)



в)

Рисунок 3.7 – Функції належності нечіткого регулятора

Нечітке логічне керування (рис. 3.6а) виберіть функцію приналежності , визначте правила, розв'яжіть рівняння та знайдіть чисельну модифікацію результату до появи функції приналежності .

За $u = 0,5$ глобальними координатами $U = [0,1]$:

Елеватор ФН (див. рисунок 3.7 , а).

$$\mu^1(u) = (1-u)^c, \mu^2(u) = u^c; \quad (3.27)$$

ФН Гауса (див. рисунок 3.7б)

$$\mu^1(u) = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{u}{c})^2], \mu^2(u) = \exp[-\frac{(u-1)^2}{2c^2}]; \quad (3.28)$$

Множник FN (див. рисунок 3.7в)

$$\mu^1(u) = \exp(-cu), \mu^2(u) = \exp[-c(1-u)]. \quad (3.29)$$

Ще одна подібна модель, як координація специфічних властивостей, представлена в $u = 0,5$ [29].

На рис. 3.8 показано розмиття Лінійне представлення $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ управлінських та операційних функцій, $[m_{\min}, m_{\max}]$ а також $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$ витрат на зміну світового порядку $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$ та членів Відобразиться панель пошуку функцій (FN), серія екранів (декількома мовами) буде негативною та позитивною. $\mu^1(u)$ $\mu^2(u)$ символ трикутника.

Ми використовуємо коментарі $u^* \in [0,1]$, щоб визначити значення $x_i^* \in [x_{ni}, x_{ei}]$ деяких мовних змінних відповідних елементів. $x_i, i = \overline{1, n}, n = 4$

$$u_i^* = (x_i^* - x_{ni}) / (x_{ei} - x_{ni}).$$

Координати центру тяжіння розраховуються шляхом вирішення рівняння [1]:

Правила командної мови для недійсних команд (Бізнес) Правила записуються так:

$$\text{якщо } (\theta^* = a_1^j) \text{ А } (\theta^* = a_1^j) \text{ то } (\ddot{\theta}^* = a_3^j) (m^* = a_c^j), j = \overline{1,2}, (3:30)$$

Порівняння лінгвістичних помилок, визначених як нечітка множина у всій множині, a_3^j де a_1^j швидкість a_2^j зміни помилки, $j = \overline{1,2}$ (першого порядку

) та помилка 2-го порядку? -Лінгвістичний аналіз a_c^j порядку виконання об'єктів слова, вибраних відповідно до змінних m .

Виберіть із m^* категорії Показати $\dot{\theta}^*$ варіанти $\ddot{\theta}^*$ мови θ^* .

$$a_i^j \in \{\text{негативний}(1), \text{позитивний} (2)\}.$$

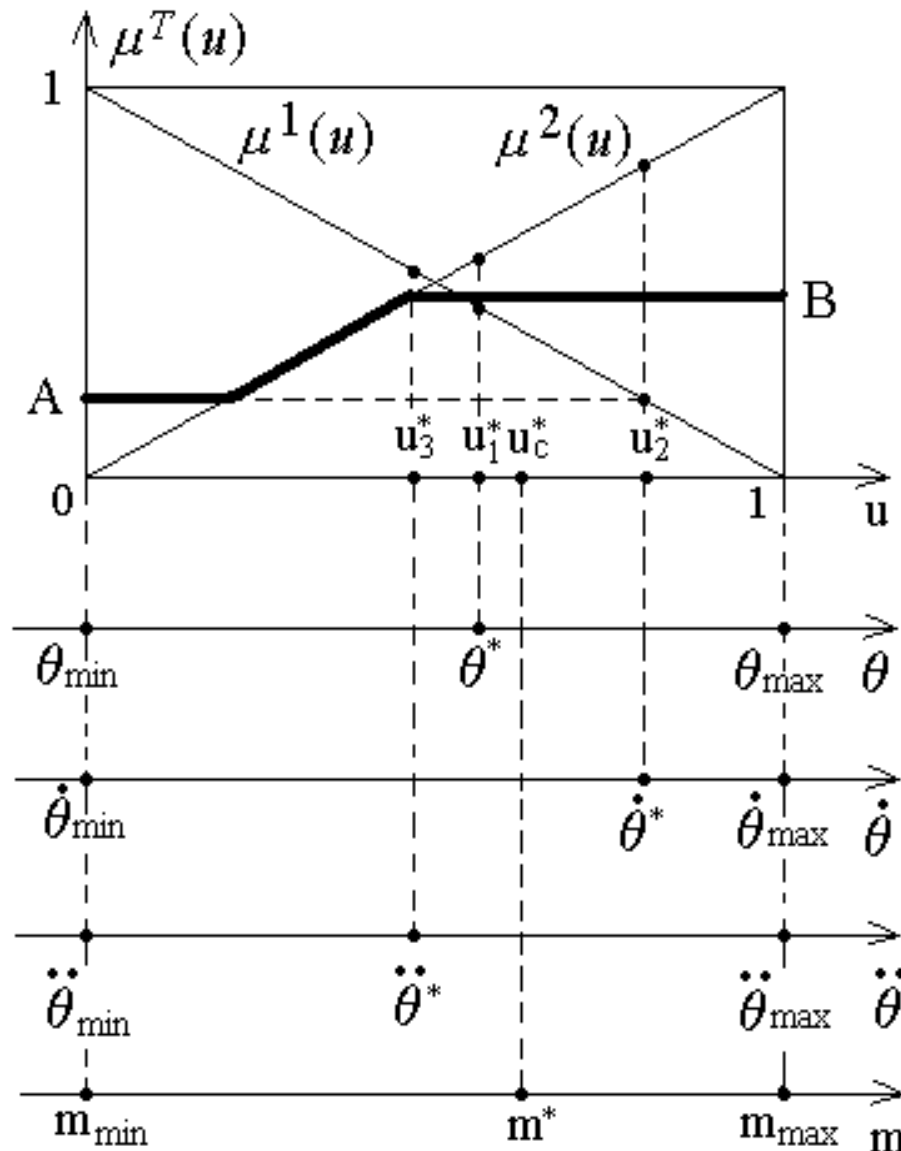


Рисунок 3.8 - Зміни входних і вихідних змінних контролера і поточні значення змінних

Це, наприклад, функція $\mu^j(x_i)$ нечітких параметрів $x_i \in [x_{ni}, x_{ei}]$ limb a_i^j . Тоді значення рішення $\mu^{m_j}(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta})$ для трьох змінних (з контрольних

рядків вище) визначаються $i = \overline{1,3}; j = \overline{1,2}$ системою пропорційних рівнянь $x_1 \equiv \theta; x_2 \equiv \dot{\theta}; x_3 \equiv \ddot{\theta}$ на основі їх функції, $m_j, j = \overline{1,2}$ наприклад:

$$\mu^{m_j}(x_1, x_2, x_3) = \mu^j(x_1) \wedge \mu^j(x_2) \wedge \mu^j(x_3). \quad (3.31)$$

Таким чином, $\mu^{m_1}(x_1, x_2, x_3)$ функція приналежності нечіткої множини є «негативною», а $\mu^{m_2}(x_1, x_2, x_3)$ функція приналежності нечіткої множини є «позитивною». Результат роботи моделі написаний на основі функціонального коду НР.

$$\mu^m(x_1, x_2, x_3) = \mu^{m_1}(x_1, x_2, x_3) \vee \mu^{m_2}(x_1, x_2, x_3) \quad (3.32)$$

рівнянь (3.35) і (3.36) приблизно $\wedge \vee$ — Залежно *de*

Відповідно до мови керування, визначеної системою пропорційних рівнянь (3.35), $\mu_c^1(u)$ функція керування «негативної» нечіткої множини обмежена максимальним значенням.

$$A = \min[\mu^1(u_1^*), \mu^1(u_2^*), \mu^1(u_3^*)], \quad (3.33)$$

Поведінка системи керування знаходиться в «ідеальному» нечіткому наборі при погляді зверху $\mu_c^2(u)$ і залежить від значень:

$$B = \min[\mu^2(u_1^*), \mu^2(u_2^*), \mu^2(u_3^*)]. \quad (3.34)$$

Функція належності, отримана в результаті процесу керування, записується на основі рівняння (3.36) наступним чином:

$$\mu_c(u) = \mu_c^1(u) \vee \mu_c^2(u),$$

тобто отримано шляхом дослідження максимального значення (суцільна лінія на рис. 3.8).

$$\mu_c(u) = \text{максимум} [\mu_c^1(u), \mu_c^2(u)].$$

Для визначення конкретного значення керуючої дії m^* створюється «результатна фігура», яка обмежена u_c^* знайденим ФН і межею «центру ваги» знайденої форми .

Отримане значення u_c^* базується на значенні команди роботи керованого генератора та на основі рівняння (3.26).

$$m^* = m_{\min} + (m_{\max} - m_{\min})u_c^* \quad (3.37)$$

Серія числових і математичних інструментів [14, 29-31]. Ми зібрали контролер, який включає :

1. перший рядок $\dot{\theta}$ використовується як вхідна змінна для НР. Другий рядок - $\ddot{\theta}$ помилка. Функція перетворення є Предмет замовлення Заява m .

2. Будьте обережні Виберіть тип функції, який залежить від члена FN. Це може бути функція або глобальна. Оцінимо функцію в NR на множині [0,1]. Кількість представників для кожної змінної дорівнює 2. Наприклад, помилка хороша чи погана . При цьому загальна FN сусідніх доменів однакова (один зменшується, інший збільшується) і відповідає значенню на горизонтальній осі 0,5.

3. Ми створимо дві мовні лінії (за кількістю членів) і визначимо ці мовні лінії за пропорційною системою.

4. Визначити початкове значення лінії задоволення та зміну змінних споживання та виробництва для НР і FN.

5. Налаштуйте рівень кількісного визначення h та інтервал моніторингу, щоб вибрати найкращу якість і метод.

6. Порівняйте ідеальні моделі за допомогою системи покрокових моделей h_0 і визначте фактори ризику для бажаної діяльності та періоду спостереження. У той же час : а) ми переходимо від значення змінної НР, що відображається в природній статистиці, до значення, пов'язаного з глобальним параметром, який визначає FN поганих даних; б) визначити спосіб очищення та оцінити ефективність НР; в) відбувається перехід від вартості закупівлі m продукції НР у глобальному секторі до вартості регуляторних заходів; г) виробництво контрольованої поставки m ; б) для кожного обчислюється фактичне значення похибки СКУД h_0 ; ф) значення високого рівня, розраховані на певну тривалість моніторингу.

7. Процес триває, доки він не буде заповнений найнижчим значенням НР або параметром, який може отримати виробник. Значення параметрів НР (частина застосованої зміни обладнання та параметри обладнання FN) вибираються оптимальними для даної ситуації.

цифровий Контролер використовує схему нечіткої логіки між аналого-цифровим АЦП і цифрово-аналоговим ЦАП . логіка пристрій, зображений на рис. 3.9.

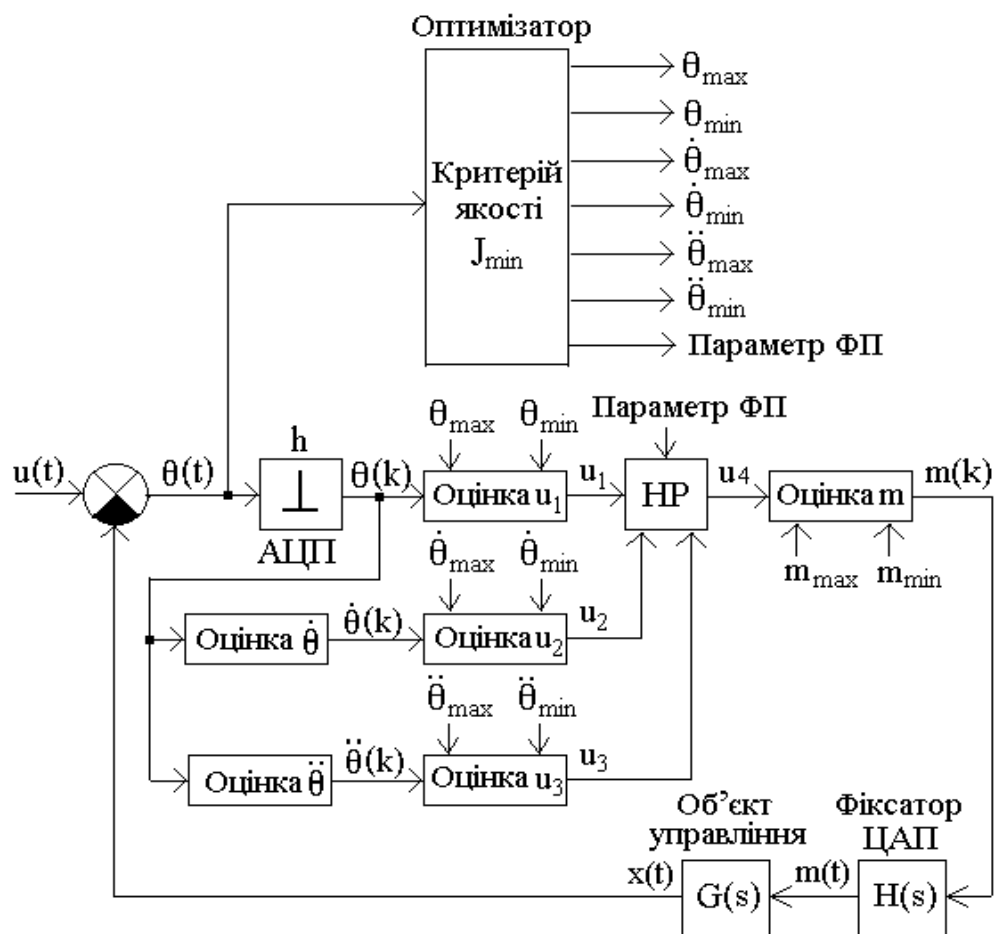


Рисунок 3.9. - Принципова схема нечіткого статистичного контролю

При дотриманні параметрів машини та використанні ПД-регуляторів якість і продуктивність заважаючих впливів (керування та / або перешкод) повинні бути визначені в системі.

Коли виробники стурбовані швидкістю автоматичної роботи, найкращим прикладом є час контролю, який визначається частотною характеристикою

(реакція системи на автоматичну роботу), певні обмеження повинні бути застосовані при реалізації відповіді, такі як кількість переривань під час процесу ітерації та рівень контролю. Якщо необхідно зменшити поточну помилку (для належного тестування системи), можна використати один із найкращих прикладів. Особливі умови на основі рівнянь (3.3) - (3.5).

Ви повинні змінити $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ принаймні дев'ять $[m_{\min}, m_{\max}]$ параметрів панелі $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$. З символом функції та функцією функції, $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$ $[\theta_{\min}]$, $[\dot{\theta}_{\min}]$, $[\ddot{\theta}_{\min}]$. Можна визначити $[m_{\min}]$ лише чотири символи. Тому паралельні різницеві лінії часто вибирають як вихідні функції та функції триангуляції.

3.4. Висновки до розділу

1. Цифровий і нечіткий ПД-регулятор елементи керування використовуються не тільки для керування елементами, які забезпечують математичну модель, але й для керування елементами, які не відповідають формальному опису або є надто вимогливими.

2. За сукупністю технічних умов ПД-регулятор використовується параметрично. Параметри, які необхідно встановити під час налаштування аналогового ПД-регулятора Існує лише три параметри: диференціальні параметри, параметри інтегральної схеми та параметри диференціальної схеми. ПД секвенсор заснований на інтеграції блоку, який виконує керуючу послідовність і перепрограмує операцію кілька разів.

3. Під час створення плану технічного обслуговування зазвичай необхідно змінити принаймні дев'ять критеріїв: ступінь використаних модифікацій, змінні вхідні дані та мету роботи. Поєднання аналогових сигналів із функціями 3D дозволяє створювати Fuzzy. Можна оновити лише чотири налаштування драйвера. Мінімальне значення змінить програму та функції. Тому паралельні різницеві лінії часто вибирають як вихідні функції та функції триангуляції.

4. СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ САУ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ

4.1. Синтез цифрового ПД-регулятора та оптимального за швидкодією

Важливе місце в енергозбереженні займає використання електроенергії. Існує нагальна потреба в розробці інструментів і спеціальних систем для важливих промислових ігор, таких як високовольтні печі [6].

Динамічні характеристики електричної печі описані в [9], а лінійна модель печі прийнята як фактор керування. Передаточна функція лінійної моделі записується наступним чином:

$$G(s) = \frac{\alpha}{(s+a)(s+b)} e^{-\tau s}, \quad (4.1)$$

Або $a = 1/T_1$; $b = 1/T_2$; $\alpha = \frac{K_0}{T_1 T_2}$ Значення постійної часу та експериментального приросту : $T_1 = 122 \text{ с}$, $T_2 = 14,5 \text{ с}$ $\tau = 3,9 \text{ с}$ $K_0 = 7,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\%$.
Регуляторний фактор , виражений у відсотках від регуляторної діяльності.

Функціональна схема терморегульованої електропечі в інтерактивній системі MATLAB представлена в $S = 184.1$. Збільште рівень насиченості . Тому зі збільшенням керуючої активності керованого об'єкта система стає нелінійною.

Для автоматичної роботи електропечі краще використовувати аналоговий ПД-регулятор з передатною функцією в частині управління.

$$W(s) = K + K_i / s + K_d s, \quad (4.2)$$

Позитивними коефіцієнтами є:

$$K = 4,84\% / ^\circ\text{C}; \quad K_i = 0,246\% / ^\circ\text{C} / \text{с}; \quad K_d = 43,32\% \cdot \text{с} / ^\circ\text{C}.$$

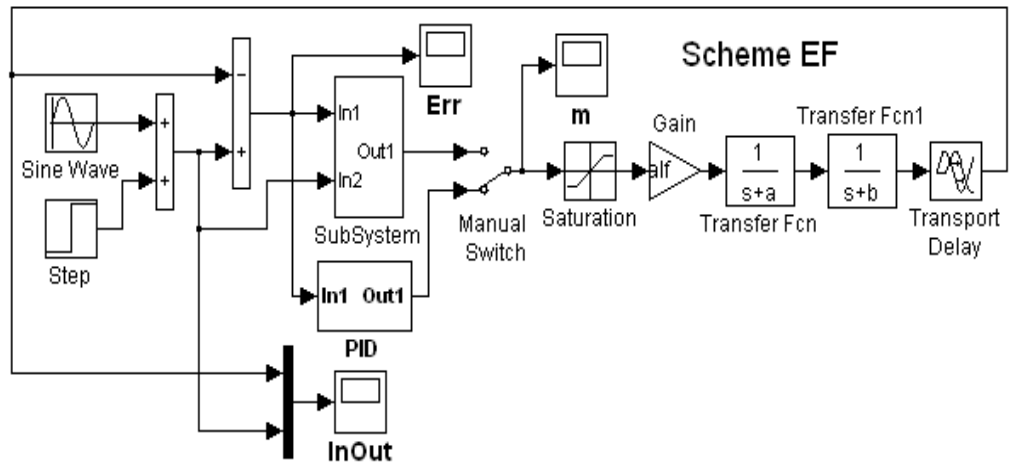
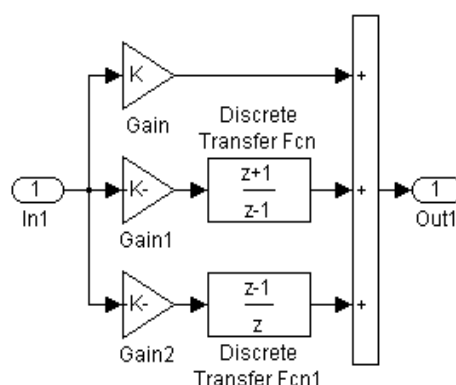


Рисунок 4.1 - Блок-схема теплообмінника електропечі в інтерактивній системі MATLAB

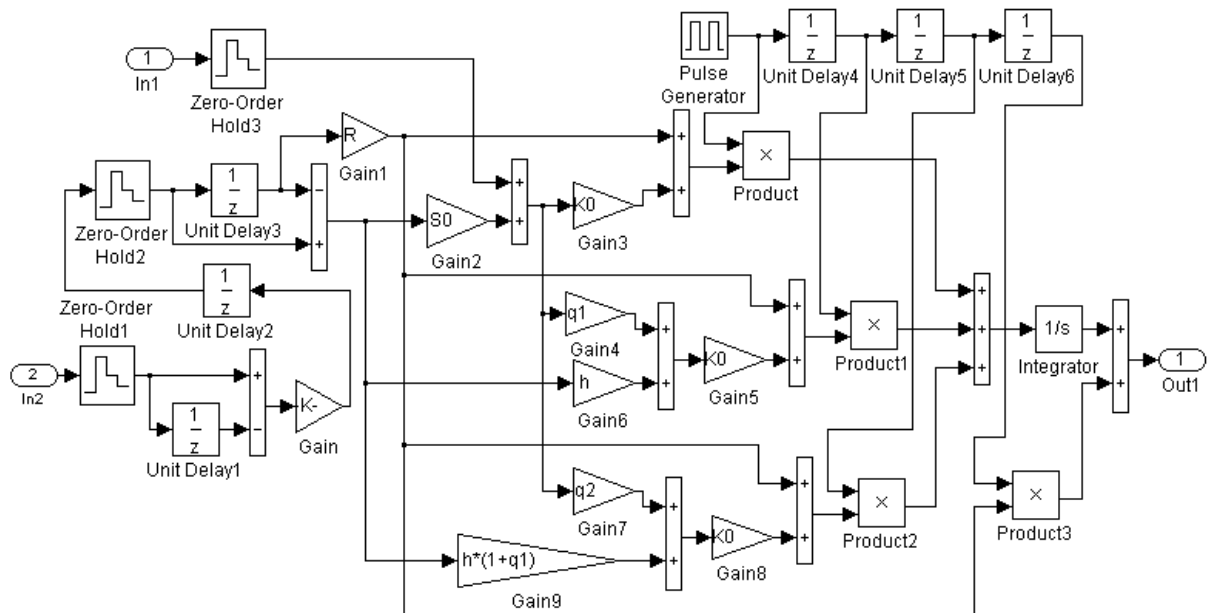
MATLAB, інтеграли та похідні можна використовувати різними способами, тому функцію передачі числа PID (на малюнку 4.1 контролер, позначений блоком PID) можна записати різними способами. Порівнюючи інтегральний метод, заснований на виході різниці першого порядку та трапецієподібний підхід, функція передачі цифрових чисел PID може бути записана як [9] :

$$W(z) = K + \frac{K_i h_0}{2} \frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{h_0} \frac{z-1}{z}, \quad (4.3)$$

Де етапи моделювання? Схема h_0 цифрового ПІД-регулятора наведена на малюнку. 4.2а . Приклад Через малі кроки цифрові ПІД- регулятори працюють швидше, ніж аналогові Він схожий на контролер.



a)



б)

4.2 - Схема роботи цифрового ПІД-регулятора

Результати тестування інтегрованої системи з $\omega_{\max}$ цифровим ПІД-регулятором наведено нижче. У програмах, де максимальна швидкість і максимальна швидкість $\varepsilon_{\max}$ відрізняються, $u(t)$ рекомендується враховувати однаковий ефект. $u_{\omega}(t) = U_{\omega} \sin \omega_{\omega} t$ Параметри розраховуються за співвідношенням [14].

$$U_{\omega} = \omega_{\max}^2 / \varepsilon_{\max}; \quad \omega_{\omega} = \varepsilon_{\max} / \omega_{\max}.$$

максимальну швидкість $\varepsilon_{\max}$ вашої системи $\omega_{\max}$ за цим посиленням: $\omega_{\max} = U_{\omega} \omega_{\omega}; \quad \varepsilon_{\max} = U_{\omega} \omega_{\omega}^2$.

Процес у системі використовує цифровий ПІД-регулятор для введення вхідних функцій (див. рис. 4.1) .

$$u_{\omega}(t) = 1 + 0,2 \sin(\pi t / 180), \quad (4.4)$$

чи $U_{\omega} = 0,2 \quad \omega_{\omega} = \pi / 180 \approx 1,74 \cdot 10^{-2} \text{ рад} / \text{с} ?$ (середній)

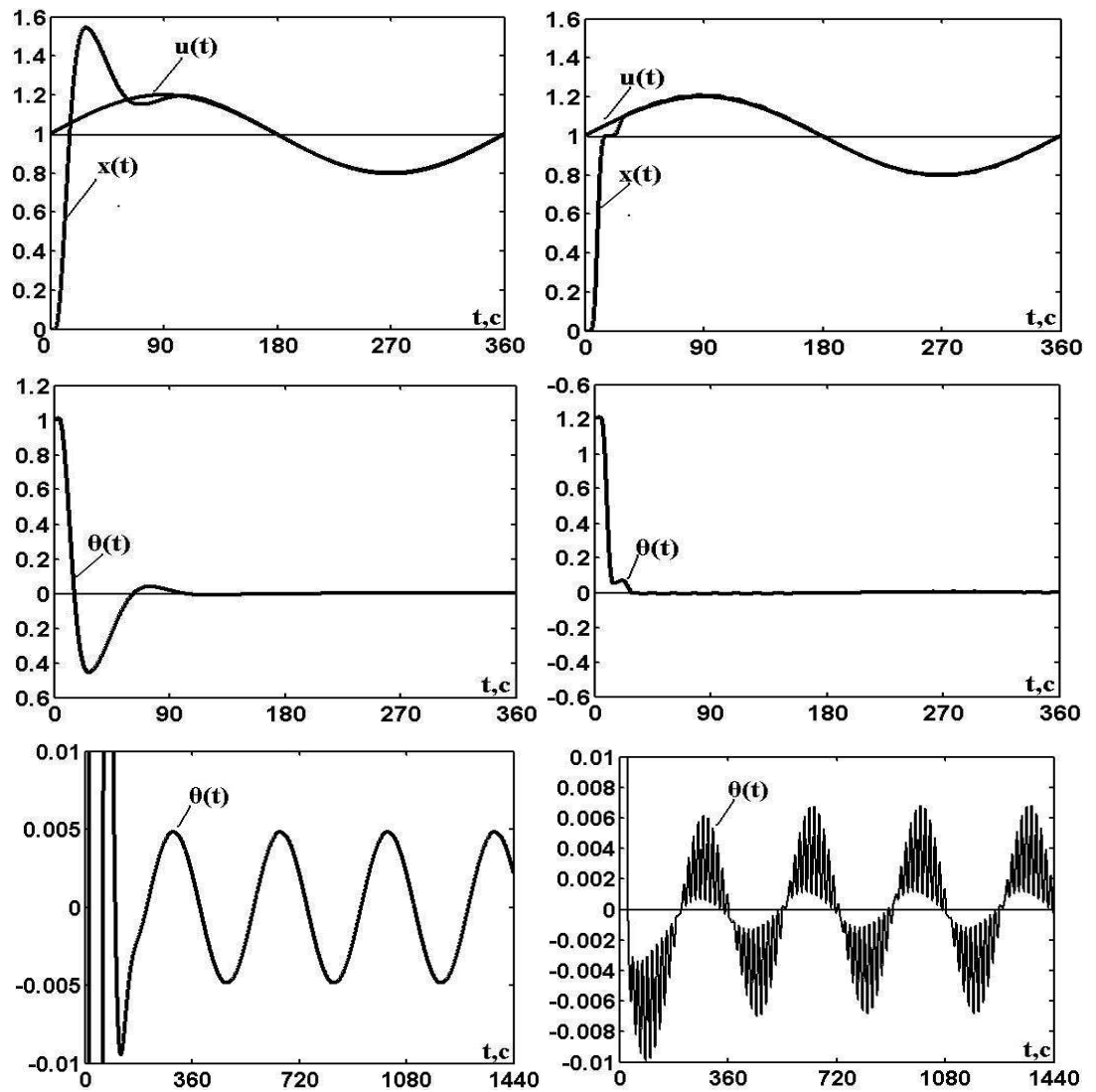


Рисунок 4.3 - Робота в інтегрованій системі з цифровим ПІД-регулятором

На рисунку нижче показано струмову похибку, максимальне значення якої не перевищує 2,5% амплітуди синусоїди.

Аналіз систем, обладнаних цифровим ПІД-регулюванням, показує, що навіть якщо перехідні явища в системі більші (до 50%) і триваліші (до 100 секунд) , у стані стабільного відстеження гармонік струм помилки є занадто малим, щоб сигнал. .

Зверніть увагу, що в цій системі гармонічний сигнал (період сигналу 360 секунд) швидко змінюється (контрольовані постійні часу 122 секунди і 14,5 секунди). При зниженні робочої частоти втрати струму зменшуються, але надструми та гармоніки залишаються.

Стабільна установка на основі лінійних змінних Якщо використовується система зі стійким управлінням процесом, вводиться додаткове внутрішнє підключення до виходу контролера (забезпечення стабільності системи першого порядку) . Завдяки швидкому цифровому контролеру робота інвертора можлива завдяки вбудованому опорному сигналу. Передача роботи менеджера виходить на основі оптимальної функції управління, яка використовується для управління, коли для системи використовується лінійна система [32] .

Впроваджено високошвидкісні цифрові машини для аналізу керованих об'єктів і пристрої зв'язку для розглянутих передавальних функцій.

Потім є транспортна функція

$$G(s) = \frac{\alpha}{s(s+a)(s+b)} e^{-\tau s} \quad (4.5)$$

Регулярний розклад для кожного сезону t_p такий:

$$m_0 = K_0(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + R \sigma_{n-1} B \quad nt_p \leq t < nt_p + h$$

$$m_1 = K_0[q_1(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + h \Delta \sigma] + R \sigma_{n-1} B$$

$$nt_p + h \leq t < nt_p + 2h;$$

$$m_2 = K_0[q_2(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + h \Delta \sigma(1 + q_1)] + R \sigma_{n-1} B$$

$$nt_p + 2h \leq t < nt_p + 3h.$$

$$m_3 = R = \frac{ab}{\alpha} (4,6) \quad nt_p + 3h \leq t < nt_p + 3h + \tau$$

$$A \text{ бо } t_p = 3h + \tau$$

$$K_0 = \frac{ab}{\alpha h(1-A)(1-B)}; S_0 = 3h + \frac{a+b}{ab} - \frac{h(2+q_1)}{(1-A)(1-B)} + \tau;$$

$$q_1 = -(A+B); q_2 = AB; A = e^{-ah}; B = e^{-bh}.$$

З часу контролера $nt_p \leq t < (n+1)t_p$ ви можете $nt_p \leq t < nt_p + 3h$ встановити цифровий контролер і функцію передачі.

$$W(z) = \frac{M(z)}{\theta(z)} = \frac{m_0 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2}}{\Delta U (1 + z^{-1} + z^{-2})} \quad (4.7)$$

Або диференціальні рівняння

$$m_i = (\sum_{k=0}^2 m_k \theta_{i-k} - \Delta U \sum_{k=1}^2 m_{i-k}) / \Delta U, \quad (4.8)$$

де $\theta = \Delta U$ за $i - k \geq 0$ індексом $i - k < 0$. $\theta = 0$, $m = 0$

Протягом $u(t)$ першого n періоду nt_p тривалість $t_p = 3h + \tau$ контролює тривалість. $nt_p \leq t < (n+1)t_p$

$$\sigma_n = \{u[(n+1)t_p] - u(nt_p)\} / t_p \quad (4.9)$$

Він вимірює значення поточного рівня активності користувача, оскільки його неможливо виміряти (якщо активність користувача не визначено).

$$\sigma = \{u(kh_0) - u[(k-1)h_0]\} / h_0, \quad (4.10)$$

приклад використовуються кроки та оцінки першої різниці. h_0

$$\hat{\sigma}_n = \sigma(nt_p) \quad (4.11)$$

Перший (регулярний план) пояснюється нижче щодо використання творів протягом адаптаційного періоду: $(n-1)t_p \leq t < nt_p$

$$\hat{\sigma}_{n-1} = \sigma[(n-1)t_p] \quad (4.12)$$

Збільшення швидкості між параметрами визначається наступним чином: $nt_p \leq t < (n+1)t_p$

$$\Delta\sigma = \{\sigma(nt_p) - \sigma[(n-1)t_p]\} / t_p. \quad (4.13)$$

Залежно від співвідношення між часом затримки та рівнем квантування, Ми можемо визначити швидкісні параметри, які складають оптимальну конфігурацію τ контролера. h Враховуючи максимально можливу швидкість, яку може мати наша консоль $h = \tau = 4с$ (τ фактично 3,9 секунди) .

Принципова схема цього контролера, реалізованого в мережі MATLAB на основі інформації з (4.6) і (4.10) по (4.13), показана на рисунку 4.2,б. На рис. 4.1 числові значення краще). швидкість) Цю підсистему називають масою .

Цифровий в системі Показує тимчасову поведінку за наявності драйвера. Ця команда дозволяє виконувати тимчасову операцію (без команди) із визначеною тривалістю до 30 секунд. Таким чином, швидкість системи з використанням цього регулятора в три рази перевищує швидкість системи з використанням ПД-регулятора. Системи з цифровим ПД-регулюванням також мають 50% резервування.

На зображенні нижче показано поточну похибку, максимальне значення якої не перевищує 3% ширини синусоїди. Це правда, що використання оптимальної швидкості створює більше помилок, ніж використання ПД-регулятора, але це все одно мало.

Якщо керуюча програма реалізована на мікрокомп'ютері, мінімальна складність номера PID не дуже важлива, тому ми рекомендуємо цифровий контролер із кращою швидкістю роботи.

4.2. Синтез цифрового нечіткого регулятора системи автоматичного управління температурою електричної печі

Концептуальна схема використання тепла від електропечі з цифровим нечітким калькулятором, інтегрованим у мережеву систему MATLAB, представлена в 4.1. У цій схемі нечіткий регулятор використовується замість ПД-регулятора (ПД-блок на рисунку 4.1) . В комплекті. Конфігураційна схема регулятора представлена на рис. 3.6.

Регулятор нуля створюється за рівняннями (3.19) - (3.27) і (3.30) - (3.37) з використанням статистичних кроків тригонометричних функцій калькулятора (введення інформації в калькулятор). $h = 0,01$ С. Помилка виходу АЦП Для кожного каналу різниця між $\ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]/h$ першим $\theta(k)$ і другим каналами застосовується до контролера $\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)]/h$. Сигнал надходить від драйвера ЦАП (замикання нульового порядку з функцією передачі $H(s) = (1 - e^{-hs})/s$) і використовуваного драйвера.

У нечіткому контролері $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ можна визначити $\mu^1(u) = 1 - u$ вхідні та вихідні зміни $[m_{\min}, m_{\max}]$ для всіх функцій, $\mu^2(u) = u$ якщо $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$ існує $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$ набір глобальних параметрів $U = [0,1]$. u Щоб зменшити кількість редагувань, передбачається, що зміни відносяться до одного рядка змінних $\theta_{\min} = -\theta_{\max}$ і так далі. $\dot{\theta}_{\min} = -\dot{\theta}_{\max}$

Контролер налаштований на прийняття поточного мінімального значення.

Ось $[-0,035, 0,035]$ рядкові зміни, внесені $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$ до вхідних і вихідних змінних $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ після $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$ додавання контролера $[-0,33, 0,33]$: $[m_{\min}, m_{\max}]$, $[-0,07, 0,07]$. $[-34,3, 34,3]$

4.4. Це число вказує час операції, коли в системі є машина нечітких чисел, коли однакова кількість операцій становить один крок операції системи.

$$u_{\omega}(t) = 1 + 0,2 \sin(\pi t / 180).$$

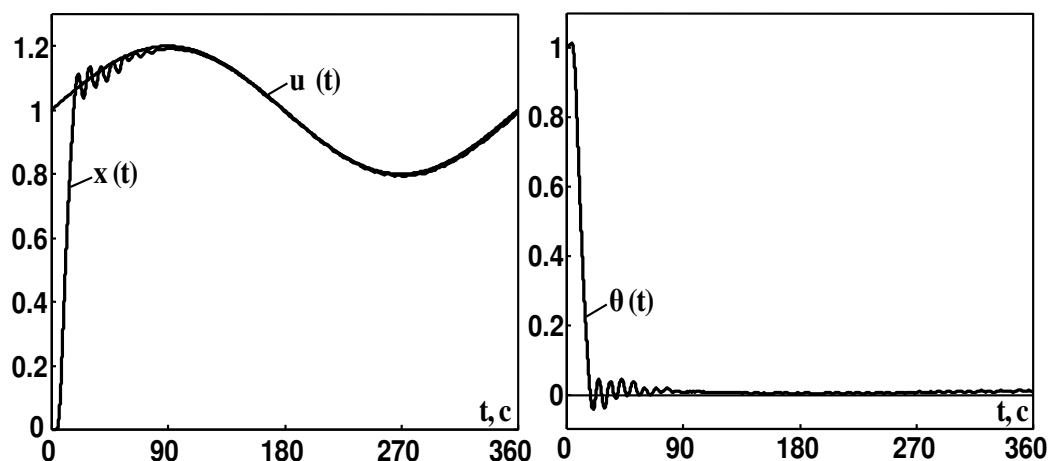


Рисунок 4.4 – Перехідні процеси

4.3. Синтез цифрових оптимальних за швидкодією регуляторів при різних співвідношеннях кроку квантування регулятора та часу запізнювання процесів

Він реалізує високошвидкісний цифровий контроль версій і функції конвертера.

$$G(s) = \frac{\alpha}{(s+b)} e^{-\tau s}.$$

Міцність і довговічність сталевих печей часто ототожнюють з її передавальною функцією як основним контролем роботи установки. Водночас слід зазначити, що межі цієї передавальної функції сильно залежать від роботи печі.

Якщо ви використовуєте систему зі стабільним керуванням процесом установки, розрахованим з лінії, інша важлива інформація буде відображатися під час роботи контролера (забезпечення початкової стабільності системи). Коли контролер встановлено, він надає вбудоване посилання на функцію передачі об'єкта контролера. Потім є функція перекладу

$$G(s) = \frac{\alpha}{s(s+b)} e^{-\tau s}$$

Графік контролю для кожного періоду t_p такий [32]:

$$m_0 = K_0(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + R \sigma_{n-1} B, \quad nt_p \leq t < nt_p + h$$

$$m_1 = K_0[q_1(\Delta U + S_0 \Delta \sigma) + h \Delta \sigma] + R \sigma_{n-1} B$$

$$nt_p + h \leq t < nt_p + 2h;$$

$$m_2 = R \sigma_{n-1} = \frac{b}{\alpha} \sigma_{n-1}, \quad nt_p + 2h \leq t < nt_p + 2h + \tau$$

$$\text{Або } t_p = 2h + \tau, \quad K_0 = \frac{b}{\alpha h(1-B)}, \quad B = e^{-bh};$$

$$S_0 = 2h + \frac{1}{b} - \frac{h}{(1-B)} + \tau; \quad q_1 = -B.$$

Блок-схема керування об'єктом пошуку створена в інтерфейсі MATLAB і наведена на рисунку. 4.5. Це показано на фото.

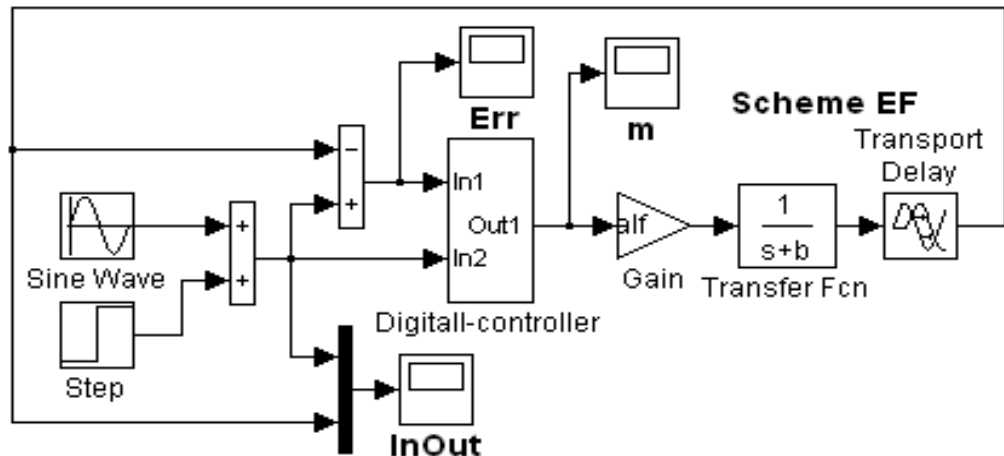


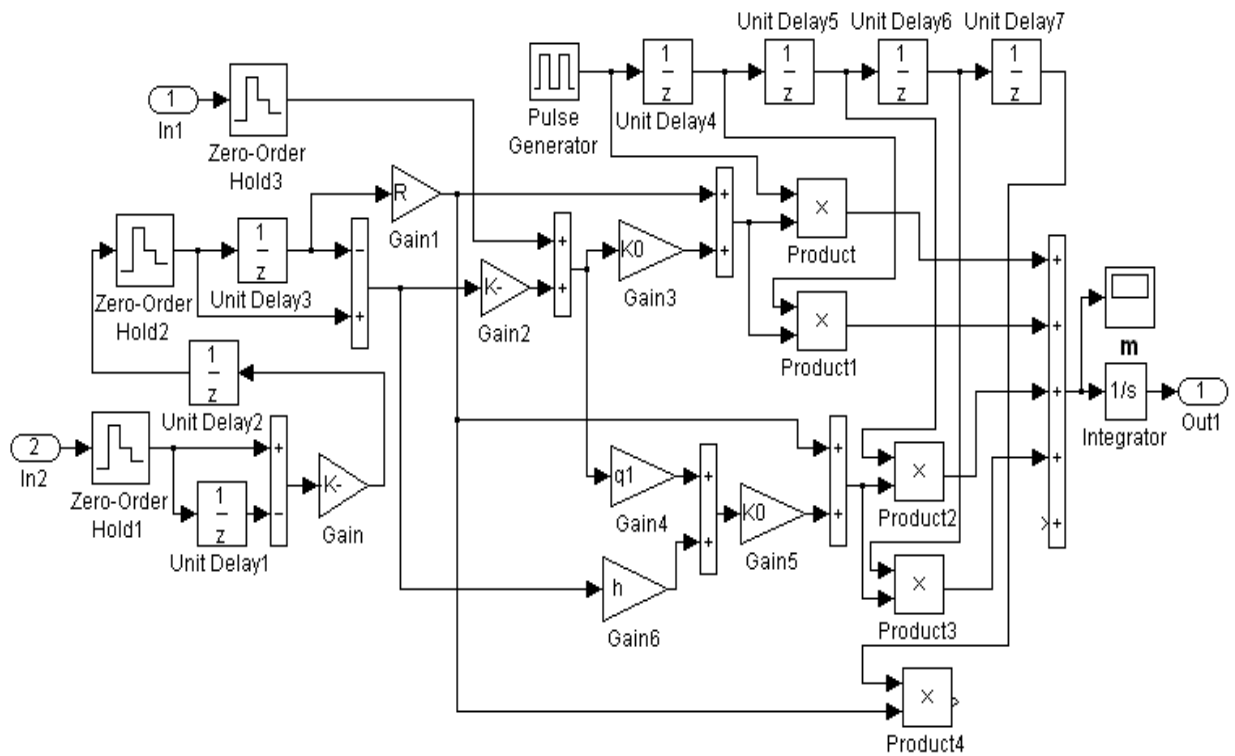
Рисунок 4.5 – Структурна схема системи управління параметрами електропечі

(числовий) краще проаналізувати цю математичну модель.

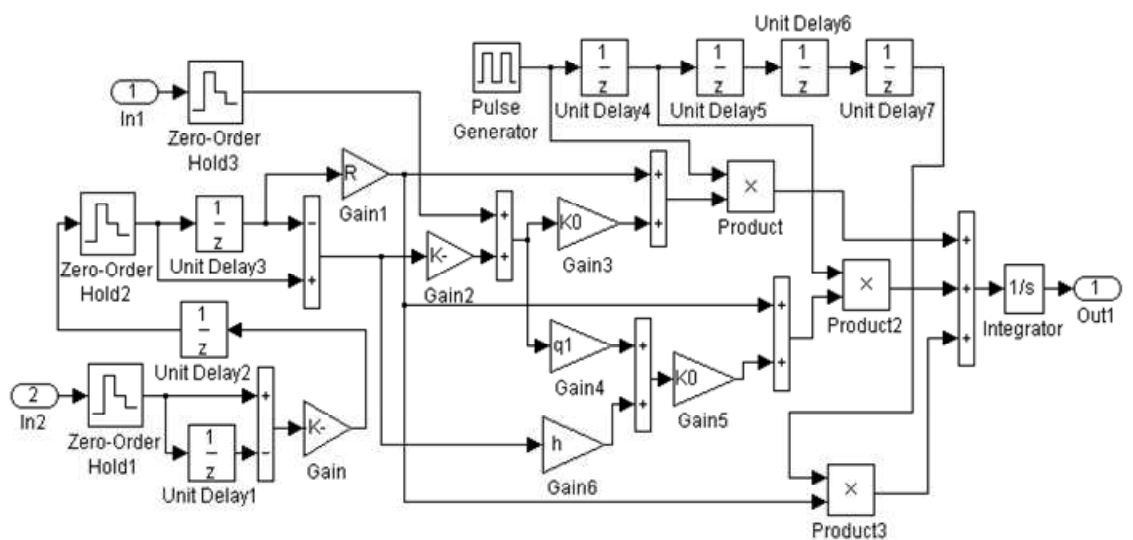
$b = 10$. Введіть $\alpha = 100 \text{ с}$, $h = 0,4$, $\tau = 0,2$ краще h видно, ніж τ цифровий таймер, оскільки він τ менший h . За один крок $h = 2\tau = 0,4$ контролер видає два «контрольні» імпульси. Зразки m_0 будь-якої $t_p = 2h + \tau$ довжини необхідно робити «на швидку руку». Пульс $h = 2\tau$, m_1 висота $R\sigma_{n-1}$ і довжина τ .

Функціональна схема регулятора швидкості показана на рисунку 4.6. На рисунку а) показано $b = 10$ Між $\alpha = 100 \text{ с}$, $h = 0,4$, $\tau = 1,2$.

Час затримки τ становить Тому що h цього разу він більший Це легко виразити як кількість кроків по відношенню до часу h . $\tau = 3h = 1,2$ У той же час, m_0 контролер повинен $h = 0,4$ генерувати в будь-який час h два «керуючих» імпульсу $t_p = 2h + \tau$, m_1 кожен з тривалістю, і $R\sigma_{n-1}$ три вибірки «передачі» імпульсів, кожен з амплітудою і тривалістю. Функціональна схема круїз-контролю представлена окремо на рис. 4.6.



a)



b)

Рисунок 4.6 - Оптимальний цифровий за швидкодією регулятор

4.5. Результати аналізу математичної моделі наведено на рисунку 4.6. а) Використовуйте контролер, показаний на малюнку ($\tau = 0,2$ з прикладом с) і 4.6. б) (з $\tau = 1,2$ предметом в) На малюнку зображено керівника. 4.7.

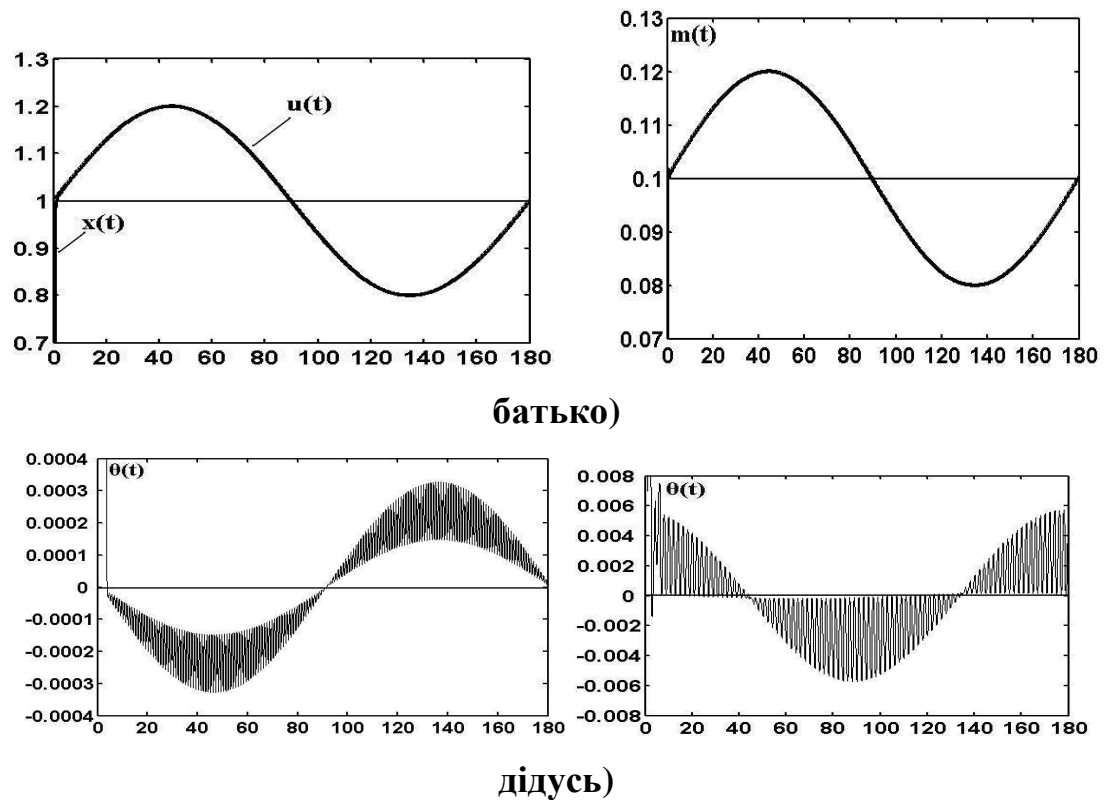


Рисунок 4.7 - Результати дослідження математичної моделі

Сигнальні операції Системна команда (див. Малюнок 4.5) InOut (Користувач Способи $u(t)$, програма мода $x(t)$), m (команда об'єкта команда $m(t)$), помилка $\theta(t)$

Система (див. рис. 4.5) є Це моделюється з використанням тієї ж кількості квадрупольних сигналів, що використовуються як ступінчасті сигнали.

$$u_{\vartheta}(t) = 1 + U_{\vartheta} \sin \omega_{\vartheta} t = 1 + 0,2 \sin(\pi t / 90).$$

Система обробляє вхідні дані з високою точністю. При цьому при використанні в двох системах управління $x(t)$ системи управління та елементи управління $m(t)$ практично однакові (див. рис. 4.7.а , б) , але похибки різні.

3.6. Для системи, встановленої з драйвером, зображеним на фото, максимальна похибка на даний момент не перевищує 0,16%. Для системи з конфігурацією, показаною на рис.б) В, ця помилка становить 3,6 . Як синусоїда.

4.4. Висновки до розділу

1. Дослідження регулювання температури (вторинного регулювання) електропечей із трьома типами керування показало, що перехідний процес у комп'ютерних системах ПД дуже інтенсивний, із перевантаженнями (до 50 %) та тривалим часом керування (до 100 годин). секунд), тоді як у системах з регулюванням швидкості регулювання відсутнє, а час регулювання скорочується на третину . У процесі відстеження сигналу, навіть якщо помилка в системі на найвищій швидкості, що краще, ніж використання помилки в ПД-регуляторі , помилка дуже мала. Якщо керуюча програма реалізована в мікрокомп'ютері, то мінімальна складність номера PID не дуже важлива. Хмарний контролер забезпечує час переходу та встановлення менше ніж 30 секунд із низьким рівнем помилок, але є певні коливання часу переходу. Тому ми рекомендуємо цифрове керування з швидшим використанням.

Для системи автоматичного керування електропечі ми реалізували цифрову систему управління прискоренням з розміром кроку на блоці керування та часом затримки процесу, який відбувається на системі керування електропечі (керувати чимось за допомогою кількох затримок).

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА РОБАСТНОСТІ САУ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕЧЕЙ

5.1. Ідентифікація параметрів електричної печі

Оскільки ці пристрої використовують різні режими духовки, важливо визначити спосіб транспортування.

Завдання параметричного відбору полягає у визначенні параметрів математичної моделі об'єкта за (відомою) структурною моделлю об'єкта. Існує багато способів його ідентифікації. Для визначення лінійних характеристик найчастіше використовуються методи перетворення і кілька методів регресії (включаючи метод найменших квадратів) . При виборі матеріалу за допомогою динамічних методів синусоїдальні сигнали або фазові переміщення часто використовуються як вхідні параметри.

Супутнє визначення називається строгим визначенням, коли відома структура контрольованого об'єкта (функція інтерпретації) і необхідно визначити лише постійні значення. Тому цей вид визначення широко використовується в техніці, коли є достатньо початкової інформації про досліджуваний об'єкт, щоб максимально відповідати реальним умовам експерименту.

Розглянемо визначення невідомої частини об'єкта за передаточною функцією (4.1). Для цього ми створили приклад, використовуючи ту саму функцію передачі [32] .

$$\hat{G}(s) = \frac{\hat{\alpha}}{(s + \hat{a})(s + \hat{b})} e^{-\hat{\tau}s} = \frac{\hat{K}_0}{(\hat{T}_1 s + 1)(\hat{T}_2 s + 1)} e^{-\hat{\tau}s}. \quad (5.1)$$

Для керування пристроєм використовується сигнал синусоїдального або фазового зсуву, а $\theta(t)$ функція аналогової різниці (-) використовується в блоці позитивного обчислення $u(t)$. Виберіть розмір і налаштуйте критерії вибору, щоб створити цей приклад Зменшити розмір. Номер моделі вказує на значення в стандартній позиції.

$$J = \frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} \theta_v^2 \Rightarrow \min, \quad (5.2)$$

Помилка θ_v вибірки Розрахувати з кількістю кроків h_0 , які L визначають час спостереження.

Загальна схема контрольної перевірки представлена на рис. 5.1.

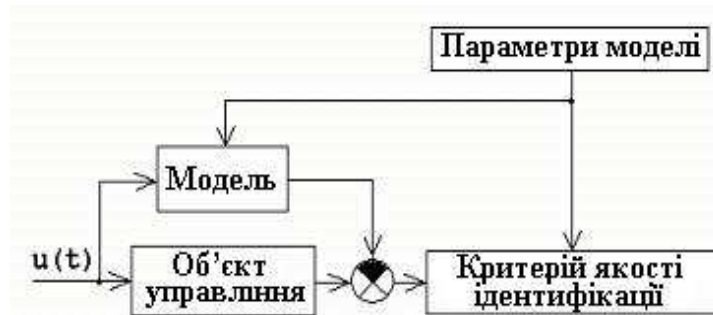


Рисунок 5.1. - Загальна система визначення параметрів об'єктів

Спеціальне застосування Для системи $u(t)$ похибка $\theta(t)$, яка є показником якості, залежить від експериментальних параметрів.

$$J = F(\hat{a}, \hat{b}, \hat{\alpha}, \hat{\tau}). \quad (5.3)$$

Що знижує якість моделі Завдання – оптимізувати параметри. Найкращі приклади моделі (близькі до невідомого контролю) відповідають найнижчим значенням якості.

Модель є непараметричним підходом для зниження факторів якості. Це можна використати для задоволення апроксимації (5.2) . Хороших результатів можна досягти, використовуючи техніку джиб хук.

Суть методу Гука-Джівіа полягає в наступному: спочатку робота $J = F(\hat{a}, \hat{b}, \hat{\alpha}, \hat{\tau})$ організовується на базовому рівні. Кожна змінна поступово змінюється шляхом збільшення або зменшення довжини кроку H_k . Якщо зміни цієї змінної зменшують функцію, то знайдено нову основу, яка досягає

найнижчої точки. Якщо зміна цієї змінної не зменшує кількість зусиль, змінюється довжина кроку (зазвичай ми $H_k/10$) і процес повторюється для отримання нової бази. Якщо нова база відрізняється від оригіналу, перевірте: модель (тобто процедура від першої бази до кінцевої моделі) . У той же час, якщо $P_k = 2c_k - d_k$ значення змінної є k прикладом числа $-$, то всі змінні будуть змінені відповідно до наступних кроків P_k : Значення змінної c_k на останньому $-$ кроці d_k . Значення $-$ ї змінної k на -1 -му базовому кроці k . Пошук закінчується, коли довжина кроку досягає мінімального значення. Метод Хука-Джівса детально описаний, наприклад, у [32].

Наприклад, чим менше елементів послідовності на унікальність, тим краща модель. Величину часто легше визначити за допомогою інших вимірювань, таких як підсилення та час затримки, які дозволяють отримати точнішу постійну часу контролера.

Поекспериментуйте з періодичною системою та передатними функціями

$$G(s) = x(s)/U(s) = b/(s + b) = 1/(Ts + 1), \quad (5.4)$$

Виконується поетапно (трапецієподібний спосіб) [32] $b = 1/T$

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{2 - bh_0}{2 + bh_0} x_{n-1} + \frac{bh_0}{2 + bh_0} (U_n + U_{n-1}) = \\ &= \frac{2T - h_0}{2T + h_0} x_{n-1} + \frac{h_0}{2T + h_0} (U_n + U_{n-1}) \end{aligned} \quad (5.5)$$

З тренувальними кроками h_0 . Рівняння (5.5) містить інформацію про x_n елементи та перетворення U_n .

Щоб перевірити наявне з'єднання, виконайте такі кроки: Почніть зі створення функції передачі для цього розподілу на основі PSI framework.

$$G(s) = \exp(-\tau s) = \frac{s^2 - \frac{6}{\tau}s + \frac{12}{\tau^2}}{s^2 + \frac{6}{\tau}s + \frac{12}{\tau^2}}. \quad (5.6)$$

Напишіть рівняння (використовуючи метод трапеції), яке використовує друге рівняння для вираження диференціального рівняння .

$$G(s) = \frac{x(s)}{U(s)} = \frac{a s^2 + ds + c}{c s^2 + bs + a} = \frac{T_1^2 s^2 + 2\zeta T_1 s + 1}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}, \quad (5.7)$$

$a = 1/T^2$; $b = 2\xi/T$; $c = 1/T_1^2$; $d = 2\zeta/T_1$ У цьому контексті повторювана послідовність описується (за допомогою методу трапеції) наступним чином: [32]:

$$\begin{aligned} x_{2n} &= \frac{4 - 2bh_0 - ah_0^2}{4 + 2bh_0 + ah_0^2} x_{2n-1} - \frac{4ah_0}{4 + 2bh_0 + ah_0^2} x_{1n-1} + \\ &+ \frac{a}{c} \frac{2h_0}{4 + 2bh_0 + ah_0^2} (U_n + U_{n-1}) = \\ &= \frac{4T^2 - 4\xi Th_0 - h_0^2}{4T^2 + 4\xi Th_0 + h_0^2} x_{2n-1} - \frac{4h_0}{4T^2 + 4\xi Th_0 + h_0^2} x_{1n-1} + \\ &+ \frac{2T_1^2 h_0}{4T^2 + 4\xi Th_0 + h_0^2} (U_n + U_{n-1}); \\ x_{2n} &= x_{2n-1} + \frac{h_0}{2} (x_{3n} + x_{3n-1}); \\ x_{1n} &= \frac{a}{c} U_n + (d - b)x_{3n} + (c - a)x_{2n} = \\ &= \left(\frac{T_1}{T}\right)^2 U_n + 2\left(\frac{\zeta}{T_1} - \frac{\xi}{T}\right)x_{3n} + \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T^2}\right)x_{2n}. \end{aligned}$$

У статичному рекурсивному типі оголошення змінних є U_n input, x_{2n} interval x_{1n} і output x_{3n} .

Зрозуміло, що $a = c = 12 / \tau^2$ (5.7) відповідає $d = -b = -6 / \tau$ (5.6) і затримку зв'язку можна розрахувати за стандартними формулами.

5.1. Таким чином перевіряється якість всієї зображеної на малюнку конструкції. Встановіть параметри керування : $K_0 = 7,2$, $T_1 = 122$ с , $T_2 = 14,5$ с $\tau = 3,9$ с (цей параметр стосується електричної печі, яку можна використовувати [34]). Передбачається, що розширення змісту також призначене для виставок $\hat{K}_0 = K_0$. Ми запровадили процес внеску $u(t)$. Спочатку ми встановлюємо значення постійної часу моделі, яке відрізняється від постійної часу об'єкта $\pm 50\%$. Ми запустили програму для покращення гачка на jiva.

Hook-Jives вказуються такі параметри: Точність функції порівняння $\varepsilon_1 = 10^{-12}$. Поступові покращення з мінімальними змінами $\varepsilon_2 = 10^{-4}$. Час активного перегляду становить $u(t) = \sin(2\pi t / 122); 122$ секунди. За першу ціну $\hat{T}_{10} = 103$? $\hat{T}_{20} = 25$; $\hat{\tau}_0 = 16$ Ще одна перевірка об'єкт параметри $\hat{T}_1 = 121,9991$. $\hat{T}_2 = 14,5005$; $\hat{\tau} = 3,8996$.

Нарешті ми побачили, як вказати параметри, щоб знайти правильні параметри об'єкта керування.

5.2. Робастність системи автоматичного управління температурою електричної печі

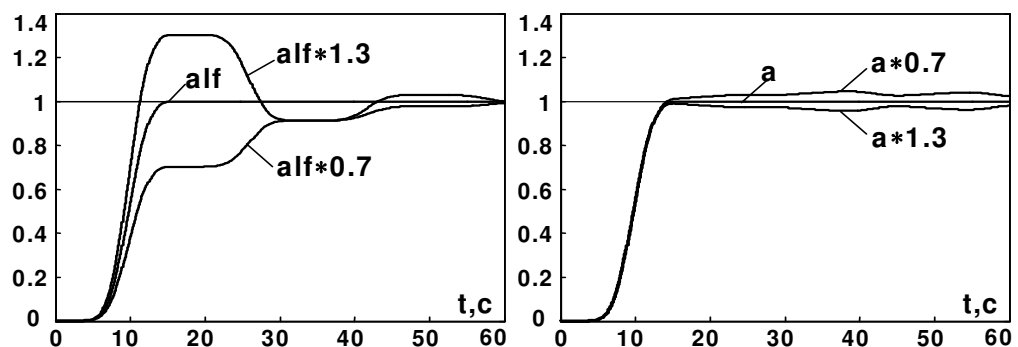
Багато сучасних підходів до синтезу автоматизованих систем керування підкреслюють стійкість системи, тобто її здатність адаптуватися до очікуваних якостей, незважаючи на точність моделі та великі невизначеності в характеристиках керування [30]. Крім усього іншого, цей метод враховує той факт, що реальні фізичні системи та умови їх роботи неможливо змоделювати з абсолютною точністю, вони можуть непередбачувано змінюватися та стикатися з різними проблемами. Надійність, як правило, виражається в тому, що система

чутлива до елементів, які не враховуються в аналізі або послідовності кроків, наприклад, збурення, шум, послідовність або помилкові елементи, які не відображені в моделі. Сама модель впливає на надійність системи. Система повинна бути здатна долати вплив цих факторів, виконуючи свою призначену функцію.

Потужність системи зазвичай визначається правильним підбором контролера. Оскільки основним завданням контролера є забезпечення необхідного стану системи в перехідному і стійкому стані, необхідно вибрати контролер, який забезпечує необхідну швидкодію на вхідному каскаді сигналу, що визначається організацією. Час, спецоперації Особливим чином відображаються невеликі похибки тиску, спричинені системою, а також допустимі зміни якості системи.

Параметр (4.1) не вказано (див. розділ 4), важливо врахувати перехідні системи в автоматичній роботі електропечей, які використовують цифрові пристрої. Припустімо, що для команди встановлено наведені вище параметри, а α фактичні параметри a відрізняються α , a , b , τ . Ця ситуація буде розглянута в 5.2.

1. Показано систему з оптимальною швидкодією на основі цифрового регулятора



2. Показано систему з цифровим пропорційно-диференціальним регулятором

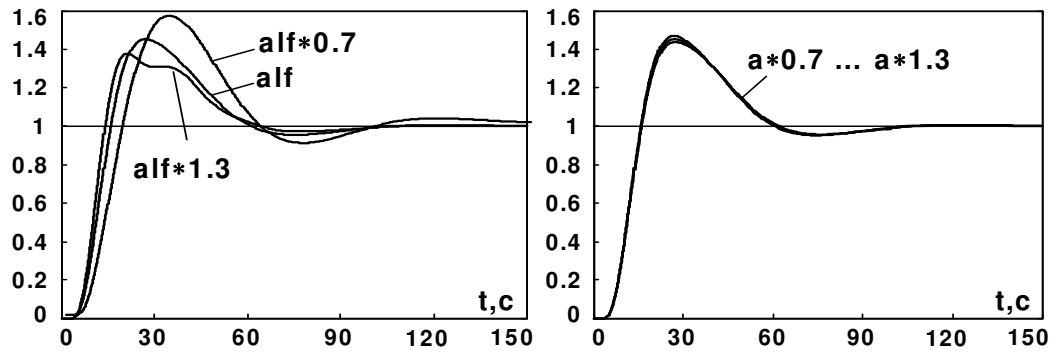


Рисунок 5.2 – Перехідні процеси

Правильне налаштування параметрів α (тобто максимальної частоти печі) практично не впливає на форму переходів в системах, що використовують процесори α (такого типу). Однак неправильне налаштування параметрів може спричинити багато проблем у процесі оптимізації, особливо у споживанні системи та контролі швидкості комп'ютера, що значно збільшить час обробки.

5.3. Висновки до розділу

Було визначено використання електричної печі як пристрою керування, виражаючи функцію передачі мережі затримки через друге рівняння Паде. Два типи систем електричного нагріву духовки. Неправильна настройка таймера духовки мало впливає на перехідні процеси в системі, що розглядається. Однак неточні параметри джерела, особливо в системах з цифровим керуванням швидкістю, можуть спричинити значні порушення перехідного процесу та подовжити тривалість перехідного процесу.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішувалась задача параметричної оптимізації оптимальної швидкості пристроїв автоматичного керування електропечами, Fuzzy PID та цифрового керування, дане дослідження проводилось із застосуванням методів моделювання, системи математики c. Вбудований контролер захищений, у разі великих затримок потрібна оптимальна система.

1. У комплекті з параметричним керуванням і PID з предиктором Сміта. Схема ПІД-регулювання заснована на спеціальному блоці, який об'єднує систему управління і перебудовує її за допомогою помножувача. Іди геть Склад контролера характеризується Fuzzy Під час використання контролера використовуються три лінгвістичні змінні: помилка використання θ , помилка зміни (з перших принципів) $\dot{\theta}$ і використання прискорювача. $\ddot{\theta}$, який в основному поділяється на дві групи термінів: $u = 0,5$ негативні та позитивні. Вважаємо, що функції приналежності трикутні, взаємно симетричні і пов'язані зі значеннями космічної осі. Також припускаємо, що величина змін у вхідному та вихідному сигналах (значення за замовчуванням) однакова.

2. Кожен крок в керівництві користувача показує результати перевірки цифрових/аналогових параметрів електроплити ACS. Контролер і PID поєднуються, щоб забезпечити найкращу швидкість обчислення.

3. Після аналізу споживання тепла електричної печі (другий пристрій затримки) з трьома типами керування виявлено, що процес переходу системи з номерами PID має дуже важливі інструкції. (до 50%), тривалий час контролю (до 100 секунд), використання системи контролю швидкості, відсутність контролю процесу та час контролю зменшено втричі. У процесі відстеження сигналу, навіть якщо є помилка в системі на найвищій швидкості, це краще, ніж використовувати помилку в ПІД-регуляторі, але помилка дуже мала. Якщо керуюча програма реалізована в мікрокомп'ютері, то мінімальна складність номера PID не дуже важлива. Іди геть Регулятор забезпечує майже аперіодичну перехідну роботу з часом керування всього 30 секунд і малими похибками

струму, але робочі константи виявилися змінними. Під час використання комп'ютера рекомендується збільшити швидкість.

4. Завершення монтажу високошвидкісного цифрового обладнання та методів автоматичного нагріву електродечей з різними вимірюваннями від рівня кількісної оцінки блоку керування до часу роботи, що виконується в блоці керування. Досліджено систему контролю температури електродечі (регулятор з різними затримками).

5. Ми визначили використання електродечі як контрольного пристрою, який є мережею для передачі функції мережі для порівняння другої колодки. Ми перевірили здатність контролювати температуру (контроль затримки класу II) електричних трубок трьох типів. Ми показуємо, що неправильна конфігурація максимальної постійної часу електричної печі мало впливає на перехідну форму системи для всіх досліджуваних типів керування, але використання неправильних буферів є важливим. Особливо в системах із розширеними цифровими контролерами швидкості це може спричинити тимчасові проблеми з обробкою, а також збільшити час обробки перетворення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. AN INTRODUCTION TO PETROLEUM REFINING AND THE PRODUCTION OF ULTRA LOW SULFUR GASOLINE AND DIESEL FUEL. *Home - International Council on Clean Transportation*. URL: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT05_Refining_Tutorial_FINAL_R1.pdf (date of access: 04.12.2024).
2. Дослідження термічного принципу та аналізу продуктивності регенеративного циркулюючого газу в трубчастих нагрівальних печах - знання. *Китайські виробники картриджних нагрівачів, постачальники трубчастих нагрівальних елементів, фабрика стрічкових нагрівачів - SUPERB HEATER*. URL: <http://ua.superbheating.com/info/research-on-thermal-principle-and-performance-81818695.html> (дата звернення: 04.12.2024).
3. Shuvalov D. R. AUTOMATED FURNACE CONTROL SYSTEM FOR ORGANIC WASTE INCINERATION. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2021. No. 5. P. 153–158. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/24> (date of access: 04.12.2024).
4. Пічне обладнання у хімічних та нафтопереробних процесах: навч. посіб. / А.Р. Степанюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 – 172 с. URL: https://ci.kpi.ua/Books/pechi_stepanuk.pdf (date of access: 04.12.2024).
5. Automation on thermal control of blast furnace / R. Masuda et al. *Digital Chemical Engineering*. 2023. P. 100085. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100085> (date of access: 04.12.2024).
6. Кравченко В. П., Койфман О. О., Сімкін О. І. Автоматизація технологічних процесів і виробництв у чорній металургії : навчальний посібник. Одеса : Олді+, 2023. 276 с. <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/482>
7. Григоренко Ю. Сталева цифра: як металурги й гірники розвивають ІТ-технології – Статті – GMK Center. *GMK*.

URL: <https://gmk.center/ua/posts/staleva-cifra-yak-metalurgi-j-girniki-rozvivajut-it-tehnologii/> (дата звернення: 04.12.2024).

8. The Essential Tube Furnace Guide: the Different Types of Tube Furnaces and Their Applications. *Sentro Tech*. URL: <https://www.sentrotech.com/tube-furnace-guide/> (date of access: 04.12.2024).

9. Розроблення оптимальних автоматичних регуляторів. Монографія / Ю.О. Ромасевич, В.С. Ловейкін, А.П. Ляшко, О.Г. Шевчук, В.В. Макарець. – К.: ЦП „КОМПІНТ”, 2021. – 250 с.
URL: <https://dglip.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8f81b3ec-1fe0-4525-9c5d-d2abac60e849/content>

10. Ситуаційне керування в дугових сталеплавильних печах: Монографія / Л.Д. Костинюк, А.О. Лозинський, О.Ю. Лозинський, А.В. Маляр, Я.Ю. Марущак, Я.С. Паранчук, В.Я. Перевознюк, Я.Б. Сметанюк; За ред. О.Ю. Лозинського, Я.Ю. Марущака. – Львів: Видавництво НУ “Львівська політехніка”, 2004. – 382 с.

11. Polishchuk I. A. TUNIG OF PID-REGULATOR BASED ON DIRECT SYTHESIS METHOD FOR THE SECOND ORDER OBJECTS WITH TIME DELAY (Ukr). *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University*. 2023. No. 2. URL: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2023-2-1-11> (date of access: 04.12.2024).

12. Miller W. E. Automation in Metal Processing: A Review. *IFAC Proceedings Volumes*. 1976. Vol. 9, no. 5. P. 15–30. URL: [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)67189-1](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)67189-1) (date of access: 04.12.2024).

13. Philip T. P. PROCESS CONTROL IN METALLURGICAL PLANTS – FROM AN XSTRATA PERSPECTIVE*. *IFAC Proceedings Volumes*. 2007. Vol. 40, no. 11. P. 377–389. URL: <https://doi.org/10.3182/20070821-3-ca-2919.00054> (date of access: 04.12.2024).

14. Automated Process Control in Metallurgy Industry. *Pressure Sensors, Pressure Transducers, Pressure Transmitters - Microsensor Corp*. URL: https://www.microsensorcorp.com/Industries-details_Automated-Process-Control-in-Metallurgy-Industry.html (date of access: 04.12.2024).

15. Гостєв В.І. Новий тип оптимальних за швидкодїєю цифрових регуляторів // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2004. – Т.2, №4. – С.200–204.

16. Мікропроцесорні засоби в автоматизованих системах керування технологічними процесами : підручник / А. К. Бабіченко та ін. ; за ред. А. К. Бабіченка. Харків : Вид-во ТОВ «Водний Спектр Джі-ЕМ-Пі», 2016. 440 с

17. Головчук А. Автоматика теплових процесів. Дніпропетровськ : ДНУЗД, 2015. 54 с.
URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/08c20b1b-9348-4e6a-96ab-7f619bc309b7/content>.

18. Автоматизація виробничих процесів / Я. І. Проць, В. Б. Савків та ін. Тернопіль : ТНТУ ім. Пулюя, 2011. 344 с.

19. Томашевський В. М. Моделювання систем [під ред. М. З. Згуровського] / В. М. Томашевський – К. : Видавнича група BHV, 2005. – 352с.

20. Demiroren A., Yesil E. Automatic generation control with fuzzy logic controllers in the power system including SMES units. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2004. Vol. 26, no. 4. P. 291–305.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2003.10.016> (date of access: 04.12.2024).

21. Gostev V. I. Designing the Simplest Fuzzy Controllers for Automatic Control Systems. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2010. Vol. 42, no. 2. P. 51–66. URL: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v42.i2.40> (date of access: 04.12.2024).

22. FUZZY CONTROL SYSTEMS. *UNESCO - ENCYCLOPEDIA OF LIFE SUPPORT SYSTEMS (EOLSS)*. URL: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c18/e6-43-23.pdf>.

23. Mohanty B., Panda S., Hota P. K. Differential evolution algorithm based automatic generation control for interconnected power systems with non-linearity. *Alexandria Engineering Journal*. 2014. Vol. 53, no. 3. P. 537–552.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.06.006> (date of access: 04.12.2024).

24. Application of fuzzy controllers in automatic ship motion control systems / O. Melnyk et al. *International Journal of Electrical and Computer*

Engineering (IJECE). 2023. Vol. 13, no. 4. P. 3948.
URL: <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3948-3957> (date of access: 04.12.2024).

25. Leiviskä, Kauko. (1994). Application of Fuzzy Logic in Automatic Control.

https://www.researchgate.net/publication/319042430_Application_of_Fuzzy_Logic_in_Automatic_Control

26. Mamdani, E.. (1974). Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plants. *Iet Software/iee Proceedings - Software*. 121.
https://www.researchgate.net/publication/243620802_Applications_of_fuzzy_algorithms_for_simple_dynamic_plants

27. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. С. Ямпольський , Б. П. Ткач, О. І. Лісовиченко ; МАУП. - К. : Персонал, 2011. - 543 с.іл.

28. Application of fuzzy controllers in automatic ship motion control systems / O. Melnyk et al. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2023. Vol. 13, no. 4. P. 3948.
URL: <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3948-3957> (date of access: 04.12.2024).

29. THE USE OF FUZZY LOGIC IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS. *DAAAM International Vienna – Ex Libris. Ex. Scientia. Ex Intellectu. Ex Ingenio*.

URL: https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2019/125.pdf.

30. Калюжний О.Я. Моделювання систем передачі сигналів в обчислювальному середовищі MATLAB-Simulink: Навч. Посібник. –К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2004. - 136 с

31. Нейротехнології та нейрокомп'ютерні системи: підручник / Л.С. Ямпольський, О.І. Лісовиченко, В.В. Олійник – К.: «Дорадо-Друк», 2016. – 576 с. ISBN 978-966-2077-69-8

32. Savchenko D., Reznikova K., Smyshlyaeva A. Fuzzy logic and fuzzy information technology. *Russian journal of resources, conservation and recycling*.

2021. Vol. 8, no. 1. URL: <https://doi.org/10.15862/10ecor121> (date of access: 04.12.2024).

33. Khooban M. H., Niknam T. A new intelligent online fuzzy tuning approach for multi-area load frequency control: Self Adaptive Modified Bat Algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2015. Vol. 71. P. 254–261. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.03.017> (date of access: 04.12.2024).

34. Chang C. S., Fu W. Area load frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers. *Electric Power Systems Research*. 1997. Vol. 42, no. 2. P. 145–152. URL: [https://doi.org/10.1016/s0378-7796\(96\)01199-6](https://doi.org/10.1016/s0378-7796(96)01199-6) (date of access: 04.12.2024).

35. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с.

36. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.

37. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.

38. Конституція України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 25.11.2024).

39. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 23.11.2024).

40. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 25.11.2024).

41. Про систему громадського здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 21.11.2024).

42. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 19.11.2024).

43. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 29.11.2024).

44. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 31.10.2024).

45. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 20.10.2024).

46. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

47. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Від 25.07.2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 11.11.2024).

ДОДАТКИ